

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2024**

**PAVEL  
BARTŮŠEK**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelové konstrukce na zimním stadionu  
Chomutov

### **Úvod**

Autor: Bc. Pavel Bartůšek

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

Praha 2024

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

|   |                     |                             |
|---|---------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Bartůšek</u>   | Jméno: <u>Pavel</u> | Osobní číslo: <u>484429</u> |
| Zadávající katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u> |                     |                             |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>                       |                     |                             |
| Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>      |                     |                             |

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

|  |  |
|--|--|
| Název diplomové práce: <u>Zimní stadion</u>  |  |
| Název diplomové práce anglicky: <u>Ice-hockey sports hall</u>  |  |
| Pokyny pro vypracování:<br>Návrh nosné ocelové konstrukce haly s vnějším obloukem podporujícím konstrukci střechy. V konstrukci budou navrženy hlavní prvky a vybrané detaily. Stručná technická zpráva. Výkresová dokumentace (dispozice a navržené detaily). |  |
| Seznam doporučené literatury:<br>Návrh dle platných norem ČSN EN   |  |
| Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Michal Jandera</u>   |  |
| Datum zadání diplomové práce: <u>3.10.2023</u>   | Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2024</u><br><i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i> |
| Podpis vedoucího práce   | Podpis vedoucího katedry   |

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

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

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem moji diplomovou práci vypracoval samostatně, za přispění odborných konzultací a použití uvedených zdrojů a literatury.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne 8. ledna 2024

.....

Pavel Bartůšek

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování prof. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za jeho cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Taktéž bych chtěl poděkovat za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

Velké poděkování patří také panu Ing. Jindřichu Beranovi za jeho rady a dovysvětlení řešené problematiky.

Na závěr bych chtěl vyjádřit velké díky mé rodině a přátelům, kteří mi byli podporou po celou dobu mého studia.

## **Anotace**

Tématem diplomové práce je statické a konstrukční řešení ocelové konstrukce zimního stadionu s vnějším obloukem podporující konstrukci střechy. Jedná se o konstrukci zimního stadionu v Chomutově. Tato práce je rozměry inspirována již existujícím hokejovým stadionem. Rozměry konstrukce jsou přibližně 71,5 m na šířku a délka je 83 m. V úvodu statického posudku bylo vypočteno zatížení a následně řešeny možné konstrukční varianty při zachování původního rázu zadání práce. Následně byla řešena konstrukce střechy, kde byly detailněji rozebrány návrhy prvků včetně podporujícího oblouku a předpjatých táhel. Poté došlo k návrhu a posouzení vybraných prvků svislých konstrukcí, vodorovných konstrukcí, tribun, ztužujících prvků, a nakonec k návrhu vybraných detailů. Závěrem byla zhotovena výkresová dokumentace včetně jednotlivých detailů a sepsána technická zpráva.

**Klíčová slova:** Ocelová konstrukce, hokejový stadion, oblouková konstrukce, zavěšená konstrukce, trubkový vazník

## **Abstract**

The subject of the Diploma thesis is a design of steel load-bearing construction of an ice-hockey sports hall with external an arch supporting the roof construction. It is a construction of an ice-hockey sports hall located in Chomutov. This thesis is inspired by an existing ice-hockey sports hall. Dimension of the construction are approximately 71,5 m in width and 83 m in length. In the introduction of the structural design, load was calculated and possible structural variants were subsequently addressed while maintaining the original character of the thesis assignment. The construction of the roof was subsequently studied. The roof structural elements, where designed, including the exterior supporting arch and post tensioned bars. Selected elements of vertical structures, horizontal structures, stands and bracing elements were also designed. Finally, selected details were designed. A drawing documentation including detailing and technical report was made.

**Keywords:** Steel structure, ice-hockey sports hall, arch structure, suspended structures, tubular truss

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelové konstrukce na zimním stadionu  
Chomutov

### **Technická zpráva**

Autor: Bc. Pavel Bartůšek

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

Praha 2024

# 1 Obecný popis konstrukce

Řešený zimní stadion byl navržen jako částečná kopie již postaveného stadionu v Chomutově. Uvnitř haly bude vytvořena ledová plocha, která je oddilátována od zbylého objektu. Hala byla navržena pro jednu hrací plochu. Rozměry samotné haly činí 71,5 m na šířku a délka haly je 83,0 m (rozměry uvažovány včetně opláštění). Střecha je navržena jako oblouková. V každém směru má jiné vzepětí. V příčném směru je vzepětí střechy 3,5 m a ve směru podélné je to 5,71 m. Výška v nejvyšším bodě střechy je 18,16m (osa ocelové konstrukce). Celá střešní konstrukce je zavěšená pomocí táhel na vnější oblouk, který je pnutý nad halou v podélném směru. Tento oblouk má rozpětí necelých 117 m (od čepu k čepu), dále následuje samotná základová konstrukce. Výška oblouku je v nejvyšším místě 29,2 m (horní povrch oblouku). Konstrukce střešního pláště je tvořena trapézovým plechem a následně skládaným pláštěm. Opláštění stěn je rozděleno na dvě části. Na podélné straně ve spodní části bude proveden prosklený lehký obvodový plášť (vycházeno ze sortimentu firmy JANSEN). Zbylé části budou opláštěny trapézovým plechem, následně bude osazena tepelná izolace a zaklopeno svislým lícovým plechem. Distanci mezi jednotlivými plechy budou tvořit podélné ocelové distanční profily, ke kterým bude lícový plech kotven. V interiéru haly je použito následující rozmístění. Dvě podélné tribuny a dvě příčné, pod kterými se nachází zázemí a šatny. V každém rohu haly je pak věž, kde je také umístěno zázemí a prostory pro diváky.

## 2 Nosná konstrukce

### 2.1 Zastřešení haly

#### 2.1.1 Oblouk

Oblouková konstrukce je situována na podélné ose objektu. Na tento oblouk jsou zavěšeny vazníky pomocí táhel. Oblouk je navržen z ocelové trubky TR 1016x30 mm z oceli třídy S355J0. Oblouk má rozpětí necelých 117 m (od čepu k čepu), dále následuje samotná základová konstrukce. Výška oblouku je v nejvyšším místě 29,2 m (horní povrch oblouku). Na obou koncích je oblouk zakončen čepovým spojem. Zajištění vodorovných sil je uvažováno pomocí železobetonového předpjatého táhla, případně ocelového táhla, které bude součástí železobetonového prvku situovaného pod stadionem. Oblouk bude ve spodní části uzavřen plechem, aby bylo zamezeno přístupu dovnitř konstrukce oblouku, nutno však zajistit otvory pro případný odtok kondenzátu.



### **2.1.2 Táhla**

Táhla jsou navržena systémová od firmy Macalloy. Táhla jsou vyrobena z oceli třídy S460. Na objektu jsou navržena táhla dvou průměrů. Táhla průměru 52 mm jsou použita k zavěšení vazníků a táhla průměru 45 mm jsou použita pro stabilizaci oblouku u štítu budovy. Označení dle výrobce je M56 pro průměr tyče 52 mm a M48 pro průměr tyče 42 mm.

Táhla M48 jsou připevněna k oblouku pomocí styčnickového plechu a ve spodní části jsou ukotvena do základové konstrukce. Táhla M56 jsou k oblouku i k vazníku připevněna pomocí styčnickového plechu. Veškeré prvky pro připevnění (koncovky, čepy, plechy a doplňky) jsou převzaty z technického listu výrobce.

### **2.1.3 Vazníky**

Vazníky tvoří hlavní nosné prvky střešní konstrukce. Vazníky jsou ze svařovaných kruhových trubek, které jsou uloženy ve vzdálenosti nejčastěji 6,575 m, v krajních částech je tento rozměr větší. Konstrukční výška vazníků je 2 m a jsou vyrobeny z oceli S355JR. Vazníky jsou zde v šesti provedeních, které se liší místem připevnění táhla a celkovým rozponem vazníků. Horní pás vazníků tvoří kruhová trubka TR 219x9 mm, spodní pás je tvořen kruhovými trubkami TR 219x9 mm a trubkami TR 178x 8 mm. Výplňové pruty tvoří svislice a diagonály. Svislice jsou umísťovány po zhruba 3 m a jsou z kruhových trubek TR 60,3x4 mm a TR 89x5 mm. Diagonály jsou z kruhových trubek TR 102x5 mm a TR 152x5,3 mm. Vazníky jsou rozděleny do šesti montážních celků s délkami okolo 12 m.

### **2.1.4 Svislá střešní ztužidla**

Svislá střešní ztužidla jsou navržena z kruhových trubek. Ztužidlo tvoří celý svařenec s horním pásem a dvěma profily výplňových trubek. Svislá ztužidla mají konstrukční výšku 2 m a v konstrukci jsou po osových vzdálenostech přibližně 5,9 m. Jednotlivé svařence ztužidel budou šroubovány k hornímu a dolnímu pásu pomocí styčnickového plechu.

### **2.1.5 Ztužidla střešní vodorovná**

Ztužidla jsou rozdělena do vnitřní a krajní části. Krajní část je tvořena křížovými ztužidly z kruhových trubek TR 159x6,3 mm. Vnitřní část ztužení je tvořena kříži přes dvě pole. Prvek tvořící ztužidlo je z kruhové trubky TR 219x8 mm.

### **2.1.6 Střešní plášť**

Střešní plášť tvoří nosný trapézový plech TR 206/375 tl. 1,25 mm pro krajní řady plechů a trapézový plech TR 206/375 tl. 1,00 mm pro vnitřní řady plechů. Trapézové plechy působí jako prostý nosník a jsou pnuty z vazníku na vazník. Na trapézovém plechu bude následně nalepena tepelná izolace Foamglas s upraveným povrchem pro natavení asfaltových pásů. Hydroizolaci bude tvořit dvojice asfaltových modifikovaných pásů.

## **2.2 Stěny**

### **2.2.1 Sloupy**

Všechny sloupy mají kloubovou patku a vodorovná tuhost konstrukce je zajištěna stěnovými ztužidly, střešními ztužidly, tribunovými nosníky a v určitých částech i tuhosti stropní roviny. Tribunové nosníky tvoří podporu sloupů ve směru tribunového nosníku. Sloupy jsou navzájem propojeny pomocí dalších prvků. Pro příčný štít jsou to krajní nosníky stropní konstrukce a dále nosníky pro přenos zatížení od opláštění. V podélné obvodové stěně je to v horní části podobné, zde se do ztužení zapojují i železobetonové prefabrikáty. Sloupy příčného štítu jsou z profilu HEA 140, rohové sloupy a vnější sloupy podélné stěny jsou ze svařence profilu 2xUPE. Horní část podélné stěny tvoří sloupy z kruhových trubek TR 152x6,3 mm.

### **2.2.2 Stěnová ztužidla**

Stěnová ztužidla v příčné stěně jsou tvořena ocelovými kruhovými trubkami do kříže přes dvě podlaží. Ztužidlo se nachází uprostřed haly, v horní části je na šířku 4 polí, ve spodní části na šířku dvou polí. Uprostřed stěny jsou vjezdové vrata do haly. Ztužidlo je z trubek TR 108x6,3 mm.

Stěnová ztužidla v podélné stěně jsou uprostřed stěny. Jsou tvořena kruhovými trubkami TR 140x5 mm. Šikmý prvek jde vždy od paty sousedního sloupu po hlavu sloupu ve středu.

Hala má dále ztužidla uvnitř dispozice.

## **2.3 Vnitřní dispozice**

### **2.3.1 Ocelobetonové stropy**

V každém rohu stadionu se nachází rohová věž, tyto věže mají dva stropy řešené pomocí spřažené ocelobetonové konstrukce. Poslední strop je tvořen pouze sendvičovými panely pro oddělení vytápěné a nevytápěné zóny. Dále jsou jako ocelobetonové stropy řešeny ochozy a strop nad zázemím pod vedlejší tribunou. Ztracené bednění tvoří trapézový plech TR 50/250 různých tloušťek. Smykové spřažení mezi nosíkem a betonovou deskou tl. 70 mm nad vlnou plechu je tvořeno spřahovacími trny s průměrem dráčky 19 mm z oceli S235J2. Stropnice jsou navrženy profilu IPE 120, IPE 160, IPE 180 a IPE 200.

### **2.3.2 Ocelové stropy**

Poslední strop na věži je tvořen pouze pomocí ocelových stropnic a zaklopen sendvičovým panelem. Stropnice nesoucí tento panel jsou IPE 160 a průvlak tvoří nosník IPE 200.

### **2.3.3 Sloupy**

Sloupy věže jsou z válcovaných profilů HEA. Prostřední sloup má dimenzi HEA 180 a krajní sloupy dimenzi HEA 160.

### **2.3.4 Ztužení**

Věže jsou ztuženy pomocí dvou typů ztužidel. Dále patrné ve statickém výpočtu. První typ je klasické křížové ztužidlo na výšku patra. Druhý typ je upraven a uvolněn prostřední prostor kvůli dveřím.

Ztužidla jsou z kruhových trubek TR 114x4 mm a TR 102x4,5 mm

## **2.4 Tribuny**

### **2.4.1 Hlavní tribuny**

Hlavní tribuny se nacházejí na podélných stranách stadionu mezi rohovými věžemi. Tribuny jsou rozděleny do 12 polí o rozponech 5 m a 3,15 m. Větší rozpory jsou celé vyplněné tribunovými nosníky, užší pole jsou jen z části vyplněné tribunovými nosníky, aby umožnili přístup na tribunu. Tribunové nosníky jsou realizovány ve dvou sklonech a za místem 1. řady sloupů se úhel mění. Statické schéma nosníku je spojitý nosník na celou délku. Montážní styk bude řešen momentovým přípojem. Navržený profil tribuny je HEA 360. Sloupy 1. řady jsou HEA 160 a 2. a 3. řady jsou svařence 2x UPE, obdobně tak 4. řada, která se nachází v exteriéru a již byla zmiňována. Svislé ztužení tribuny je provedeno v 1. a 4. řadě sloupů. Dále je provedeno ztužení v úrovni tribun z kruhových trubek TR 54x3,2 mm, TR 60,3x5 mm a TR 70x3,2 mm. Nosník u vstupu na tribunu je IPE 180.

### **2.4.2 Vedlejší tribuny**

Vedlejší tribuny se nacházejí na příčných stranách stadionu mezi rohovými věžemi. Tribuny jsou rozděleny do 7 polí o různých rozponech dle dispozice. Ve druhém poli vždy od kraje je část lavicových nosníků jen vykonzolována, aby byl umožněn přístup na tribunu. Lavicové nosníky v prostředním poli v dolní části budou provedeny z ocelových profilů a demontovatelné. Toto řešení je pro umožnění příjezdu kamionu do vnitřního prostoru haly. Tribunové nosníky jsou realizovány s jednotným sklonem. Statické schéma nosníku je prostý nosník s převislým koncem. Navržený profil tribuny je HEA 320. Sloupy 1. řady jsou HEA 160 a sloupy druhé řady jsou z profilu HEA 180. Svislé ztužení tribuny je provedeno pomocí křížových ztužidel z kruhových trubek TR 60,3x4 mm. Dále je provedeno ztužení v úrovni tribun také z kruhových trubek TR 70x3,2 mm.

### 3 Údaje o zatížení

Stavba byla navržena na tyto hodnoty zatížení (lokalita – Chomutov):

- sněhová oblast II. =>  $s_k=0,80 \text{ kN/m}^2$  – rovnoměrný

$s_k=0,86 \text{ kN/m}^2$  – nerovnoměrný podélný

$s_k=0,73 \text{ kN/m}^2$  – nerovnoměrný příčný

Hala se nachází ve II. Větrné oblasti. Charakteristická hodnota základní rychlosti větru pro II. oblast je dle ČSN EN 1991-1-4 rovna 25 m/s.

- větrná oblast II. =>  $W_{k,max}=-0,925 \text{ kN/m}^2$  (stěna- oblast A; sání větru)

$W_{k,max}=-0,581 \text{ kN/m}^2$  (střecha- oblast B; sání větru)

Dále bylo na oblouk a táhla uvažováno se zatížením teplotou. Výsledná hodnota rovnoměrného oteplení konstrukce byla stanovena na 43 °C a pro rovnoměrné ochlazení byla stanovena teplota -49 °C. Vlivem nerovnoměrné teploty byla stanovena rozdílová složka teploty pro ocelovou nosnou konstrukci. Nerovnoměrné ochlazení povrchu o 11,7 °C a pro oteplení povrchu o 12,1 °C. Nerovnoměrná teplota byla aplikována pouze na oblouk. Táhla jakožto subtilní prvek byla uvažována pouze s rovnoměrnou teplotou.

Užitné zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 pro vnitřní prostory zimního stadionu bylo uvažováno kategorií zatížení C. Velikost plošného zatížení je 5 kN/m<sup>2</sup>. Tato hodnota byla uvažována v celém prostoru haly mimo tribun. Na tribunách bylo toto zatížení dále zvětšeno o dynamický součinitel rovný 1,6. Pro nepochozí střechu kategorie H, je užitné zatížení menší než zatížení sněhem, a tudíž nebylo uvažováno. Zatížení přemístitelnými příčkami bylo uvažováno 0,8 kN/m<sup>2</sup> pro příčky s vlastní tíhou do 2,0 kN/m a 1,2 kN/m<sup>2</sup> pro příčky s vlastní tíhou do 3,0 kN/m.

Není uvažováno se zatížením od zábradlí, které bude umístěno na konci příčné tribuny.

Stálé zatížení:

- skladba opláštění =>  $g_k=0,46 \text{ kN/m}^2$

- skladba střešní konstrukce =>  $g_k=0,85 \text{ kN/m}^2$

- skladba stropu nad 1.NP a 2.NP =>  $g_k=3,525 \text{ kN/m}^2$

- skladba stropu ochozů podélných =>  $g_k=2,325 \text{ kN/m}^2$

- lavicové nosníky podélný směr =>  $g_k=3,600 \text{ kN/m}^2$

- lavicové nosníky příčný směr =>  $g_k=4,581 \text{ kN/m}^2$

- zatížení multimediální kostkou =>  $G_k=100 \text{ kN}$  (10 tun celkově)

Zatížení předpětím:

Velikost předpětí táhel byla definována ve statickém výpočtu. Síly pro předpětí jsou 150 kN pro táhla stabilizující a 75 kN pro táhla střešní. Předpětí bude do konstrukce vnášeno podle předpínacího plánu. Tento plán v rámci diplomové práce není řešen.

Zatížení seismicitou:

Konstrukce nebyla posuzována na zatížení od seismicity. Hala se nachází v seismické oblasti s hodnotou 0,03g

## 4 Použité materiály

Pro nosné ocelové prvky (tj. sloupy, vazníky, styčnickové plechy apod.) bude použita ocel **S355 JR** do tloušťky 35 mm, což splňují prvky vnitřních konstrukcí haly. Pro vnější oblouk a plechy přípojů čepů bude použita ocel s vyšším stupeň jakosti **S355JO**. Ocelová táhla jsou z oceli **S460**. Čep oblouku bude minimálně z materiálu **S420JO**.

Kvalita oceli pro trapézové plechy je **S320 GD**.

Pevnostní třída šroubů **8.8**

Pro ocelobetonové stropy bude použit beton třídy **C25/30**.

Pro základové konstrukce je uvažován beton **C20/25**.

## 5 Výroba ocelové konstrukce

Třída provedení konstrukce byla stanovena dle ČSN EN 1090-2: Technické požadavky pro ocelové konstrukce. Obdobně lze nalézt v ČSN EN 1993-1-1.

Byla stanovena:

- třída následků **CC3** (velké následky s ohledem na ztráty životů nebo významné ztráty ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí)
- kategorie použitelnosti **SC1** (konstrukce a komponenty navržené jen pro kvazistatické zatížení např. budovy; konstrukce a komponenty v oblasti s nízkou seismickou aktivitou; konstrukce posuzované na únavu od jeřábů)
- kategorie provádění **PC2** (Svařované dílce vyrobené z výrobků z oceli S355 a vyšší pevnostní třídy)

⇒ **Výsledná třída provedení** byla stanovena jako **EXC3**. Požadavky na provádění viz. příloha A výše uvedené normy.

# 6 Montáž ocelové konstrukce

## 6.1 Vnitřní dispozice a štíty

Po provedení všech základových konstrukcí bude možné zahájit montáž samotné ocelové konstrukce. Montáž začne vždy kotvením sloupů, a to od rohových věží, kde se nachází ztužidla v obou směrech. Po přikotvení prvního sloupu se bude pokračovat s dalším. Vždy postupovat tak, že po přikotvení dalšího sloupu k patní desce (musí být v ten moment podepřen proti vybočení k oběma osám) bude následně pomocí trubek, průvlaků nebo stropnic připojen k sousednímu sloupu. Obdobným způsobem se provede kotvení sloupů vedlejší tribuny, které jsou koncipovány jako samostatný tuhý celek. Při montáži podélně tribuny se nejprve přikotví všechny ocelové sloupy a následně se zajistí proti vybočení k oběma osám. Provede se montáž nosníků ochozů. Následně je možné uložit na sloupy tribunový nosník. Po připevnění druhého tribunového nosníku se provede stěnové ztužení v 1.řadě sloupů. Obdobně bude postupováno s dalšími nosníky. Rohové věže se budou stavět po jednotlivých patrech, nosné sloupy jdou však přes celou výšku. Po osazení všech stropnic a průvlaků se osadí na všechny ocelobetonové konstrukce trapézový plech, který bude k nosníkům připevněn skrze spřahující prvek. Poté dojde k zalití betonem a po vytvrdnutí betonu vznikne tuhá stropní rovina. U nosníků, které jsou uvažovány pouze jako ocelové a trapézové plechy nejsou spojeny spřahujícím prvkem, bude trapézový plech připevněn k nosníkům pomocí samořezných šroubů. V momentu betonáže nemusí být stropnice ani průvlaky podpírané, je však stále nutné zajistit vodorovnou stabilitu, dokud nevytverdne beton a nevnikne tuhá stropní rovina. Obdobně se bude takto postupovat s dalšími patry. Na tribunové nosníky podélně tribuny bude provedeno osazení lavicových nosníků. Ve svém vrcholu budou zakončeny železobetonovými průvlakami. Na tyto průvlakky budou přikotveny sloupy z kruhových trubek vynášející vazníky střechy.

## 6.2 Střešní konstrukce

Po montáži veškerých sloupů na obvodu haly bude možné začít s montáží střešní konstrukce. Jako první bude zhotoven oblouk z navzájem spojených přímých segmentů. Oblouk je nutné vzhledem k jeho uložení stabilizovat proti vybočení z jeho roviny do chvíle, kdy bude ukončeno vnášení předpětí do ocelových táhel, které budou oblouk stabilizovat. Po dokončení oblouku se začne s montáží vazníků. Jako první se provedou

veškeré montážní přípoje vazníků. Následně se celý vazník zvedne pomocí jeřábu do určené polohy a uloží na sloupy haly. Poté bude připojen pomocí táhel k oblouku. Po celou tuto dobu musí být vazník stabilizován jeřábem. Následně bude provedena montáž dalšího vazníku a provedeno ztužení. Postupovat se bude od středu k okrajům haly. Ztužení mezi vazníky bude provedeno jak ve svislé, tak i vodorovné rovině. Tím se vytvoří prostorově tuhá konstrukce, ke které se následně budou přes ztužidla připevňovat další vazníky. Po osazení všech vazníků a ztužidel se přejde k předpínání táhel. Předpínat se bude podle předem stanoveného předpínacího plánu, ze kterého bude patrný postup předpínání jednotlivých táhel a jejich vzájemné ovlivňování. Po aktivaci všech táhel na určenou hodnotu předpětí bude možné zahájit pokládku trapezových plechů a vytvářet skladbu střešní konstrukce.

## 7 Ochrana proti korozi

Veškeré vnitřní ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru budovy, kde se nenachází agresivní prostředí. Nachází se zde pouze vyšší vlhkost vzhledem k hale ( $\phi_{ai} = 70\%$ ). Exteriérové prvky

Protikorozi ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944

- Stupeň korozní agresivity: C2 – nízká (vnitřní prostory sportovní haly)
- Stupeň korozní agresivity: C3 – střední (městské ovzduší s mírným znečištěním SO<sub>2</sub>)
- Předpokládaná životnost: Velmi vysoká (VH) – více jak 25 let
- Příprava povrchu: Sa 2<sup>1/2</sup> – otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek
- Zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.
- Požadovaná tloušťka suchého povlaku nátěru interiérových prvků:  
2x100 μm = 200 μm pro akrylátové nátěrové hmoty, případně  
1x160 μm = 160 μm pro polyuretanové nátěrové hmoty
- Požadovaná tloušťka suchého povlaku nátěru exteriérových prvků:  
2x120 μm = 240 μm pro akrylátové nátěrové hmoty, případně  
2x120 μm = 240 μm pro polyuretanové nátěrové hmoty

Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2x základním nátěrem a 1-2x vrchním nátěrem. V místech montážních svarů bude nátěr vynechán a následně dodělán po provedení svarů.



## 8 Ochrana proti požáru

V tomto stupni dokumentace nebyla v rámci diplomové práce řešena, ale je nutné výpočtem dále posoudit, případně provést protipožární nátěr, či obložení prvků.

## 9 Použité normy

### Klimatická data:

Mapa sněhových oblastí – příloha ČSN EN 1991-1-3 (rok vydání 2005)

Mapa větrových oblastí na území ČR – ČSN EN 1991-1-4 (rok vydání 2007)

Mapa teplotních oblastí – příloha ČSN EN 1991-1-5 (rok vydání 2005)

### Normy:

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (rok vydání 2004)

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1 až 1-5: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, zatížení sněhem a větrem, teplotou)

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn (rok vydání 200 )

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-10 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-11 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků (rok vydání 2008)

# 10 Použitý software

SCIA Enginner 22 (verze 22.00.0000) – aplikace pro návrh, výpočty a posudky konstrukcí)

LTbeamN (verze 1.0.3) – aplikace pro výpočet kritického momentu

Microsoft Office Excel – tabulkový výpočetní software

AutoCad 2021 – aplikace pro výkresovou dokumentaci

FiXperience 2.94.483.9

– aplikace pro návrh kotev od firmy Fischer International s.r.o.:

Drží v díře - jako zvíře! Hmoždinky fischer. [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022].

Dostupné z: <https://www.fischer-cz.cz/cs-cz/>

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelové konstrukce na zimním stadionu  
Chomutov

### **Statický výpočet**

Autor: Bc. Pavel Bartůšek

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

Praha 2024

## Obsah:

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Zatížení</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Sníh   | 1         |
| 1.2      | Vítr   | 4         |
| 1.2.1    | Tlak větru na stěny                                | 5         |
| 1.2.2    | Tlak větru na střechu                              | 8         |
| 1.2.3    | Tlak větru na oblouk                               | 10        |
| 1.2.4    | Tlak větru na táhla                                | 11        |
| 1.3      | Teplota  | 12        |
| <b>2</b> | <b>Návrh opláštění</b>                             | <b>14</b> |
| 2.1      | Prosklený LOP                                      | 14        |
| 2.1.1    | Zatřívání průřezu                                  | 16        |
| 2.1.2    | Posouzení schématu č.1                             | 17        |
| 2.1.3    | Posouzení schématu č.2                             | 21        |
| 2.2      | Opláštění ocelových sloupů                         | 25        |
| 2.2.1    | Varianta č.1                                       | 25        |
| 2.2.2    | Varianta č.2                                       | 27        |
|          | Paždík č.1 (paždík u tribuny podélné – tlak větru) | 29        |
|          | Paždík č.2 (paždík u tribuny podélné – sání větru) | 32        |
| 2.3      | Opláštění střechy                                  | 35        |
| 2.3.1    | Návrh krajního plechu:                             | 36        |
| 2.3.2    | Návrh vnitřních plechů:                            | 37        |
| 2.4      | Opláštění střechy věží                             | 38        |
| <b>3</b> | <b>Zatěžovací stavy a kombinace zatížení</b>       | <b>39</b> |
| 3.1      | Zatěžovací stavy                                   | 39        |
| 3.2      | Nelineární kombinace zatížení MSÚ                  | 39        |
| 3.3      | Nelineární kombinace zatížení MSP                  | 44        |
| 3.4      | Stabilitní kombinace                               | 46        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Návrh oblouku</b>                      | <b>47</b> |
| 4.1      | Stanovení vzpěrné délky                   | 47        |
| 4.2      | Vnitřní síly                              | 49        |
| 4.3      | Posouzení maximální normálové síly        | 51        |
| 4.4      | Posouzení maximálního ohybového momentu   | 54        |
| <b>5</b> | <b>Návrh střešních a podpůrných táhel</b> | <b>57</b> |
| 5.1      | Posouzení táhel                           | 58        |
| 5.2      | Deformace táhel                           | 59        |
| <b>6</b> | <b>Návrh střešní konstrukce</b>           | <b>61</b> |
| 6.1      | Návrh vazníků – Mezní stav únosnosti      | 61        |
| 6.1.1    | Horní pás vazníků                         | 61        |
| 6.1.2    | Krajní nosník                             | 65        |
| 6.1.3    | Dolní pás vazníků středová část           | 71        |
| 6.1.4    | Dolní pás vazníků krajní část             | 75        |
| 6.1.5    | Svislice vazníku                          | 79        |
| 6.1.6    | Diagonála vazníku                         | 82        |
| 6.2      | Návrh vazníků MSP                         | 85        |
| 6.3      | Návrh ztužení střechy                     | 86        |
| 6.3.1    | Svislé ztužení                            | 86        |
| 6.3.2    | Vodorovné ztužení                         | 92        |
| <b>7</b> | <b>Návrh rohové věže</b>                  | <b>95</b> |
| 7.1      | Návrh stropu nad 3.NP                     | 95        |
| 7.1.1    | Stropnice                                 | 96        |
| 7.1.2    | Průvlak                                   | 98        |
| 7.2      | Návrh stropu nad 2.NP a 1.NP              | 100       |
| 7.2.1    | Návrh trapézového plechu                  | 101       |
| 7.2.2    | Návrh ocelobetonové stropnice             | 104       |
| 7.2.3    | Návrh ocelové vaznice                     | 110       |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 7.2.4    | Průvlak .....                           | 112        |
| 7.3      | Sloupy věže .....                       | 120        |
| 7.3.1    | Vnitřní sloup věže .....                | 120        |
| 7.3.2    | Krajní sloup věže .....                 | 122        |
| 7.4      | Ztužení věže .....                      | 124        |
| 7.4.1    | Ztužidlo typ A .....                    | 124        |
| 7.4.2    | Ztužidlo typ B .....                    | 126        |
| <b>8</b> | <b>Návrh ochozů tribun .....</b>        | <b>128</b> |
| 8.1      | Ochoz tribuna sever .....               | 128        |
| 8.1.1    | Návrh trapézového plechu .....          | 129        |
| 8.1.2    | Návrh ocelobetonové stropnice S2 .....  | 132        |
| 8.1.3    | Návrh ocelové stropnice S3 .....        | 138        |
| 8.2      | Ochoz tribuna východ .....              | 140        |
| 8.2.1    | Návrh ocelobetonové stropnice S1 .....  | 141        |
| 8.2.2    | Návrh průvlatku P1 .....                | 149        |
| 8.2.3    | Návrh ocelové stropnice .....           | 152        |
| <b>9</b> | <b>Návrh tribun.....</b>                | <b>154</b> |
| 9.1      | Tribuna východ a západ (vedlejší) ..... | 154        |
| 9.1.1    | Návrh tribunového nosníku.....          | 155        |
| 9.1.2    | Návrh sloupů 1. řady .....              | 160        |
| 9.1.3    | Návrh sloupů 2. řady .....              | 162        |
| 9.1.4    | Ztužení tribuny .....                   | 164        |
| 9.2      | Tribuna jih a sever .....               | 168        |
| 9.2.1    | Návrh tribunového nosníku .....         | 169        |
| 9.2.2    | Návrh sloupů 1. řady .....              | 175        |
| 9.2.3    | Návrh sloupů 2. řady .....              | 177        |
| 9.2.4    | Návrh sloupů 3. řady .....              | 182        |
| 9.2.5    | Návrh sloupů 4. řady .....              | 187        |

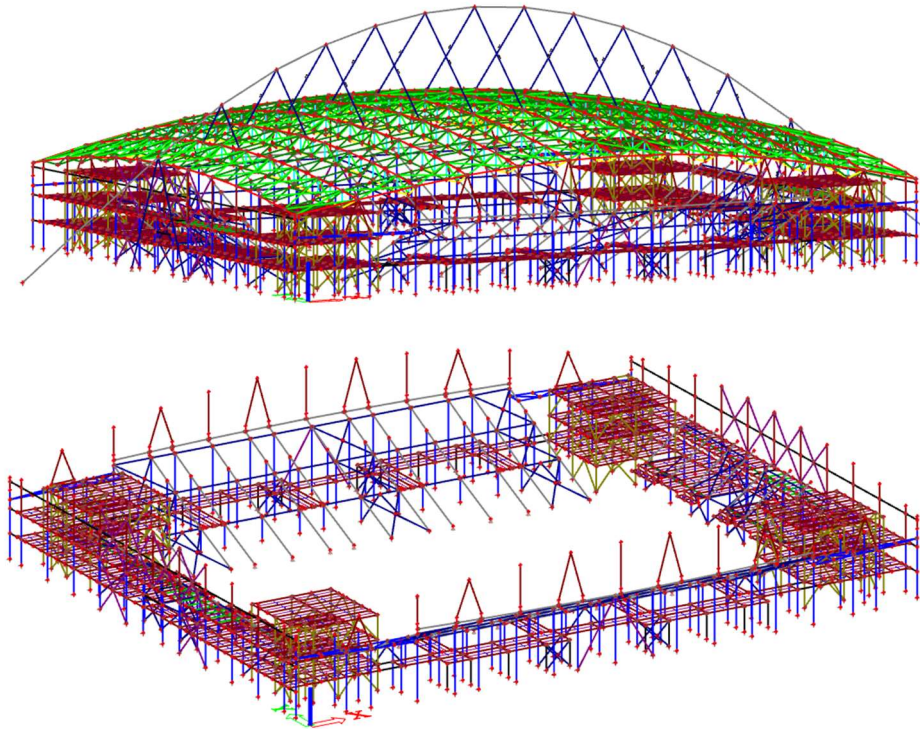
|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 9.2.6     | Ztužení tribuny .....                      | 192        |
| <b>10</b> | <b>Štítová stěna .....</b>                 | <b>205</b> |
| 10.1      | Příčná stěna.....                          | 205        |
| 10.1.1    | Sloupy .....                               | 205        |
| 10.1.2    | Podélné prvky – spodní dvě řady .....      | 212        |
| 10.1.3    | Podélné prvky – horní řada.....            | 216        |
| 10.1.4    | Ztužení štítové stěny .....                | 220        |
| 10.2      | Podélná stěna.....                         | 222        |
| 10.2.1    | Sloupy .....                               | 222        |
| 10.2.2    | Podélný nosník .....                       | 225        |
| <b>11</b> | <b>Návrh jednotlivých detailů .....</b>    | <b>231</b> |
| 11.1      | Přípoj táhla na oblouk .....               | 231        |
| 11.2      | Styčnick vazníku s napojením táhla .....   | 233        |
| 11.2.1    | Připojení táhla k vazníku.....             | 234        |
| 11.2.2    | Připojení svislých ztužidel.....           | 237        |
| 11.2.3    | Připojení vodorovný ztužidel .....         | 241        |
| 11.3      | Návrh čepu oblouku .....                   | 243        |
| 11.4      | Uložení vazníku na sloup .....             | 247        |
| 11.4.1    | Spoj vazník sloup.....                     | 247        |
| 11.4.2    | Napojení trubek na svařenec .....          | 250        |
| 11.5      | Návrh kotvení tribun .....                 | 252        |
| 11.6      | Přípoj sloupu na tribunový nosník .....    | 257        |
| 11.7      | Přípoj ztužidel k tribunovému nosníku..... | 260        |
| 11.8      | Styčnický příhradových vazníků.....        | 264        |
| 11.8.1    | Posouzení styčnicku KT .....               | 264        |
| 11.8.2    | Posouzení styčnicku T .....                | 266        |
| 11.9      | Návrh kotvení sloupku se ztužidlem.....    | 268        |
| 11.10     | Montážní přípoj dolního pásu .....         | 273        |

|  |            |
|--|------------|
| 11.11 Montážní přípoj horního pásu ..... | 275        |
| 11.12 Montážní přípoj diagonál.....      | 277        |
| <b>12 Literatura a zdroje .....</b>      | <b>279</b> |

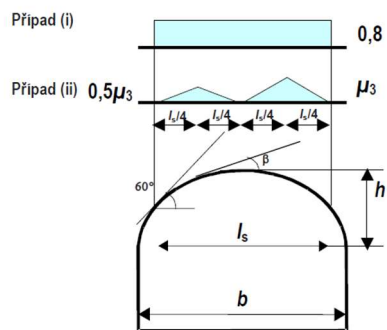


# 1 Zatížení

Lokalita: Chomutov



## 1.1 Sníh



obr. normové sněhové zatížení

Sněhová oblast: II. =>  $s_k = 1,0$  kPa

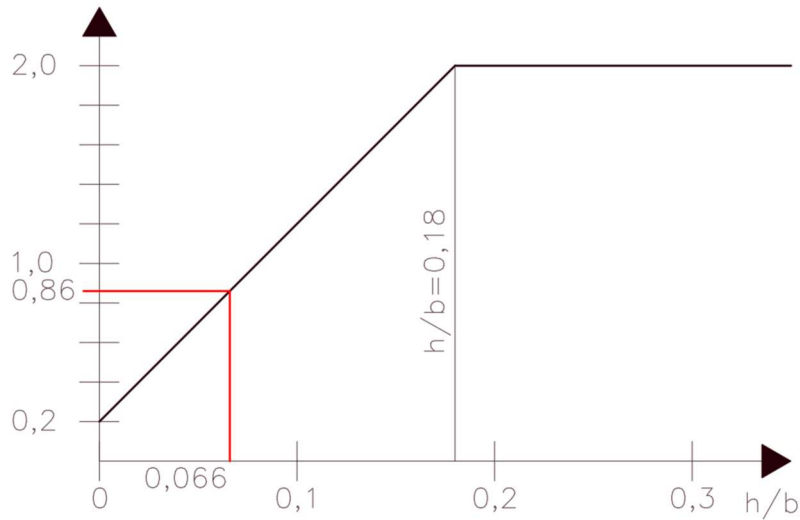
Rovnoměrný sníh:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{0,80 \text{ kN/m}^2}$$

- $\mu_1 = 0,8$  (sklon střechy  $\alpha$ ;  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ )
- $C_e = 1,0$  (krajina normální)
- $C_t = 1,0$  (nedochází k odtávání sněhu vlivem prostupu tepla střechou)

Nerovnoměrný sníh (podélný):

$$h/b = 5,5/83,1 = 0,066$$



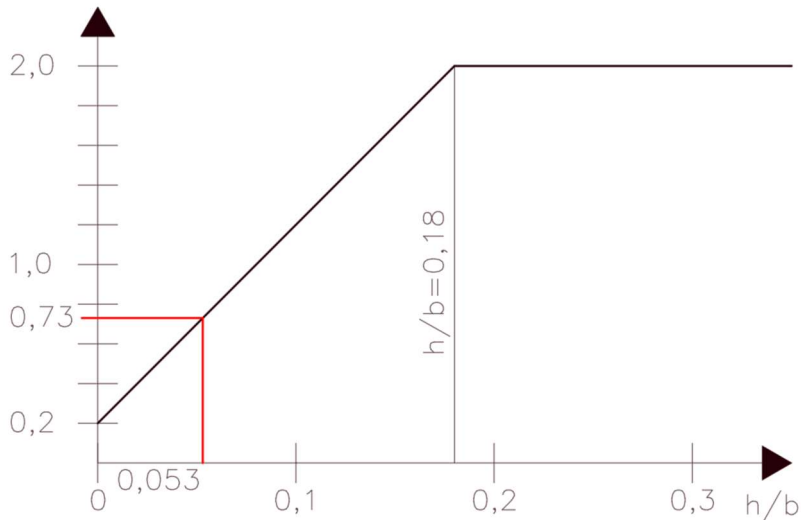
obr. normové hodnota součinitele  $\mu_3$

$$\mu_3 = 0,86$$

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,86 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{0,86 \text{ kN/m}^2}$$

Nerovnoměrný sníh (příčný):

$$h/b = 3,5/6,89 = 0,053$$



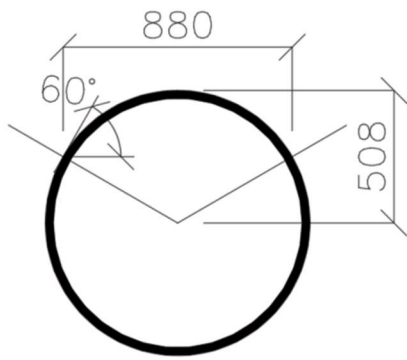
obr. normové hodnota součinitele  $\mu_3$

$$\mu_3 = 0,73$$

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,73 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{0,73 \text{ kN/m}^2}$$

Pro návrh konstrukce bude použit zatěžovací případ 1 a bude doplněn o zatěžovací případ 2 pro příčný směr. Příčný směr v tomto případě není rozhodující.

Zatížení sněhem na oblouk:

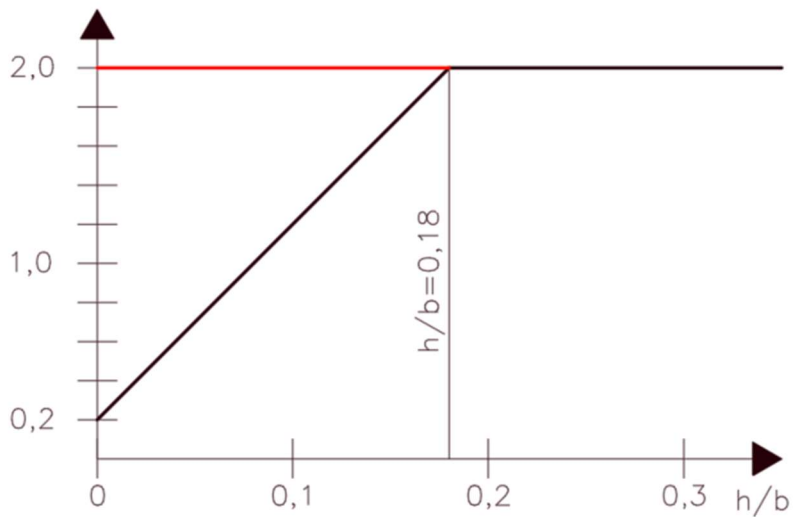


Obr. příčný řez obloukem



Obr. podélné schéma oblouku

$$h/b = 0.508/1.016 = 0,5$$



obr. normové hodnota součinitele  $\mu_3$

$$\mu_3 = 2,0$$

$$s_v = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{2,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_m = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{1,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_{lin,2} = 0,5 \cdot s_v \cdot \frac{b}{2} + 0,5 \cdot s_m \cdot \frac{b}{2} = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 0,44 + 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,44 = \mathbf{0,66 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_{lin,1} = s \cdot b = 0,8 \cdot 0,88 = \mathbf{0,704 \text{ kN/m}^2}$$

Pro oblouk rozhoduje rovnoměrné rozložení sněhu.

## 1.2 Vítr

Větrná oblast II. =>  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{25 \text{ m/s}}$$

- $c_{\text{dir}} = 1,0$  (doporučení normy)
- $c_{\text{season}} = 1,0$  (doporučení normy)

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

- součinitel drsnosti terénu  $c_r(z)$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\circ k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$\quad \bullet z_0 = 0,3 \text{ m (kategorie terénu III.)}$$

$$\quad \bullet z_{0,II} = 0,05 \text{ m (kategorie terénu II.)}$$

$$c_r(13) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{13}{0,3}\right) = 0,810$$

$$c_r(15) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{7,85}{0,3}\right) = 0,841$$

$$c_r(18,5) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{18,5}{0,3}\right) = 0,886$$

$$c_r(29) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{29}{0,3}\right) = 0,983$$

- součinitel orografie  $c_o(z) = 1,0$

$$v_m(13) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,810 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{20,250 \text{ m/s}}$$

$$v_m(15) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,841 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{21,025 \text{ m/s}}$$

$$v_m(18,5) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,886 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{22,150 \text{ m/s}}$$

$$v_m(29) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,983 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{24,575 \text{ m/s}}$$

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

- součinitel turbulence  $k_I = 1,0$

$$I_v(13) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(13/0,3)} = 0,265$$

$$I_v(15) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(15/0,3)} = 0,256$$

$$I_v(18,5) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(18,5/0,3)} = 0,243$$

$$I_v(29) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(29/0,3)} = 0,219$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

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

$$q_p(13) = [1 + 7 \cdot 0,265] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,250^2 = \mathbf{0,732 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_p(15) = [1 + 7 \cdot 0,256] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,025^2 = \mathbf{0,771 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_p(18,5) = [1 + 7 \cdot 0,243] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,150^2 = \mathbf{0,828 \text{ kN/m}^2}$$

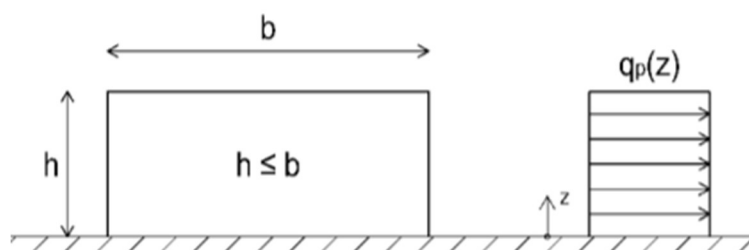
$$q_p(29) = [1 + 7 \cdot 0,219] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 24,575^2 = \mathbf{0,956 \text{ kN/m}^2}$$

Tlak větru na povrchy:

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

### 1.2.1 Tlak větru na stěny

Výška budovy ( $h$ ) je pro podélný i příčný směr větru menší než šířka budovy ( $b$ ). Z toho důvodu je závislost dynamického tlaku po výšce budovy konstantní.



Obr. rozložení větru po výšce budovy



### Příčný směr větru

$b = 83,14 \text{ m}$ ;  $d = 65,89 \text{ m}$ ;  $h = 15 \text{ m}$

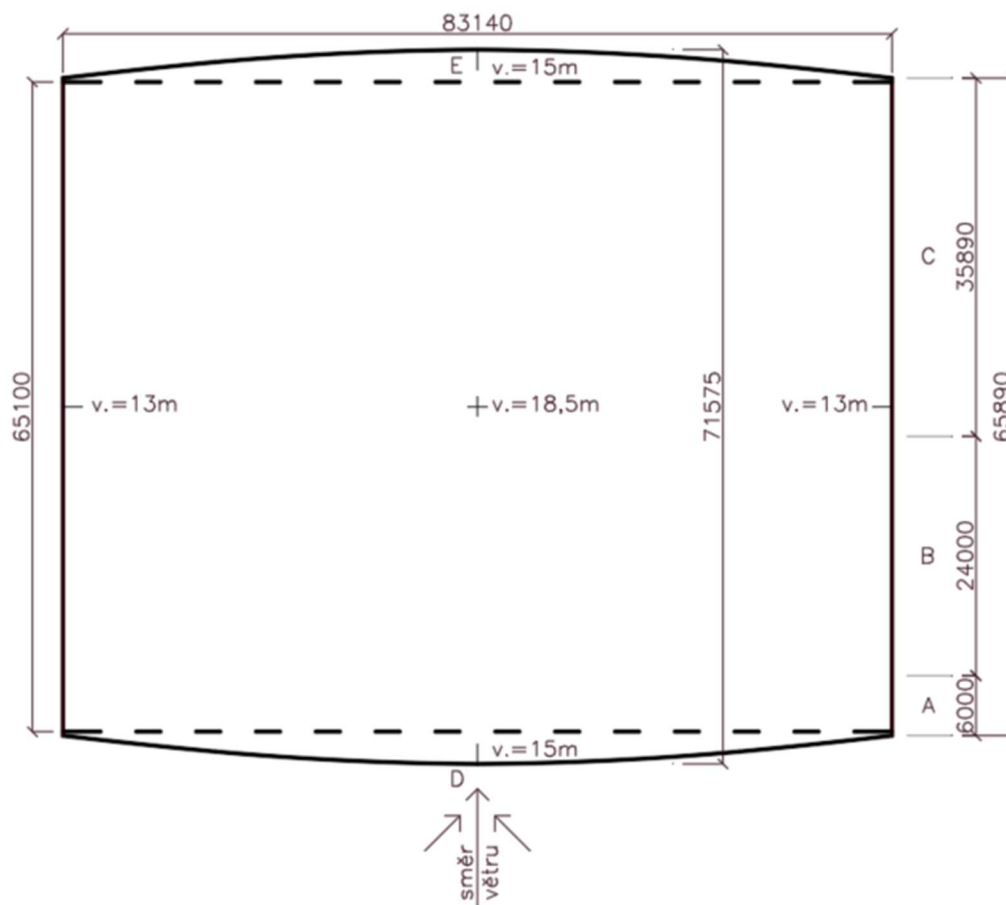
$e = \min(b; 2h) = \min(83,14; 2 \cdot 15) = \min(83,14; 30) = \mathbf{30,0 \text{ m}}$

### Oblasti:

$A = e/5 = 30/5 = 6,0 \text{ m} = 6000 \text{ mm}$

$B = 4/5e = 4/5 \cdot 30 = 24,0 \text{ m} = 24000 \text{ mm}$

$C = d - e = 65,89 - 24 = 41,59 \text{ m} = 41890 \text{ mm}$



$15/65,89 = 0,228$

| Oblast                            | A      | B      | C      | D     | E      |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| $c_{pe,10}$                       | -1,2   | -0,8   | -0,5   | 0,7   | -0,3   |
| $w_e(13) \text{ [kN/m}^2\text{]}$ | -0,878 | -0,586 | -0,366 | 0,512 | -0,220 |
| $w_e(15) \text{ [kN/m}^2\text{]}$ | -0,925 | -0,617 | -0,386 | 0,540 | -0,231 |

## 1.2.2 Tlak větru na střechu

Výpočet bude proveden pro klenbovou střechu.

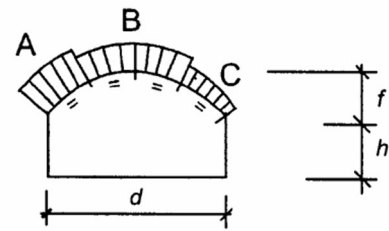
### Podélný směr větru

$l = 65,89 \text{ m}$ ;  $d = 83,1 \text{ m}$ ;  $h = 13,0 \text{ m}$ ;  $f = 5,5 \text{ m}$

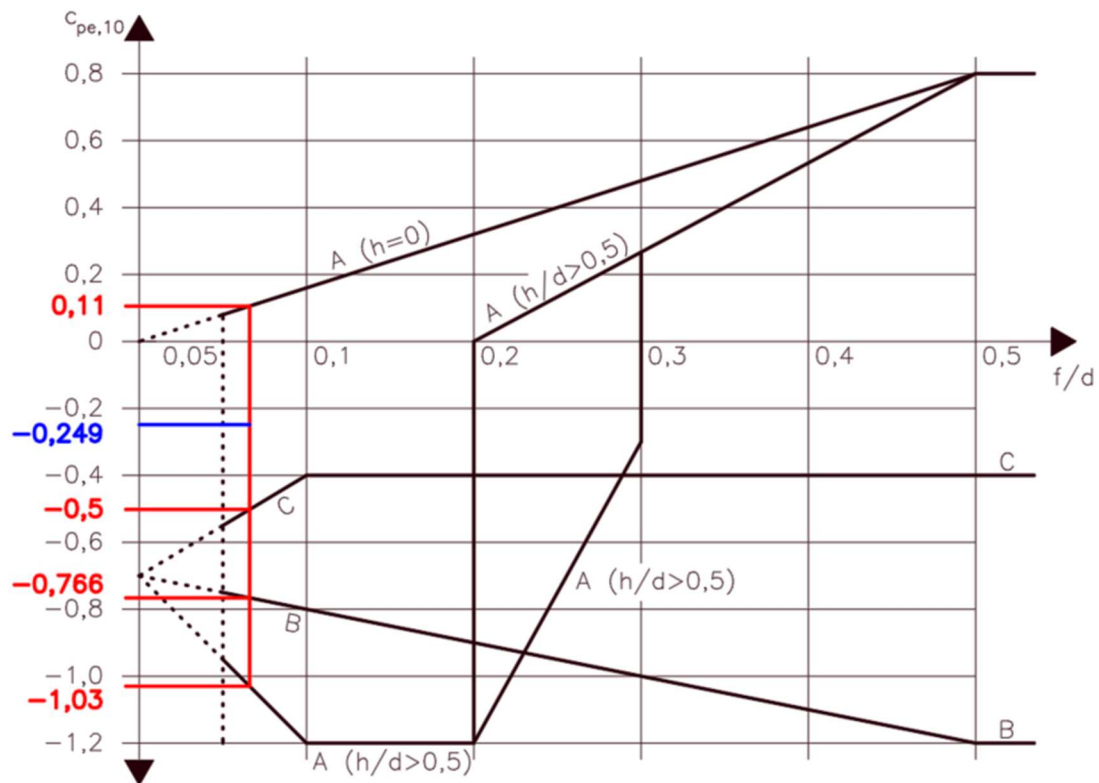
### Poměry:

$h/d = 13/83,1 = 0,156$

$f/d = 5,5/83,1 = 0,066$



obr. rozložení zón pro vítr



obr. normové hodnoty tlaků na klenbové střechy

| Oblast                            | A       | B      | C      |
|-----------------------------------|---------|--------|--------|
| $c_{pe,10}$                       | -0,249  | -0,766 | -0,5   |
| $w_e(13) \text{ [kN/m}^2\text{]}$ | -0,1823 | -0,561 | -0,366 |



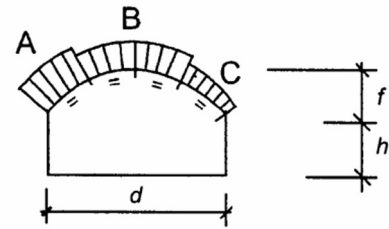
**Příčný směr větru**

$l = 83,1 \text{ m}$ ;  $d = 65,89 \text{ m}$ ;  $h = 15,0 \text{ m}$ ;  $f = 3,5 \text{ m}$

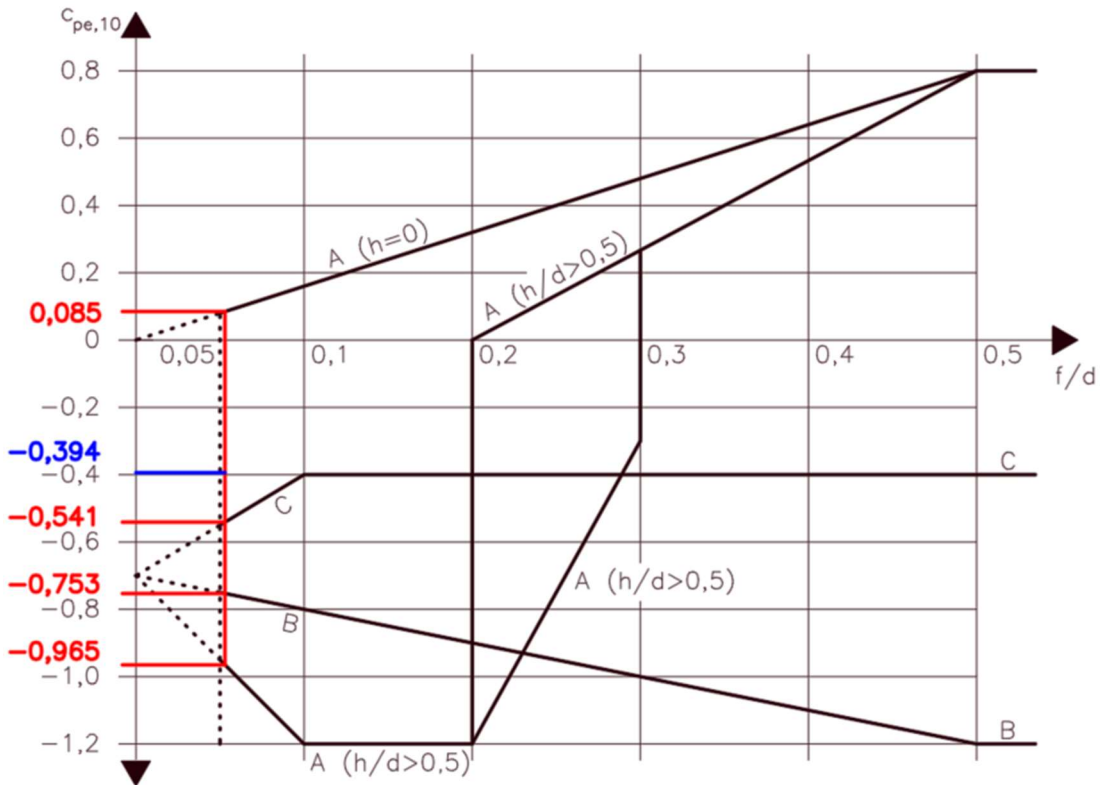
Poměry:

$h/d = 15/65,89 = 0,228$

$f/d = 3,5/65,89 = 0,053$



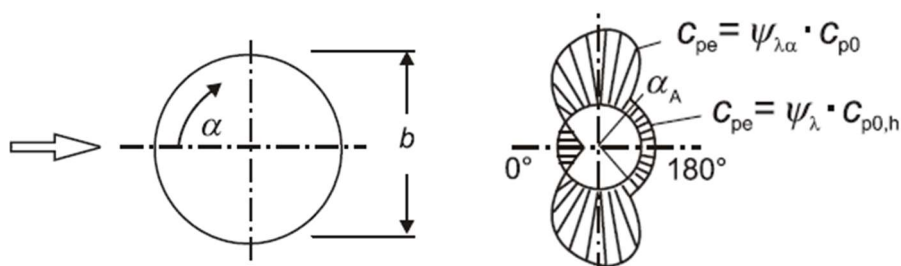
obr. rozložení zón pro vítr



obr. normové hodnoty tlaků na klenbové střechy

| Oblast                            | A      | B      | C      |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| $c_{pe,10}$                       | -0,394 | -0,753 | -0,541 |
| $w_e(15) \text{ [kN/m}^2\text{]}$ | -0,304 | -0,581 | -0,417 |

### 1.2.3 Tlak větru na oblouk



Maximální dynamický tlak:  $q_p(29) = 0,956 \text{ kN/m}^2$

Dynamický tlak na úrovni atiky:  $q_p(15) = 0,771 \text{ kN/m}^2$

Průměr oblouku:  $b = 1,016 \text{ m}$

Kinematická viskozita vzduchu:  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Maximální rychlost větru:

$$v(z) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 956}{1,25}} = 39,11 \text{ m/s}$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{b \cdot v(z)}{\nu} = \frac{1,016 \cdot 39,11}{15 \cdot 10^{-6}} = 2,65 \cdot 10^6$$

Povrch konstrukce: **Lesklá ocel**

Ekvivalentní drsnost:  $k = 0,05 \text{ mm}$

Součinitel síly:

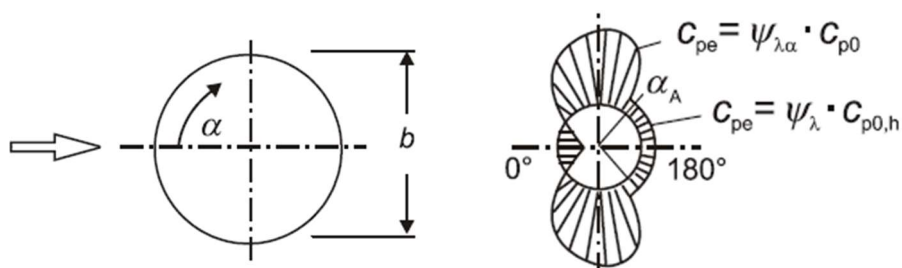
$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log\left(10 \cdot \frac{k}{b}\right)}{1 + 0,4 \cdot \log(Re/10^6)} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log\left(10 \cdot \frac{0,05}{1016}\right)}{1 + 0,4 \cdot \log(2,65 \cdot 10^6/10^6)} = 0,691$$

Liniové zatížení:

$$f_{lin} = c_{f,0} \cdot q_p(29) \cdot b = 0,691 \cdot 0,956 \cdot 1,016 = 0,671 \text{ kN/m}$$

$$f_{lin} = c_{f,0} \cdot q_p(15) \cdot b = 0,691 \cdot 0,771 \cdot 1,016 = 0,541 \text{ kN/m}$$

## 1.2.4 Tlak větru na táhla



Maximální dynamický tlak:  $q_p(29) = 0,956 \text{ kN/m}^2$

Průměr táhla:  $b = 0,052 \text{ m}$

Kinematická viskozita vzduchu:  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Maximální rychlost větru:

$$v(z) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 956}{1,25}} = 39,11 \text{ m/s}$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{b \cdot v(z)}{\nu} = \frac{0,052 \cdot 39,11}{15 \cdot 10^{-6}} = 0,136 \cdot 10^6$$

Povrch konstrukce: **Lesklá ocel**

Ekvivalentní drsnost:  $k = 0,05 \text{ mm}$

Součinitel síly:

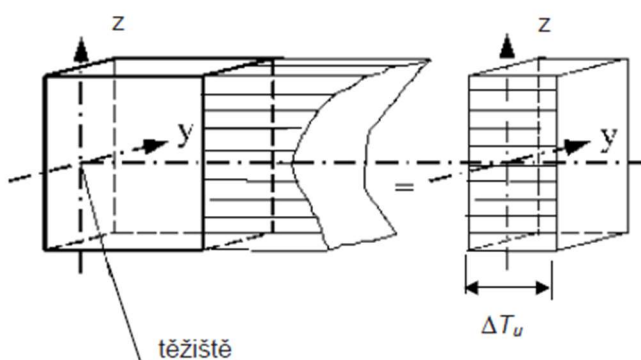
$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log\left(10 \cdot \frac{k}{b}\right)}{1 + 0,4 \cdot \log(Re/10^6)} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log\left(1 \cdot \frac{0,05}{52}\right)}{1 + 0,4 \cdot \log(0,136 \cdot 10^6/10^6)} = 0,644$$

Liniové zatížení:

$$f_{lin} = c_{f,0} \cdot q_p(29) \cdot b = 0,644 \cdot 0,956 \cdot 0,052 = 0,032 \text{ kN/m}$$

## 1.3 Teplota

### Rovnoměrná složka teploty



Výchozí teplota konstrukce:

$$T_0 = 15 \text{ °C}$$

Povrch konstrukce:

jasně světlý

Orientace oblouku:

jihozápad

Orientace táhel:

jih

Hodnota maximální teploty vzduchu:

$$T_{\max} = 40 \text{ °C}$$

Hodnota minimální teploty vzduchu:

$$T_{\min} = -34 \text{ °C}$$

Teplota vnějšího prostředí:

- vliv slunečního záření

$$T_{\text{sh}} = 18 \text{ °C}$$

- teplota v letním období

$$T_{\text{out}} = 58 \text{ °C}$$

- teplota v zimním období

$$T_{\text{out}} = -34 \text{ °C}$$

Rovnoměrná složka teploty:

- teplota v letním období

$$\Delta T_u = T_{\text{out}} - T_0$$

$$\Delta T_u = 58 - 15 = 43 \text{ °C}$$

- teplota v zimním období

$$\Delta T_u = -T_0 + T_{\text{out}}$$

$$\Delta T_u = -15 + (-34) = -49 \text{ °C}$$

Rovnoměrné **oteplení** konstrukce činí **43 °C** a rovnoměrné **ochlazení** **-49 °C**

### Nerovnoměrná složka teploty

Použit bude Postup 1 dle ČSN EN 1995-1-5 kapitola 6.1.4.1

Konstrukce 1. typu: ocelová nosná konstrukce

Horní povrch konstrukce teplejší:  $\Delta T_{M,heat} = 18 \text{ °C}$

$$k_{sur} = 0,7$$

Dolní povrch konstrukce teplejší:  $\Delta T_{M,cool} = 13 \text{ °C}$

$$k_{sur} = 0,9$$

Koeficienty:  $\omega_N = 0,35$

$$\omega_M = 0,75$$

Výsledná lineární složka teploty pro konstrukci bez svršku:

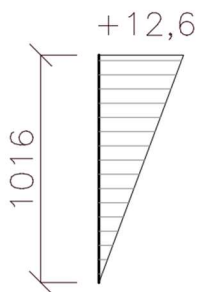
1) Oteplení horního povrchu:

$$\Delta T_M = \Delta T_{M,heat} \cdot k_{sur} = 18 \cdot 0,7 = 12,6 \text{ °C}$$

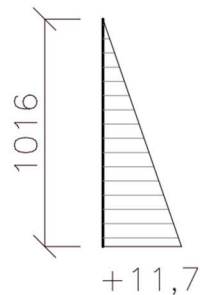
2) Oteplení dolního povrchu:

$$\Delta T_M = \Delta T_{M,cool} \cdot k_{sur} = 13 \cdot 0,9 = 11,7 \text{ °C}$$

Výsledné hodnoty průběhu teplotního gradientu v oblouku:



Obr. horní povrch teplejší než spodní



Obr. dolní povrch teplejší než horní

Uvažované kombinace pro posudek namáhání

1. kombinace:  $\Delta T_M + \omega_N \cdot \Delta T_u$

2. kombinace:  $\omega_M \cdot \Delta T_M + \Delta T_u$

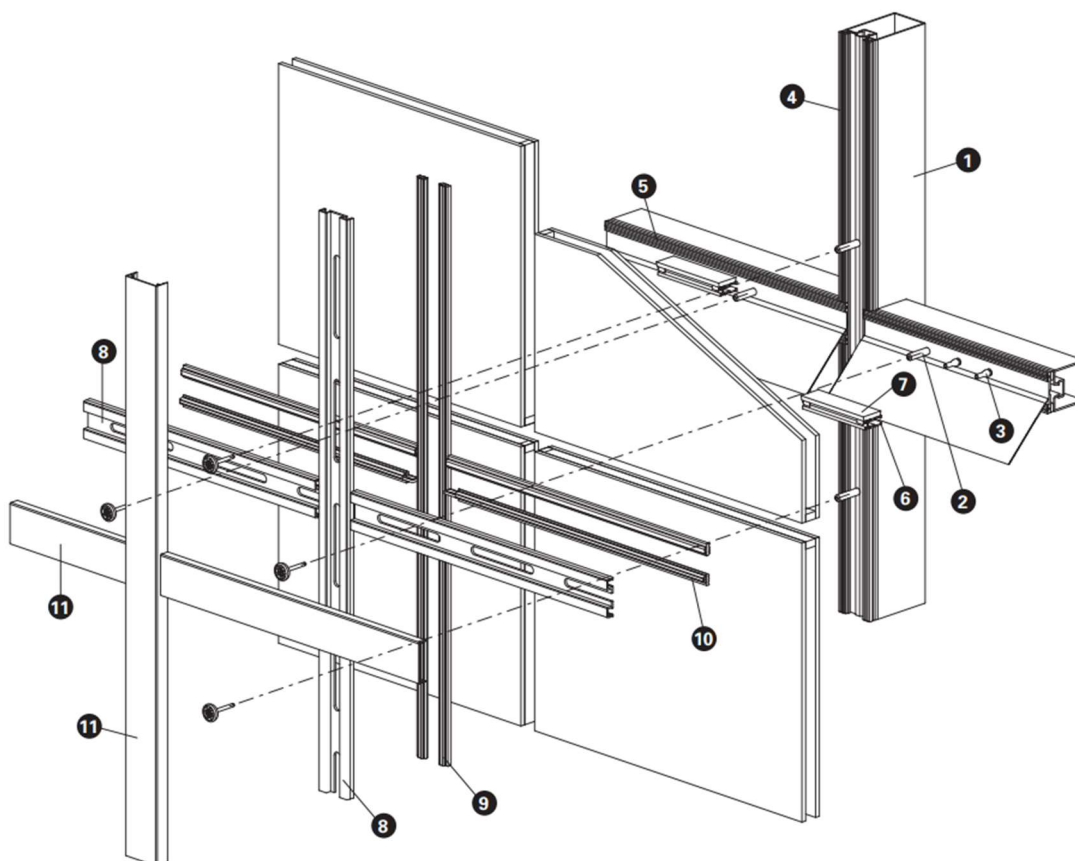
## 2 Návrh opláštění

Návrh opláštění bude rozdělen do čtyř částí. První část budou tvořit nosníky proskleného LOP v dolních částech objektu. Druhou část tvoří návrh opláštění ocelových sloupů podírající střešní konstrukci. Třetí částí bude dořešení opláštění pro železobetonové stěny v návaznosti na opláštění sloupů. V poslední části bude navržen střešní plášť.

### 2.1 Prosklený LOP

Pro návrh opláštění bude použit systém od firmy Jansen VISS I<sub>x</sub>tra.

Sloupky budou ocelové svařované z jednotlivých plechů.



DocuCentrum - JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily.JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily [online]. Copyright © JANSEN [cit. 15.03.2023]. Dostupné z: <https://www.jansencz.cz/docu-centrum/46-navody-pro-vyrobu-a-montaz>

Návrh hmotnosti skleněných výplní bude proveden odhadem jako  $0,6 \text{ kN/m}^2$ . Skleněné výplně jsou dle schématu podpírané vždy při spodní hraně skel. Hmotnost skleněných tabulí bude vždy započtena v místě příčniku. Zatížení větrem bude uvažováno jako rovnoměrné spojité zatížení po výšce sloupku. Intenzita zatížení větrem vychází z jeho zatěžovací plochy. Na každé straně haly bude posouzen sloupek s největší zatěžovací plochou a rozdílnou délkou.

Schéma č.1

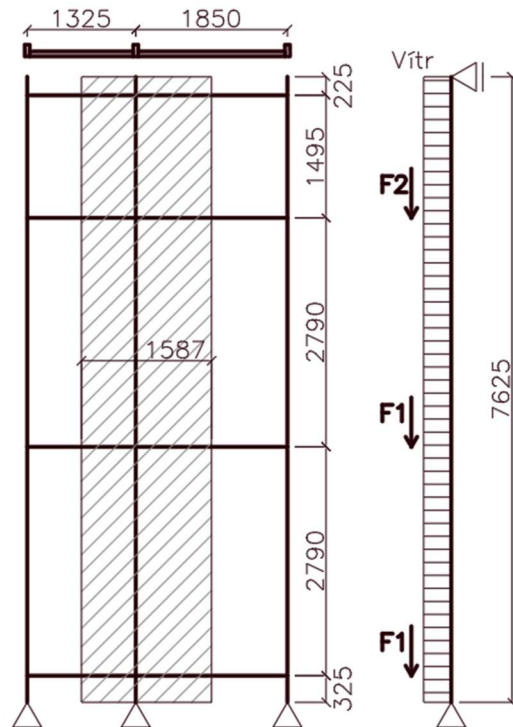
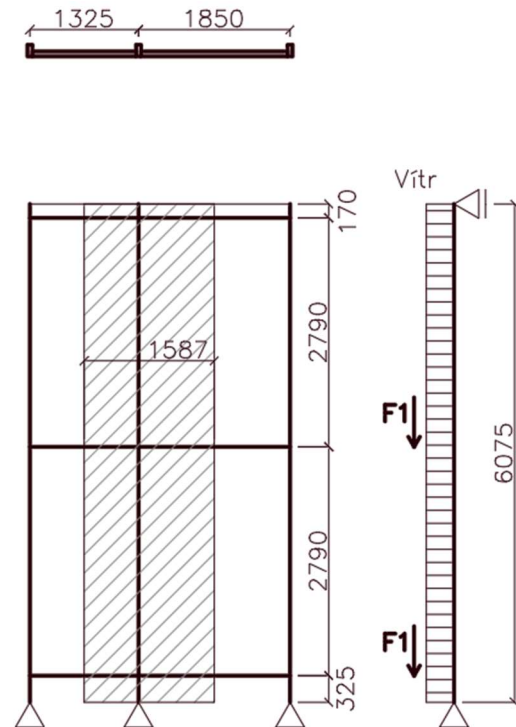


Schéma č.2



Zatížení:

$$F_{1,k} = 1,587 \cdot 2,79 \cdot 0,6 = 2,66 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = 1,587 \cdot 1,495 \cdot 0,6 = 1,42 \text{ kN}$$

$$F_{1,d} = F_{1,k} \cdot 1,35 = \mathbf{3,59 \text{ kN}}$$

$$F_{2,d} = F_{2,k} \cdot 1,35 = \mathbf{1,92 \text{ kN}}$$

Vítr schéma č.1:

Tlak větru =  $0,540 \text{ kN/m}^2$  (Oblast D)

Sání větru =  $-0,619 \text{ kN/m}^2$  (Oblast B)

$$f_{1,k} = 0,619 \cdot 1,587 = 0,982 \text{ kN/m}$$

$$f_{1,d} = 0,982 \cdot 1,5 = 1,474 \text{ kN/m}$$

Vítr schéma č.2:

Tlak větru =  $0,540 \text{ kN/m}^2$  (Oblast D)

Sání větru =  $-0,386 \text{ kN/m}^2$  (Oblast B)

$$f_{1,k} = 0,540 \cdot 1,587 = 0,857 \text{ kN/m}$$

$$f_{1,d} = 0,857 \cdot 1,5 = 1,285 \text{ kN/m}$$

### 2.1.1 Zatřídění průřezu

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

#### **Průřez číslo 1:**

$$b = 60 \text{ mm}; h = 160 \text{ mm}; t_w = 3 \text{ mm}; t_f = 12 \text{ mm}$$

#### Stojina

$$c_w = h - 2 \cdot t_f = 160 - 2 \cdot 12 = 136 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{136}{3} = 45,33 \leq 72 \cdot \varepsilon = 58,3$$

45,33 < 58,3 => třída průřezu 1

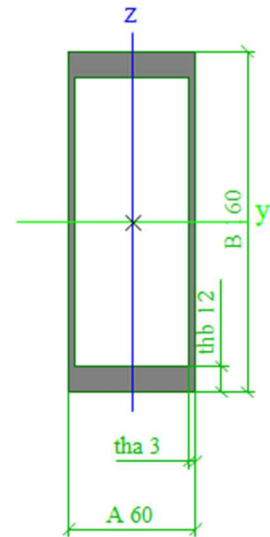
#### Pásnice

$$c_f = b - 2 \cdot t_w = 60 - 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{54}{12} = 4,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 26,7$$

4,5 ≤ 26,7 => třída průřezu 1

**Výsledná třída průřezu 1**



#### **Průřez číslo 2:**

$$b = 60 \text{ mm}; h = 160 \text{ mm}; t_w = 3 \text{ mm}; t_f = 4 \text{ mm}$$

#### Stojina

$$c_w = h - 2 \cdot t_f = 160 - 2 \cdot 4 = 152 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{152}{3} = 50,67 \leq 72 \cdot \varepsilon = 58,3$$

50,67 < 58,3 => třída průřezu 1

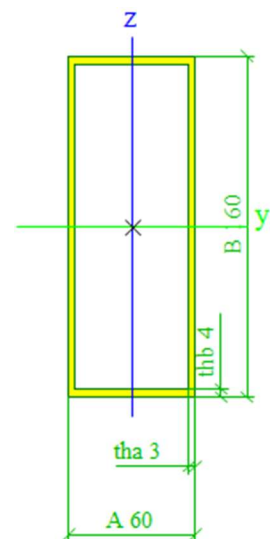
#### Pásnice

$$c_f = b - 2 \cdot t_w = 60 - 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{54}{4} = 13,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 26,7$$

13,5 ≤ 26,7 => třída průřezu 1

**Výsledná třída průřezu 1**



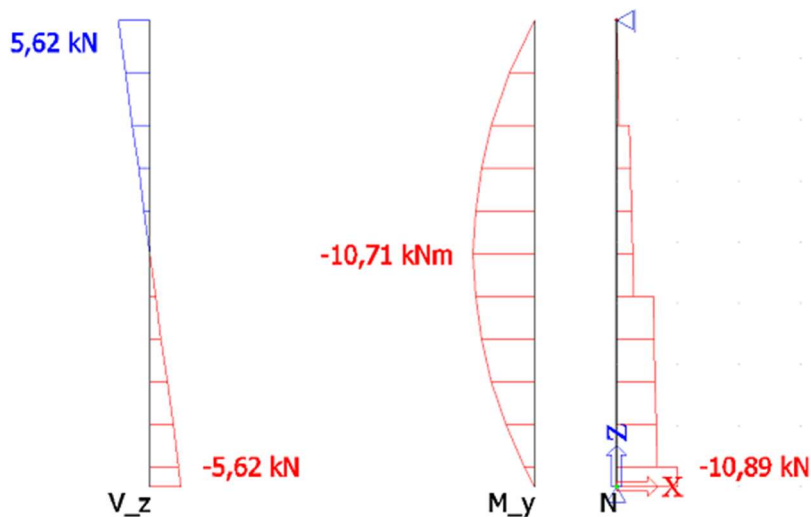


## 2.1.2 Posouzení schématu č.1

Průřezové charakteristiky:

|                     |               |                 |                  |     |    |
|---------------------|---------------|-----------------|------------------|-----|----|
| A =                 | 2256          | mm <sup>2</sup> | t <sub>f</sub> = | 12  | mm |
| I <sub>y</sub> =    | 9160400       | mm <sup>4</sup> | t <sub>w</sub> = | 2x3 | mm |
| I <sub>z</sub> =    | 1095400       | mm <sup>4</sup> | c =              | 54  | mm |
| I <sub>t</sub> =    | 2788600       | mm <sup>4</sup> | d =              | 136 | mm |
| I <sub>w</sub> =    | 2417800000000 | mm <sup>4</sup> | h =              | 160 | mm |
| W <sub>y,pl</sub> = | 134300        | mm <sup>3</sup> | b =              | 60  | mm |
| i <sub>y</sub> =    | 64            | mm              | r =              | 0   | mm |
| i <sub>z</sub> =    | 22            | mm              |                  |     |    |
| W <sub>z,pl</sub> = | 44856         | mm <sup>3</sup> |                  |     |    |

Vnitřní síly:



Hodnoty pro posudek:

$$V_{Ed} = 5,62 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -6,57 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 10,71 \text{ kNm}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 7625 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2790 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupku:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7625}{64} = 119,1 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2790}{22} = 126,8 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{119,1}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}}} = 1,559$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{126,8}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}}} = 1,66$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „c“ v obou směrech vybočení

$$\chi_y = 0,296$$

$$\chi_z = 0,268$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,95$$

$$\psi = 0; \alpha_h = \frac{0}{-10,71} = 0; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2256 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 800,88 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 134,3 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 47,67 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$

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

$$= \min \left( \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (1,559 - 0,2) \cdot \frac{6,57}{0,296 \cdot \frac{800,88}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{6,57}{0,296 \cdot \frac{800,88}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min(0,986, 0,971)$$

$$= \mathbf{0,971}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,971 = \mathbf{0,583}$$

Sloupek musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{6,57}{0,296 \cdot \frac{800,88}{1,0}} + 0,971 \cdot \frac{10,71}{1,0 \cdot \frac{47,67}{1,0}} \leq 1,0$$

0,246 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{6,57}{0,268 \cdot \frac{800,88}{1,0}} + 0,583 \cdot \frac{10,71}{1,0 \cdot \frac{47,67}{1,0}} \leq 1,0$$

0,162 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{6,57}{800,88} + \frac{10,71}{47,67} \leq 1,0$$

0,233 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla  $V_{Ed} = 5,62$  kN

Smyková plocha  $A_v = 2 \cdot 136 \cdot 3 = 816$  mm<sup>2</sup>

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{816 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 167,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{5,62}{167,2} = 0,034 < 1,0 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

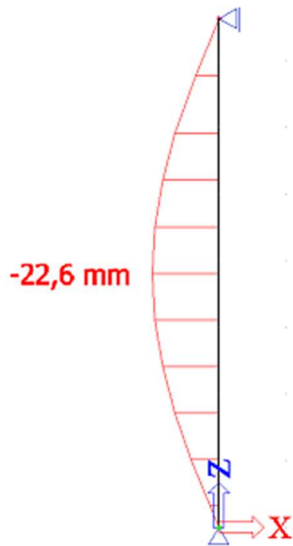
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

### MSP

Mezní průhyb pro sloupky zasklených stěn L/ 300.

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{300} = \frac{7625}{300} = 25,42 \text{ mm}$$

Průhyb od působícího zatížení [mm]:



$$\delta = 22,6 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 25,42 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

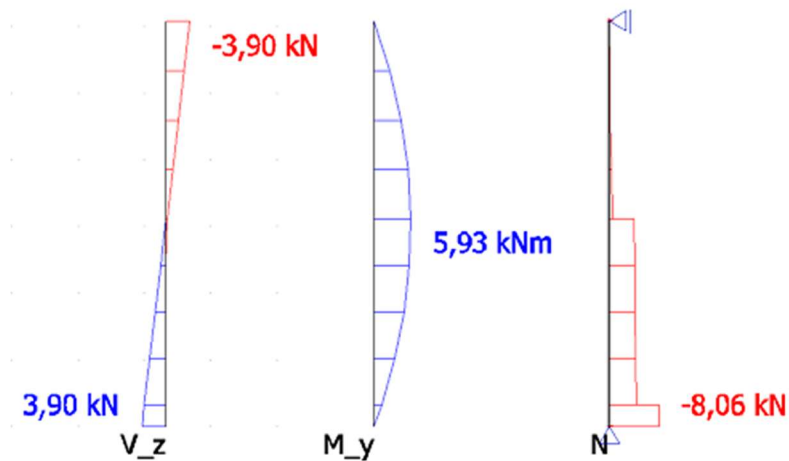
Navržený sloupek vyhoví na MSÚ i MSP.

### 2.1.3 Posouzení schématu č.2

Průřezové charakteristiky:

|                     |              |                 |                  |     |    |
|---------------------|--------------|-----------------|------------------|-----|----|
| A =                 | 1392         | mm <sup>2</sup> | t <sub>f</sub> = | 4   | mm |
| I <sub>y</sub> =    | 4676900      | mm <sup>4</sup> | t <sub>w</sub> = | 2x3 | mm |
| I <sub>z</sub> =    | 885460       | mm <sup>4</sup> | c =              | 54  | mm |
| I <sub>t</sub> =    | 2425300      | mm <sup>4</sup> | d =              | 152 | mm |
| I <sub>w</sub> =    | 783280000000 | mm <sup>4</sup> | h =              | 160 | mm |
| W <sub>y,pl</sub> = | 72096        | mm <sup>3</sup> | b =              | 60  | mm |
| i <sub>y</sub> =    | 58           | mm              | r =              | 0   | mm |
| i <sub>z</sub> =    | 25           | mm              |                  |     |    |
| W <sub>z,pl</sub> = | 33192        | mm <sup>3</sup> |                  |     |    |

Vnitřní síly:



Hodnoty pro posudek:

$$V_{Ed} = 3,90 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -4,02 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 5,93 \text{ kNm}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 6075 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2790 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupku:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6075}{58} = 104,7 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2790}{25} = 111,6 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{104,7}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}}} = 1,37$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{111,6}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}}} = 1,46$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „c“ v obou směrech vybočení

$$\chi_y = 0,361$$

$$\chi_z = 0,328$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,95$$

$$\psi = 0; \alpha_h = \frac{0}{5,93} = 0; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1392 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 494,16 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 72,096 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 25,59 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$

$$k_{yy} = \min \left( \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left( \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (1,37 - 0,2) \cdot \frac{4,02}{0,361 \cdot \frac{494,16}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{4,02}{0,361 \cdot \frac{494,16}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left( \begin{array}{l} 0,981 \\ 0,971 \end{array} \right) = 0,971$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,971 = 0,583$$

Sloupek musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{4,02}{0,361 \cdot \frac{494,16}{1,0}} + 0,971 \cdot \frac{5,93}{1,0 \cdot \frac{25,59}{1,0}} \leq 1,0$$

0,252 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{4,02}{0,328 \cdot \frac{494,16}{1,0}} + 0,583 \cdot \frac{5,93}{1,0 \cdot \frac{25,59}{1,0}} \leq 1,0$$

0,165 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{4,02}{\frac{494,16}{1,0}} + \frac{5,93}{\frac{25,59}{1,0}} \leq 1,0$$

0,240 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla  $V_{Ed} = 3,90$  kN

Smyková plocha  $A_v = 2 \cdot 152 \cdot 3 = 912$  mm<sup>2</sup>

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{912 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 186,9 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{3,90}{186,9} = 0,021 < 1,0 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

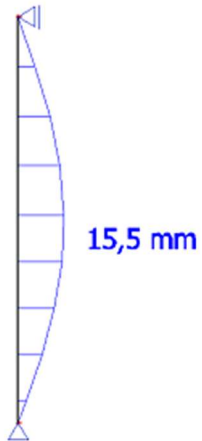
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

### **MSP**

Mezní průhyb pro sloupky zasklených stěn  $L/300$ .

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{300} = \frac{6075}{300} = 20,25 \text{ mm}$$

Průhyb od působícího zatížení [mm]:



$$\delta = 15,5 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 20,25 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Navržený sloupek vyhoví na MSÚ i MSP.



## 2.2 Opláštění ocelových sloupů

Opláštění sloupů bude navrženo ve dvou variantách.

### 2.2.1 Varianta č.1

Návrh opláštění pomocí ocelových tenkostěnných stěnových kazet. Budou navrženy pouze 2 kazety po celém obvodu půdorysu. Pro maximální sání v obou směrech a následně ověření tlaku od větru. Méně namáhané kazety budou mít následně nižší tloušťku. Výška kazety nutná vzhledem k zateplení. Posouzení bude provedeno na mezní stav únosnosti, použitelnosti a dále na limitní zatížení pro pružné chování (PD).

Zdroj: <https://construction-ceska-republika.arcelormittal.com/cz>

**Návrh:** kazety C160/600 tl. 1,25 mm;  $L_{\max} = 7,75$  m (příloha č.1)

Únosnost: Sání

$$q_{Rd} = 1,73 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,PD} = 1,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,200} = 0,59 \text{ kN/m}^2$$

Tlak

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

$$q_{Rk,PD} = 1,53 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,200} = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení sání

$$w_{e,A,k} = 0,925 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,A,d} = w_{e,A,k} \cdot 1,5 = 0,925 \cdot 1,5 = 1,39 \text{ kN/m}^2$$

MSÚ

$$w_{e,A,d} = 1,39 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 1,73 \text{ kN/m}^2$$

MSP

$$w_{e,A,k} = 0,925 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,PD} = 1,27 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,A,k} = 0,925 \text{ kN/m}^2 \ll q_{Rk,200} = 0,59 \text{ kN/m}^2 \quad \dots \underline{\underline{NEVYHOVUJE}}$$

Posouzení tlaku

$$w_{e,D,k} = 0,540 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D,d} = w_{e,D,k} \cdot 1,5 = 0,540 \cdot 1,5 = 0,810 \text{ kN/m}^2$$

MSÚ

$$w_{e,D,d} = 0,810 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,08 \text{ kN/m}^2$$

MSP

$$w_{e,D,k} = 0,540 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,PD} = 1,53 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D,k} = 0,540 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,200} = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

**Závěr:** Kazeta C160/600 tl. 1,25 mm nevyhoví na maximální rozpětí. Bylo by potřeba zmenšit rozpon kazety.

**Návrh:** kazety C160/600 tl. 1,0 mm;  $L_{max} = 5,9 \text{ m} = > 6,0 \text{ m}$

Únosnost: Sání

$$q_{Rd} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,PD} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,200} = 0,93 \text{ kN/m}^2$$

Tlak

$$q_{Rd} = 2,46 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,PD} = 1,80 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk,200} = 1,55 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení sání

$$w_{e,prům,k} = 0,878/2 + 0,586/2 = 0,732 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,prům,d} = w_{e,prům,k} \cdot 1,5 = 0,732 \cdot 1,5 = 1,10 \text{ kN/m}^2$$

MSÚ

$$w_{e,prům,d} = 1,10 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

MSP

$$w_{e,A,k} = 0,732 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,PD} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,A,k} = 0,732 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,200} = 0,93 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení tlaku

$$w_{e,D,k} = 0,512 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D,d} = w_{e,D,k} \cdot 1,5 = 0,512 \cdot 1,5 = 0,768 \text{ kN/m}^2$$

MSÚ

$$w_{e,D,d} = 0,768 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,46 \text{ kN/m}^2$$

MSP

$$w_{e,D,k} = 0,512 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,PD} = 1,80 \text{ kN/m}^2$$

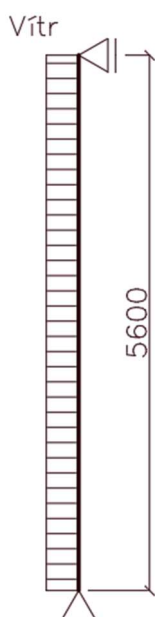
$$w_{e,D,k} = 0,512 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk,200} = 1,55 \text{ kN/m}^2$$

**Závěr:** Kazeta C160/600 tl. 1,00 mm vyhoví na maximální rozpětí.

## 2.2.2 Varianta č.2

Návrh opláštění pomocí ocelových paždíků zaklopených trapézovým lícovým plechem. Z vnější strany bude následně doplněna izolace a záklop z lícového plechu. Bude navržen trapézový plech a 3 paždíky po celém obvodu půdorysu. Posouzení bude provedeno na mezní stav únosnosti (sání nebo tlak) a mezní stav použitelnosti.

### Návrh vnitřního nosného trapézového plechu:



Maximální rozpon: 5,6 m

Statické schéma: Prostý nosník (bezpečně), ve skutečnosti nosník s krátkou konzolou

Zatížení:

| Zatížení    | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|-------------|---------------|------------|---------------|
| Tlak větru  | 0,54          | 1,5        | 0,810         |
| <b>SUMA</b> | <b>0,540</b>  |            | <b>0,810</b>  |

| Zatížení    | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|-------------|---------------|------------|---------------|
| Sání větru  | -0,386        | 1,5        | -0,579        |
| <b>SUMA</b> | <b>-0,386</b> |            | <b>-0,579</b> |

Návrh: trapézový plech TR 85/280 tl. 1,13 mm, pozitivní poloha na tlak

$$- q_{Rd} = 2,13 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 0,58 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.2)

MSÚ

$$f_d = 0,81 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,13 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

MSP

$$f_k = 0,54 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 0,58 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

Návrh: trapézový plech TR 85/280 tl. 1,13 mm, negativní poloha (sání)

$$- q_{Rd} = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 0,51 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.2)

MSÚ

$$f_d = |-0,579| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 1,92 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

MSP

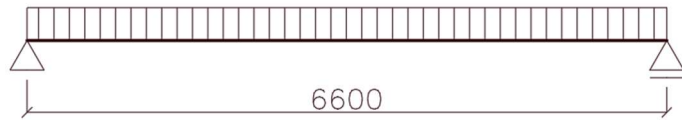
$$f_k = |-0,386| \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 0,51 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

Pro kratší trapézové plechy, či méně zatížené bude použita stejná výška plechu, avšak nižší tloušťka.

## Paždík č.1 (paždík u tribuny podélné – tlak větru)

Zatěžovací šířka: 2800 mm

Délka nosníku: 6600 mm



Svislé zatížení paždíku:

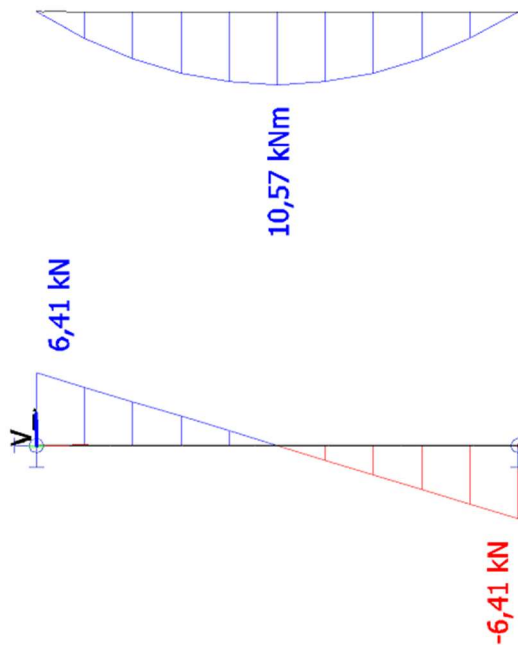
| Zatížení              | Výpočet                  | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-----------------------|--------------------------|--------------|------------|--------------|
| Lícový plech          | $2,8 \cdot 0,1$          | 0,28         | 1,35       | 0,378        |
| Tepelná izolace       | $2,8 \cdot 0,12 \cdot 2$ | 0,672        | 1,35       | 0,907        |
| Nosný trapézový plech | $2,8 \cdot 0,12$         | 0,336        | 1,35       | 0,454        |
| Vlastní tíha profilu  | -                        | 0,15         | 1,35       | 0,203        |
| <b>SUMA</b>           |                          | <b>1,438</b> |            | <b>1,941</b> |

Vodorovné zatížení paždíku:

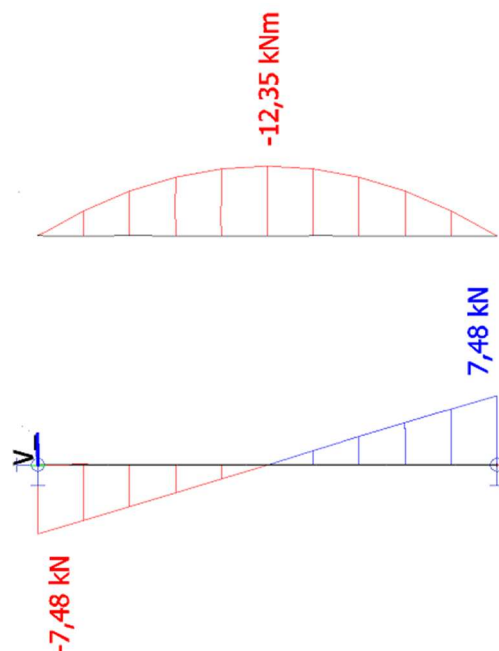
| Zatížení    | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Tlak větru  | $2,8 \cdot 0,540$ | 1,512                      | 1,5        | 2,268                      |
| <b>SUMA</b> |                   | <b>1,512</b>               |            | <b>2,268</b>               |

Vnitřní síly:

Svislé namáhání



Vodorovné namáhání:



**Návrh:** HTR 140x5

Průřezové charakteristiky:

|                     |          |                 |                  |     |    |
|---------------------|----------|-----------------|------------------|-----|----|
| A =                 | 2670     | mm <sup>2</sup> | t <sub>f</sub> = | 5   | mm |
| I <sub>y</sub> =    | 8070000  | mm <sup>4</sup> | t <sub>w</sub> = | 5   | mm |
| I <sub>z</sub> =    | 8070000  | mm <sup>4</sup> | c =              | -   | mm |
| I <sub>t</sub> =    | 12500000 | mm <sup>4</sup> | d =              | -   | mm |
| I <sub>w</sub> =    | -        | mm <sup>4</sup> | h =              | 140 | mm |
| W <sub>y,pl</sub> = | 135000   | mm <sup>3</sup> | b =              | 140 | mm |
| i <sub>y</sub> =    | 55       | mm              | r =              | 7,5 | mm |
| i <sub>z</sub> =    | 55       | mm              |                  |     |    |
| W <sub>z,pl</sub> = | 135000   | mm <sup>3</sup> |                  |     |    |

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 135 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 47,92 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y = 135 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 47,92 \text{ kNm}$$

Pro šikmý ohyb využijeme následující vztah:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta \leq 1, \text{ kde } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0$$

Posudek:

Šikmý ohyb:

$$\left[ \frac{10,57}{47,92} \right]^{1,66} + \left[ \frac{12,35}{47,92} \right]^{1,66} \leq 1$$

0,187 < 1 ... **VYHOVUJE**

Smyk:

Vzhledem k malým posouvajícím silám smyk nerozhoduje

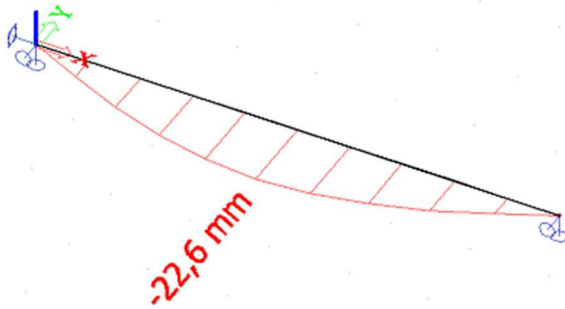
### MSP

Mezní průhyb pro paždíky stěn L/ 250.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6600}{250} = 26,4 \text{ mm}$$

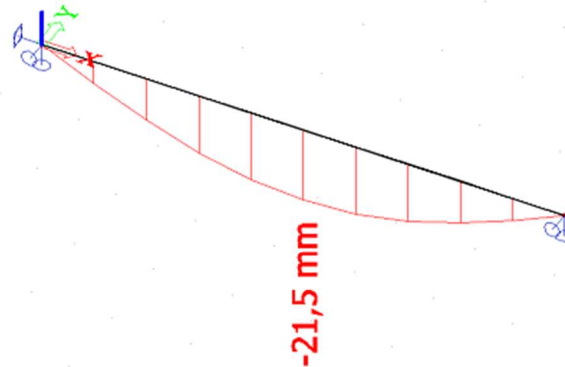
Průhyby od působícího zatížení [mm]:

Vodorovný průhyb:



$$\delta = 22,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 26,4 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Svislý průhyb:



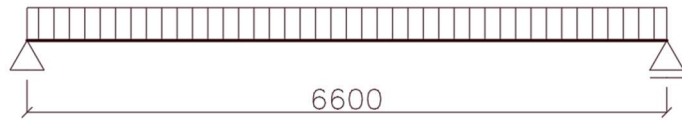
$$\delta = 21,5 \text{ mm} < \delta_{lim} = 26,4 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Navržený paždík vyhoví na MSÚ i MSP.

## Paždík č.2 (paždík u tribuny podélné – sání větru)

Zatěžovací šířka: 2250 mm

Délka nosníku: 6600 mm



Svislé zatížení paždíku:

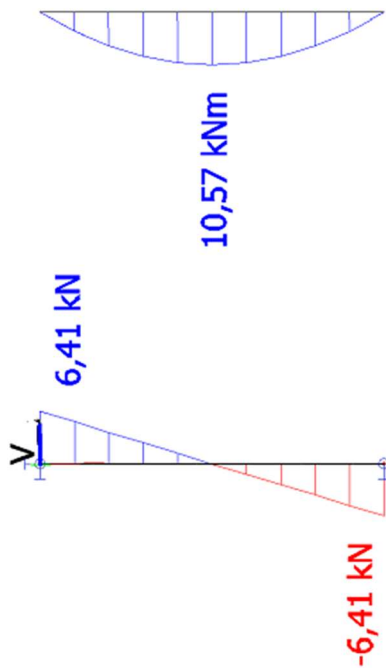
| Zatížení              | Výpočet                  | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-----------------------|--------------------------|--------------|------------|--------------|
| Lícový plech          | $2,8 \cdot 0,1$          | 0,28         | 1,35       | 0,378        |
| Tepelná izolace       | $2,8 \cdot 0,12 \cdot 2$ | 0,672        | 1,35       | 0,907        |
| Nosný trapézový plech | $2,8 \cdot 0,12$         | 0,336        | 1,35       | 0,454        |
| Vlastní tíha profilu  | -                        | 0,15         | 1,35       | 0,203        |
| <b>SUMA</b>           |                          | <b>1,438</b> |            | <b>1,941</b> |

Vodorovné zatížení paždíku:

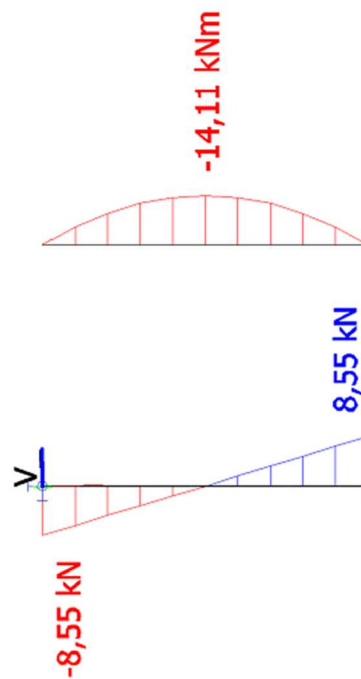
| Zatížení    | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Sání větru  | $2,8 \cdot 0,617$ | 1,728                      | 1,5        | 2,592                      |
| <b>SUMA</b> |                   | <b>1,728</b>               |            | <b>2,592</b>               |

Vnitřní síly:

Svislé namáhání



Vodorovné namáhání:





**Návrh:** HTR 140x5

Průřezové charakteristiky:

|                     |          |                 |                  |     |    |
|---------------------|----------|-----------------|------------------|-----|----|
| A =                 | 2670     | mm <sup>2</sup> | t <sub>f</sub> = | 5   | mm |
| I <sub>y</sub> =    | 8070000  | mm <sup>4</sup> | t <sub>w</sub> = | 5   | mm |
| I <sub>z</sub> =    | 8070000  | mm <sup>4</sup> | c =              | -   | mm |
| I <sub>t</sub> =    | 12500000 | mm <sup>4</sup> | d =              | -   | mm |
| I <sub>w</sub> =    | -        | mm <sup>4</sup> | h =              | 140 | mm |
| W <sub>y,pl</sub> = | 135000   | mm <sup>3</sup> | b =              | 140 | mm |
| i <sub>y</sub> =    | 55       | mm              | r =              | 7,5 | mm |
| i <sub>z</sub> =    | 55       | mm              |                  |     |    |
| W <sub>z,pl</sub> = | 135000   | mm <sup>3</sup> |                  |     |    |

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 135 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 47,92 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y = 135 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 47,92 \text{ kNm}$$

Pro šikmý ohyb využijeme následující vztah:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta \leq 1, \text{ kde } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0$$

Posudek:

Šikmý ohyb:

$$\left[ \frac{10,57}{47,92} \right]^{1,66} + \left[ \frac{14,11}{47,92} \right]^{1,66} \leq 1$$

0,213 < 1 ... **VYHOVUJE**

Smyk:

Vzhledem k malým posouvajícím silám smyk nerozhoduje

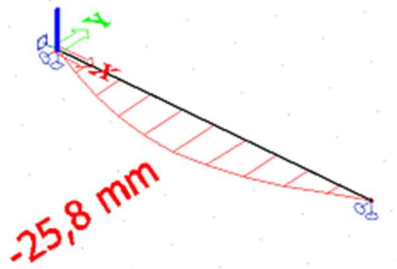
### MSP

Mezní průhyb pro paždíky stěn L/ 250.

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{250} = \frac{6600}{250} = 26,4 \text{ mm}$$

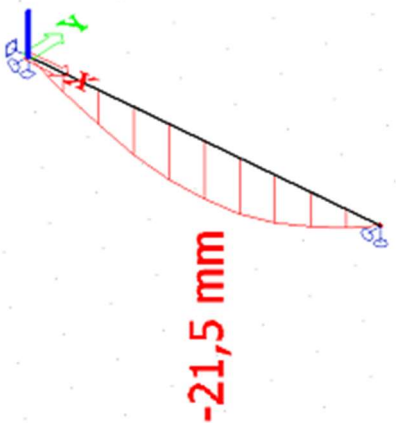
Průhyby od působícího zatížení [mm]:

Vodorovný průhyb:



$$\delta = 25,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 26,4 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Svislý průhyb:



$$\delta = 21,5 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 26,4 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Navržený paždík vyhoví na MSÚ i MSP.

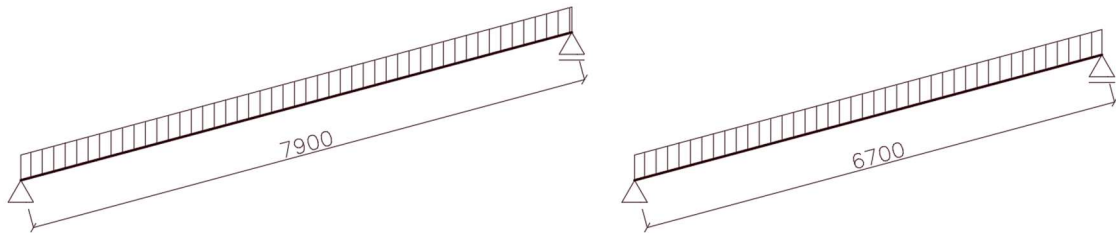
## 2.3 Opláštění střechy

Návrh opláštění pomocí vysokého trapézového plechu pnutého z vazníku na vazník.

Na trapézovém plechu bude následně nalepena tepelná izolace Foamglas s upraveným povrchem pro natavení asfaltových pásů. Hydroizolaci bude tvořit dvojice asfaltových modifikovaných pásů.

Rozpon krajních plechů: 7900 mm

Rozpon většiny vnitřních plechů: cca 6700 mm



Statická schémata jsou použita jako prostý nosník z důvodu zakřivení střešní roviny

Skladba pláště:

| Materiál   | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--|----------------------------|------------|----------------------------|
| Nosný trapézový plech                                    | 0,15                       | 1,35       | 0,2025                     |
| Lepidlo formou horkého asfaltu                           | -                          | -          | -                          |
| Tepelná izolace Foamglas tl. 260 mm<br>lepeno k podkladu | 0,6                        | 1,35       | 0,81                       |
| 2x Asfaltový hydroizolační pás<br>přitavený k podkladu   | 0,1                        | 1,35       | 0,135                      |
| <b>SUMA</b>  | <b>0,850</b>               |            | <b>1,1475</b>              |

### 2.3.1 Návrh krajního plechu:

Zatížení maximální svislé:

| Zatížení       | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|----------------|---------------|------------|---------------|
| Zatížení stálé | 0,85          | 1,35       | 1,148         |
| Sníh           | 0,8           | 1,5        | 1,200         |
| <b>SUMA</b>    | <b>1,650</b>  |            | <b>2,348</b>  |

Zatížení minimální stálé: (sání větru)

| Zatížení       | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|----------------|---------------|------------|---------------|
| Zatížení stálé | 0,85          | 1          | 0,850         |
| Sání vítr      | -0,694        | 1,5        | -1,041        |
| <b>SUMA</b>    | <b>0,156</b>  |            | <b>-0,191</b> |

\*Sání větru je vzato jako lokální účinek na sedlové střeše.

Návrh: trapézový plech TR 206/375 tl. 1,25 mm, pozitivní poloha (maximální svislé)

$$- q_{Rd} = 3,62 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 1,75 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.3)

MSÚ

$$f_d = 2,348 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,62 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

MSP

$$f_k = 1,65 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 1,75 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

Návrh: trapézový plech TR 206/375 tl. 1,25 mm, negativní poloha (sání)

$$- q_{Rd} = 4,32 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.3)

MSÚ

$$f_d = |-0,191| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 4,32 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

MSP

Nedochází k nadzvedávání plechu => **VYHOVÍ**

### 2.3.2 Návrh vnitřních plechů:

Zatížení maximální svislé:

| Zatížení       | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|----------------|---------------|------------|---------------|
| Zatížení stálé | 0,85          | 1,35       | 1,148         |
| Sníh           | 0,86          | 1,5        | 1,290         |
| <b>SUMA</b>    | <b>1,710</b>  |            | <b>2,438</b>  |

Zatížení minimální stálé: (sání větru)

| Zatížení       | $f_k$ [kN/m'] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m'] |
|----------------|---------------|------------|---------------|
| Zatížení stálé | 0,85          | 1          | 0,850         |
| Sání vítr      | -0,581        | 1,5        | -0,872        |
| <b>SUMA</b>    | <b>0,269</b>  |            | <b>-0,022</b> |

Návrh: trapézový plech TR 206/375 tl. 1,00 mm, pozitivní poloha (maximální svislé)

$$- q_{Rd} = 2,74 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,29 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.3)

MSÚ

$$f_d = 2,438 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,74 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

MSP

$$f_k = 1,71 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,29 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

Návrh: trapézový plech TR 206/375 tl. 1,00 mm, negativní poloha (sání)

$$- q_{Rd} = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,84 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.3)

MSÚ

$$f_d = |-0,022| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,10 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

MSP

Nedochází k nadzvedávání plechu => **VYHOVÍ**

## 2.4 Opláštění střechy věží

Opláštění střechy věže je provedeno ze sendvičových panelů. Tyto panely jsou zde použity pro tepelné oddělení vnitřních prostor věže od prostoru haly. Návrh panelů je proveden na spojitý nosník o 6 polích s maximálním rozponem 1800 mm.

| Zatížení                 | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Stálé – vlastní hmotnost | -       | 0,3                        | 1,35       | 0,405                      |
| <b>SUMA</b>              |         | <b>0,3</b>                 |            | <b>0,405</b>               |

| Zatížení             | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie H | -       | 0,75                       | 1,5        | 1,125                      |
| <b>SUMA</b>          |         | <b>0,750</b>               |            | <b>1,125</b>               |

Návrh: sendvičového panelu Kingspan KS1000/1150 FR

– Pro zatížení 0,75 kN/m<sup>2</sup> je přípustná maximální vzdálenost podpor 2,64m

\*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (**příloha č.4**)

Posouzení:

*Vzdálenost podpor* = 1,8 m < Maximální vzdálenost podpor = 2,64 m... **VYHOVÍ**

## 3 Zatěžovací stavy a kombinace zatížení

### 3.1 Zatěžovací stavy

| Jméno | Popis                                   | Typ působení          | Skupina zatížení | Směr | Působení   | Rídící zat. stav |
|-------|---|-----------------------|------------------|------|------------|------------------|
|       | Spec                                    | Typ zatížení          |                  |      |            |                  |
| ZS1   | Vlastní tíha                            | Stálé<br>Vlastní tíha | SZ1              | -Z   |            |                  |
| ZS2   | ostatní stálé                           | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS3   | technologie                             | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS4   | sníh<br>Standard                        | Proměnné<br>Statické  | SZ2              |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS5   | Sníh nerovnoměrný<br>Standard           | Proměnné<br>Statické  | SZ2              |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS6   | vítr příčný<br>Standard                 | Proměnné<br>Statické  | SZ2              |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS7   | vítr podélný<br>Standard                | Proměnné<br>Statické  | SZ2              |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS8   | Teplota léto                            | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS9   | Teplota zima                            | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS10  | Nerovnoměrná<br>teplota- horní teplejší | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS11  | Nerovnoměrná<br>teplota- dolní teplejší | Stálé<br>Standard     | SZ1              |      |            |                  |
| ZS12  | Užitné<br>Standard                      | Proměnné<br>Statické  | SZ2              |      | Krátkodobé | Žádný            |

### 3.2 Nelineární kombinace zatížení MSÚ

| Jméno    | Typ      | Zatěžovací stavy   | Souč. [-]  |
|----------|----------|--|--|
| NC MSÚ 1 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS4 - sníh<br>ZS12 - Užitné                      | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 2 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS5 - Sníh nerovnoměrný<br>ZS12 - Užitné         | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 3 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS6 - vítr příčný<br>ZS12 - Užitné               | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 4 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS7 - vítr podélný<br>ZS12 - Užitné              | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 5 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS8 - Teplota léto<br>ZS12 - Užitné              | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 6 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS9 - Teplota zima<br>ZS12 - Užitné              | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>1,500          |
| NC MSÚ 7 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha<br>ZS2 - ostatní stálé<br>ZS3 - technologie<br>ZS4 - sníh<br>ZS6 - vítr příčný<br>ZS12 - Užitné | 1,350<br>1,350<br>1,350<br>1,500<br>0,900<br>1,500 |

| Jméno                                       | Typ      | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|---|----------|---|--------------|
| NC MSÚ 8                                    | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 9                                    | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 10                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|   |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 11                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 12                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|   |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,670        |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 13                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|   |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,670        |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 14                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
|   |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,900        |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 15                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
|   |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,900        |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 16                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,900    |   |              |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 17                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 1,500        |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,900    |   |              |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |
| NC MSÚ 18                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,900    |   |              |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |



| Jméno                                       | Typ      | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |                     |       |
|---|----------|---|--------------|---------------------|-------|
| NC MSÚ 19                                   | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |                     |       |
|   |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |                     |       |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |                     |       |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |                     |       |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |                     |       |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |                     |       |
|   |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,900        |                     |       |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |                     |       |
|   |          | NC MSÚ 20                                   | Únosnost     | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
| ZS3 - technologie                           | 1,350    |   |              |                     |       |
| ZS4 - sníh                                  | 0,750    |   |              |                     |       |
| ZS7 - vítr podélný                          | 1,500    |   |              |                     |       |
| ZS9 - Teplota zima                          | 0,900    |   |              |                     |       |
| ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,670    |   |              |                     |       |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |                     |       |
| NC MSÚ 21                                   | Únosnost |   |              | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |                     |       |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |                     |       |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |                     |       |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |                     |       |
|   |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,670        |                     |       |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |                     |       |
|   |          | NC MSÚ 22                                   | Únosnost     | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
| ZS3 - technologie                           | 1,350    |   |              |                     |       |
| ZS4 - sníh                                  | 0,750    |   |              |                     |       |
| ZS7 - vítr podélný                          | 0,900    |   |              |                     |       |
| ZS9 - Teplota zima                          | 1,500    |   |              |                     |       |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120    |   |              |                     |       |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |                     |       |
| NC MSÚ 23                                   | Únosnost |   |              | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |                     |       |
|   |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |                     |       |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |                     |       |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |                     |       |
|   |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120        |                     |       |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |                     |       |
|   |          | NC MSÚ 24                                   | Únosnost     | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
| ZS3 - technologie                           | 1,350    |   |              |                     |       |
| ZS7 - vítr podélný                          | 0,900    |   |              |                     |       |
| ZS9 - Teplota zima                          | 1,500    |   |              |                     |       |
| ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120    |   |              |                     |       |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |                     |       |
| NC MSÚ 25                                   | Únosnost |   |              | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS3 - technologie   | 1,350 |
|   |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |                     |       |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |                     |       |
|   |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120        |                     |       |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |                     |       |
|   |          | NC MSÚ 26                                   | Únosnost     | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS3 - technologie   | 1,350 |
| ZS6 - vítr příčný                           | 0,900    |   |              |                     |       |
| ZS9 - Teplota zima                          | 1,500    |   |              |                     |       |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120    |   |              |                     |       |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |                     |       |
| NC MSÚ 27                                   | Únosnost |   |              | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS3 - technologie   | 1,350 |
|   |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |                     |       |
|   |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |                     |       |
|   |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120        |                     |       |
|   |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |                     |       |
|   |          | NC MSÚ 28                                   | Únosnost     | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS2 - ostatní stálé | 1,350 |
|   |          |   |              | ZS3 - technologie   | 1,350 |
| ZS7 - vítr podélný                          | 0,900    |   |              |                     |       |
| ZS8 - Teplota léto                          | 1,500    |   |              |                     |       |
| ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120    |   |              |                     |       |
| ZS12 - Užité                                | 1,500    |   |              |                     |       |
| NC MSÚ 29                                   | Únosnost |   |              | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350 |

| Jméno     | Typ      | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|-----------|----------|---|--------------|
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 1,500        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 30 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 0,520        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 31 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 0,520        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 32 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 0,520        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 33 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 0,520        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 34 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 1,500        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 35 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS8 - Teplota léto                          | 1,500        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 36 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 37 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 38 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,900        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 39 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,320        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,900        |
|           |          | ZS12 - Užitné                               | 1,500        |
| NC MSÚ 40 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |

| Jméno     | Typ      | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|-----------|----------|---|--------------|
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,670        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 41 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS4 - sníh                                  | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,670        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 42 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 1,500        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 43 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 1,500        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 0,900        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 44 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 45 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 46 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 47 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,120        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 48 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 1,500        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,120        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 49 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,520        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 50 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,350        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,350        |
|           |          | ZS3 - technologie                           | 1,350        |
|           |          | ZS5 - Sníh nerovnoměrný                     | 0,750        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 0,900        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,520        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,500        |
|           |          | ZS12 - Užité                                | 1,500        |
| NC MSÚ 51 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |

| Jméno     | Typ      | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|-----------|----------|---|--------------|
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,500        |
| NC MSU 52 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS6 - vítr příčný                           | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,670        |
| NC MSU 53 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,670        |
| NC MSU 54 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|           |          | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|           |          | ZS7 - vítr podélný                          | 1,500        |
|           |          | ZS9 - Teplota zima                          | 0,900        |
|           |          | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,670        |

### 3.3 Nelineární kombinace zatížení MSP

| Jméno | Typ          | Zatěžovací stavy        | Souč.<br>[-] |
|-------|--------------|-------------------------|--------------|
| NC1   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh              | 1,000        |
| NC2   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS5 - Sníh nerovnoměrný | 1,000        |
| NC3   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS6 - vítr příčný       | 1,000        |
| NC4   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS7 - vítr podélný      | 1,000        |
| NC5   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto      | 1,000        |
| NC6   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima      | 1,000        |
| NC7   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS12 - Užité            | 1,000        |
| NC8   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh              | 0,500        |
|       |              | ZS12 - Užité            | 1,000        |
| NC9   | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS5 - Sníh nerovnoměrný | 0,500        |
|       |              | ZS12 - Užité            | 1,000        |
| NC10  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha      | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé     | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie       | 1,000        |
|       |              | ZS6 - vítr příčný       | 0,600        |

| Jméno | Typ          | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|-------|--------------|---|--------------|
|       |              | ZS12 - Užitné                               | 1,000        |
| NC11  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS7 - vítr podélný                          | 0,600        |
|       |              | ZS12 - Užitné                               | 1,000        |
| NC12  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto                          | 0,600        |
|       |              | ZS12 - Užitné                               | 1,000        |
| NC13  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS12 - Užitné                               | 1,000        |
| NC14  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 1,000        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,750        |
| NC15  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 1,000        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,750        |
| NC16  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto                          | 1,000        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,750        |
| NC17  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto                          | 1,000        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,750        |
| NC18  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto                          | 0,350        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,000        |
| NC19  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS8 - Teplota léto                          | 0,350        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,000        |
| NC20  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,350        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,000        |
| NC21  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,350        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,000        |
| NC22  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 0,500        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,350        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 1,000        |
| NC23  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 0,500        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,350        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 1,000        |
| NC24  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 0,500        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 1,000        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,750        |
| NC25  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |

| Jméno | Typ          | Zatěžovací stavy                            | Souč.<br>[-] |
|-------|--------------|---|--------------|
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 0,500        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 1,000        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,750        |
| NC26  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,450        |
| NC27  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,450        |
| NC28  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,210        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,600        |
| NC29  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,210        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,600        |
| NC30  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS6 - vítr příčný                           | 0,600        |
| NC31  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS4 - sníh                                  | 1,000        |
|       |              | ZS7 - vítr podélný                          | 0,600        |
| NC32  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS7 - vítr podélný                          | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,210        |
| NC33  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS7 - vítr podélný                          | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,210        |
| NC34  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS6 - vítr příčný                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS11 - Nerovnoměrná teplota- dolní teplejší | 0,210        |
| NC35  | Použitelnost | ZS1 - Vlastní tíha                          | 1,000        |
|       |              | ZS2 - ostatní stálé                         | 1,000        |
|       |              | ZS3 - technologie                           | 1,000        |
|       |              | ZS6 - vítr příčný                           | 1,000        |
|       |              | ZS9 - Teplota zima                          | 0,600        |
|       |              | ZS10 - Nerovnoměrná teplota- horní teplejší | 0,210        |

### 3.4 Stabilitní kombinace

| Jméno    | Typ      | Zatěžovací stavy    | Souč.<br>[-] |
|----------|----------|---------------------|--------------|
| NC MSU 1 | Únosnost | ZS1 - Vlastní tíha  | 1,350        |
|          |          | ZS2 - ostatní stálé | 1,350        |
|          |          | ZS3 - technologie   | 1,350        |
|          |          | ZS4 - sníh          | 1,500        |

## 4 Návrh oblouku

Návrh oblouku bude proveden na rozpon 120 m. V krajních částech (od podpory až k hraně budovy) bude oblouk proveden z přímých částí a až posléze v úrovni střechy bude měnit svou geometrii. Výška oblouku u stěny haly (stabilizační táhla) je 13,6 m nad rovinou 0. Uprostřed haly je oblouk ve výšce 29 m. Oblouk vynáší vazníky haly, které jsou na něm zavěšené. Naopak vazníky stabilizují oblouk proti jeho vybočení. Předběžný návrh průřezu na oblouk je TR 1016x30.

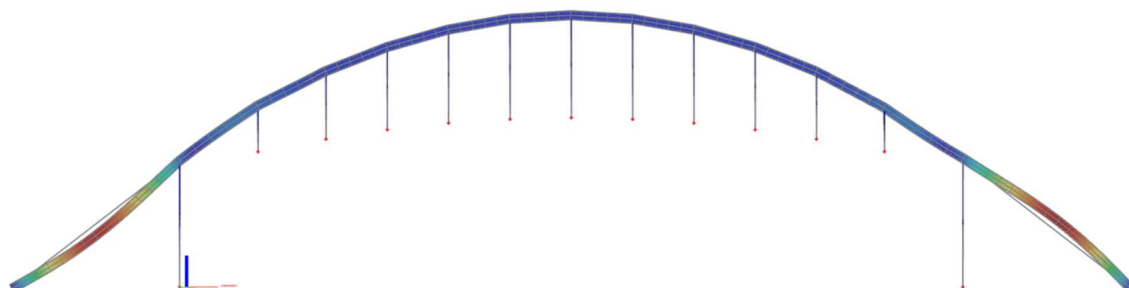
### 4.1 Stanovení vzpěrné délky

Vzpěrné délky oblouku byly stanoveny v samostatném prostorovém modelu. V tomto modelu byl vymodelován pouze oblouk s táhly a podporami. Táhla byla podepřena posuvnými podporami se svislou tuhostí vazníků a dále zatížena silami z kombinace maximálního svislého zatížení, které v nosníku vytvoří maximální normálovou sílu. Výpočet vzpěrné délky bude proveden pro tento jeden stav i přesto, že vzpěrná délka se na oblouku mění v závislosti na tuhosti táhel, které ji stabilizují. Tudíž je závislá na druhu zatížení.

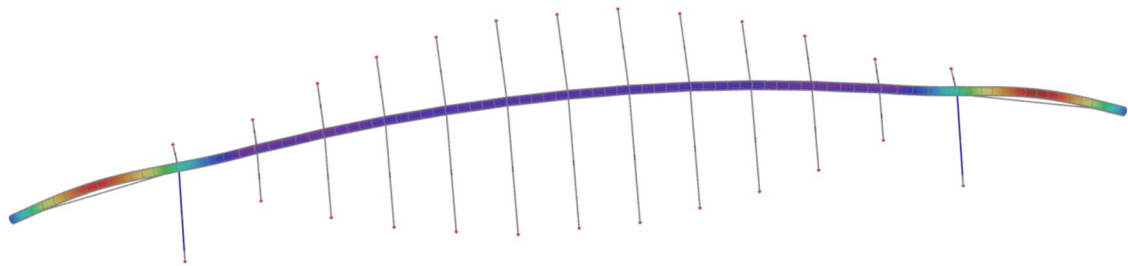
#### Součinitele kritického zatížení

| N                                | f<br>[ ] |
|----------------------------------|----------|
| <b>Stabilitní kombinace : S1</b> |          |
| 1                                | 3,87     |
| 2                                | 4,01     |
| 3                                | 4,04     |
| 4                                | 4,08     |

Vlastní tvar – vybočení oblouku v rovině č.1 – 3,87



## Vlastní tvar – vybočení oblouku z roviny č.2 - 4,01



### Vybočení v rovině oblouku

Návrhová normálová síla

$$N_{Ed} = 12600 \text{ kN}$$

Modul pružnosti

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

Návrh průřezu:

TR 1016 x 30

Moment setrvačnosti

$$I_y = 1,1E+10 \text{ mm}^4$$

Součinitel kritického zatížení

$$\alpha = 3,87$$

Kritická síla  $N_{cr} = N \cdot \alpha$

$$N_{cr} = 48762 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka  $L_{cr} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{N_{cr}}}$

$$L_{cr} = 21916 \text{ mm}$$

### Vybočení z roviny oblouku

Návrhová normálová síla

$$N_{Ed} = 12600 \text{ kN}$$

Modul pružnosti

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

Návrh průřezu:

TR 1016 x 30

Moment setrvačnosti

$$I_y = 1,1E+10 \text{ mm}^4$$

Součinitel kritického zatížení

$$\alpha = 4,01$$

Kritická síla  $N_{cr} = N \cdot \alpha$

$$N_{cr} = 50526 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka  $L_{cr} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{N_{cr}}}$

$$L_{cr} = 21530 \text{ mm}$$

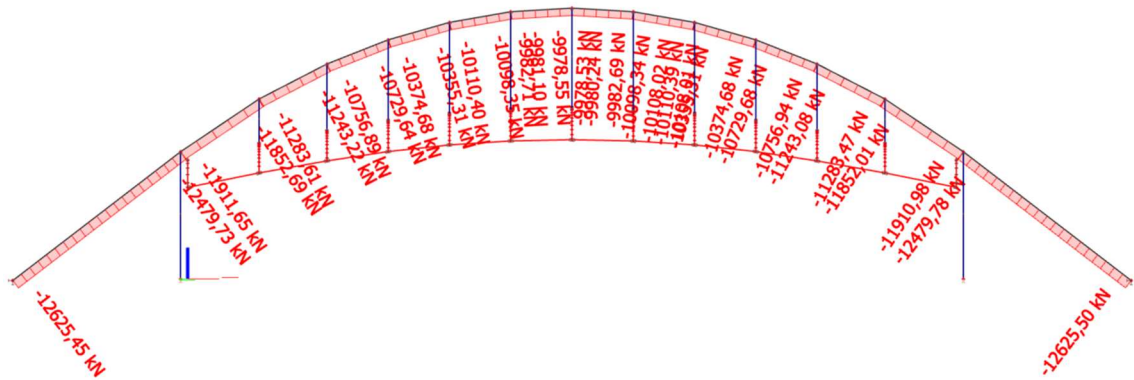
Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o určení vzpěrné délky z jedné kombinace a bylo by třeba ověřit všechny kombinace. Následný posudek bude proveden s rezervou využití průřezu.



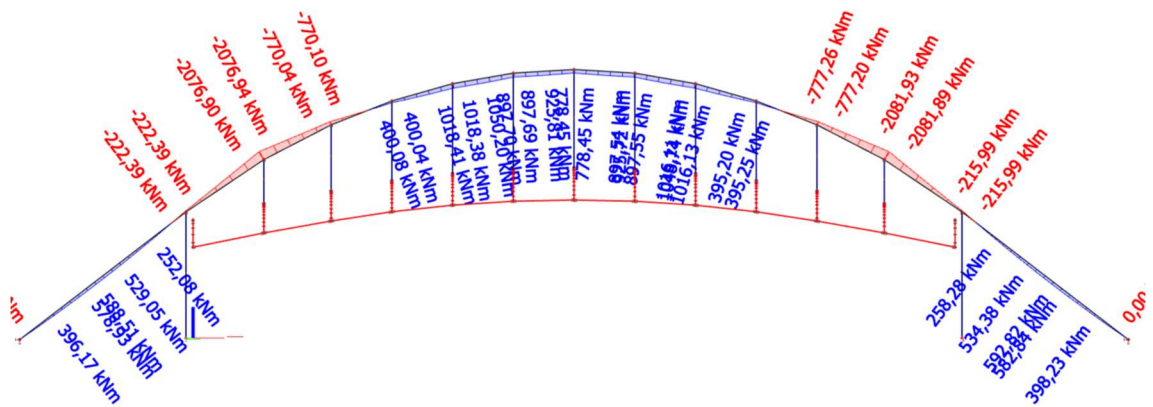
## 4.2 Vnitřní síly

### Kombinace NC MSÚ 1

Normálová síla – MAXIMÁLNÍ

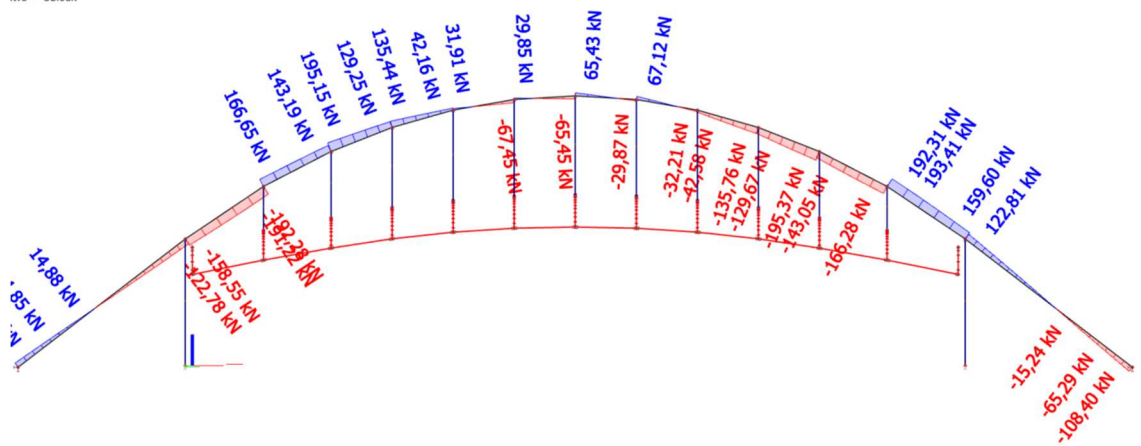


### Moment $M_y$



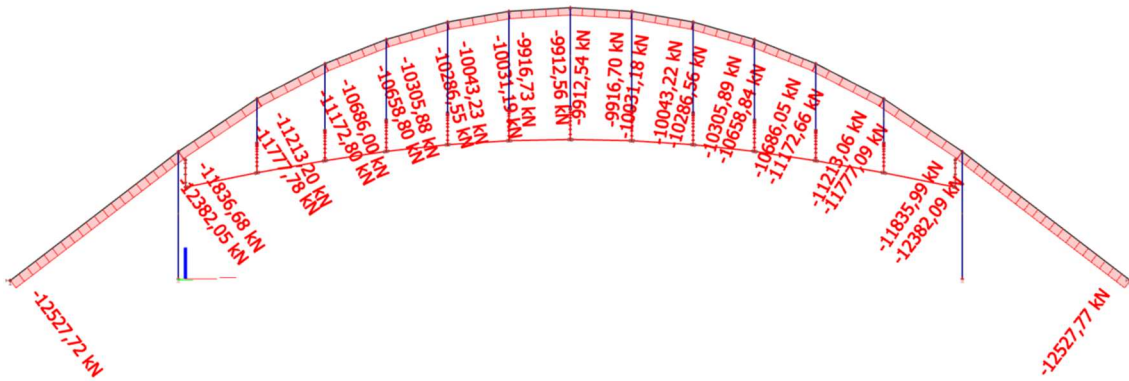
### Posouvající síla $V_z$

itva = Oblouk

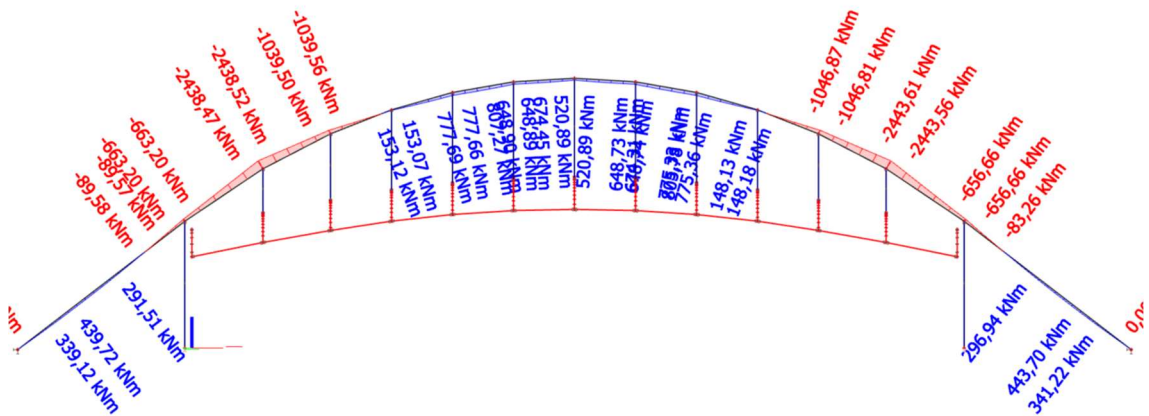


# Kombinace NC MSÚ 14

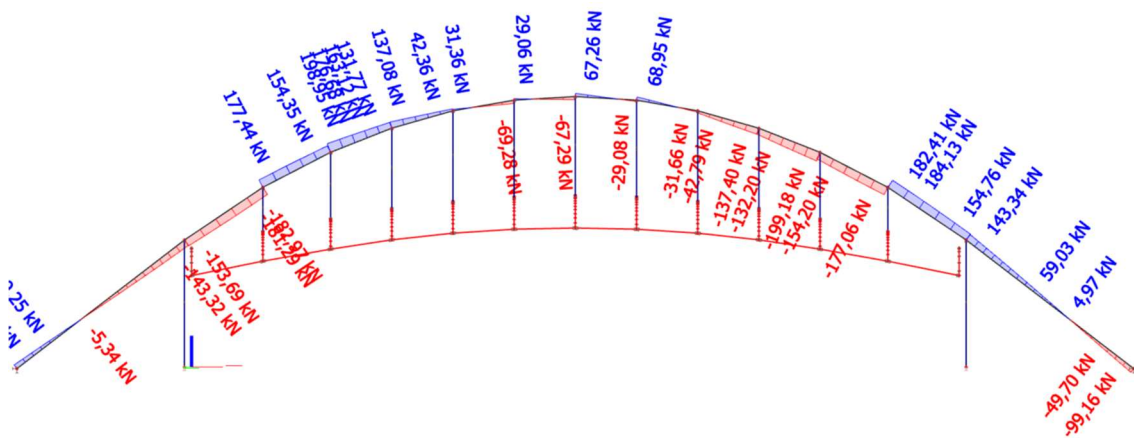
## Normálová síla



## Moment My – MAXIMÁLNÍ



## Posouvající síla Vz



## 4.3 Posouzení maximální normálové síly

### Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 12600  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 21916  | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 21530  | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 588,5  | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>TR 1016x30</b>                     |
| $h =$                 | 1016 mm                               |
| $t =$                 | 30 mm                                 |
| $A =$                 | 92930 mm <sup>2</sup>                 |
| $A_{y,z} =$           | 59160 mm <sup>2</sup>                 |
| $i_y =$               | 349 mm                                |
| $i_z =$               | 349 mm                                |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                                 |
|                       | $I_y = 1,13E+10$ mm <sup>4</sup>      |
|                       | $W_y = 22300000$ mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,y} = 29200000$ mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_z = 1,13E+10$ mm <sup>4</sup>      |
|                       | $W_z = 22300000$ mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,z} = 29200000$ mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_d = 2,19E+10$ mm <sup>4</sup>      |

#### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |       |
|----------|------------------------------------|---------------|-------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 62,80 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 61,69 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,82 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 0,81 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 0,99 |
|   | $\phi_z =$ | 0,97 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,648 |
| $\chi_z =$ | 0,658 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |          |    |
|--------------|----------|----|
| $N_{b,Rd} =$ | 21392,20 | kN |
|--------------|----------|----|

|            |              |   |          |
|------------|--------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$   | > | $N_{Ed}$ |
|            | 21392,20 kNm | > | 12600 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 58,9 % |
|----------|--------|

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem (pružně)**

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 32990,15 \text{ kN}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 10366,0 \text{ kNm}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 10366,0 \text{ kNm}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k y-y  $N_{cr,y} = 48761,3 \text{ kN}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k z-z  $N_{cr,z} = 50525,4 \text{ kN}$

**Pomocné součinitele**

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,891 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,898$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,31$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,382 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

**Součinitele průběhu momentu**

$$C_{m,y,0} = 1 + 0,33 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{m,y,0} = 1,085$$

$$C_{m,z,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{m,z,0} = 1,000$$

$$C_{m,y} = 1,09 \quad C_{m,z} = 1,00 \quad C_{m,LT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 - \frac{1,6}{w_y} C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 0,982 \geq 0,764$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{yz} = 0,946 \geq 0,458$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 0,894 \geq 0,458$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 - \frac{1,6}{w_z} C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 1,020 \geq 0,764$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 1,328$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0,753$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,881$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 1,173$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,589 + 0,075 + 0 < 1,0$$

Vyhovuje

$$0,664 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,581 + 0,050 + 0 < 1,0$$

Vyhovuje

$$0,631 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,382 + 0,057 + 0 < 1,0$$

Vyhovuje

$$0,439 < 1,0$$

Posouzení smyku

|                           |                     |                 |
|---------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} = 14,8$     | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} = 59160$   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 12125,39$  kN

$$\frac{V_{pl,Rd}}{12125,39 \text{ kN}} > \frac{V_{Ed}}{14,8 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití: 0,1 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## 4.4 Posouzení maximálního ohybového momentu

### Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 11800  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 10133  | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 10133  | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 2438,5 | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>TR 1016x30</b>                     |
| $h =$                 | 1016 mm                               |
| $t =$                 | 30 mm                                 |
| $A =$                 | 92930 mm <sup>2</sup>                 |
| $A_{v,z} =$           | 59160 mm <sup>2</sup>                 |
| $i_y =$               | 349 mm                                |
| $i_z =$               | 349 mm                                |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                                 |
|                       | $I_y = 1,13E+10$ mm <sup>4</sup>      |
|                       | $W_y = 22300000$ mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,y} = 29200000$ mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_z = 1,13E+10$ mm <sup>4</sup>      |
|                       | $W_z = 22300000$ mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,z} = 29200000$ mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_d = 2,19E+10$ mm <sup>4</sup>      |

#### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |       |
|----------|------------------------------------|---------------|-------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 29,03 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 29,03 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,38 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 0,38 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 0,62 |
|   | $\phi_z =$ | 0,62 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,908 |
| $\chi_z =$ | 0,908 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |          |    |
|--------------|----------|----|
| $N_{b,Rd} =$ | 29950,26 | kN |
|--------------|----------|----|

|            |              |   |          |
|------------|--------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$   | > | $N_{Ed}$ |
|            | 29950,26 kNm | > | 11800 kN |

Vyhovuje  
39,4 %

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem (pružně)**

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 32990,15 \text{ kN}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 10366,0 \text{ kNm}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 10366,0 \text{ kNm}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k y-y  $N_{cr,y} = 228098,0 \text{ kN}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k z-z  $N_{cr,z} = 228098,0 \text{ kN}$

Pomocné součinitele

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,995 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,995$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,31$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,358 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{my,0} = 0,841$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{mz,0} = 1,000$$

$$C_{my} = 0,84 \quad C_{mz} = 1,00 \quad C_{mLT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 1,171 \geq 0,764$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1,163 \geq 0,458$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zy} = 1,180 \geq 0,458$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 1,150 \geq 0,764$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 0,753$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0,541$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,449$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 0,912$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,394 + 0,177 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,571 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,394 + 0,106 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,500 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,358 + 0,235 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,593 < 1,0**

Posouzení smyku

|                           |                     |                 |
|---------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} = 14,8$     | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} = 59160$   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 12125,39$  kN

$$\frac{V_{pl,Rd}}{12125,39 \text{ kN}} > \frac{V_{Ed}}{14,8 \text{ kN}}$$

**Vyhovuje**

Využití: **0,1 %**

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V



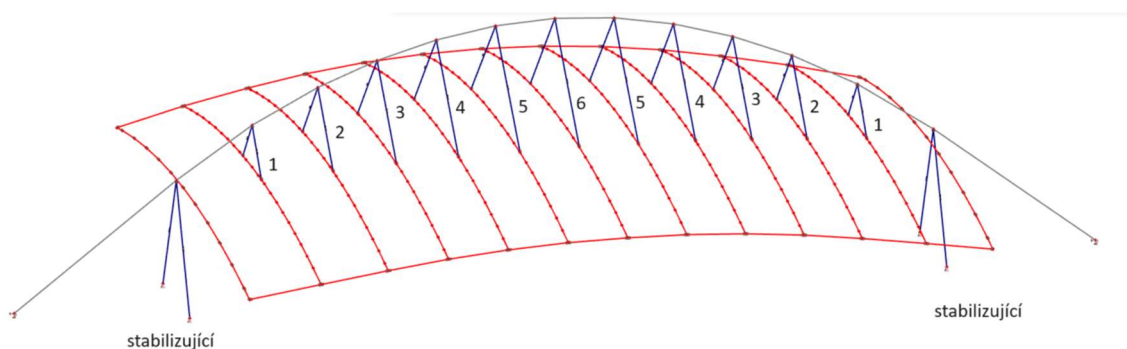
## 5 Návrh střešních a podpůrných táhel

Rozmístění táhel je vždy přibližně pod úhlem  $45^\circ$  od oblouku k hornímu pásu vazníku. Při úvodním návrhu byla snaha o navržení předpětí táhel takovým stylem, aby průhyb v místě napojení od stálého zatížení byl nulový. Vzhledem k velké tíze střešní skladby toto nebylo vhodné, jelikož by vycházelo velké předpětí.

Dále bylo zjištěno vzhledem k velké hmotnosti střešní skladby, že by se nemuselo prakticky předpínat. Avšak toto vedlo v kombinacích s minimálním stálým a návrhovým zatížením větru, případně i ochlazení konstrukce, k vybočení táhel. Dále tedy bylo navrženo předpětí o hodnotě 75kN pro střešní táhla.

Obdobně se postupovalo pro táhla stabilizující oblouk od země. Pro tyto táhla bylo navrženo předpětí 150kN.

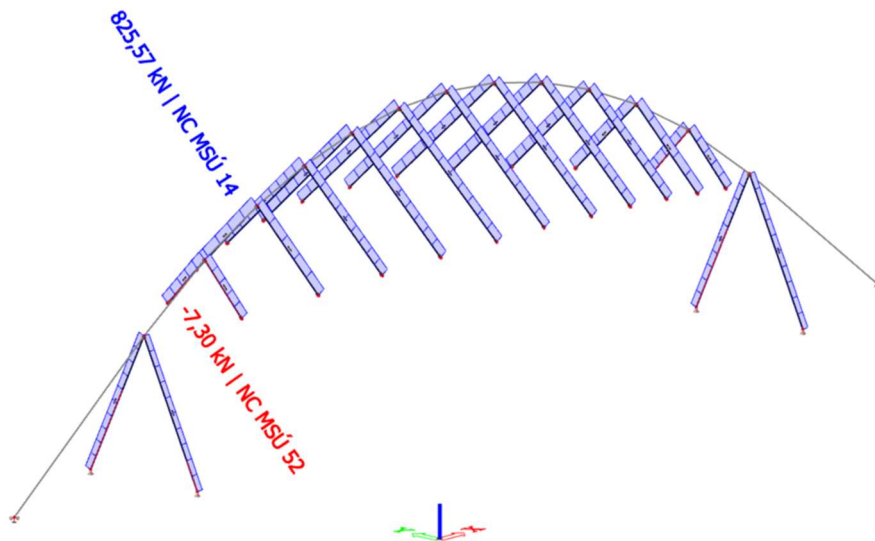
Rozvržení táhel:



| Označení táhla | Předpínací síla [kN] | Délka táhla [mm] |
|----------------|----------------------|------------------|
| Stabilizující  | 150                  | 15087            |
| Pozice 1       | 75                   | 6590             |
| Pozice 2       | 75                   | 10388            |
| Pozice 3       | 75                   | 12933            |
| Pozice 4       | 75                   | 14708            |
| Pozice 5       | 75                   | 15990            |
| Pozice 6       | 75                   | 16150            |

## 5.1 Posouzení táhel

Maximální namáhání táhel ze všech kombinací:



Vnitřní síly pro návrh táhel:

| Označení táhla | Max. a min. normálová síla [kN] | Číslo nelineární kombinace |
|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| Stabilizující  | 562,9                           | MSÚ 15                     |
|                | -1,62                           | MSÚ 52                     |
| Pozice 1       | 769,89                          | MSÚ 1                      |
|                | -7,3                            | MSÚ 52                     |
| Pozice 2       | 825,57                          | MSÚ 14                     |
|                | 84,22                           | MSÚ 51                     |
| Pozice 3       | 795,93                          | MSÚ 1                      |
|                | 64,07                           | MSÚ 51                     |
| Pozice 4       | 812,45                          | MSÚ 1                      |
|                | 75,47                           | MSÚ 54                     |
| Pozice 5       | 772,36                          | MSÚ 1                      |
|                | 59,82                           | MSÚ 54                     |
| Pozice 6       | 773,07                          | MSÚ 1                      |
|                | 54,27                           | MSÚ 51                     |

### Návrh táhel od výrobce Macalloy – táhla S460

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

| Závít                  | jednotka | M10  | M12  | M16  | M20  | M24  | M30  | M36  | M42  | M48   | M56   | M64   | M76   | M85   | M90*  | M100* |
|------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Průměr táhla           | mm       | 10   | 11   | 15   | 19   | 22   | 28   | 34   | 39   | 45    | 52    | 60    | 72    | 82    | 87    | 97    |
| Minimální mez kluzu    | kN       | 25   | 36   | 69   | 108  | 156  | 249  | 364  | 501  | 660   | 912   | 1204  | 1756  | 2239  | 2533  | 3172  |
| Minimální mez pevnosti | kN       | 33   | 48   | 91   | 143  | 207  | 330  | 483  | 665  | 875   | 1209  | 1596  | 2329  | 2969  | 3358  | 4206  |
| Hmotnost táhla         | Kg/m     | 0,50 | 0,75 | 1,40 | 2,20 | 3,00 | 4,80 | 7,10 | 9,40 | 12,50 | 16,70 | 22,20 | 32,00 | 41,50 | 46,70 | 58,00 |



Veškeré související příslušenství pro táhla bude převzato dle výrobce (koncovky, čepy atd.)

### Táhla stabilizující oblouk

Návrhová síla:  $F_{Ed} = 562,9 \text{ kN}$

Návrh táhla: M48, průměr táhla 45 mm

Únosnost táhla  $F_{u,Rd} = 660 \text{ kN}$

Posouzení:

$$F_{Ed} = 562,9 \text{ kN} < F_{u,Rd} = 660 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Střešní táhla

Návrhová síla:  $F_{Ed} = 825,57 \text{ kN}$

Návrh táhla: M56, průměr táhla 52 mm

Únosnost táhla  $F_{u,Rd} = 912 \text{ kN}$

Posouzení:

$$F_{Ed} = 825,57 \text{ kN} < F_{u,Rd} = 912 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

## 5.2 Deformace táhel

### Maximální deformace táhel v MSÚ

| Označení táhla | Délka táhla [mm] | Číslo nelineární kombinace | Směr | Deformace relativní [-] |           | Deformace absolutní [-] |         |
|----------------|------------------|----------------------------|------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|
|                |                  |                            |      | L/w                     | mezní L/w | w                       | mezní w |
| Stabilizující  | 15087            | MSÚ 53                     | Z    | 36,45                   | 300       | 413,9                   | 50,29   |
|                |                  | MSÚ 53                     | Y    | 70,93                   | 300       | 212,7                   | 50,29   |
| Pozice 1       | 6590             | MSÚ 52                     | Z    | 146,44                  | 300       | 45                      | 21,97   |
|                |                  | MSÚ 53                     | Y    | 339,69                  | 300       | 19,4                    | 21,97   |
| Pozice 2       | 10388            | MSÚ 51                     | Z    | 555,51                  | 300       | 18,7                    | 34,63   |
|                |                  | MSÚ 53                     | Y    | 511,72                  | 300       | 20,3                    | 34,63   |
| Pozice 3       | 12933            | MSÚ 51                     | Z    | 335,05                  | 300       | 38,6                    | 43,11   |
|                |                  | MSÚ 53                     | Y    | 637,09                  | 300       | 20,3                    | 43,11   |
| Pozice 4       | 14708            | MSÚ 51                     | Z    | 296,53                  | 300       | 49,6                    | 49,03   |
|                |                  | MSÚ 54                     | Y    | 835,68                  | 300       | 17,6                    | 49,03   |
| Pozice 5       | 15990            | MSÚ 51                     | Z    | 244,87                  | 300       | 65,3                    | 53,30   |
|                |                  | MSÚ 54                     | Y    | 642,17                  | 300       | 24,9                    | 53,30   |
| Pozice 6       | 16150            | MSÚ 51                     | Z    | 237,15                  | 300       | 68,1                    | 53,83   |
|                |                  | MSÚ 54                     | Y    | 747,69                  | 300       | 21,6                    | 53,83   |

K největším deformacím v MSÚ dochází v kombinacích s minimálním stálým zatížením a dominantním větrem v kombinaci ještě s ochlazením oblouku. V důsledku takto velkých deformací by mohlo dojít k rozkmitání táhel. Případně by bylo vhodné navrhnout tlumení táhel. Není zadáním diplomové práce. Avšak tyto kombinace zatížení jsou dost vzácné a v běžném provozu by k nim nemělo dojít. Není vůbec uvažováno zatížení od technologií, které jsou prakticky součástí stálého zatížení.

### Maximální a minimální síly v táhlech při MSP

| Označení táhla | Max. a min. normálová síla [kN] | Číslo nelineární kombinace |
|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| Stabilizující  | 395,66                          | MSP 28                     |
|                | 83,17                           | MSP 33                     |
| Pozice 1       | 545,08                          | MSP 1                      |
|                | 220,4                           | MSP 35                     |
| Pozice 2       | 590,32                          | MSP 29                     |
|                | 264,74                          | MSP 35                     |
| Pozice 3       | 570,47                          | MSP 1                      |
|                | 248,52                          | MSP 34                     |
| Pozice 4       | 584,54                          | MSP 1                      |
|                | 259,13                          | MSP 34                     |
| Pozice 5       | 557,18                          | MSP 1                      |
|                | 243,84                          | MSP 32                     |
| Pozice 6       | 559,37                          | MSP 1                      |
|                | 243,55                          | MSP 34                     |

Táhla mají dostatečnou rezervu v tahu a nedojde k jejich vybočení.

### Maximální deformace táhel v MSP

| Označení táhla | Délka táhla [mm] | Číslo nelineární kombinace | Směr | Deformace relativní [-] |           | Deformace absolutní [-] |         |
|----------------|------------------|----------------------------|------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|
|                |                  |                            |      | L/w                     | mezní L/w | w                       | mezní w |
| Stabilizující  | 15087            | MSP 33                     | Z    | 493,04                  | 300       | 30,6                    | 50,29   |
|                |                  | MSP 33                     | Y    | 1450,67                 | 300       | 10,4                    | 50,29   |
| Pozice 1       | 6590             | MSP 35                     | Z    | 2272,41                 | 300       | 2,9                     | 21,97   |
|                |                  | MSP 16                     | Y    | 732,22                  | 300       | 9                       | 21,97   |
| Pozice 2       | 10388            | MSP 35                     | Z    | 1648,89                 | 300       | 6,3                     | 34,63   |
|                |                  | MSP 16                     | Y    | 1028,51                 | 300       | 10,1                    | 34,63   |
| Pozice 3       | 12933            | MSP 34                     | Z    | 1175,73                 | 300       | 11                      | 43,11   |
|                |                  | MSP 6                      | Y    | 1319,69                 | 300       | 9,8                     | 43,11   |
| Pozice 4       | 14708            | MSP 34                     | Z    | 1073,58                 | 300       | 13,7                    | 49,03   |
|                |                  | MSP 6                      | Y    | 1671,36                 | 300       | 8,8                     | 49,03   |
| Pozice 5       | 15990            | MSP 34                     | Z    | 918,97                  | 300       | 17,4                    | 53,30   |
|                |                  | MSP 33                     | Y    | 3807,14                 | 300       | 4,2                     | 53,30   |
| Pozice 6       | 16150            | MSP 34                     | Z    | 928,16                  | 300       | 17,4                    | 53,83   |
|                |                  | MSP 33                     | Y    | 3939,02                 | 300       | 4,1                     | 53,83   |

Deformace v MSP jsou v limitu. Toto je důležité pro pohled člověka, aby nebyly rozpoznatelné deformace či přímo vybočení táhla.

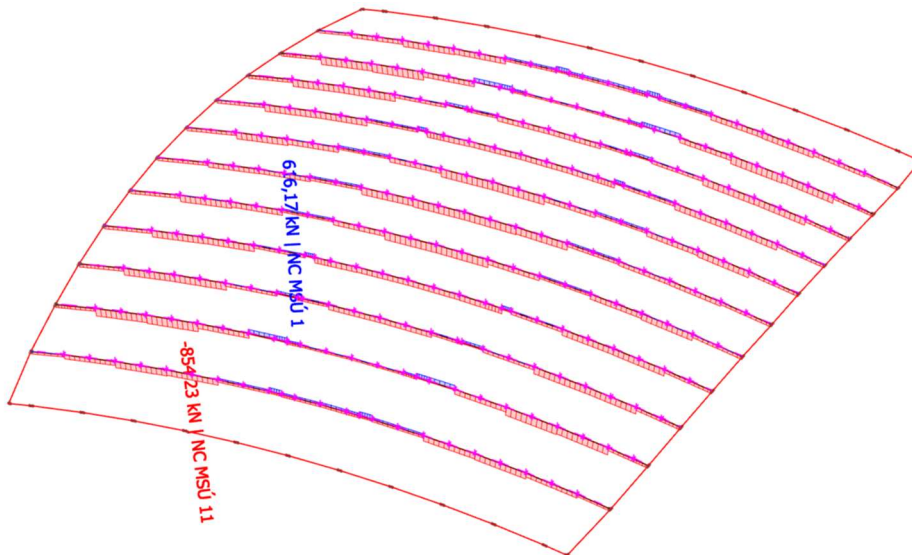
# 6 Návrh střešní konstrukce

## 6.1 Návrh vazníků – Mezní stav únosnosti

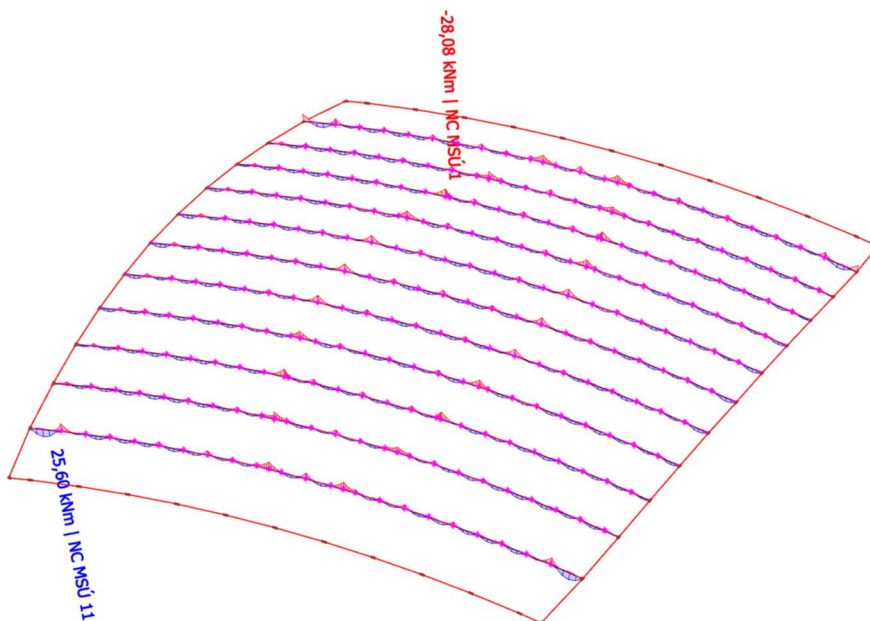
### 6.1.1 Horní pás vazníků

Návrh horních pásů vazníků je proveden pro kombinaci normálové síly a příslušného momentu (průběh momentu uvažován jako konstantní moment – bezpečně). Tahová síla bezpečně vyhoví oproti vzpěru. Vzpěrná délka v rovině vazníku je uvažována jako vzdálenost svislic (2,975 m). Pro vybočení z roviny je uvažována vzdálenost střešních ztužidel (5,95 m). Návrh je rozdělen na krajní nosníky a zbylé vazníky.

Maximální normálová síla v horním pásu vazníku:



Maximální moment v horním pásu vazníku:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 854,23 | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 2975   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5950   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 15,0   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>TR 219x8</b>                     |
| $h =$                 | 219 mm                              |
| $t =$                 | 9 mm                                |
| $A =$                 | 5938 mm <sup>2</sup>                |
| $A_{y,z} =$           | 3780 mm <sup>2</sup>                |
| $i_y =$               | 74,3 mm                             |
| $i_z =$               | 74,3 mm                             |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                               |
|                       | $I_y =$ 32800000 mm <sup>4</sup>    |
|                       | $W_y =$ 299000 mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,y} =$ 397000 mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_z =$ 32800000 mm <sup>4</sup>    |
|                       | $W_z =$ 299000 mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,z} =$ 397000 mm <sup>3</sup> |
|                       | $I_d =$ 62800000 mm <sup>4</sup>    |

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |       |
|----------|------------------------------------|---------------|-------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 40,04 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 80,08 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,52 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,05 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 0,72 |
|   | $\phi_z =$ | 1,26 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,829 |
| $\chi_z =$ | 0,513 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |            |
|--------------|------------|
| $N_{b,Rd} =$ | 1080,50 kN |
|--------------|------------|

|            |             |   |           |
|------------|-------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$  | > | $N_{Ed}$  |
|            | 1080,50 kNm | > | 854,23 kN |

Vyhovuje  
79,1 %

Využití:

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem (pružně)**

|                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| Char. únosnost průřezu v tlaku  | $N_{Rk} = 2107,99$ kN  |
| Char. únosnost v ohybu k ose y  | $M_{y,Rk} = 140,9$ kNm |
| Char. únosnost v ohybu k ose z  | $M_{z,Rk} = 140,9$ kNm |
| Kritická síla vzpěr kolmo k y-y | $N_{cr,y} = 7681,0$ kN |
| Kritická síla vzpěr kolmo k z-z | $N_{cr,z} = 1920,3$ kN |

Pomocné součinitele

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,979 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,719$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,33$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,405 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{my,0} = 1,030$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{mz,0} = 1,000$$

$$C_{my} = 1,03 \quad C_{mz} = 1,00 \quad C_{mLT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 0,901 \geq 0,753$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{yz} = 0,771 \geq 0,452$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 0,741 \geq 0,452$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 0,922 \geq 0,753$$

### Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 1,259$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,373$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,675$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 1,405$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,489 + 0,134 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje 0,623 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,791 + 0,072 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje 0,862 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,405 + 0,106 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje 0,512 < 1,0**

Horní pás z profilu TR 219x9 vyhoví.

Kombinace s maximálním momentem dále nebude posuzována, jelikož v této kombinaci klesne tlaková síla na 240 kN. Tudíž by bylo využití průřezu nízké.

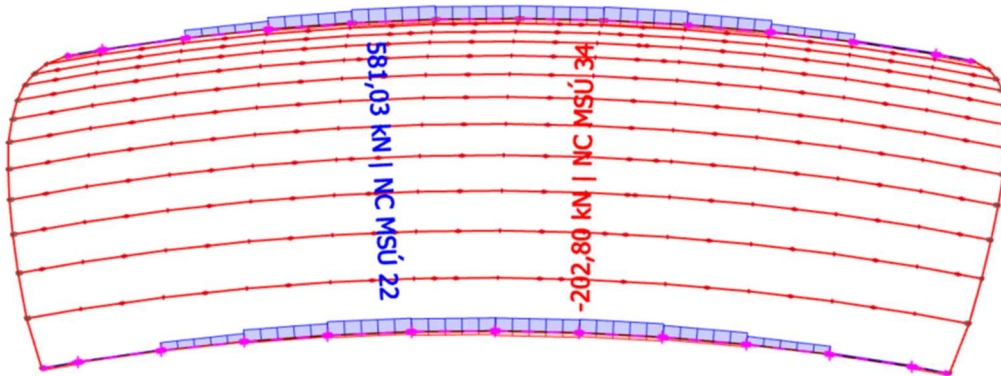


## 6.1.2 Krajní nosník

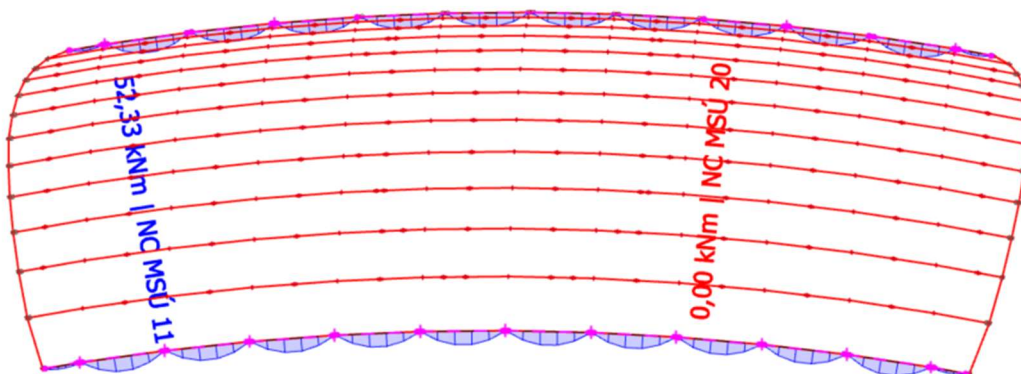
Návrh krajního nosníku je proveden pro kombinaci normálové síly a příslušného momentu. Vzpěrná délka v rovině i z roviny nosníku je uvažována celá délka prvku.

Budou posouzeny dvě kombinace, a to kombinace NC MSÚ 22 a NC MSÚ 34.

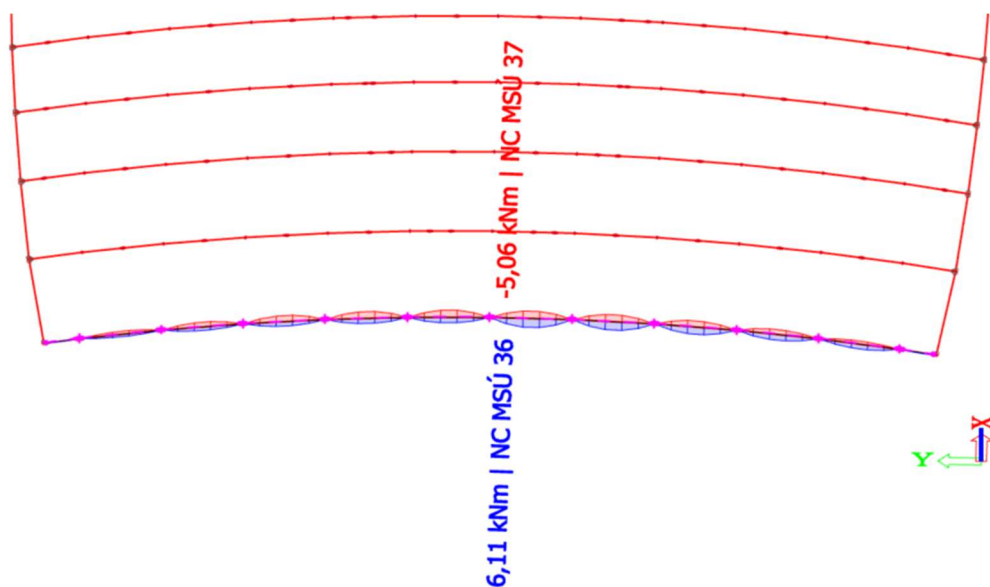
Maximální normálová síla v krajním nosníku:



Maximální moment  $M_y$  v krajním nosníku:



Maximální moment  $M_z$  v krajním nosníku:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 202,8  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 5950   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5950   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 26     | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 4      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |              |                           |
|-----------------------|----------------------|--------------|---------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>2xUPE 200</b>     |              |                           |
| $h =$                 | 200 mm               | $I_y =$      | 38205000 mm <sup>4</sup>  |
| $b =$                 | 160 mm               | $W_y =$      | 382050 mm <sup>3</sup>    |
| $t_w =$               | 12 mm                | $W_{pl,y} =$ | 440410 mm <sup>3</sup>    |
| $t_f =$               | 11 mm                | $i_y =$      | 81 mm                     |
| $d =$                 | 152 mm               | $I_z =$      | 20927000 mm <sup>4</sup>  |
| $A =$                 | 5803 mm <sup>2</sup> | $W_z =$      | 261590 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{v,z} =$           | 3464 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$ | 315770 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$                 | 13 mm                | $i_z =$      | 60 mm                     |
| $c =$                 | 135,00 mm            | $I_t =$      | 37402000 mm <sup>4</sup>  |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$      | 1,477E+10 mm <sup>6</sup> |

**Zatřídění průřezu ohyb + tlak**

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 47,606$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,657$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 12,667 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 42,76$  **Třída 1**

Pásnice  $c/t_f = 12,273 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$  **Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                  |   |                     |       |
|------------------|---|---------------------|-------|
| y-y              | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34  |
| z-z              | křivka b  | $\alpha_z =$        | 0,34  |
| Štíhlost         | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 73,46 |
|                  |   | $\lambda_z =$       | 99,17 |
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,96  |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,30  |

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 1,09$$

$$\phi_z = 1,53$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,622$$

$$\chi_z = 0,428$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 881,55 \text{ kN}$$

Posouzení:  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $881,55 \text{ kNm} > 202,8 \text{ kN}$

Vyhovuje  
23,0 %

Využití:

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 2060,065 \text{ kN}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 156,35 \text{ kNm}$

Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 112,10 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mz} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mLT} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 1,065 \quad 1,065 \leq 1,070$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,754$$

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

$$k_{zy} = 0,967 \quad 0,957 \geq 0,967$$

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

$$k_{zz} = 1,256 \quad 1,386 \leq 1,256$$

**Posouzení**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,158 \quad + \quad 0,177 \quad + \quad 0,02622 < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,362 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,230 \quad + \quad 0,161 \quad + \quad 0,0437 < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,435 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,098 \quad + \quad 0,166 \quad + \quad 0,03479 < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,300 < 1,0**

**Posouzení smyku**

|                           |                 |      |                 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 20,4 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 3464 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 709,98 \text{ kN}$

$$\begin{array}{ccc} V_{pl,Rd} & > & V_{Ed} \\ 709,98 \text{ kN} & > & 20,36 \text{ kN} \end{array}$$

**Vyhovuje**

**Využití:** 2,9 %  
 Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## Návrh ocelového prvku - Tah + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 581,03 | kN  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 37,3   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 2,3    | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{Mo} =$ | 1,0    |     |

### Návrh průřezu:

|             |                      |               |                          |
|-------------|----------------------|---------------|--------------------------|
| $h =$       | 200 mm               | $I_y =$       | 38205000 mm <sup>4</sup> |
| $b =$       | 160 mm               | $W_y =$       | 382050 mm <sup>3</sup>   |
| $t_w =$     | 12 mm                | $W_{pl,y} =$  | 440410 mm <sup>3</sup>   |
| $t_f =$     | 11 mm                | $I_z =$       | 20927000 mm <sup>4</sup> |
| $A =$       | 5803 mm <sup>2</sup> | $W_z =$       | 261590 mm <sup>3</sup>   |
| $A_{v,z} =$ | 3464 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$  | 315770 mm <sup>3</sup>   |
| $r =$       | 13 mm                | $\lambda_1 =$ | 76,41                    |
| $c =$       | 135,00 mm            |               |                          |

### Plastická osová únosnost:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} \quad N_{pl,Rd} = 2060,07 \text{ kN}$$

Součinitel pro výpočet:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad n = 0,282$$

$$a_w = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t_f)}{A} \quad a_w = 0,393$$

$$a_f = \frac{(A - h \cdot t_w)}{A} \quad a_f = 0,586$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13n^2} = 1,824$$

### Momentová únosnost:

$$\text{Plastická únosnost v ohybu k ose y} \quad M_{y,Rd} = 156,35 \text{ kNm}$$

$$\text{Plastická únosnost v ohybu k ose z} \quad M_{z,Rd} = 112,10 \text{ kNm}$$

### Redukovaná momentová únosnost:

$$M_{N,y,Rd} = M_{y,Rd} \cdot (1 - n) \cdot (1 - 0,5a_w) \quad M_{N,y,Rd} = 90,17 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{z,Rd} \cdot (1 - n) \cdot (1 - 0,5a_f) \quad M_{N,z,Rd} = 56,88 \text{ kNm}$$

Posudek:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta < 1$$

$$0,202 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

# Posouzení MSP

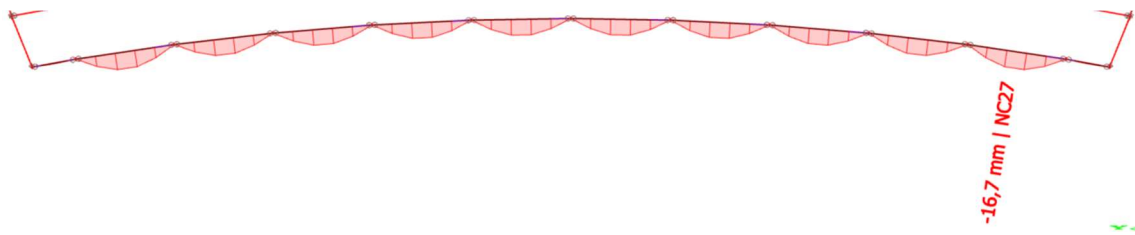
## Svislý průhyb nosníku

Rozpon prvku:  $l = 5942 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 23,77 \text{ mm}$

$\delta_{lim} > \delta_z$   
23,77 mm > 16,7 mm  
Vyhovuje

Průhyb nosníků:



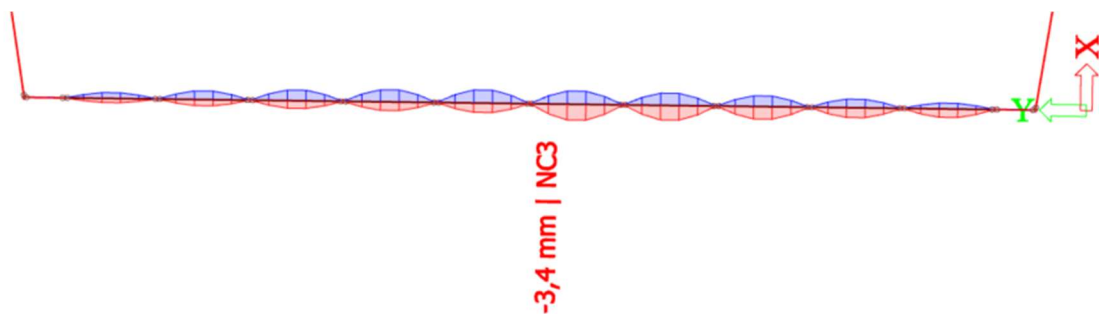
## Vodorovný průhyb nosníku

Rozpon prvku:  $l = 5942 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 23,77 \text{ mm}$

$\delta_{lim} > \delta_y$   
23,77 mm > 3,4 mm  
Vyhovuje

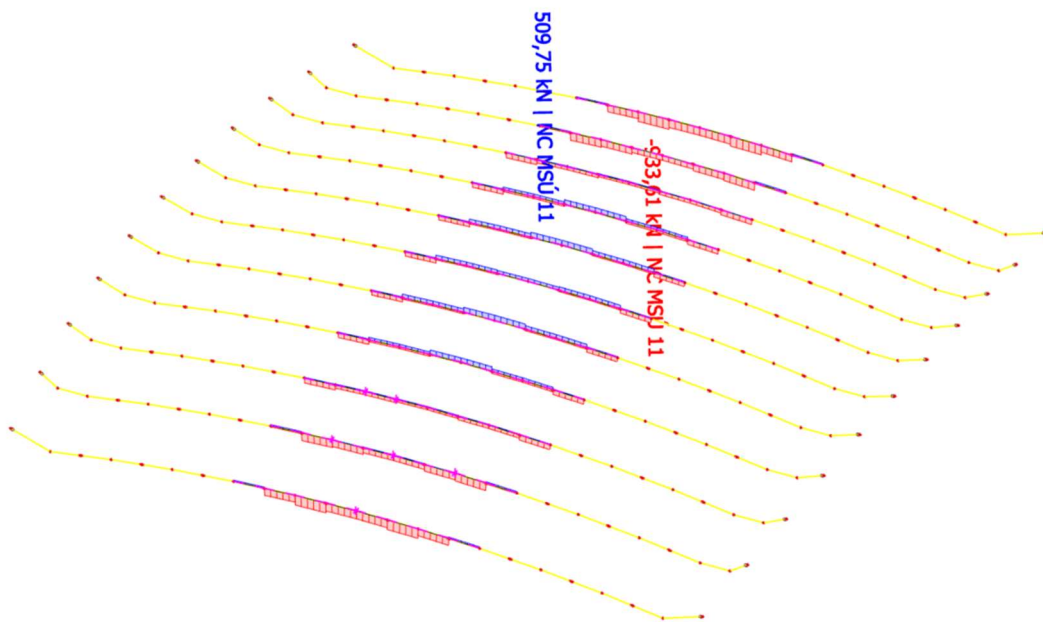
Průhyb nosníků:



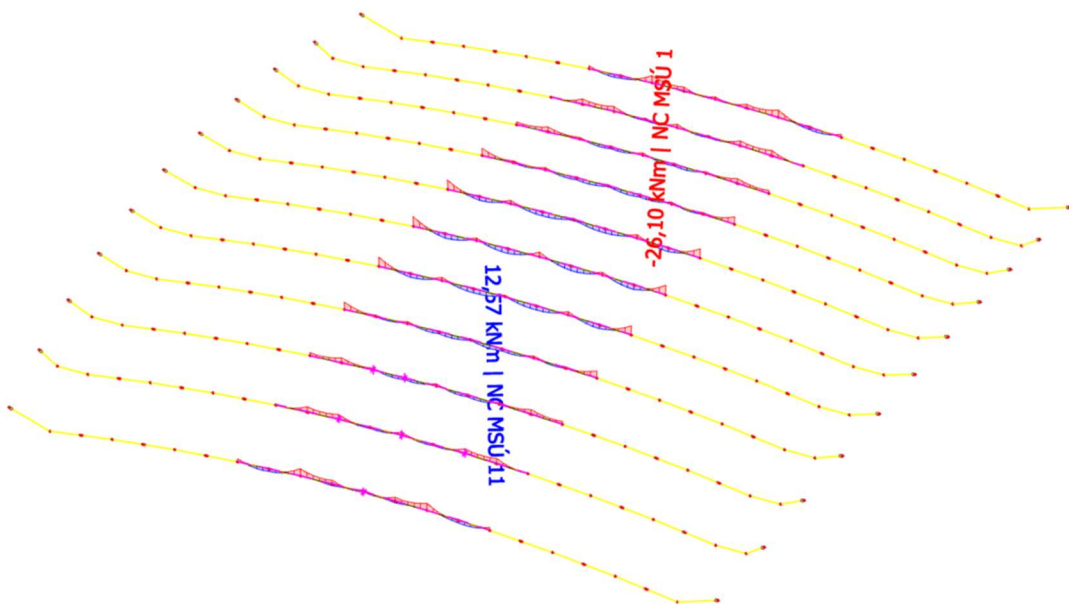
### 6.1.3 Dolní pás vazníků středová část

Návrh dolních pásů středové části vazníků je proveden pro kombinaci normálové síly a příslušného momentu (průběh momentu uvažován jako konstantní moment – bezpečně). Tahová síla bezpečně vyhoví oproti vzpěru. Vzpěrná délka v rovině vazníku je uvažována jako vzdálenost svislic (2,975 m). Pro vybočení z roviny je uvažována vzdálenost střešních ztužidel (5,95 m). Návrh je rozdělen na krajní nosníky a zbylé vazníky. Dále je rozdělen na středovou a krajní části. Maximální normálové síle odpovídá moment 19 kNm.

Maximální normálová síla v dolním pásu vazníku:



Maximální moment v dolním pásu vazníku:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 933,61 | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 2975   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5950   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 19,0   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

### Návrh průřezu:

|               |                      |              |                          |
|---------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| $h =$         | 219 mm               | $I_y =$      | 32800000 mm <sup>4</sup> |
| $t =$         | 9 mm                 | $W_y =$      | 299000 mm <sup>3</sup>   |
| $A =$         | 5938 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,y} =$ | 397000 mm <sup>3</sup>   |
| $A_{y,z} =$   | 3780 mm <sup>2</sup> | $I_z =$      | 32800000 mm <sup>4</sup> |
| $i_y =$       | 74,3 mm              | $W_z =$      | 299000 mm <sup>3</sup>   |
| $i_z =$       | 74,3 mm              | $W_{pl,z} =$ | 397000 mm <sup>3</sup>   |
| $\lambda_1 =$ | 76,41                | $I_d =$      | 62800000 mm <sup>4</sup> |

### TR 219x8

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |       |
|----------|------------------------------------|---------------|-------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 40,04 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 80,08 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,52 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,05 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 0,72 |
|   | $\phi_z =$ | 1,26 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,829 |
| $\chi_z =$ | 0,513 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |            |
|--------------|------------|
| $N_{b,Rd} =$ | 1080,50 kN |
|--------------|------------|

|            |             |   |           |
|------------|-------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$  | > | $N_{Ed}$  |
|            | 1080,50 kNm | > | 933,61 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 86,4 % |
|----------|--------|



Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem (pružně)**

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 2107,99 \text{ kN}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 140,9 \text{ kNm}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 140,9 \text{ kNm}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k y-y  $N_{cr,y} = 7681,0 \text{ kN}$   
 Kritická síla vzpěr kolmo k z-z  $N_{cr,z} = 1920,3 \text{ kN}$

Pomocné součinitele

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,977 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,684$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,33$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,443 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{my,0} = 1,030$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{mz,0} = 1,000$$

$$C_{my} = 1,03 \quad C_{mz} = 1,00 \quad C_{mLT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 0,892 \geq 0,753$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{yz} = 0,749 \geq 0,452$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 0,716 \geq 0,452$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 0,915 \geq 0,753$$

### Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 1,284$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,522$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,672$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 1,456$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,534 + 0,173 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**

$$0,707 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,864 + 0,091 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**

$$0,955 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,443 + 0,135 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**

$$0,578 < 1,0$$

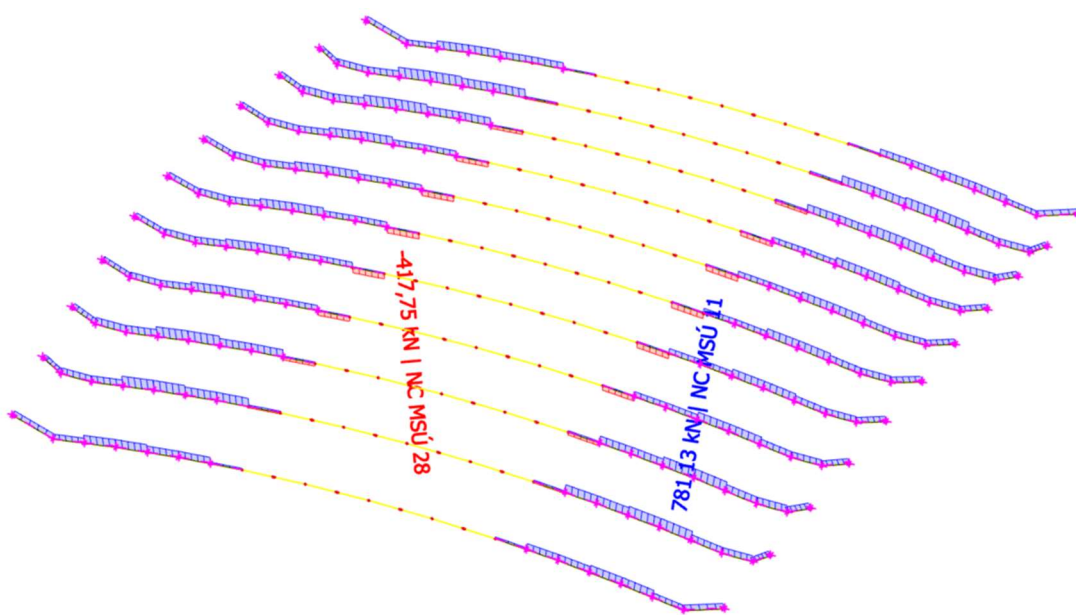
Dolní pás z profilu TR 219x9 vyhoví.

Kombinace s maximálním momentem dále nebude posuzována, jelikož v této kombinaci klesne tlaková síla na 290 kN. Tudíž by bylo využití průřezu nízké.

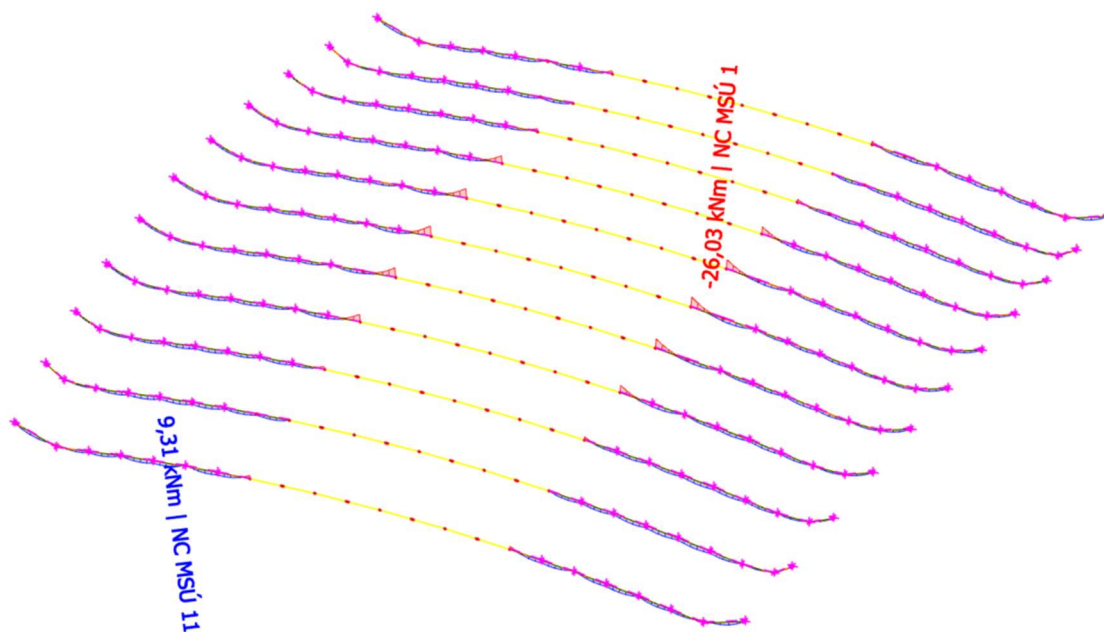
### 6.1.4 Dolní pás vazníků krajní část

Návrh dolních pásů krajní části vazníků je proveden pro kombinaci normálové síly a příslušného momentu (průběh momentu uvažován jako konstantní moment – bezpečně). Tahová síla bezpečně vyhoví oproti vzpěru. Vzpěrná délka v rovině vazníku je uvažována jako vzdálenost svislic (2,975 m). Pro vybočení z roviny je uvažována vzdálenost střešních ztužidel (5,95 m). Návrh je rozdělen na krajní nosníky a zbylé vazníky. Maximální normálové síle odpovídá moment 17,6 kNm.

Maximální normálová síla v dolním pásu vazníku:



Maximální moment v dolním pásu vazníku:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 417    | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 2975   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5950   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 17,6   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

### Návrh průřezu:

### TR 178x8

|               |                      |              |                          |
|---------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| $h =$         | 178 mm               | $I_y =$      | 15500000 mm <sup>4</sup> |
| $t =$         | 8 mm                 | $W_y =$      | 174000 mm <sup>3</sup>   |
| $A =$         | 4273 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,y} =$ | 231000 mm <sup>3</sup>   |
| $A_{v,z} =$   | 2720 mm <sup>2</sup> | $I_z =$      | 15500000 mm <sup>4</sup> |
| $i_y =$       | 60,2 mm              | $W_z =$      | 174000 mm <sup>3</sup>   |
| $i_z =$       | 60,2 mm              | $W_{pl,z} =$ | 231000 mm <sup>3</sup>   |
| $\lambda_1 =$ | 76,41                | $I_d =$      | 29500000 mm <sup>4</sup> |

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |       |
|----------|------------------------------------|---------------|-------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 49,42 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 98,84 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,65 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,29 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 0,82 |
|   | $\phi_z =$ | 1,60 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,757 |
| $\chi_z =$ | 0,392 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |           |
|--------------|-----------|
| $N_{b,Rd} =$ | 593,97 kN |
|--------------|-----------|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 593,97 kNm | > | 417 kN   |

Vyhovuje  
70,2 %

Využití:

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

#### Interakce tlaku s ohybem (pružně)

|                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Char. únosnost průřezu v tlaku  | $N_{Rk} = 1516,915 \text{ kN}$ |
| Char. únosnost v ohybu k ose y  | $M_{y,Rk} = 82,0 \text{ kNm}$  |
| Char. únosnost v ohybu k ose z  | $M_{z,Rk} = 82,0 \text{ kNm}$  |
| Kritická síla vzpěr kolmo k y-y | $N_{cr,y} = 3629,8 \text{ kN}$ |
| Kritická síla vzpěr kolmo k z-z | $N_{cr,z} = 907,4 \text{ kN}$  |

#### Pomocné součinitele

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,969 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,659$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,33$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,275 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

#### Součinitele průběhu momentu

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{my,0} = 1,027$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{mz,0} = 1,000$$

$$C_{my} = 1,03 \quad C_{mz} = 1,00 \quad C_{mLT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 0,840 \geq 0,753$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 0,669 \geq 0,452$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zy} = 0,641 \geq 0,452$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 0,858 \geq 0,753$$

### Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 1,338$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,610$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,716$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 1,421$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,363 + 0,287 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,650 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,702 + 0,154 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,856 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,275 + 0,215 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,490 < 1,0**

Dolní pás z profilu TR 178x8 vyhoví.

Kombinace s maximálním momentem dále nebude posuzována, jelikož v této kombinaci klesne tlaková síla na 286 kN. Tudíž by bylo využití průřezu nízké.

### Využití průřezu v tahu

Návrhová normálová síla  $N_{Ed} = 781,13 \text{ kN}$

Návrh průřezu: **TR 178x8**

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{Y_{M0}} \quad N_{b,Rd} = 1516,92 \text{ kN}$$

Posouzení:  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $1516,92 \text{ kNm} > 781,13 \text{ kN}$

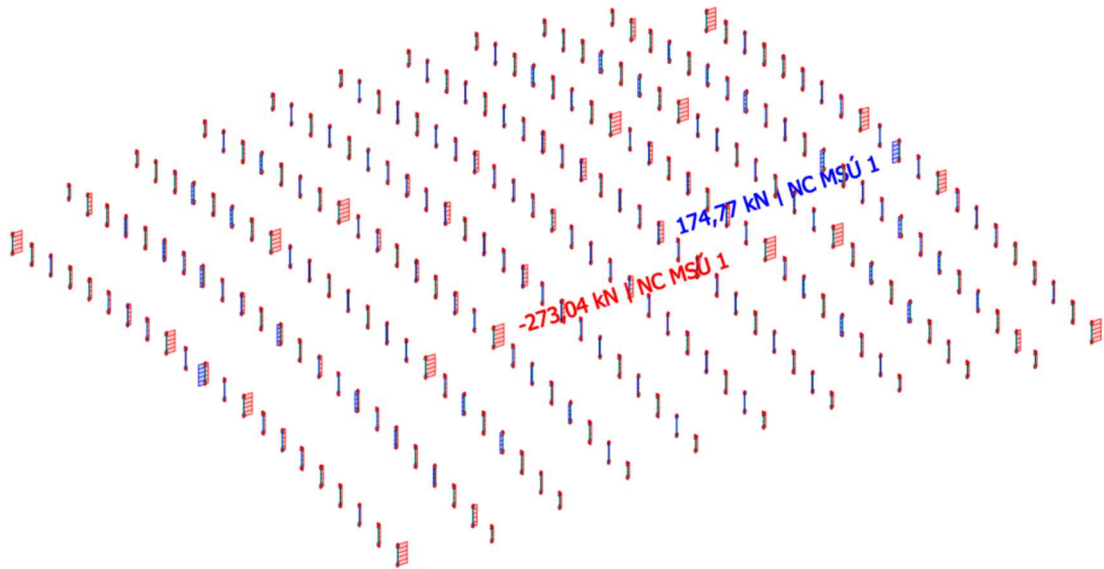
**Vyhovuje**

Využití: **51,5 %**

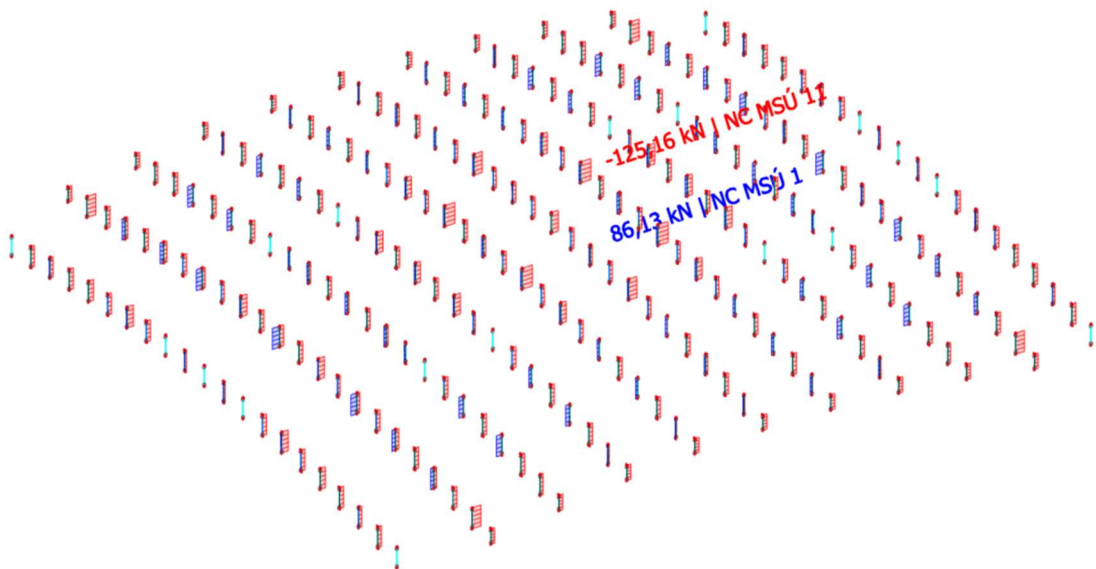
### 6.1.5 Svislice vazníku

Návrh svislic vazníků je proveden na vzpěr. Vzpěrná délka je uvažována  $0,75 \times L$ . Svislice jsou dlouhé 2 m. Vzpěrná délka je tedy 1500 mm. Tahová síla bezpečně vyhoví oproti vzpěru. Návrh je rozdělen na masivnější svislice a následně zbylé svislice.

Maximální normálová síla masivnějších svislic:



Maximální normálová síla zbylých svislic:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 273,04$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 1500$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 1500$ mm |
| Materiál                 | Ocel S235            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | TR 89x5         |
| Třída průřezu:             | 1               |
| $A = 1319$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 29,8$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 29,8$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 50,34$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 50,34$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,66$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,66$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,83$ |
|   | $\phi_z = 0,83$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,750$$

$$\chi_z = 0,750$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 351,2 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 351,20 kNm | > | 273,04 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 77,7 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 174,77$ kN |
|-------------------------|----------------------|

|                |         |
|----------------|---------|
| Návrh průřezu: | TR 89x4 |
|----------------|---------|

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{b,Rd} = 468,245 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 468,25 kNm | > | 174,77 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 37,3 % |
|----------|--------|



## Posouzení zbylých svislic

### Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 125,16$   | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 1500$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 1500$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S235 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |                 |            |    |
|---------------------|-----------------|------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 60,3x4       |            |    |
| Třída průřezu:      | 1               |            |    |
| $A = 708$           | mm <sup>2</sup> | $i_y = 20$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ |                 | $i_z = 20$ | mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 75,00$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 75,00$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,98$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,98$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,17$ |
|   | $\phi_z = 1,17$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,551$$
$$\chi_z = 0,551$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 138,416 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 138,42 kNm | > | 125,16 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 90,4 % |
|----------|--------|

### Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 86,13$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |           |
|----------------|-----------|
| Návrh průřezu: | TR 60,3x4 |
|----------------|-----------|

|                  |  |                     |    |
|------------------|--|---------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 251,34$ | kN |
|------------------|--|---------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 251,34 kNm | > | 86,13 kN |

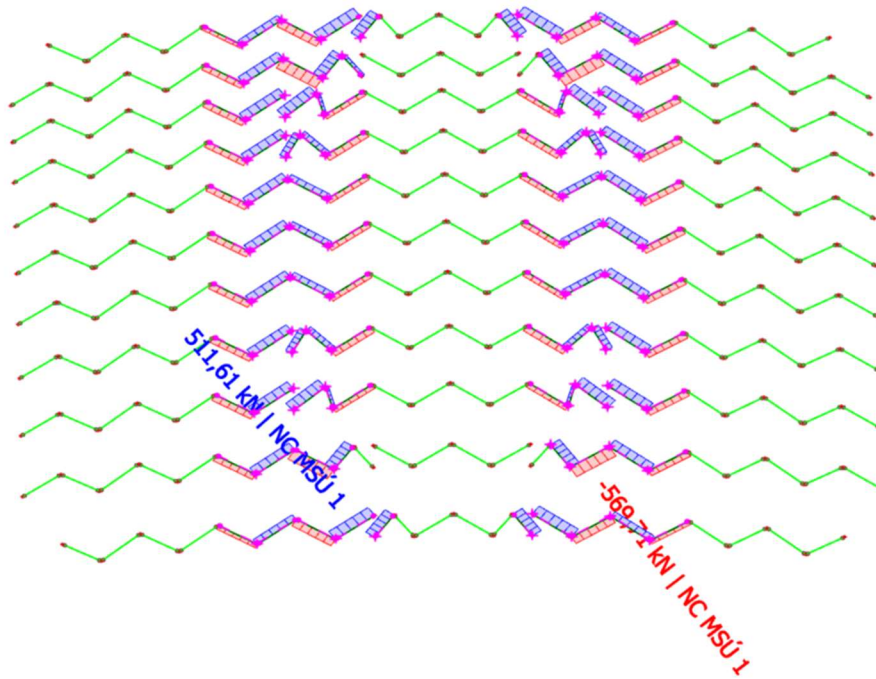
Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 34,3 % |
|----------|--------|

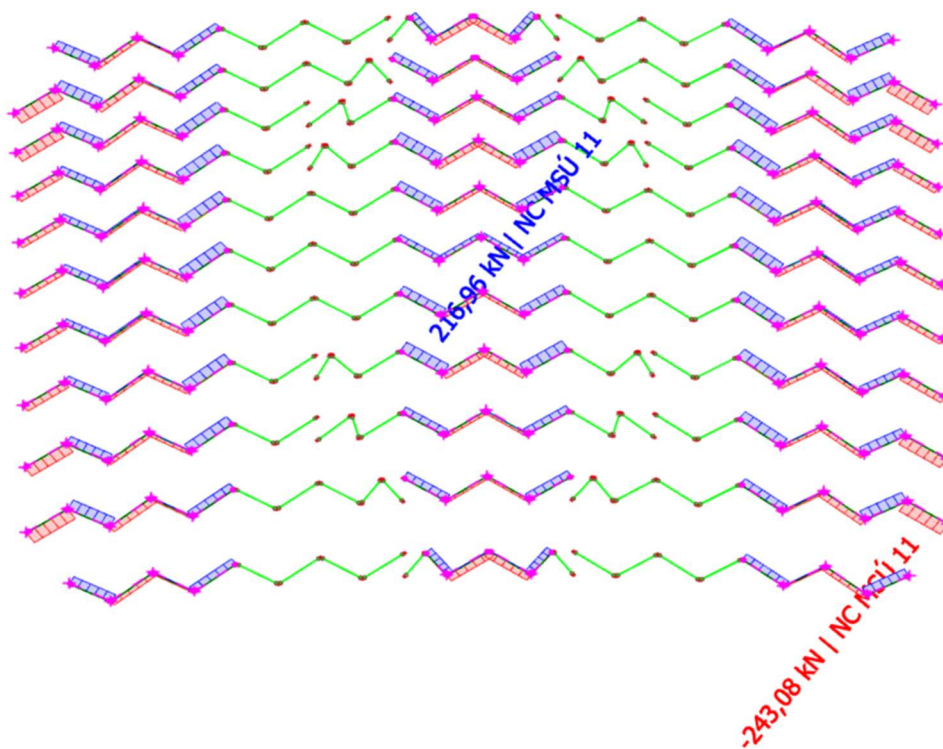
### 6.1.6 Diagonála vazníku

Návrh diagonál vazníků je proveden na vzpěr. Vzpěrná délka je uvažována  $0,75 \times L$ .  
Nejdelší diagonála je dlouhá 3,8 m. Vzpěrná délka je tedy 2850 mm. Tahová síla bezpečně vyhoví oproti vzpěru. Návrh je rozdělen na diagonály v oblasti připojení táhel a následně zbylé oblasti.

Maximální normálová síla diagonál v oblasti táhel:



Maximální normálová síla diagonál ve zbylé oblasti:



Posouzení diagonál v oblasti táhel:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 599,71$   | kN              |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 2850$   | mm              |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 2850$   | mm              |
| Materiál                 | Ocel                | S235            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa             |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |
| Návrh průřezu:           | TR 152x5,6          |                 |
| Třída průřezu:           | 1                   |                 |
| $A =$                    | 2576                | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$            | 76,41               |                 |
|                          | $i_y =$             | 51,8 mm         |
|                          | $i_z =$             | 51,8 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 55,02$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 55,02$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,72$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,72$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,89$ |
|   | $\phi_z = 0,89$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,712$$
$$\chi_z = 0,712$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 651,323 \text{ kN}$$

|            |            |     |           |
|------------|------------|-----|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$  |
|            | 651,32 kNm | $>$ | 599,71 kN |

Vyhovuje  
92,1 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                   |    |
|-------------------------|-------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 511,61$ | kN |
|-------------------------|-------------------|----|

|                |            |
|----------------|------------|
| Návrh průřezu: | TR 152x6,3 |
|----------------|------------|

|                  |  |                     |    |
|------------------|--|---------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 914,48$ | kN |
|------------------|--|---------------------|----|

|            |            |     |           |
|------------|------------|-----|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$  |
|            | 914,48 kNm | $>$ | 511,61 kN |

Vyhovuje  
55,9 %

Posouzení diagonál ve zbylé oblasti:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 243,08$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 2850$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 2850$ mm |
| Materiál                 | Ocel S235            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | TR 102x5        |
| Třída průřezu:             | 1               |
| $A = 1524$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 34,3$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 34,3$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 83,09$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 83,09$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,09$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,09$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,31$ |
|   | $\phi_z = 1,31$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,491$$
$$\chi_z = 0,491$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 265,624 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 265,62 kNm | > | 243,08 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 91,5 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 216,96$ kN |
|-------------------------|----------------------|

|                |          |
|----------------|----------|
| Návrh průřezu: | TR 102x5 |
|----------------|----------|

|                  |  |                        |
|------------------|--|------------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 541,02$ kN |
|------------------|--|------------------------|

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 541,02 kNm | > | 216,96 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 40,1 % |
|----------|--------|

## 6.2 Návrh vazníků MSP

Rozpon prvku:  $l = 70810 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 283,24 \text{ mm}$

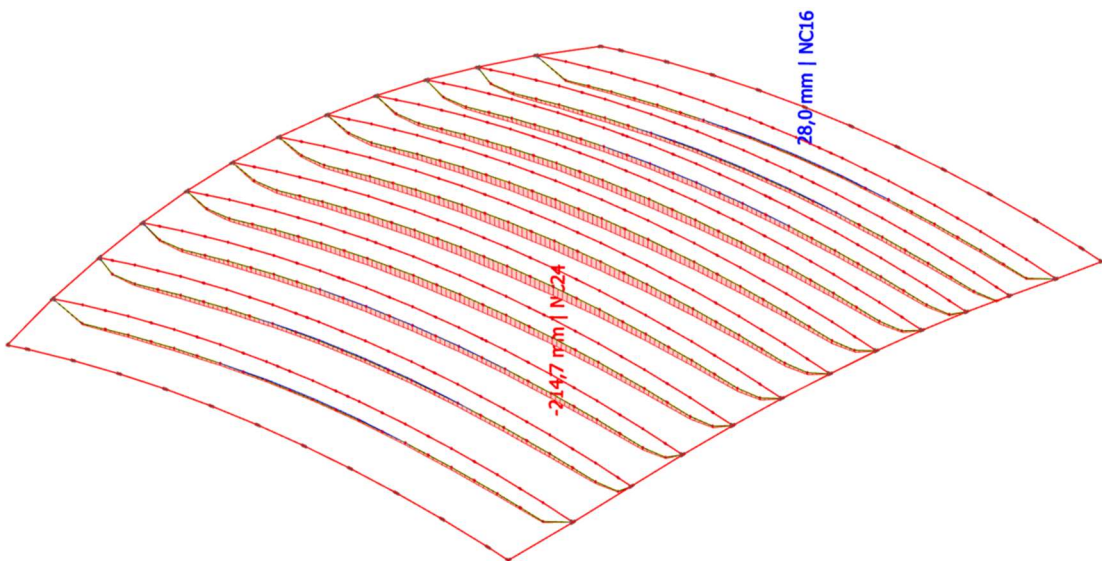
Průhyb celkový  $\delta_z = 214,70 \text{ mm}$

$\delta_{lim}$   
283,24 mm

>  
>

Vyhoví

$\delta_z$   
214,70 mm



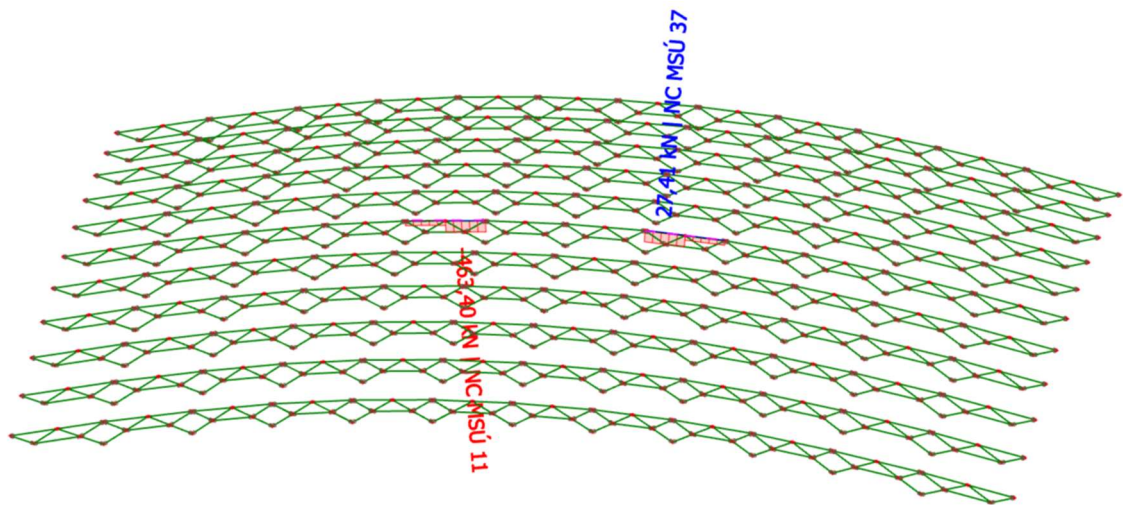
## 6.3 Návrh ztužení střechy

### 6.3.1 Svislé ztužení

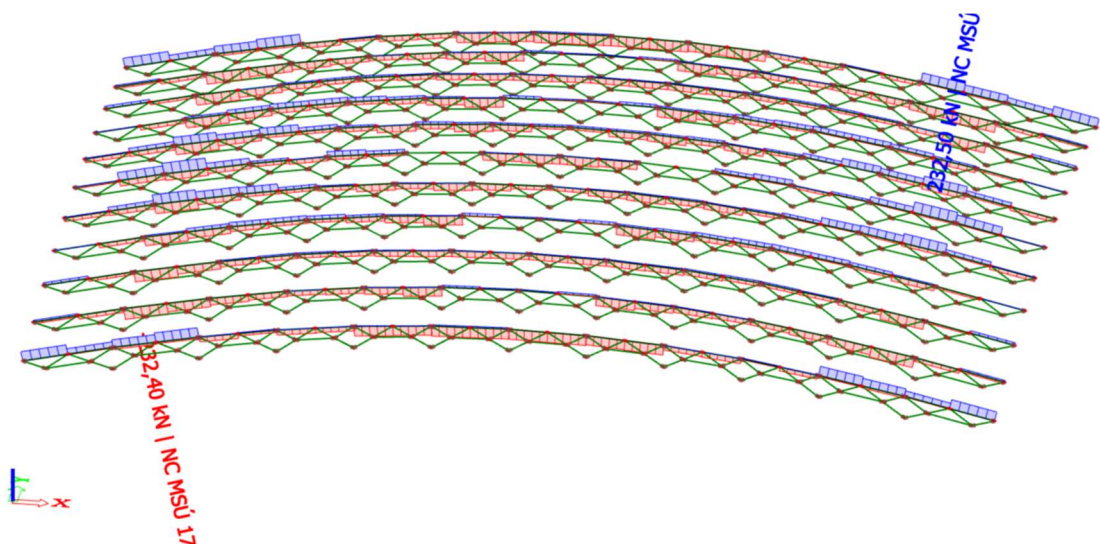
Svislé ztužení střechy je vždy po cca 6 m vazníku. Ztužidlo je navrženo trubkové. Vzhledem k umístění multimediální kostky budou dvě tato ztužidla více namáhána než zbytek ztužidel. Bude tedy navrženo ztužidlo se dvěma různými profily horního pásu. Zbylé části ztužidla již budou shodné.

#### 6.3.1.1 Pás ztužidla

Maximální normálová síla pásu ztužidla ve více namáhaných ztužidlech:



Maximální normálová síla pásu ztužidla ve zbylých ztužidlech:



Posouzení pásu ztužidla ve více namáhané oblasti:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 463,4$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 6600$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3300$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |    |
|---------------------|--------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 178x8     |    |
| Třída průřezu:      | 1            |    |
| $A = 4273$          | $i_y = 60,2$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 60,2$ | mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 109,63$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 54,82$  |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,43$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,72$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,83$ |
|   | $\phi_z = 0,88$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,337$$
$$\chi_z = 0,714$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 510,602 \text{ kN}$$

|            |            |     |          |
|------------|------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 510,60 kNm | $>$ | 463,4 kN |

Vyhovuje  
90,8 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                 |    |
|-------------------------|-----------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 27,4$ | kN |
|-------------------------|-----------------|----|

|                |          |
|----------------|----------|
| Návrh průřezu: | TR 178x8 |
|----------------|----------|

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{b,Rd} = 1516,92 \text{ kN}$$

|            |             |     |          |
|------------|-------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$  | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 1516,92 kNm | $>$ | 27,4 kN  |

Vyhovuje  
1,8 %

Posouzení pásu ztužidla ve zbylé oblasti:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 232,4$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 7425$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3712$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |            |    |
|---------------------|------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 159x6,3 |    |
| Třída průřezu:      | 1          |    |
| $A = 3022$          | $i_y = 54$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 54$ | mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 137,50$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 68,74$  |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,80$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,90$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 2,51$ |
|   | $\phi_z = 1,08$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,235$$
$$\chi_z = 0,600$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 251,698 \text{ kN}$$

|            |            |     |          |
|------------|------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 251,70 kNm | $>$ | 232,4 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 92,3 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 232,5$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |            |
|----------------|------------|
| Návrh průřezu: | TR 159x6,3 |
|----------------|------------|

|                  |  |                      |    |
|------------------|--|----------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 1072,81$ | kN |
|------------------|--|----------------------|----|

|            |             |     |          |
|------------|-------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$  | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 1072,81 kNm | $>$ | 232,5 kN |

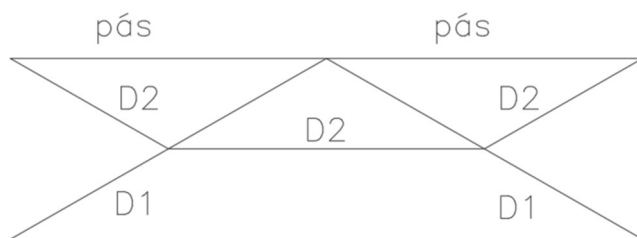
Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 21,7 % |
|----------|--------|

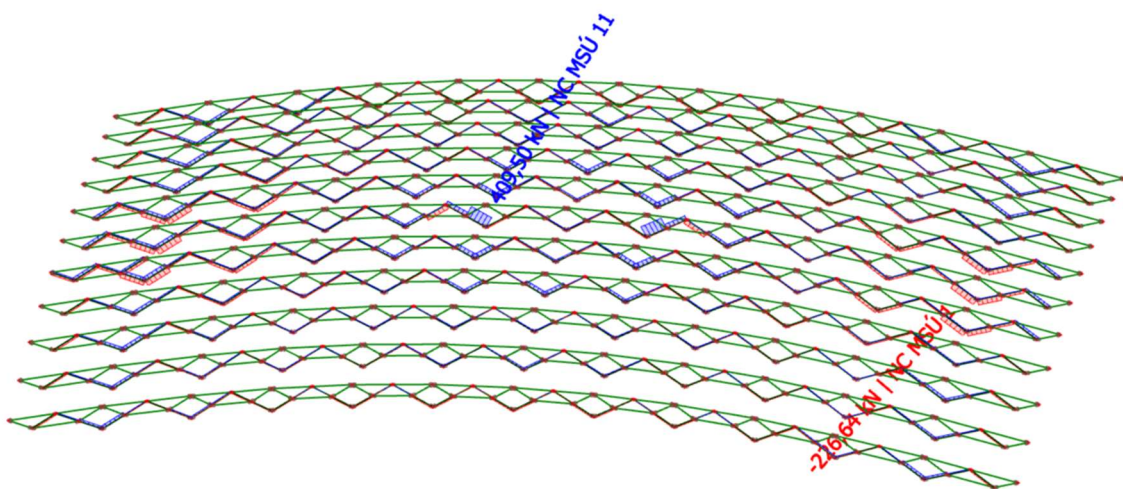


### 6.3.1.2 Diagonály ztužidla

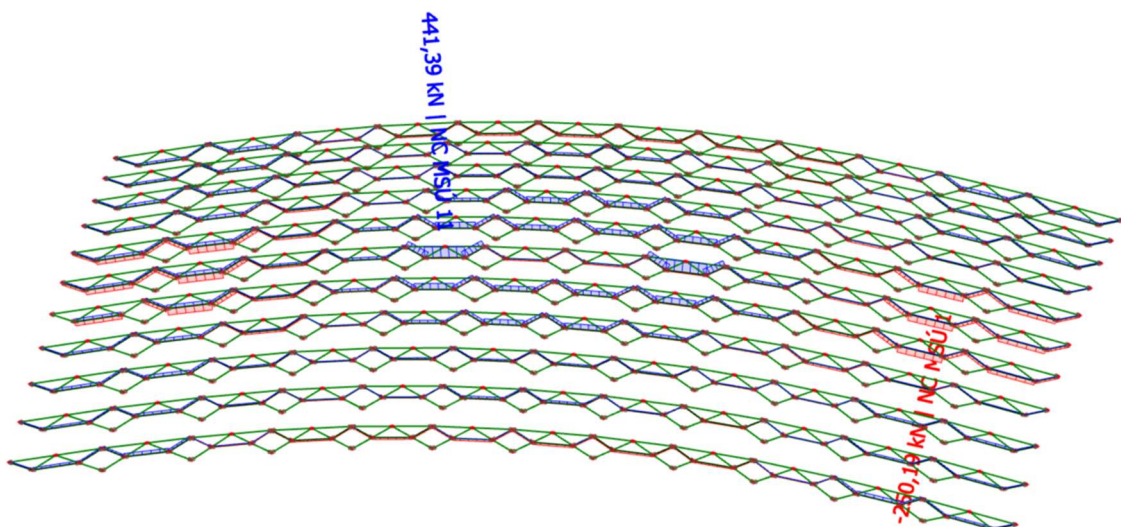
Diagonály jsou dále rozděleny na dva typy průřezů viz schéma.



Maximální normálová síla v diagonálách D1:



Maximální normálová síla v diagonálách D2:



Posouzení diagonál D1:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 226,6$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3974$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 1987$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |                 |              |    |
|---------------------|-----------------|--------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 127x4        |              |    |
| Třída průřezu:      | 1               |              |    |
| $A = 1732$          | mm <sup>2</sup> | $i_y = 43,3$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ |                 | $i_z = 43,3$ | mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 91,78$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 45,89$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,20$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,60$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,47$ |
|   | $\phi_z = 0,78$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,433$$
$$\chi_z = 0,785$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 266,372 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 266,37 kNm | > | 226,64 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 85,1 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 409,5$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |          |
|----------------|----------|
| Návrh průřezu: | TR 127x4 |
|----------------|----------|

|                  |  |                     |    |
|------------------|--|---------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 614,86$ | kN |
|------------------|--|---------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 614,86 kNm | > | 409,5 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 66,6 % |
|----------|--------|

Posouzení diagonál D2:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 250,2$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3296$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3296$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |                 |
|---------------------|--------------|-----------------|
| Návrh průřezu:      | TR 102x6,3   |                 |
| Třída průřezu:      | 1            |                 |
| $A = 1894$          | $i_y = 33,9$ | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 33,9$ | mm              |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 97,23$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 97,23$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,27$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,27$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,57$ |
|   | $\phi_z = 1,57$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,401$$
$$\chi_z = 0,401$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 269,387 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 269,39 kNm | > | 250,19 kN |

Vyhovuje  
92,9 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                   |    |
|-------------------------|-------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 441,39$ | kN |
|-------------------------|-------------------|----|

|                |            |
|----------------|------------|
| Návrh průřezu: | TR 102x6,3 |
|----------------|------------|

|                  |  |                     |    |
|------------------|--|---------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 672,37$ | kN |
|------------------|--|---------------------|----|

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 672,37 kNm | > | 441,39 kN |

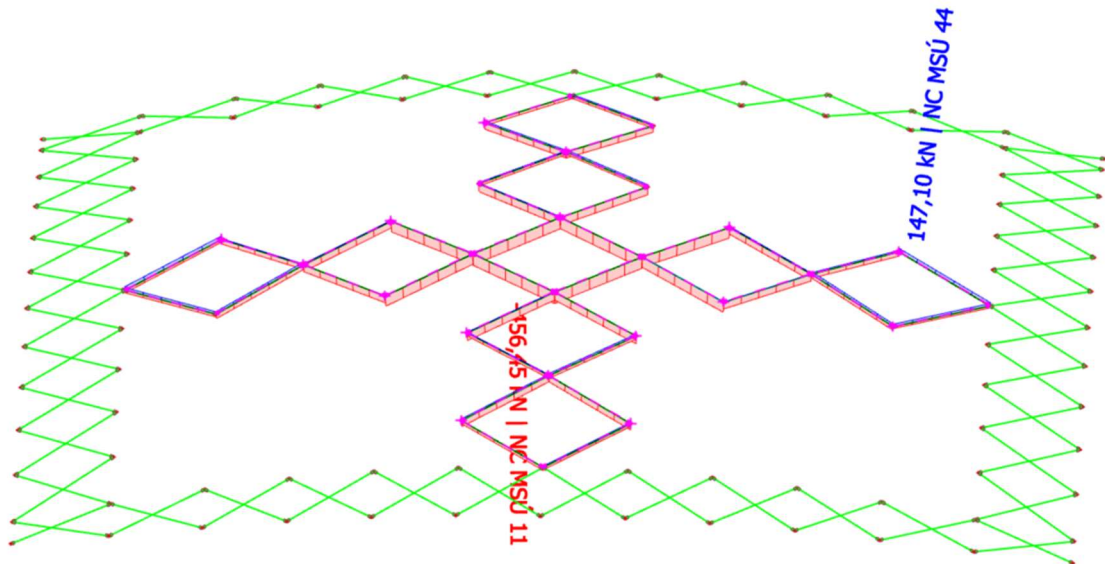
Vyhovuje  
65,6 %

### 6.3.2 Vodorovné ztužení

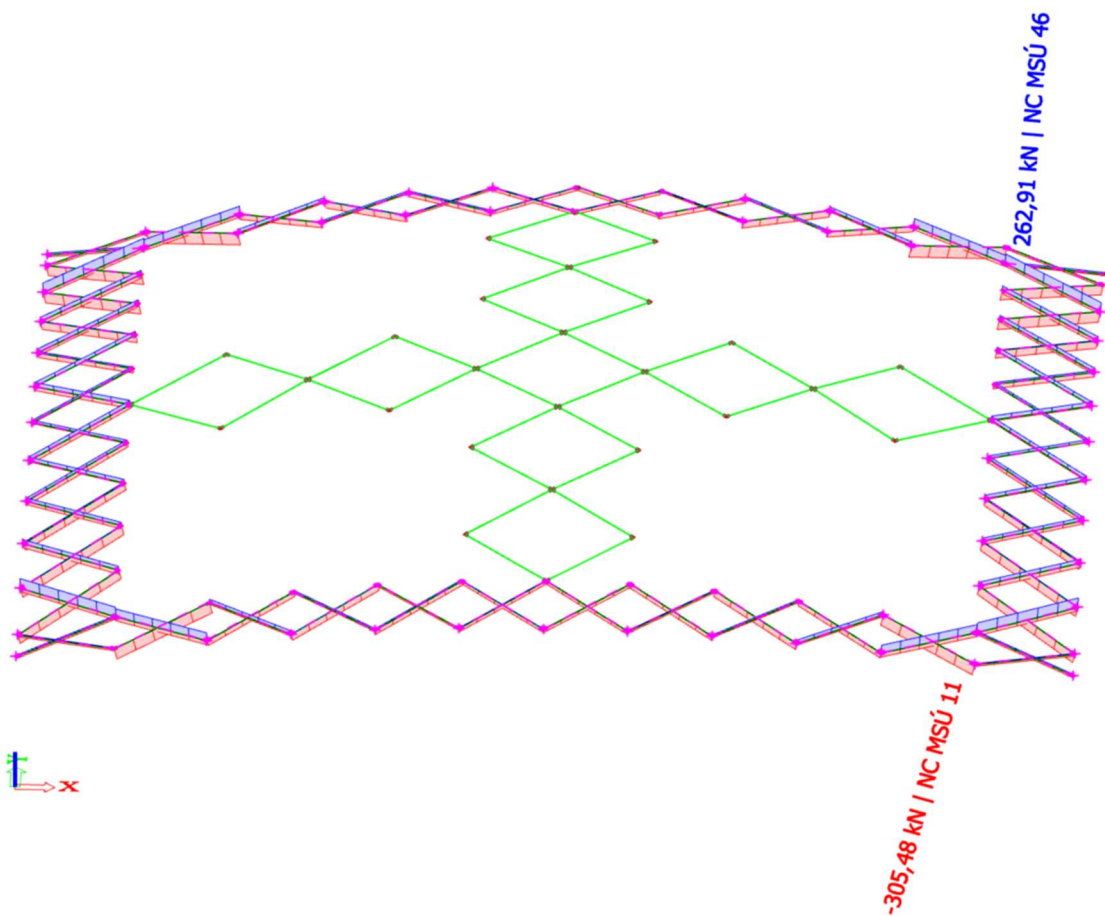
Vodorovná ztužidla jsou tvořena křížovými trubkovými ztužidly.

Vzhledem k rozdílu namáhání byla ztužidla rozdělena na vnitřní a krajní

#### 6.3.2.1 Vnitřní ztužidla



#### 6.3.2.2 Krajní ztužidla



Tahová síla kolmé diagonály na nejvíce namáhanou tlakovou diagonálu je 203,14 kN.

Posouzení vnitřního ztužidla:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 456,5$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 8864$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 8864$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |                 |
|---------------------|--------------|-----------------|
| Návrh průřezu:      | TR 219x8     |                 |
| Třída průřezu:      | 1            |                 |
| $A = 5303$          | $i_y = 74,7$ | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 74,7$ | mm              |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 118,66$<br>$\lambda_z = 118,66$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,55$<br>$\bar{\lambda}_z = 1,55$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 2,04$<br>$\phi_z = 2,04$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,298 \quad \chi_z = 0,298$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 560,944 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 560,94 kNm | > | 456,45 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 81,4 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |  |                         |          |
|-------------------------|--|-------------------------|----------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 147,1$                             | kN                      |          |
| Návrh průřezu:          | TR 219x8                                     |                         |          |
| Vzpěrná únosnost        | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 1882,57$ kN |          |
| Posouzení:              | $N_{b,Rd}$                                   | >                       | $N_{Ed}$ |
|                         | 1882,57 kNm                                  | >                       | 147,1 kN |

Vyhovuje

|          |       |
|----------|-------|
| Využití: | 7,8 % |
|----------|-------|

Posouzení krajního ztužidla:

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 8,507 \sqrt{1 - 0,75 \frac{203,14 \cdot 8,507}{305,48 \cdot 8,507}} = 6,023 \text{ m}$$

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 305,5$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 6023$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 6023$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |
| Návrh průřezu:           | TR 159x6,3          |      |
| Třída průřezu:           | 1                   |      |
| $A = 3022$               | $i_y = 54$          | mm   |
| $\lambda_1 = 76,41$      | $i_z = 54$          | mm   |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 111,54$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 111,54$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,46$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,46$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,87$ |
|   | $\phi_z = 1,87$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,328$$

$$\chi_z = 0,328$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 351,821 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 351,82 kNm | > | 305,48 kN |

Vyhovuje

Využití: 86,8 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                   |    |
|-------------------------|-------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 262,91$ | kN |
|-------------------------|-------------------|----|

Návrh průřezu: TR 159x6,3

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{b,Rd} = 1072,81 \text{ kN}$$

|            |             |   |           |
|------------|-------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$  | > | $N_{Ed}$  |
|            | 1072,81 kNm | > | 262,91 kN |

Vyhovuje

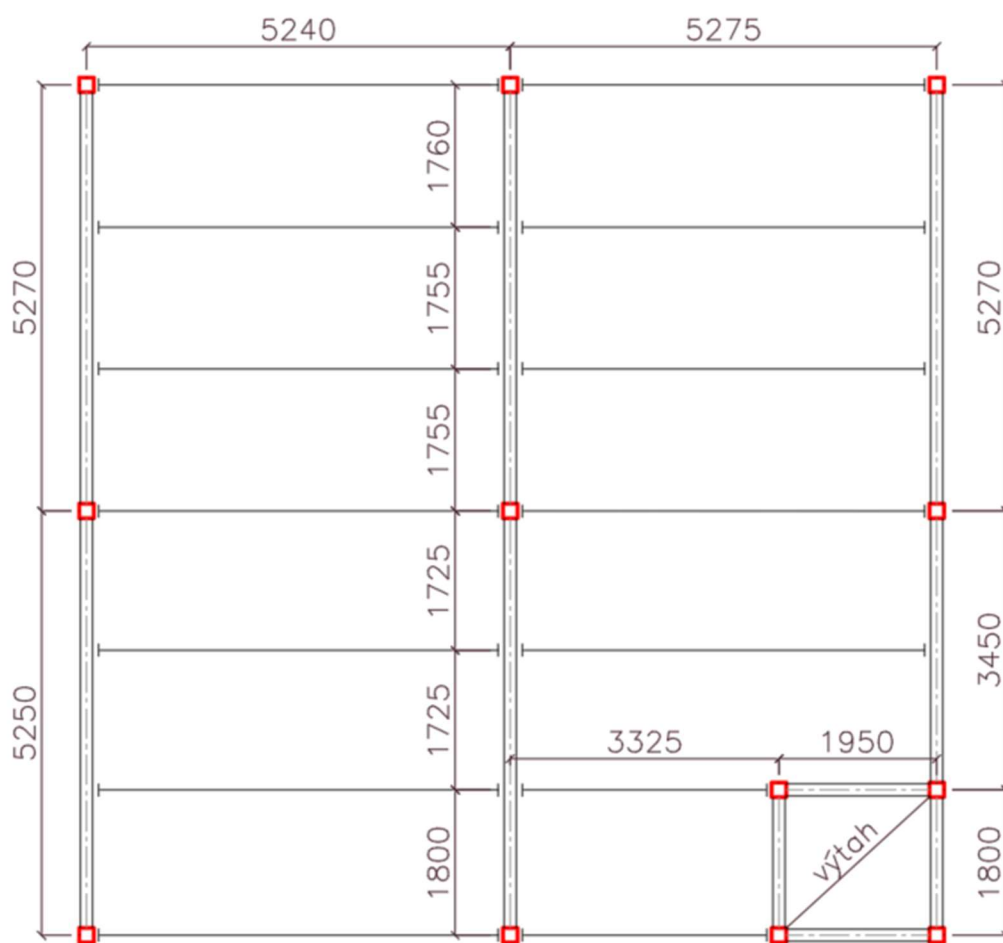
Využití: 24,5 %

## 7 Návrh rohové věže

V každém rohu stadionu se nachází věže s komerčními prostory a skyboxy. Nosnou konstrukci věže tvoří ocelové sloupy v kombinaci s ocelovým, či ocelobetonovým stropem. Rozměry věží jsou patrné ze schématu k jednotlivým podlažím. Ve spodních podlažích na věž navazují ochozy pro přístup k tribunám.

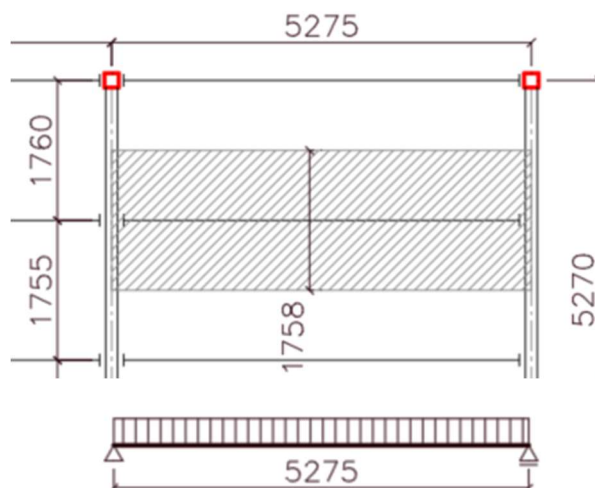
### 7.1 Návrh stropu nad 3.NP

Strop nad 3.NP budou tvořit ocelové nosníky a na nich připevněný sendvičový panel. Sendvičové panely budou sloužit k tepelně izolačnímu oddělení interiéru věže od prostoru haly s nízkou teplotou. Na strop bude uvažováno s užitným zatížením skupiny H (pro případnou údržbu) a ze spodní strany bude zavěšen SDK podhled a instalace pod stropem.



### 7.1.1 Stropnice

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou. Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník:



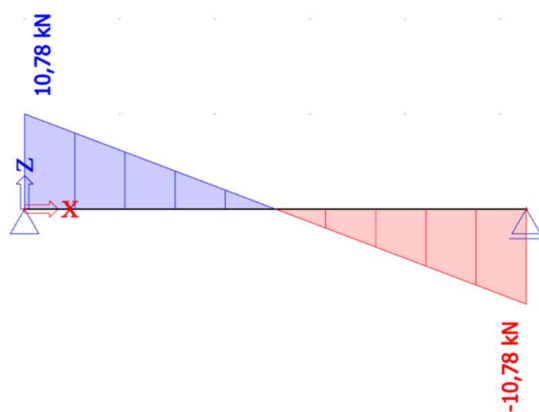
Svislé zatížení stropnice:

| Zatížení stálé       | Výpočet           | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|-------------------|--------------|------------|--------------|
| Vlastní tíha profilu | výpočet program   | -            | 1,35       | -            |
| Sendvičový panel     | $1,758 \cdot 0,3$ | 0,527        | 1,35       | 0,711        |
| SDK + instalace      | $1,758 \cdot 0,5$ | 0,879        | 1,35       | 1,187        |
| <b>SUMA</b>          |                   | <b>1,406</b> |            | <b>1,898</b> |

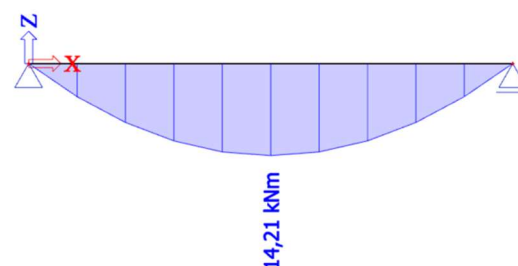
| Zatížení             | Výpočet            | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------|--------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie H | $1,758 \cdot 0,75$ | 1,319                      | 1,5        | 1,979                      |
| <b>SUMA</b>          |                    | <b>1,319</b>               |            | <b>1,979</b>               |

Vnitřní síly:

Posouvající síly



Moment





## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |                 |        |                 |
|---------------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$    | 14,21  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel            | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$         | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$ | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | IPE 160         |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1               |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{ply} =$     | 123900 | mm <sup>3</sup> |

$$\text{Únosnost průřezu: } M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 43,98 \text{ kNm}$$

$$\text{Posouzení: } \begin{array}{l} M_{y,Rd} > M_{y,Ed} \\ 43,98 \text{ kNm} > 14,21 \text{ kNm} \end{array}$$

Vyhovuje

$$\text{Využití: } 32,3 \%$$

### Posouzení smyku

|                           |                 |       |                 |
|---------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 10,78 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 966   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0   |                 |

$$\text{Únosnost průřezu: } V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 197,99 \text{ kN}$$

$$\text{Posouzení: } \begin{array}{l} V_{pl,Rd} > V_{Ed} \\ 197,99 \text{ kN} > 10,78 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

$$\text{Využití: } 5,4 \%$$

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

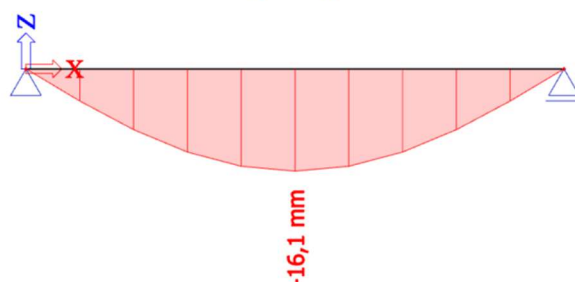
### Posouzení MSP

$$\text{Rozpon prvku: } l = 5275 \text{ mm}$$

$$\text{Limitní průhyb: } \delta_{lim} = \frac{l}{200} = 26,38 \text{ mm}$$

$$\text{Posouzení: } \begin{array}{l} \delta_{lim} > \delta_z \\ 26,38 \text{ mm} > 16,1 \text{ mm} \end{array}$$

Vyhovuje

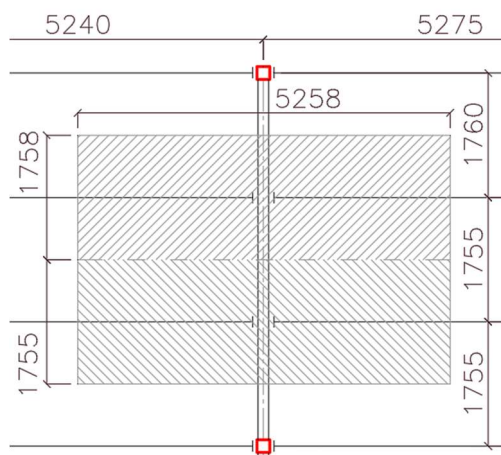
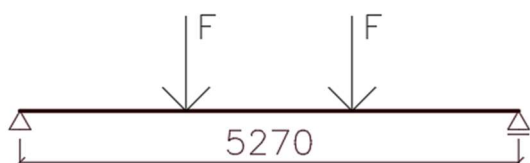


Navržený profil IPE 160 vyhoví na MSÚ i MSP

## 7.1.2 Průvlak

Vybrána byla průvlak s největší zatěžovací plochou. Zatěžovací schéma průvlaku je prostý nosník:

Užitné zatížení bude započítáno pouze na ploše 10 m<sup>2</sup>.



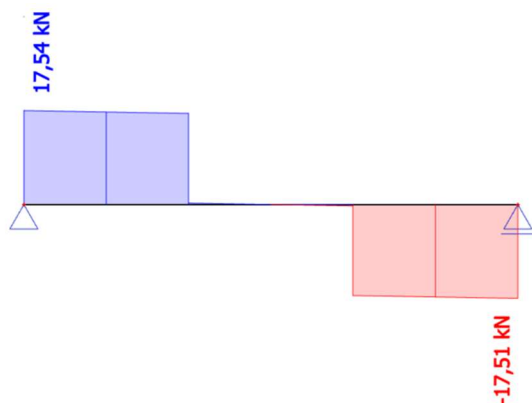
Svislé zatížení průvlaku:

| Zatížení             | Výpočet         | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>G</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|----------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Vlastní tíha profilu | výpočet program | -                   | 1,35           | -                   |
| Sendvičový panel     | 1,758*5,258*0,3 | 2,773               | 1,35           | 3,744               |
| SDK + instalace      | 1,758*5,258*0,5 | 4,622               | 1,35           | 6,240               |
| Stropnice            | 5,258*0,16      | 0,841               | 1,35           | 1,135               |
| <b>SUMA</b>          |                 | <b>8,236</b>        |                | <b>11,119</b>       |

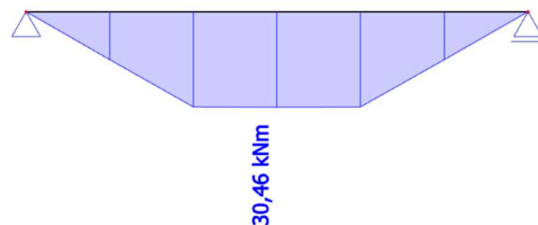
| Zatížení             | Výpočet     | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>Q</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|----------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Užitné – kategorie H | 10*0,5*0,75 | 3,75                | 1,5            | 5,625               |
| <b>SUMA</b>          |             | <b>3,750</b>        |                | <b>5,625</b>        |

Vnitřní síly:

Posouvající síly



Moment



## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |                 |        |                 |
|---------------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$    | 30,46  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel            | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$         | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$ | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | IPE 200         |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1               |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{ply} =$     | 220600 | mm <sup>3</sup> |

$$\text{Únosnost průřezu: } M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 78,31 \text{ kNm}$$

|            |            |   |            |
|------------|------------|---|------------|
| Posouzení: | $M_{y,Rd}$ | > | $M_{y,Ed}$ |
|            | 78,31 kNm  | > | 30,46 kNm  |

Vyhovuje  
38,9 %

Využití:

### Posouzení smyku

|                           |                 |       |                 |
|---------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 17,54 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1400  | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0   |                 |

$$\text{Únosnost průřezu: } V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 286,94 \text{ kN}$$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 286,94 kN   | > | 17,54 kN |

Vyhovuje  
6,1 %

Využití:

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

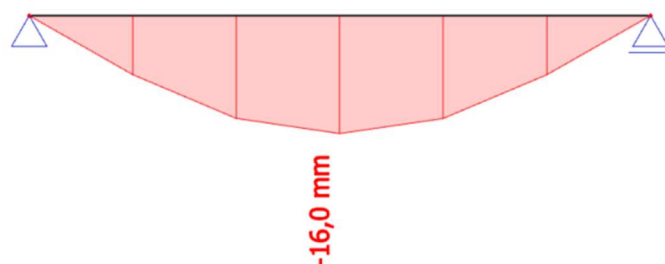
### Posouzení MSP

|               |       |      |    |
|---------------|-------|------|----|
| Rozpon prvku: | $l =$ | 5270 | mm |
|---------------|-------|------|----|

$$\text{Limitní průhyb } \delta_{lim} = \frac{l}{250} = 21,08 \text{ mm}$$

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 21,08 mm       | > | 16,0 mm    |

Vyhovuje



Navržený profil IPE 200 vyhoví na MSÚ i MSP

## 7.2 Návrh stropu nad 2.NP a 1.NP

Strop nad 2.NP budou tvořit ocelové nosníky a na nich připevněný trapézový plech. Trapézový plech bude zalit betonovou směsí a beton vyztužen kari sítí. Na strop bude uvažováno s užitným zatížením skupiny C5 (sportovní haly) a ze spodní strany bude zavěšen SDK podhled a instalace pod stropem.

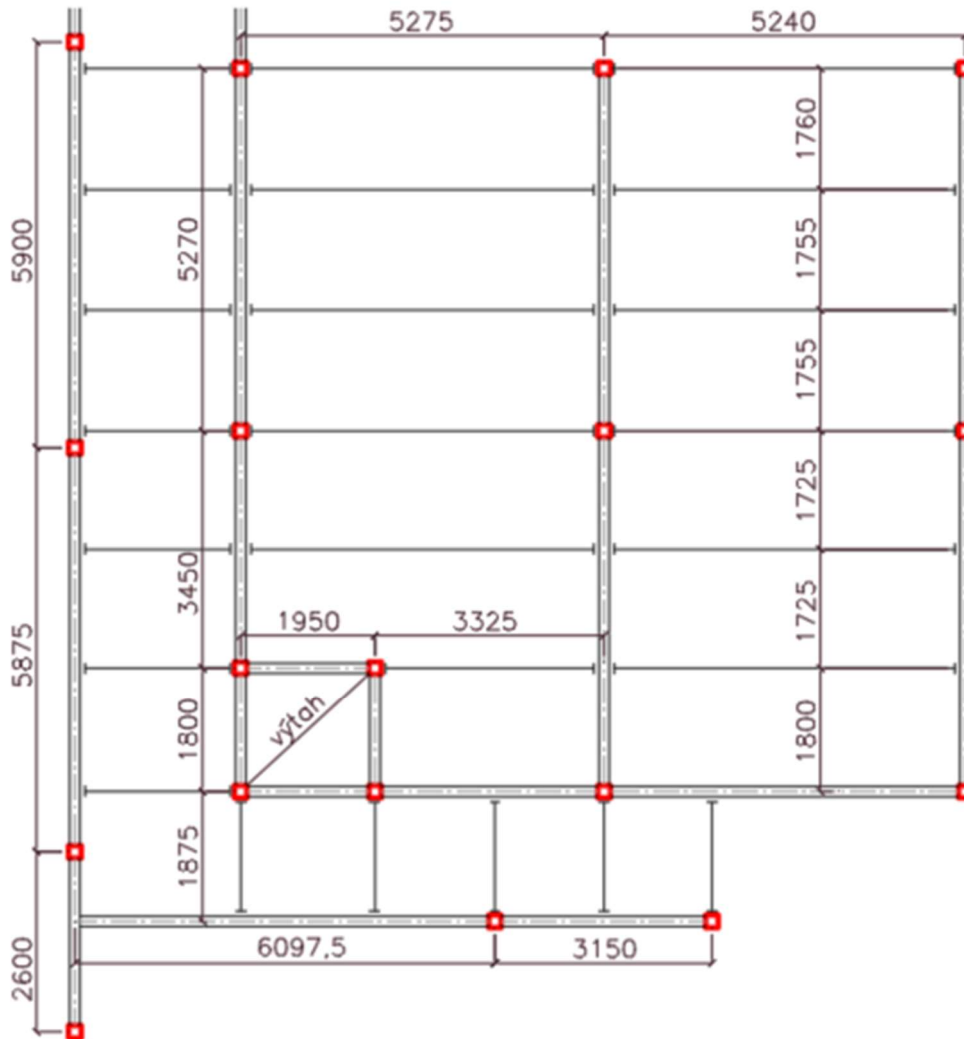


Schéma stropu nad 2.NP

## 7.2.1 Návrh trapézového plechu

Pro ocelový strop s trapézovým plechem byla zvolena skladba trapézového plechu a 50 mm nadbetonávky s kari sítí. Pro ocelobetonový strop bude proveden výpočet s nadbetonávkou 70 mm.

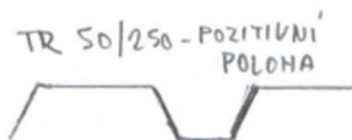
Návrh trapézového plechu TR 50/250 – pozitivní poloha

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$$

$$f_{u,k} = 390 \text{ MPa}$$

$$G_k = 80770 \text{ MPa}$$



Výpočet náhradní tloušťky betonové vrstvy pro ocelový strop:

$$h_{st} = 50 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250} = 67 \text{ mm}$$

Výpočet náhradní tloušťky betonové vrstvy pro ocelobetonový strop:

$$h_{st} = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250} = 87 \text{ mm}$$

Stálé zatížení pro ocelový strop:

| Zatížení        | Výpočet  | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------|----------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Betonová deska  | 0,067*26 | 1,742                      | 1,35       | 2,352                      |
| Trapézový plech | 0,15     | 0,15                       | 1,35       | 0,203                      |
| <b>SUMA</b>     |          | <b>1,892</b>               |            | <b>2,554</b>               |

Stálé zatížení pro ocelobetonový strop:

| Zatížení        | Výpočet  | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------|----------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Betonová deska  | 0,087*26 | 2,262                      | 1,35       | 3,054                      |
| Trapézový plech | 0,15     | 0,15                       | 1,35       | 0,203                      |
| <b>SUMA</b>     |          | <b>2,412</b>               |            | <b>3,256</b>               |

Proměnné zatížení:

| Zatížení          | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – montážní | 1,5     | 1,5                        | 1,5        | 2,250                      |
| <b>SUMA</b>       |         | <b>1,500</b>               |            | <b>2,250</b>               |

Spojité zatížení pro ocelobetonový strop:

$$f_{E,d} = f_{d,s} + f_{d,p} = 3,256 + 2,25 = 5,506 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{E,k} = f_{k,s} + f_{k,p} = 2,412 + 1,5 = 3,912 \text{ kN/m}^2$$

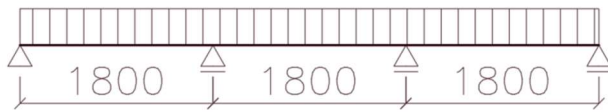
Spojité zatížení pro ocelový strop:

$$f_{E,d} = f_{d,s} + f_{d,p} = 2,554 + 2,25 = 4,804 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{E,k} = f_{k,s} + f_{k,p} = 1,892 + 1,5 = 3,392 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení trapézového plechu:

Trapézový plech bude působit jako spojitý nosník o 3, či více polích.



| $t_N$<br>[mm] | g<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Rozpětí [m] |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | pro spojitý nosník o třech polích lze únosnost zvýšit o 7% |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|               |                           | 1,00        | 1,25  | 1,50  | 1,75  | 2,00  | 2,25  | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00   | 5,25 | 5,50 | 5,75 | 6,00 |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,63          | 6,30                      | $q_{d1}$    | 10,24 | 7,34  | 5,54  | 4,34  | 3,49  | 2,88 | 2,41 | 2,05 | 1,76 | 1,54 | 1,35 | 1,19 | 1,06 | 0,96 | 0,86 | 0,77   | 0,69 | 0,63 | 0,57 | 0,53 | 0,48 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 7,40  | 5,92  | 4,87  | 3,85  | 3,13  | 2,60 | 2,19 | 1,87 | 1,62 | 1,42 | 1,25 | 1,11 | 0,99 | 0,89 | 0,81 | 0,74   | 0,67 | 0,62 | 0,57 | 0,52 | 0,48 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 25,60 | 13,11 | 7,59  | 4,78  | 3,20  | 2,25 | 1,64 | 1,23 | 0,95 | 0,75 | 0,60 | 0,49 | 0,40 | 0,33 | 0,28 | 0,24   | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,75          | 7,50                      | $q_{d1}$    | 14,43 | 10,32 | 7,77  | 6,07  | 4,88  | 4,01 | 3,36 | 2,85 | 2,46 | 2,13 | 1,87 | 1,66 | 1,48 | 1,31 | 1,17 | 1,05   | 0,95 | 0,86 | 0,79 | 0,72 | 0,66 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 10,90 | 8,72  | 6,84  | 5,40  | 4,38  | 3,63 | 3,06 | 2,62 | 2,26 | 1,98 | 1,74 | 1,55 | 1,38 | 1,24 | 1,12 | 1,02   | 0,93 | 0,85 | 0,79 | 0,72 | 0,66 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 32,57 | 16,68 | 9,65  | 6,08  | 4,07  | 2,86 | 2,08 | 1,57 | 1,21 | 0,95 | 0,76 | 0,62 | 0,51 | 0,42 | 0,36 | 0,30   | 0,26 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,88          | 8,80                      | $q_{d1}$    | 19,32 | 13,72 | 10,28 | 8,00  | 6,41  | 5,25 | 4,39 | 3,72 | 3,19 | 2,77 | 2,43 | 2,13 | 1,87 | 1,66 | 1,48 | 1,33   | 1,20 | 1,09 | 0,99 | 0,91 | 0,83 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 15,39 | 11,96 | 9,08  | 7,14  | 5,78  | 4,77 | 4,01 | 3,42 | 2,95 | 2,57 | 2,26 | 2,01 | 1,79 | 1,61 | 1,45 | 1,32   | 1,20 | 1,09 | 0,99 | 0,91 | 0,83 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 40,61 | 20,79 | 12,03 | 7,58  | 5,08  | 3,57 | 2,60 | 1,95 | 1,50 | 1,18 | 0,95 | 0,77 | 0,63 | 0,53 | 0,45 | 0,38   | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,21 | 0,19 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,00          | 10,00                     | $q_{d1}$    | 24,26 | 17,16 | 12,80 | 9,93  | 7,94  | 6,49 | 5,41 | 4,58 | 3,93 | 3,40 | 2,95 | 2,57 | 2,26 | 2,00 | 1,79 | 1,60   | 1,45 | 1,31 | 1,20 | 1,09 | 1,00 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 20,17 | 14,99 | 11,34 | 8,89  | 7,17  | 5,91 | 4,96 | 4,22 | 3,64 | 3,17 | 2,78 | 2,46 | 2,20 | 1,97 | 1,78 | 1,60   | 1,45 | 1,31 | 1,20 | 1,09 | 1,00 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 48,61 | 24,89 | 14,40 | 9,07  | 6,08  | 4,27 | 3,11 | 2,34 | 1,80 | 1,42 | 1,13 | 0,92 | 0,76 | 0,63 | 0,53 | 0,45   | 0,39 | 0,34 | 0,29 | 0,26 | 0,23 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,13          | 11,30                     | $q_{d1}$    | 30,06 | 21,16 | 15,74 | 12,17 | 9,70  | 7,92 | 6,59 | 5,57 | 4,77 | 4,08 | 3,52 | 3,06 | 2,69 | 2,39 | 2,13 | 1,91   | 1,73 | 1,57 | 1,43 | 1,31 | 1,20 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 25,87 | 18,52 | 13,96 | 10,92 | 8,79  | 7,23 | 6,06 | 5,15 | 4,43 | 3,85 | 3,38 | 2,99 | 2,67 | 2,39 | 2,13 | 1,91   | 1,73 | 1,57 | 1,43 | 1,31 | 1,20 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 58,60 | 30,00 | 17,36 | 10,93 | 7,32  | 5,14 | 3,75 | 2,82 | 2,17 | 1,71 | 1,37 | 1,11 | 0,92 | 0,76 | 0,64 | 0,55   | 0,47 | 0,40 | 0,35 | 0,31 | 0,27 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,25          | 12,50                     | $q_{d1}$    | 35,79 | 25,10 | 18,61 | 14,37 | 11,43 | 9,31 | 7,74 | 6,53 | 5,52 | 4,71 | 4,06 | 3,54 | 3,11 | 2,76 | 2,46 | 2,21   | 1,99 | 1,81 | 1,65 | 1,51 | 1,38 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_{d2}$    | 30,83 | 22,01 | 16,54 | 12,91 | 10,37 | 8,51 | 7,13 | 6,05 | 5,20 | 4,52 | 3,96 | 3,50 | 3,11 | 2,76 | 2,46 | 2,21   | 1,99 | 1,81 | 1,65 | 1,51 | 1,38 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |                           | $q_k$       | 68,29 | 34,96 | 20,23 | 12,74 | 8,54  | 5,99 | 4,37 | 3,28 | 2,53 | 1,99 | 1,59 | 1,29 | 1,07 | 0,89 | 0,75 | 0,64   | 0,55 | 0,47 | 0,41 | 0,36 | 0,32 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Pro oba případy bude navržen trapézový plech TR 50/250 tl. 0,88 mm a tudíž bude posouzen jen více zatížený případ.

Návrhová a charakteristická únosnost:

$$(g + q)_{R,d} = 6,41 \text{ kN/m}^2 \quad (g + q)_{R,k} = 5,08 \text{ kN/m}^2$$

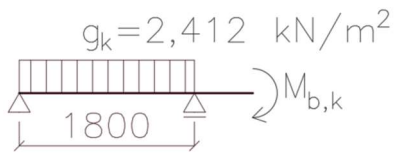
**MSÚ**

$$f_{E,d} = 5,506 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,d} = 6,41 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

**MSP**

$$f_{E,k} = 3,912 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,k} = 5,08 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení rybníkového efektu



$$I_{\text{eff}} = 27,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$M_{b,k} = -\frac{1}{10} \cdot g_k \cdot L^2 = -\frac{1}{10} \cdot 2,412 \cdot 1,8^2 = -0,781 \text{ kNm}$$

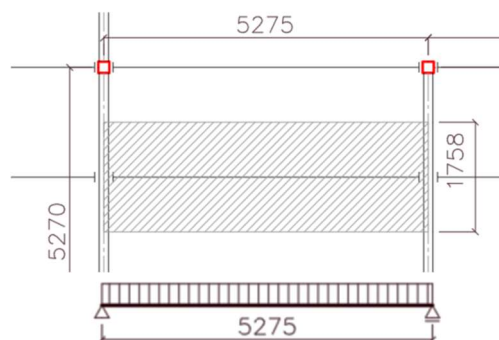
$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{E \cdot I_{\text{eff}}} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot g_k \cdot L^4 + \frac{1}{16} \cdot M_{b,k} \cdot L^2 \right) \\ &= \frac{1}{210000 \cdot 27,2 \cdot 10^4} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot 2,412 \cdot 1800^4 + \frac{1}{16} \cdot (-0,781) \cdot 1800^2 \right) \\ &= 5,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{ryb}} = \frac{h_{\text{st}}}{10} = \frac{87}{10} = 8,7 \text{ mm}$$

**$\delta = 5,77 \text{ mm} < \delta_{\text{ryb}} = 8,7 \text{ mm} \Rightarrow$  rybníkový efekt nevznikne**

## 7.2.2 Návrh ocelobetonové stropnice

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou. Stropnice je při montážním stavu nepodepřená. Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník:



Stálé zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,718 \cdot 0,087 \cdot 26$ | 3,886        | 1,35       | 5,246        |
| Trapézový plech      | $1,718 \cdot 0,15$           | 0,258        | 1,35       | 0,348        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>4,544</b> |            | <b>6,134</b> |

Proměnné zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení          | Výpočet            | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------|--------------------|--------------|------------|--------------|
| Montážní zvětšené | $1,718 \cdot 1,5$  | 2,577        | 1,5        | 3,866        |
| Montážní          | $1,718 \cdot 0,75$ | 1,289        | 1,5        | 1,934        |
| <b>SUMA</b>       |                    | <b>3,866</b> |            | <b>5,799</b> |

Stálé zatížení v montážním stádiu včetně rybníkového efektu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,758 \cdot 0,105 \cdot 26$ | 4,799        | 1,35       | 6,479        |
| Trapézový plech      | $1,758 \cdot 0,15$           | 0,264        | 1,35       | 0,356        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>5,463</b> |            | <b>7,375</b> |

Stálé zatížení v provozním stádiu:

| Zatížení                | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska          | $1,758 \cdot 0,105 \cdot 25$ | 4,615        | 1,35       | 6,230        |
| Trapézový plech         | $1,758 \cdot 0,15$           | 0,264        | 1,35       | 0,356        |
| SDK, instalace, podlaha | $1,758 \cdot 0,75$           | 1,319        | 1,35       | 1,781        |
| Vlastní tíha nosníku    | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>             |                              | <b>6,598</b> |            | <b>8,907</b> |

\*betonová deska započtena včetně vlivu rybníkového efektu

Proměnné zatížení v provozním stádiu:

| Zatížení              | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,758 \cdot 5$   | 8,79                       | 1,5        | 13,185                     |
| Příčky (do 3kN/m)     | $1,758 \cdot 1,2$ | 2,11                       | 1,5        | 3,165                      |
| <b>SUMA</b>           |                   | <b>10,900</b>              |            | <b>16,350</b>              |

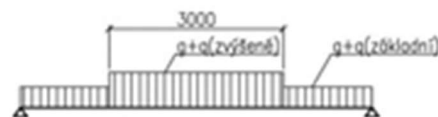


## Návrh ocelobetonového prvku

### Vstupní hodnoty

|                                      |                  |                 |                                     |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Rozpon prvku                         | L =              | 5275            | mm                                  |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Ocel</b>      | <b>S355</b>     |                                     |
| Mez kluzu                            | $f_y =$          | 355             | MPa                                 |
| Mez pevnosti                         | $f_u =$          | 490             | MPa                                 |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_{M1} =$  | 1,0             |                                     |
| Modul pružnosti                      | $E_s =$          | 210000          | MPa                                 |
| Modul pružnosti ve smyku             | $G =$            | 80700           | MPa                                 |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Beton</b>     | <b>C25/30</b>   |                                     |
| Charakteristická pevnost v tlaku     | $f_{ck} =$       | 25              | MPa                                 |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_c =$     | 1,5             |                                     |
| Návrhová pevnost v tlaku             | $f_{cd} =$       | 16,67           | MPa                                 |
| Modul pružnosti                      | $E_{cm} =$       | 31000           | MPa                                 |
| <b>Návrh průřezu:</b>                | <b>IPE 160</b>   |                 |                                     |
| Třída průřezu:                       | 1                |                 |                                     |
| $h_s =$                              | 160              | mm              | $G =$ 0,158 kN/m                    |
| $b_s =$                              | 82               | mm              | $I_y =$ 8693000 mm <sup>4</sup>     |
| $A_s =$                              | 2009             | mm <sup>2</sup> | $W_y =$ 108700 mm <sup>3</sup>      |
| $A_{v,2} =$                          | 966              | mm <sup>2</sup> | $W_{pl,y} =$ 123900 mm <sup>3</sup> |
| <b>Trapézový plech</b>               | <b>TR 50/250</b> |                 |                                     |
| Výška plechu                         | $h_p =$          | 50              | mm                                  |
| Tloušťka betonové vrstvy nad plechem | $h_c =$          | 70              | mm                                  |
| Srovnávací tloušťka vrstvy betonu    | $h_{cs} =$       | 87              | mm                                  |

### Montážní stádium



|   |  |            |            |
|---|--|------------|------------|
| Zatížení: stálé                                   | $g_k =$  | 4,641      | kN/m       |
| proměnné:   | zvýšené  | $q_{k1} =$ | 2,637 kN/m |
|   | základní   | $q_{k2} =$ | 1,319 kN/m |
| Průhyb od stálého zatížení                        | $\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} =$ | 25,63      | mm         |
| Rybníkový efekt                                   | $\delta_{ryb} = \frac{h_c}{10} =$                                    | 7,00       | mm         |
| $\delta_{ryb} < \delta_1$ Vznikne rybníkový efekt |  |            |            |
| Přírůstek tloušťky desky                          | $0,7 \cdot \delta_1 =$   | 17,94      | mm         |
| Zatěžovací šířka                                  | ZŠ =   | 1,758      | m          |
| Zvětšení zatížení o                               | $f_{\delta,k} = Z\check{S} \cdot 0,7 \cdot \delta_1 \cdot 26/1000 =$ | 0,82       | kN/m       |
|   | $f_{\delta,d} = f_{\delta,k} \cdot 1,35 =$                           | 1,11       | kN/m       |
| Zatížení: stálé                                   | $g_d =$  | 6,265      | kN/m       |
| proměnné:   | zvýšené  | $q_{d1} =$ | 3,956 kN/m |
|   | základní   | $q_{d2} =$ | 1,979 kN/m |

Návrhová hodnota zatížení:

$$f_d^{zvět} = g_d + q_{d1} + f_{\delta,d} = 11,328 \text{ kN/m}$$

$$f_d = g_d + q_{d2} + f_{\delta,d} = 9,351 \text{ kN/m}$$

Rozměry:



$$L_1 = 1137,5 \text{ mm}$$

$$L_2 = 3000 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:  $V_{Ed} = f_d \cdot L_1 + f_d^{zvět} \cdot L_2/2 = 27,63 \text{ kN}$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} - f_d \cdot L_1 \cdot \left( \frac{L_2}{2} + \frac{L_1}{2} \right) - f_d^{zvět} \cdot \frac{L_2^2}{4} = 38,12 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu:

$$M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 43,9845 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 197,991 \text{ kN}$$

Posouzení:

|            |          |            |
|------------|----------|------------|
| $M_{y,Rd}$ | >        | $M_{y,Ed}$ |
| 43,98 kNm  | >        | 38,12 kNm  |
| Vyhovuje   | Využití: | 86,67%     |

|             |          |          |
|-------------|----------|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | >        | $V_{Ed}$ |
| 197,99 kN   | >        | 27,63 kN |
| Vyhovuje    | Využití: | 13,95%   |

### Provozní stádium

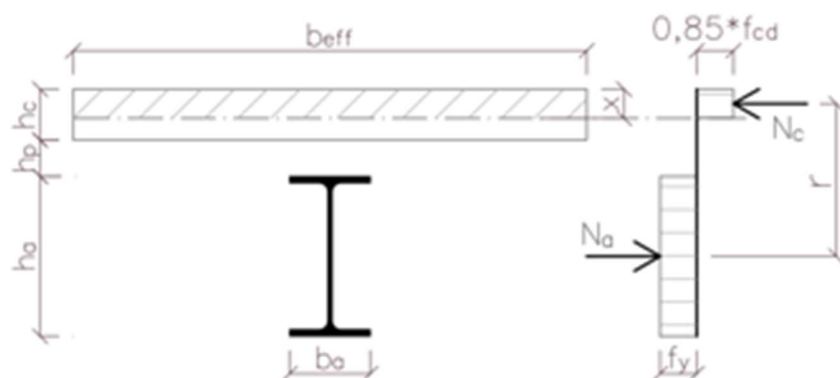
|                 |        |                             |
|-----------------|--------|-----------------------------|
| Zatížení: stálé | char.  | $g_k = 6,598 \text{ kN/m}$  |
|                 | návrh. | $g_d = 8,907 \text{ kN/m}$  |
| proměnné:       | char.  | $q_k = 10,900 \text{ kN/m}$ |
|                 | návrh. | $q_d = 16,350 \text{ kN/m}$ |

Vnitřní síly:  $V_{Ed} = 1/2 \cdot (g + q)_d \cdot L = 66,62 \text{ kN}$   
 $M_{Ed} = 1/8 \cdot (g + q)_d \cdot L^2 = 87,85 \text{ kNm}$

Momentová únosnost:

rozteč stropnic  $b = 1758 \text{ mm}$

účinná šířka desky:  $b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; b\right) = 1318,8 \text{ mm}$



|                          |  |            |            |
|--------------------------|--|------------|------------|
| Rovnováha vnitřních sil: | $N_a = N_c$  |            |            |
|                          | $A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$         |            |            |
| Poloha neutrální osy:    | $x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} =$     | 38,17 mm   |            |
|                          | $x = 38,17 < h_c =$  | 70 mm      |            |
|                          | Neutrální osa leží v desce   |            |            |
| Rameno vnitřních sil:    | $r = \frac{h_a}{2} + h_p + h_c - \frac{x}{2} =$                      | 180,91 mm  |            |
| Únosnost:                | $M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot r =$                             | 129,03 kNm |            |
|                          | $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$ | 197,991 kN |            |
| Posouzení:               | $M_{pl,Rd}$  | $>$        | $M_{y,Ed}$ |
|                          | 129,03 kNm   | $>$        | 87,85 kNm  |
|                          | Vyhovuje   | Využití:   | 68,09%     |
|                          | $V_{pl,Rd}$  | $>$        | $V_{Ed}$   |
|                          | 197,99 kN  | $>$        | 66,62 kN   |
|                          | Vyhovuje   | Využití:   | 33,65%     |

## Návrh spřažení

Návrh: Přivařený trn PROWELD 19/100 S235J2

|                          |              |         |
|--------------------------|--------------|---------|
| Materiál                 | Ocel         | S235J2  |
| Mez pevnosti             | $f_u =$      | 360 MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_v =$ | 1,25    |
| Průměr trnu:             | $d =$        | 19 mm   |
| Délka trnu               | $h_{tr} =$   | 100 mm  |

Únosnost trnu ve smyku

Korekční součinitel  $\alpha = 1$

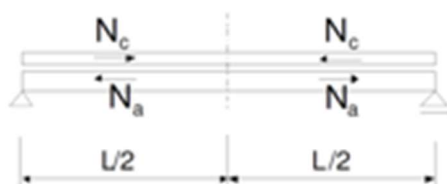
Únosnost 1 trnu:

$$P_{Rd} = \min \left( \begin{array}{l} 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} \\ 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v} \end{array} \right) = 65,33 \text{ kN}$$

Počet trnů v žeburu:  $n_r = 1$   
 Střední rozměr žebra:  $b_o = 84 \text{ mm}$   
 Redukční součinitel:  $k_t = \min\left(\frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_o}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{tr}}{h_p} - 1\right); 0,85\right) = 0,85$

Únosnost 1 trnu v žeburu:  $P_{Rd} = k_t \cdot P_{Rd} = 55,53 \text{ kN}$

Síla na spřažení (polovina nosníku):



$$N_c = N_a = A_a \cdot f_{yd}$$

$$N_c = 713,20 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:  $n_f = \frac{2 \cdot N_c}{P_{Rd}} = 25,69 \Rightarrow 26$

Úmístitelný počet trnů:  $n = \frac{L}{250} = 21,1 \Rightarrow 21$

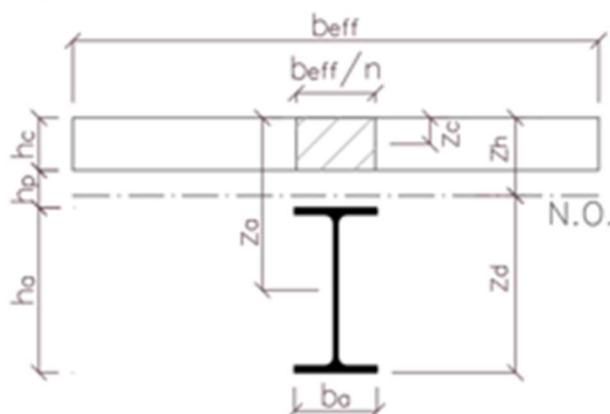
Neúplné spřažení  $\eta = n/n_f = 0,81 > 0,4$  Splněno

Únosnost ocel. průřezu:  $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 43,98 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} = \eta \cdot (M_{pl,Rd} - M_{y,Rd}) + M_{y,Rd} = 112,67 \text{ kNm}$$

Posouzení MSÚ  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = 0,78 > 1,0$  Vyhoví

Posouzení MSP



Modul pružnosti bet. (s dotvarováním)  $E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = 15500 \text{ MPa}$

Pracovní součinitel:  $n = \frac{E_a}{E_{cm}} = 13,548$

„ideální“ efektivní šířka:  $b_{eff}/n = 97,34 \text{ mm}$

Plocha „ideálního“ průřezu  $A_i = A_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c = 8822,5 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Vzdálenosti:} \quad z_a &= h_c + h_p + h_a/2 = & 200 \text{ mm} \\ & z_c = h_c/2 = & 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Těžiště průřezu:} \quad e = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c \cdot z_c}{A_i} = 72,57 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti:

$$I_{y,i} = I_y + A_a \cdot (z_a - e)^2 + \frac{1}{12} \cdot \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c^3 + \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c \cdot (z_c - e)^2 =$$

$$I_{y,i} = 53715499 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Moment od trapézu, betonu a průřezu:} \quad g_k &= 5,279 \text{ kN/m} \\ M_0 &= 1/8 \cdot g_k \cdot L^2 = 18,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment od zbylého zatížení:} \quad (g + q)_k &= 12,219 \text{ kN/m} \\ M_p &= 1/8 \cdot (g + q)_k \cdot L^2 = 42,50 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vzdálenost horních a spodních vláken:} \quad z_h = e &= 72,57 \text{ mm} \\ z_d = h_a + h_p + h_c - e &= 207,43 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Posudky

Napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,\text{max}} = \frac{M_p}{n \cdot I_{y,i}} \cdot z_h = 4,24 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli bez spolupůsobení

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_{\text{ply}}} = 148,20 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli spolupůsobení

$$\sigma_p = \frac{M_p}{I_{y,i}} \cdot z_d = 164,12 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Maximální napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{a,\text{max}} = \sigma_0 + \sigma_p = 312,31 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

### Průhyb

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g + q)_k \cdot L^4}{E_a \cdot I_{y,i}} = 10,92 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = 21,1 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{400} = 13,19 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 10,92 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 21,1 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

$$\delta_2 = 10,92 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 13,19 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

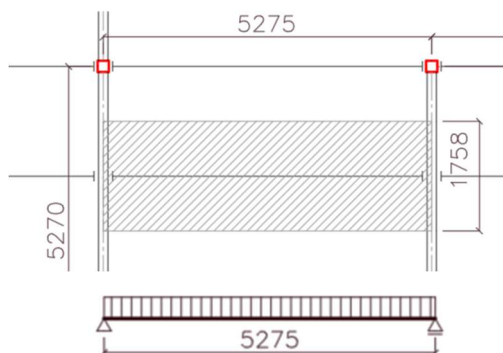
Posouzení kmitání

$$\delta_2 = 10,92 \text{ mm} < \delta_{\text{lim,dyn}} = 28 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

### 7.2.3 Návrh ocelové vaznice

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou. Stropnice je při montážním stavu nepodepřená. Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník:



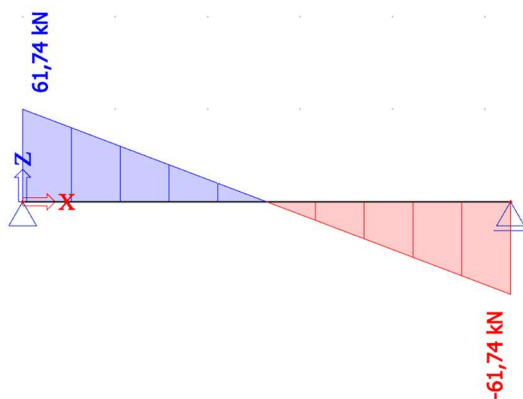
Svislé zatížení stropnice:

| Zatížení                | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska          | $1,758 \cdot 0,067 \cdot 25$ | 2,945        | 1,35       | 3,976        |
| Trapézový plech         | $1,758 \cdot 0,15$           | 0,264        | 1,35       | 0,356        |
| SDK, instalace, podlaha | $1,758 \cdot 0,75$           | 1,319        | 1,35       | 1,781        |
| Vlastní tíha nosníku    | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>             |                              | <b>4,928</b> |            | <b>6,653</b> |

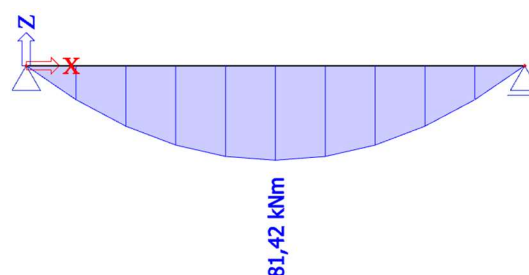
| Zatížení              | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,758 \cdot 5$   | 8,79                       | 1,5        | 13,185                     |
| Příčky (do 3kN/m)     | $1,758 \cdot 1,2$ | 2,11                       | 1,5        | 3,165                      |
| <b>SUMA</b>           |                   | <b>10,900</b>              |            | <b>16,350</b>              |

Vnitřní síly:

Posouvající síly



Moment



Variantně byl proveden výpočet pro ocelový nosník nespřažený s betonem, a i přes menší rozpon, než je běžné pro spřažené konstrukce, tak je výhodnější použít ocelobetonový nosník. Výpočet ocelového nosníku je na další stránce.

## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |                 |        |                 |
|---------------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$    | 81,42  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel            | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$         | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$ | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | IPE 240         |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1               |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{ply} =$     | 366600 | mm <sup>3</sup> |

$$\text{Únosnost průřezu: } M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 130,14 \text{ kNm}$$

|            |            |   |            |
|------------|------------|---|------------|
| Posouzení: | $M_{y,Rd}$ | > | $M_{y,Ed}$ |
|            | 130,14 kNm | > | 81,42 kNm  |

Vyhovuje

Využití: 62,6 %

### Posouzení smyku

|                           |                 |       |                 |
|---------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 17,54 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1400  | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0   |                 |

$$\text{Únosnost průřezu: } V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 286,94 \text{ kN}$$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 286,94 kN   | > | 17,54 kN |

Vyhovuje

Využití: 6,1 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

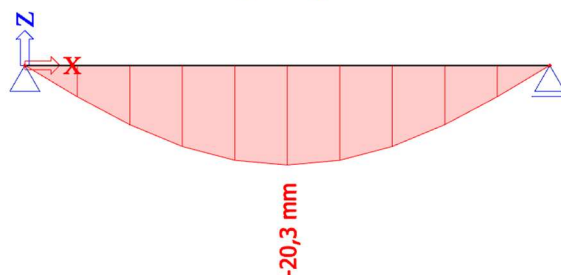
### Posouzení MSP

|               |       |      |    |
|---------------|-------|------|----|
| Rozpon prvku: | $l =$ | 5275 | mm |
|---------------|-------|------|----|

$$\text{Limitní průhyb } \delta_{lim} = \frac{l}{250} = 21,10 \text{ mm}$$

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 21,10 mm       | > | 20,3 mm    |

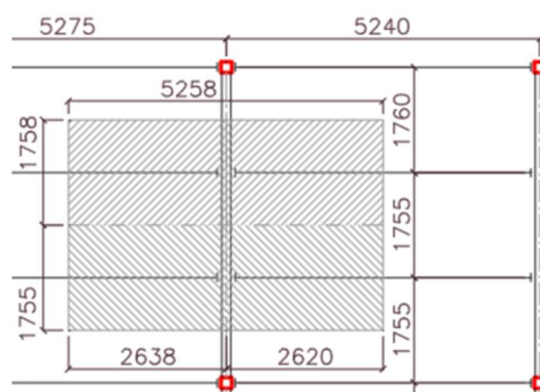
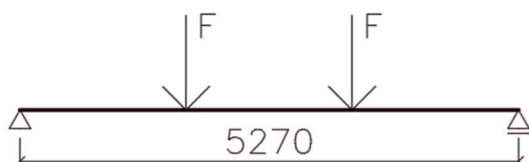
Vyhovuje



Navržený profil IPE 240 vyhoví na MSÚ i MSP

## 7.2.4 Průvlak

Vybrána byla průvlak s největší zatěžovací plochou. Průvlak je při montážním stavu nepodepřený. Zatěžovací schéma průvlaku je prostý nosník:



Stálé zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení             | Výpočet              | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>G</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|----------------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Vlastní tíha profilu | výpočet program      | -                   | 1,35           | -                   |
| Betonová deska       | 1,758*5,258*0,105*26 | 25,235              | 1,35           | 34,067              |
| Trapézový plech      | 1,758*5,258*0,15     | 1,387               | 1,35           | 1,872               |
| Stropnice            | 5,258*0,2            | 1,052               | 1,35           | 1,420               |
| <b>SUMA</b>          |                      | <b>27,674</b>       |                | <b>37,360</b>       |

Proměnné zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení          | Výpočet    | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>Q</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|-------------------|------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Montážní zvětšené | 4,5*1,5    | 6,75                | 1,5            | 10,125              |
| Montážní          | 4,744*0,75 | 3,558               | 1,5            | 5,337               |
| <b>SUMA</b>       |            | <b>10,308</b>       |                | <b>15,462</b>       |

### Provozní stádium

Redukce proměnného zatížení

Zatěžovací plocha:

$$A = 5,258 \cdot (1,755 + 1,758) = 18,471 \text{ m}^2$$

Minimální uvažovaná plocha:

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Kombinační součinitel dle kategorie:

Kategorie C =>  $\psi_0 = 0,7$

Redukční součinitel:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{18,471} = 1,04 \Rightarrow \text{bez redukce}$$



Stálé zatížení v provozním stádiu:

| Zatížení                | Výpočet              | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>G</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Vlastní tíha profilu    | odhad 0,4 kN/m       | -                   | 1,35           | -                   |
| Rybníkový efekt         | viz výpočet 1,2 kN/m | -                   | 1,35           | -                   |
| Betonová deska          | 1,758*5,258*0,105*25 | 24,264              | 1,35           | 32,756              |
| Trapézový plech         | 1,758*5,258*0,15     | 1,387               | 1,35           | 1,872               |
| Stropnice               | 5,258*0,2            | 1,052               | 1,35           | 1,420               |
| SDK, instalace, podlaha | 1,758*5,258*0,75     | 6,933               | 1,35           | 9,360               |
| <b>SUMA</b>             |                      | <b>33,636</b>       |                | <b>45,409</b>       |

\*rybníkový efekt započítán jako rovnoměrné plošné zatížení průvlastku

Proměnné zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení              | Výpočet         | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>Q</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|-----------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Užitné – kategorie C5 | 1,758*5,258*5   | 46,218              | 1,5            | 69,327              |
| Příčky (do 3kN/m)     | 1,758*5,258*1,2 | 11,092              | 1,5            | 16,638              |
| <b>SUMA</b>           |                 | <b>57,310</b>       |                | <b>85,965</b>       |

## Návrh ocelobetonového prvku

### Vstupní hodnoty

|                                      |                  |                 |                                     |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Rozpon prvku                         | L =              | 5270            | mm                                  |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Ocel</b>      | <b>S355</b>     |                                     |
| Mez kluzu                            | $f_y =$          | 355             | MPa                                 |
| Mez pevnosti                         | $f_u =$          | 490             | MPa                                 |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_{M1} =$  | 1,0             |                                     |
| Modul pružnosti                      | $E_s =$          | 210000          | MPa                                 |
| Modul pružnosti ve smyku             | $G =$            | 80700           | MPa                                 |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Beton</b>     | <b>C25/30</b>   |                                     |
| Charakteristická pevnost v tlaku     | $f_{ck} =$       | 25              | MPa                                 |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_c =$     | 1,5             |                                     |
| Návrhová pevnost v tlaku             | $f_{cd} =$       | 16,67           | MPa                                 |
| Modul pružnosti                      | $E_{cm} =$       | 31000           | MPa                                 |
| <b>Návrh průřezu:</b>                | <b>IPE 270</b>   |                 |                                     |
| Třída průřezu:                       | 1                |                 |                                     |
| $h_s =$                              | 270              | mm              | $G =$ 0,361 kN/m                    |
| $b_s =$                              | 135              | mm              | $I_y =$ 57900000 mm <sup>4</sup>    |
| $A_s =$                              | 4595             | mm <sup>2</sup> | $W_y =$ 428900 mm <sup>3</sup>      |
| $A_{v,z} =$                          | 2214             | mm <sup>2</sup> | $W_{pl,y} =$ 484000 mm <sup>3</sup> |
| <b>Trapézový plech</b>               | <b>TR 50/250</b> |                 |                                     |
| Výška plechu                         | $h_p =$          | 50              | mm                                  |
| Tloušťka betonové vrstvy nad plechem | $h_c =$          | 70              | mm                                  |
| Srovnávací tloušťka vrstvy betonu    | $h_{cs} =$       | 87              | mm                                  |

### Montážní stádium



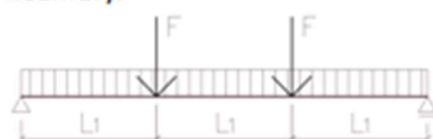
|                            |   |         |        |      |
|----------------------------|---|---------|--------|------|
| Zatížení: stálé            | silové  | $G_k =$ | 27,674 | kN   |
|                            | spojité   | $g_k =$ | 0,4    | kN/m |
|                            |   | $Q_k =$ | 10,308 | kN   |
|                            | proměnné:   |         |        |      |
| Průhyb od stálého zatížení | $\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} + \frac{23}{648} \cdot \frac{G_k \cdot L^3}{E \cdot I_y} =$ |         | 12,15  | mm   |
| Rybníkový efekt            | $\delta_{ryb} = \frac{h_c}{10} =$   |         | 7,00   | mm   |
|                            | $\delta_{ryb} < \delta_1$ Vznikne rybníkový efekt   |         |        |      |
| Přírůstek tloušťky desky   | $0,7 \cdot \delta_1 =$  |         | 8,51   | mm   |
| Zatěžovací šířka           | $Z\check{S} =$  |         | 5,258  | m    |
| Zvětšení zatížení o        | $f_{\delta,k} = Z\check{S} \cdot 0,7 \cdot \delta_1 \cdot 26/1000 =$  |         | 1,16   | kN/m |
|                            | $f_{\delta,d} = f_{\delta,k} \cdot 1,35 =$  |         | 1,57   | kN/m |
| Zatížení: stálé            | silové  | $G_d =$ | 37,360 | kN   |
|                            | spojité   | $g_d =$ | 0,600  | kN/m |
|                            | proměnné:   | $Q_d =$ | 15,462 | kN   |

Návrhová hodnota zatížení:

$$F_d = G_d + Q_d = 52,822 \text{ kN}$$

$$f_d = g_d + f_{s,d} = 2,170 \text{ kN/m}$$

Rozměry:



$$L_1 = 1,757 \text{ m}$$

$$L = 5,270 \text{ m}$$

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = F_d + f_d \cdot L/2 = 58,54 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} - f_d \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} - F_d \cdot \frac{L_1}{2} = 100,32 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu:

$$M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 171,82 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 453,780 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\begin{array}{l} M_{y,Rd} > M_{y,Ed} \\ 171,82 \text{ kNm} > 100,32 \text{ kNm} \\ \text{Vyhovuje} \end{array} \quad \begin{array}{l} > \\ > \\ \text{Využití:} \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \\ 58,39\% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} V_{pl,Rd} > V_{Ed} \\ 453,78 \text{ kN} > 58,54 \text{ kN} \\ \text{Vyhovuje} \end{array} \quad \begin{array}{l} > \\ > \\ \text{Využití:} \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \\ 12,90\% \end{array}$$

### Provozní stádium

Zatížení: stálé

char.  $g_k = 1,600 \text{ kN/m}$

návrh.  $g_d = 2,160 \text{ kN/m}$

char.  $G_k = 33,636 \text{ kN}$

návrh.  $G_d = 45,409 \text{ kN}$

proměnné:

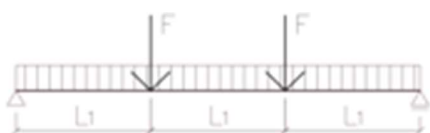
char.  $Q_k = 57,310 \text{ kN/m}$

návrh.  $Q_d = 85,965 \text{ kN/m}$

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = (G + Q)_d + g_d \cdot L/2 = 137,07 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} - g_d \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} - (G + Q)_d \cdot \frac{L_1}{2} = 238,28 \text{ kNm}$$



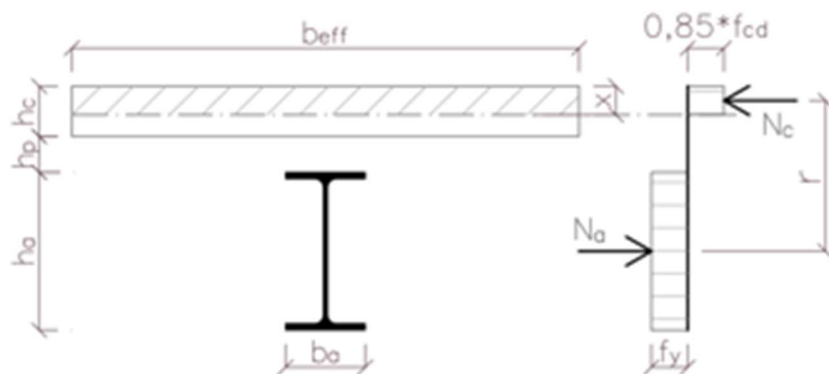
Momentová únosnost:

rozteč průvlaků

$$b = 5275 \text{ mm}$$

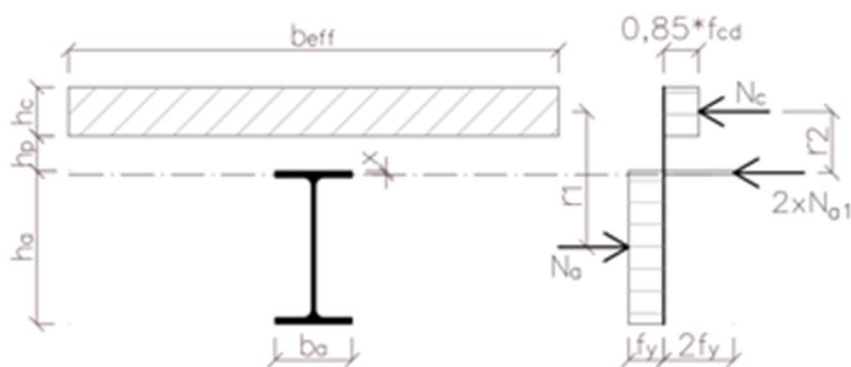
účinná šířka desky:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; b\right) = 1317,5 \text{ mm}$$



Rovnováha vnitřních sil:  $N_a = N_c$   
 $A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$

Položha neutrální osy:  $x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = 87,40 \text{ mm}$   
 $x = 87,40 < h_c = 70 \text{ mm}$   
 Neplatí, N.O. leží mimo beton



Velikost sil:  $N_a = A_a \cdot f_{yd} = 1631,23 \text{ kN}$   
 $N_c = b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 1306,52 \text{ kN}$   
 $N_{a1} = \frac{N_a - N_c}{2} = 162,35 \text{ kN}$

Položha neutrální osy:  $x = \frac{N_{a1}}{b_a \cdot f_{yd}} = 3,39 \text{ mm}$

Ramena vnitřních sil:  $r_1 = \frac{h_a}{2} + h_p + \frac{h_c}{2} = 220,00 \text{ mm}$   
 $r_2 = \frac{h_c}{2} + h_p + x = 88,39 \text{ mm}$

Únosnost:  $M_{pl,Rd} = N_a \cdot r_1 - 2 \cdot N_{a1} \cdot r_2 = 344,52 \text{ kNm}$   
 $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 453,78 \text{ kN}$

|            |             |          |            |
|------------|-------------|----------|------------|
| Posouzení: | $M_{pl,Rd}$ | >        | $M_{y,Ed}$ |
|            | 344,52 kNm  | >        | 238,28 kNm |
|            | Vyhovuje    | Využití: | 69,16%     |
|            | $V_{pl,Rd}$ | >        | $V_{Ed}$   |
|            | 453,78 kN   | >        | 137,07 kN  |
|            | Vyhovuje    | Využití: | 30,21%     |

## Návrh spřažení

Návrh: Přivařený trn PROWELD 19/100 S235J2

|                          |              |         |
|--------------------------|--------------|---------|
| Materiál                 | Ocel         | S235J2  |
| Mez pevnosti             | $f_u =$      | 360 MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_v =$ | 1,25    |
| Průměr trnu:             | $d =$        | 19 mm   |
| Délka trnu               | $h_{tr} =$   | 100 mm  |

### Únosnost trnu ve smyku

Korekční součinitel  $\alpha = 1$

Únosnost 1 trnu:

$$P_{Rd} = \min \left( \begin{array}{l} 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} \\ 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v} \end{array} \right) = 65,33 \text{ kN}$$

Počet trnů v „žebřici“:  $n_r = 1$

Střední rozměr žebra (přeložení plechu):  $b_0 = 84 \text{ mm}$

Redukční součinitel:

$$k_t = \min \left( 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{tr}}{h_p} - 1 \right); 0,85 \right) = 0,85$$

Únosnost 1 trnu v „žebřici“:  $P'_{Rd} = k_t \cdot P_{Rd} = 55,53 \text{ kN}$

Síla na spřažení (polovina nosníku):



Potřebný počet trnů:  $n_f = \frac{2 \cdot N_c}{P'_{Rd}} = 58,76 \Rightarrow 59$

Min. vzdálenost mezi trny  $5d = 95 \text{ mm}$

Návrh trnu á 100 mm =>  $n = 52$

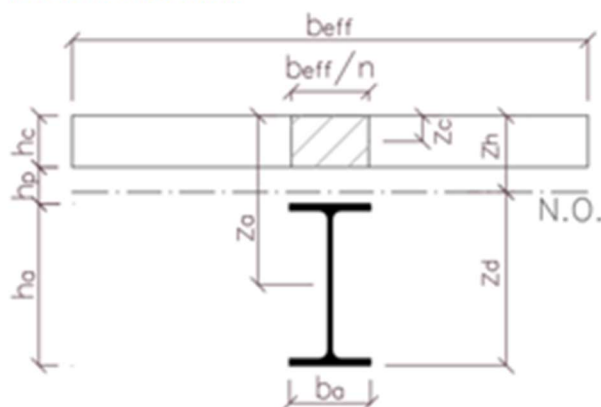
Neúplné spřažení  $\eta = n/n_f = 0,88 > 0,4$  Splněno

Únosnost ocel. průřezu:  $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = 171,82 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} = \eta \cdot (M_{pl,Rd} - M_{y,Rd}) + M_{y,Rd} = 324,03 \text{ kNm}$$

Posouzení MSÚ  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = 0,74 > 1,0$  Vyhoví

## Posouzení MSP



Modul pružnosti bet. (s dotvarováním)  $E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = 15500 \text{ MPa}$

Pracovní součinitel:  $n = \frac{E_a}{E_{cm}} = 13,548$

“ideální” efektivní šířka:  $b_{eff}/n = 97,24 \text{ mm}$

Plocha “ideálního” průřezu  $A_i = A_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c = 11402,1 \text{ mm}^2$

Vzdálenosti:  $z_a = h_c + h_p + h_a/2 = 255 \text{ mm}$   
 $z_c = h_c/2 = 35 \text{ mm}$

Těžiště průřezu:  $e = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c \cdot z_c}{A_i} = 123,66 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$$I_{y,i} = I_y + A_a \cdot (z_a - e)^2 + \frac{1}{12} \cdot \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c^3 + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c \cdot (z_c - e)^2 =$$

$$I_{y,i} = 193451937 \text{ mm}^4$$

Moment od fáze montážní  $g_k = 1,600 \text{ kN/m}$   
 $G_k = 33,636 \text{ kN}$   
 $M_0 = 1/8 \cdot g_k \cdot L^2 + 1/3 \cdot G_k \cdot L = 64,642 \text{ kNm}$

Moment od zbylého zatížení:  $(G + Q)_k = 64,243 \text{ kN}$   
 $M_p = 1/3 \cdot (G + Q)_k \cdot L = 112,85 \text{ kNm}$

Vzdálenost horních a spodních vláken:  $z_h = e = 123,66 \text{ mm}$   
 $z_d = h_a + h_p + h_c - e = 266,34 \text{ mm}$

### Posudky

Napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n \cdot I_{y,i}} \cdot z^h = 5,32 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli bez spolupůsobení

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_{ply}} = 133,56 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli spolupůsobení

$$\sigma_p = \frac{M_p}{I_{y,i}} \cdot z_d = 155,37 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Maximální napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_p = 288,93 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

**Průhyb od proměnného zatížení + stálého po betonáži**

$$\delta_2 = \frac{23}{648} \cdot \frac{(G + Q)_k \cdot L^3}{E \cdot I_y} = 8,22 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{400} = 13,18 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 8,22 \text{ mm} < \delta_{lim} = 13,175 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

**Posouzení kmitání**

$$\delta_2 = 8,22 \text{ mm} < \delta_{lim,dyn} = 28 \text{ mm}$$

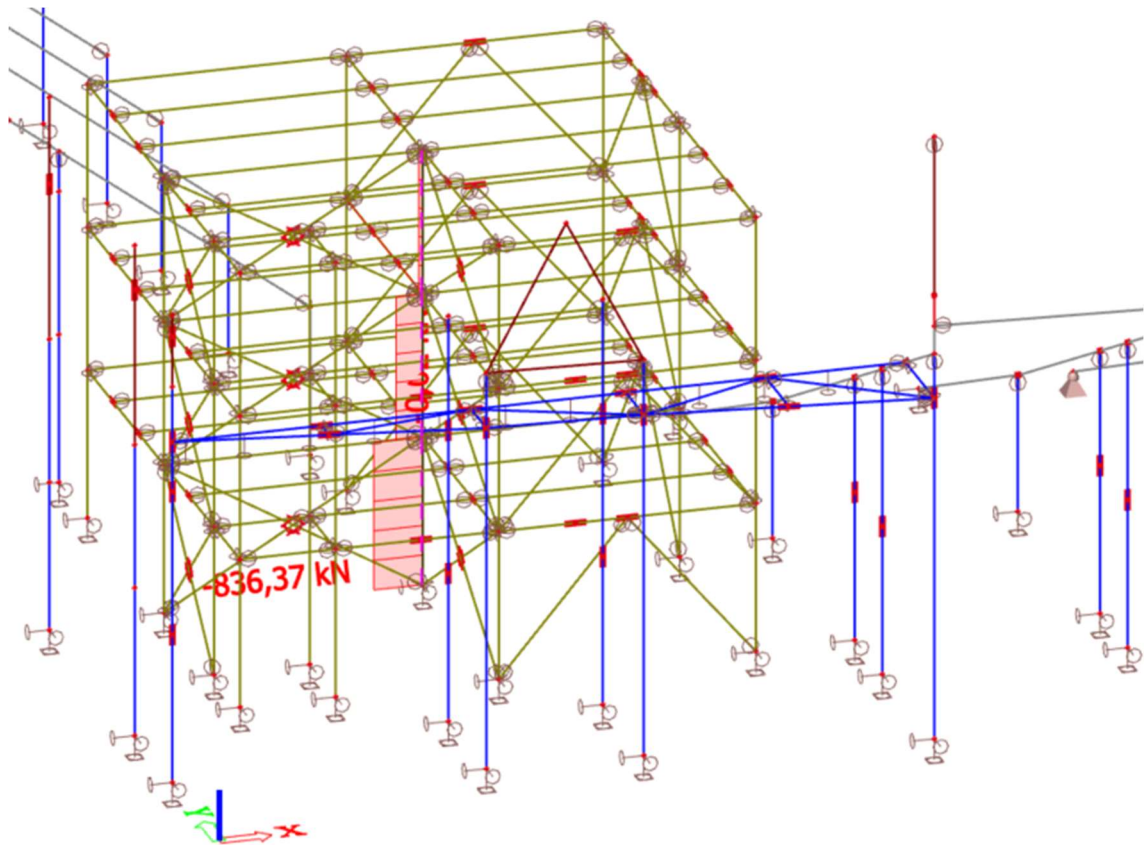
**Vyhoví**

## 7.3 Sloupy věže

### 7.3.1 Vnitřní sloup věže

Návrh bude proveden na vzpěr, vzpěrná délka je uvažována jako výška patra. Na sloup jsou excentricky připojené stropnice a průvlaky. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozponech je moment od excentrického připojení zanedbatelný.

Maximální normálová síla ve sloupu:





## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 836,37$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3100$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | <b>HEA 180</b>  |
| Třída průřezu:             | 3               |
| $A = 4525$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 74,5$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 45,2$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka b | $\alpha_y = 0,34$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 41,61$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 68,58$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,54$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,90$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,71$ |
|   | $\phi_z = 1,07$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,864$$

$$\chi_z = 0,601$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 965,934 \text{ kN}$$

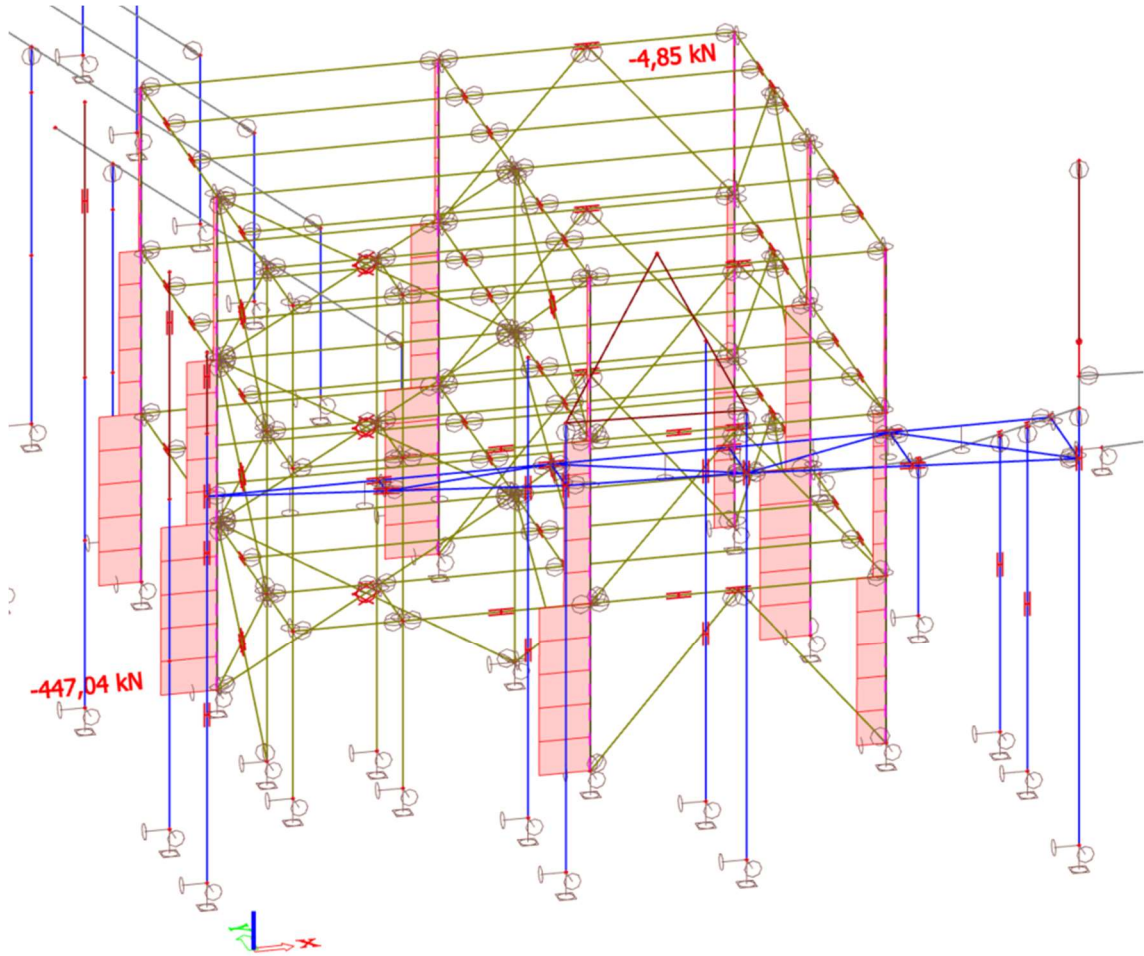
|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 965,93 kN  | > | 836,37 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
86,6 %

### 7.3.2 Krajní sloup věže

Návrh bude proveden na vzpěr, vzpěrná délka je uvažována jako výška patra. Na sloup jsou excentricky připojené stropnice a průvlaky. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozponech je moment od excentrického připojení zanedbatelný.

Maximální normálová síla ve sloupech:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 447,04$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3100$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | <b>HEA 140</b>  |
| Třída průřezu:             | 3               |
| $A = 3142$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 57,3$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 35,2$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka b | $\alpha_y = 0,34$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 54,10$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 88,07$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,71$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,15$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,84$ |
|   | $\phi_z = 1,40$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,779$$

$$\chi_z = 0,457$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 509,763 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 509,76 kN  | > | 447,04 kN |

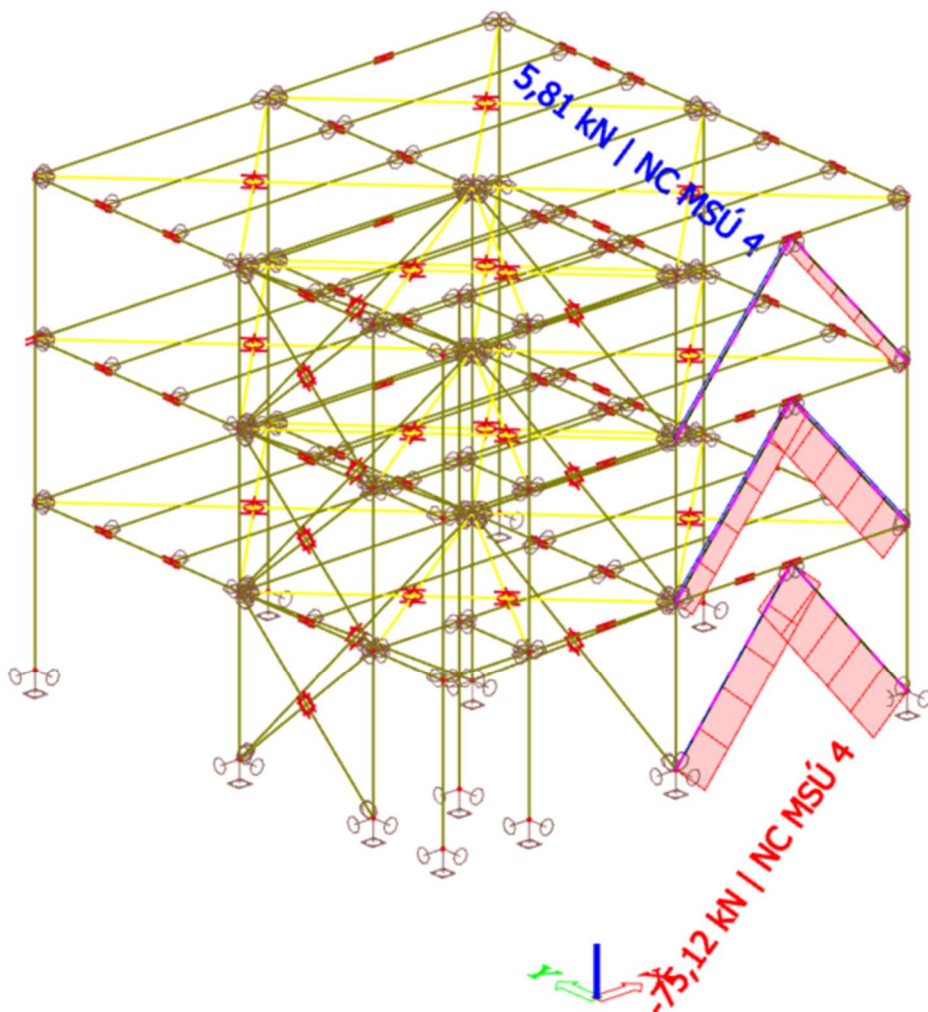
Využití: **Vyhovuje**  
87,7 %

## 7.4 Ztužení věže

### 7.4.1 Ztužidlo typ A

Z důvodu uvolnění dispozice a možnosti vstupu do věže nebyla použita křížová ztužidla. Náhradou je ztužidlo připevnit uprostřed rozpětí ke stropnici/průvlaku. Posudek bude proveden pro nejvíce namáhanou diagonálu.

Maximální normálová síla ve ztužidlech:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 75,12$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 6088$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 6088$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                |                 |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|
| Návrh průřezu: | <b>TR 114x4</b> |                 |
| Třída průřezu: | 1               |                 |
| $A =$          | 1382            | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$  | 76,41           |                 |
|                | $i_y =$         | 38,6 mm         |
|                | $i_z =$         | 38,6 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 157,72$<br>$\lambda_z = 157,72$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,06$<br>$\bar{\lambda}_z = 2,06$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 3,09$<br>$\phi_z = 3,09$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,186 \quad \chi_z = 0,186$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 91,1476 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 91,15 kNm  | > | 75,12 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 82,4 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                 |    |
|-------------------------|-----------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 5,81$ | kN |
|-------------------------|-----------------|----|

Návrh průřezu: **TR 114x4**

|                  |  |                     |    |
|------------------|--|---------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 490,61$ | kN |
|------------------|--|---------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 490,61 kNm | > | 5,81 kN  |

Vyhovuje

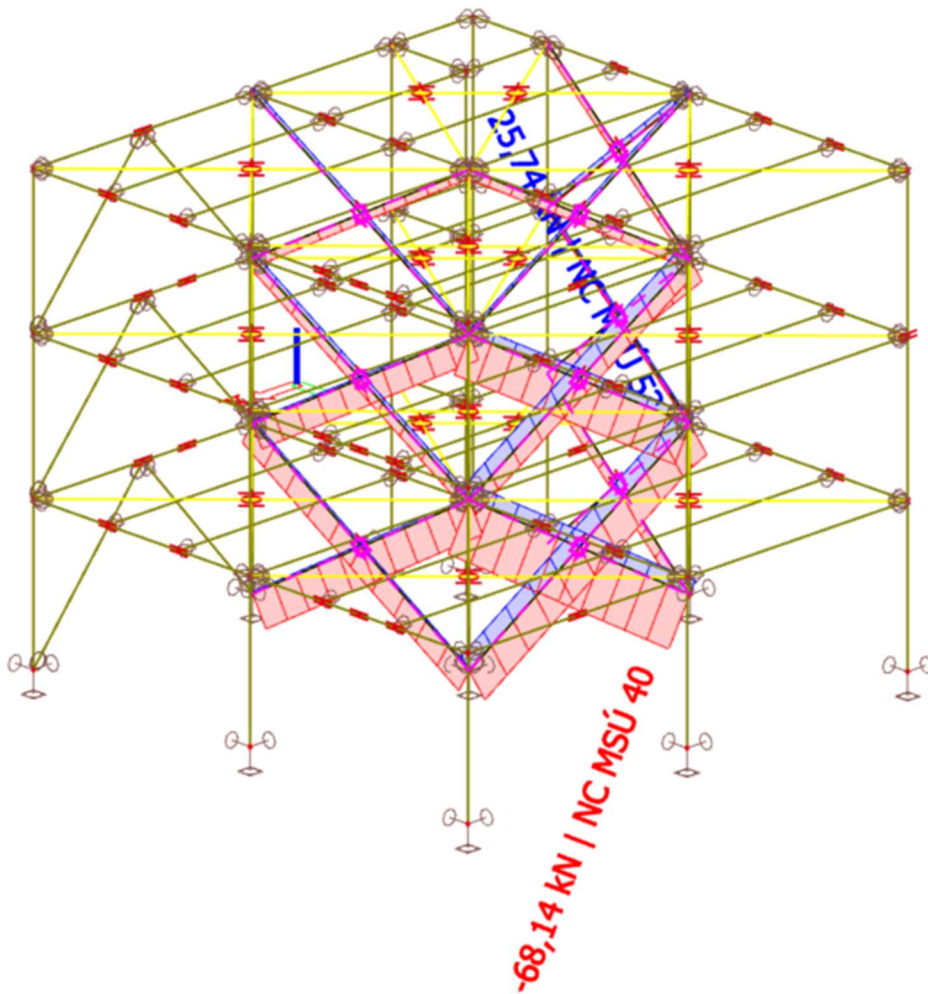
|          |       |
|----------|-------|
| Využití: | 1,2 % |
|----------|-------|

## 7.4.2 Ztužidlo typ B

Uvnitř věže se pomocí křížových ztužidel vytvoří „tuhé jádro“. Posudek bude proveden pro nejvíce namáhanou diagonálu v kombinaci s příslušnou tahovou silou druhé diagonály. Vzpěrná délky diagonály se vypočte ze vztahu:

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 6,097 \sqrt{1 - 0,75 \frac{11,92 \cdot 6,097}{68,14 \cdot 6,097}} = 5,683\text{m}$$

Maximální normálová síla ve ztužidlech:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 68,14$    | kN              |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 5683$   | mm              |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 5638$   | mm              |
| Materiál                 | Ocel                | S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa             |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |
| Návrh průřezu:           | TR 102x4,5          |                 |
| Třída průřezu:           | 1                   |                 |
| $A =$                    | 1378                | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$            | 76,41               |                 |
|                          | $i_y =$             | 34,5 mm         |
|                          | $i_z =$             | 34,5 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 164,72$<br>$\lambda_z = 163,42$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,16$<br>$\bar{\lambda}_z = 2,14$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 3,30$<br>$\phi_z = 3,26$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,172 \quad \chi_z = 0,175$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 84,2652 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 84,27 kNm  | > | 68,14 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 80,9 % |
|----------|--------|

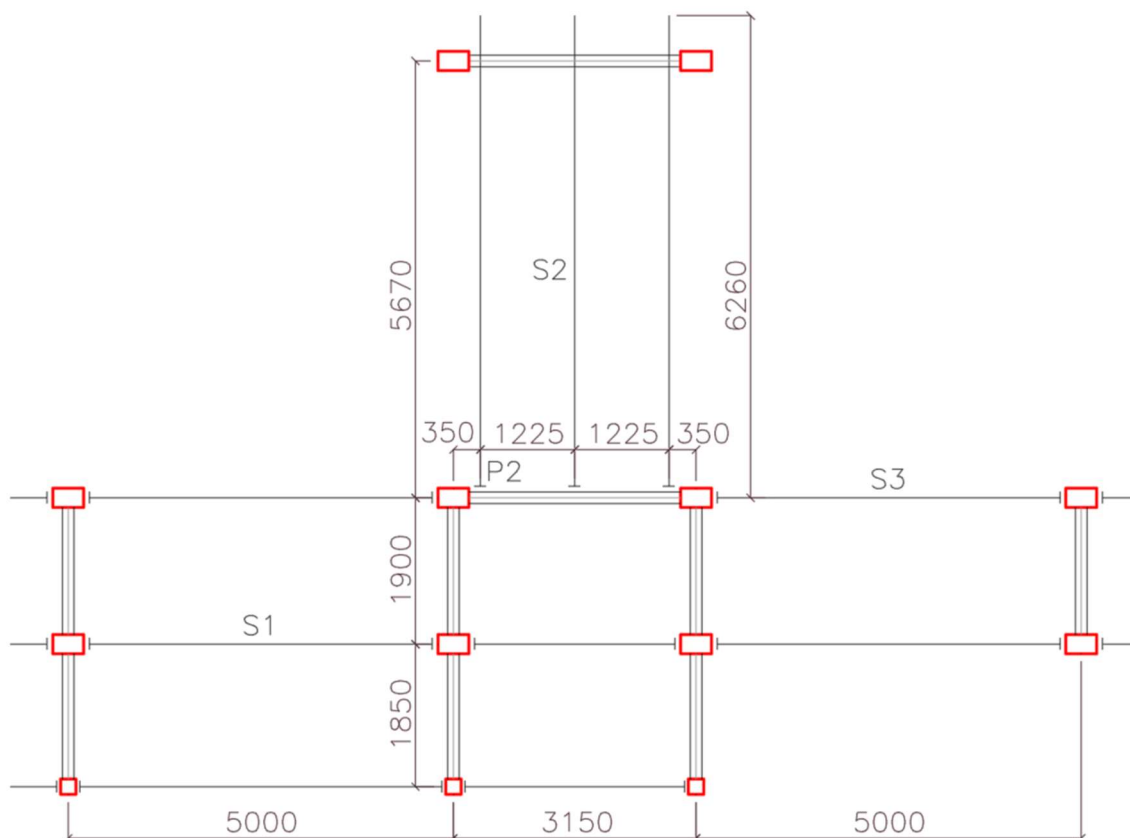
## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |  |                        |          |
|-------------------------|--|------------------------|----------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 25,74$                             | kN                     |          |
| Návrh průřezu:          | TR 114x4                                     |                        |          |
| Vzpěrná únosnost        | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 489,19$ kN |          |
| Posouzení:              | $N_{b,Rd}$                                   | >                      | $N_{Ed}$ |
|                         | 489,19 kNm                                   | >                      | 25,74 kN |
| Využití:                | 5,3 %  |                        |          |

## 8 Návrh ochozů tribun

Ochozy tribun budou provedeny obdobně jako věž. Ocelové stropnice podporující trapézový plech a jsou spřaženy s nadbetonávkou.

### 8.1 Ochoz tribuna sever



**Stropnice S1** bude shodný průřez se spřaženou ocelobetonovou vaznicí z věže.

Profil stropnice S1 je IPE 160



### 8.1.1 Návrh trapézového plechu

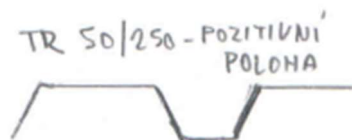
Pro ocelobetonový strop byla zvolena skladba trapézového plechu a 70 mm nadbetonávky s kari sítí. Návrh trapézového plechu TR 50/250 – pozitivní poloha

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$$

$$f_{u,k} = 390 \text{ MPa}$$

$$G_k = 80770 \text{ MPa}$$



Výpočet náhradní tloušťky betonové vrstvy pro ocelobetonový strop:

$$h_{st} = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250} = 87 \text{ mm}$$

Stálé zatížení pro ocelobetonový strop:

| Zatížení        | Výpočet  | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------|----------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Betonová deska  | 0,087*26 | 2,262                      | 1,35       | 3,054                      |
| Trapézový plech | 0,15     | 0,15                       | 1,35       | 0,203                      |
| <b>SUMA</b>     |          | <b>2,412</b>               |            | <b>3,256</b>               |

Proměnné zatížení:

| Zatížení          | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – montážní | 1,5     | 1,5                        | 1,5        | 2,250                      |
| <b>SUMA</b>       |         | <b>1,500</b>               |            | <b>2,250</b>               |

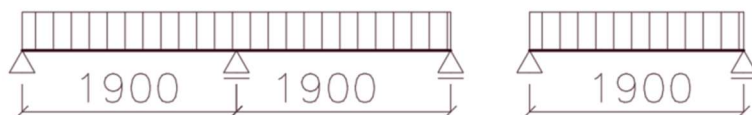
Spojité zatížení pro ocelobetonový strop:

$$f_{E,d} = f_{d,s} + f_{d,p} = 3,256 + 2,25 = 5,506 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{E,k} = f_{k,s} + f_{k,p} = 2,412 + 1,5 = 3,912 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení trapézového plechu:

Trapézový plech bude působit jako spojitý nosník o 2 polích a dále jako prostý nosník.



| $t_N$<br>[mm] | g<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Rozpětí [m]     |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|---------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |                           | 1,00            | 1,25  | 1,50  | 1,75  | 2,00  | 2,25  | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 | 5,25 | 5,50 | 5,75 | 6,00 |      |
| 0,63          | 6,30                      | q <sub>d1</sub> | 14,56 | 9,32  | 6,47  | 4,75  | 3,64  | 2,88 | 2,33 | 1,93 | 1,62 | 1,38 | 1,19 | 1,04 | 0,91 | 0,81 | 0,72 | 0,65 | 0,58 | 0,53 | 0,48 | 0,44 | 0,40 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 5,92  | 4,74  | 3,95  | 3,38  | 2,96  | 2,63 | 2,33 | 1,93 | 1,62 | 1,38 | 1,19 | 1,04 | 0,91 | 0,81 | 0,72 | 0,65 | 0,58 | 0,53 | 0,48 | 0,44 | 0,40 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 13,47 | 6,90  | 3,99  | 2,51  | 1,68  | 1,18 | 0,86 | 0,65 | 0,50 | 0,39 | 0,31 | 0,26 | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| 0,75          | 7,50                      | q <sub>d1</sub> | 19,04 | 12,19 | 8,46  | 6,22  | 4,76  | 3,76 | 3,05 | 2,52 | 2,12 | 1,80 | 1,55 | 1,35 | 1,19 | 1,05 | 0,94 | 0,84 | 0,76 | 0,69 | 0,63 | 0,58 | 0,53 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 8,72  | 6,97  | 5,81  | 4,98  | 4,36  | 3,76 | 3,05 | 2,52 | 2,12 | 1,80 | 1,55 | 1,35 | 1,19 | 1,05 | 0,94 | 0,84 | 0,76 | 0,69 | 0,63 | 0,58 | 0,53 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 17,13 | 8,77  | 5,08  | 3,20  | 2,14  | 1,50 | 1,10 | 0,82 | 0,63 | 0,50 | 0,40 | 0,32 | 0,27 | 0,22 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 0,88          | 8,80                      | q <sub>d1</sub> | 24,44 | 15,64 | 10,86 | 7,98  | 6,11  | 4,83 | 3,91 | 3,23 | 2,72 | 2,31 | 1,99 | 1,74 | 1,53 | 1,35 | 1,21 | 1,08 | 0,98 | 0,89 | 0,81 | 0,74 | 0,68 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 12,31 | 9,85  | 8,21  | 7,03  | 6,11  | 4,83 | 3,91 | 3,23 | 2,72 | 2,31 | 1,99 | 1,74 | 1,53 | 1,35 | 1,21 | 1,08 | 0,98 | 0,89 | 0,81 | 0,74 | 0,68 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 21,36 | 10,94 | 6,33  | 3,99  | 2,67  | 1,88 | 1,37 | 1,03 | 0,79 | 0,62 | 0,50 | 0,41 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,10 |
| 1,00          | 10,00                     | q <sub>d1</sub> | 29,89 | 19,13 | 13,29 | 9,76  | 7,47  | 5,91 | 4,78 | 3,95 | 3,32 | 2,83 | 2,44 | 2,13 | 1,87 | 1,66 | 1,48 | 1,32 | 1,20 | 1,08 | 0,99 | 0,90 | 0,83 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 16,13 | 12,91 | 10,76 | 9,22  | 7,47  | 5,91 | 4,78 | 3,95 | 3,32 | 2,83 | 2,44 | 2,13 | 1,87 | 1,66 | 1,48 | 1,32 | 1,20 | 1,08 | 0,99 | 0,90 | 0,83 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 25,57 | 13,09 | 7,58  | 4,77  | 3,20  | 2,24 | 1,64 | 1,23 | 0,95 | 0,74 | 0,60 | 0,48 | 0,40 | 0,33 | 0,28 | 0,24 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |
| 1,13          | 11,30                     | q <sub>d1</sub> | 36,30 | 23,23 | 16,13 | 11,85 | 9,08  | 7,17 | 5,81 | 4,80 | 4,03 | 3,44 | 2,96 | 2,58 | 2,27 | 2,01 | 1,79 | 1,61 | 1,45 | 1,32 | 1,20 | 1,10 | 1,01 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 20,83 | 16,66 | 13,88 | 11,85 | 9,08  | 7,17 | 5,81 | 4,80 | 4,03 | 3,44 | 2,96 | 2,58 | 2,27 | 2,01 | 1,79 | 1,61 | 1,45 | 1,32 | 1,20 | 1,10 | 1,01 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 30,82 | 15,78 | 9,13  | 5,75  | 3,85  | 2,71 | 1,97 | 1,48 | 1,14 | 0,90 | 0,72 | 0,58 | 0,48 | 0,40 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,21 | 0,19 | 0,16 | 0,14 |
| 1,25          | 12,50                     | q <sub>d1</sub> | 42,00 | 26,88 | 18,67 | 13,71 | 10,50 | 8,30 | 6,72 | 5,55 | 4,67 | 3,98 | 3,43 | 2,99 | 2,63 | 2,33 | 2,07 | 1,86 | 1,68 | 1,52 | 1,39 | 1,27 | 1,17 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 25,65 | 20,52 | 17,10 | 13,71 | 10,50 | 8,30 | 6,72 | 5,55 | 4,67 | 3,98 | 3,43 | 2,99 | 2,63 | 2,33 | 2,07 | 1,86 | 1,68 | 1,52 | 1,39 | 1,27 | 1,17 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 35,92 | 18,39 | 10,64 | 6,70  | 4,49  | 3,15 | 2,30 | 1,73 | 1,33 | 1,05 | 0,84 | 0,68 | 0,56 | 0,47 | 0,39 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,17 |

| $t_N$<br>[mm] | g<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Rozpětí [m]     |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|---------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |                           | 1,00            | 1,25  | 1,50  | 1,75  | 2,00  | 2,25  | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 | 5,25 | 5,50 | 5,75 | 6,00 |      |
| 0,63          | 6,30                      | q <sub>d1</sub> | 8,99  | 6,43  | 4,84  | 3,78  | 3,04  | 2,50 | 2,09 | 1,78 | 1,53 | 1,33 | 1,17 | 1,03 | 0,92 | 0,82 | 0,73 | 0,66 | 0,60 | 0,54 | 0,49 | 0,45 | 0,41 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 7,77  | 5,64  | 4,29  | 3,39  | 2,75  | 2,28 | 1,92 | 1,64 | 1,42 | 1,24 | 1,09 | 0,97 | 0,86 | 0,78 | 0,70 | 0,64 | 0,58 | 0,53 | 0,49 | 0,45 | 0,41 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 32,44 | 16,61 | 9,61  | 6,05  | 4,06  | 2,85 | 2,08 | 1,56 | 1,20 | 0,95 | 0,76 | 0,62 | 0,51 | 0,42 | 0,36 | 0,30 | 0,26 | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 |
| 0,75          | 7,50                      | q <sub>d1</sub> | 12,66 | 9,03  | 6,78  | 5,29  | 4,25  | 3,49 | 2,92 | 2,48 | 2,13 | 1,85 | 1,62 | 1,43 | 1,27 | 1,13 | 1,01 | 0,90 | 0,81 | 0,74 | 0,67 | 0,62 | 0,57 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 10,97 | 7,93  | 6,03  | 4,75  | 3,85  | 3,18 | 2,68 | 2,28 | 1,97 | 1,72 | 1,52 | 1,34 | 1,20 | 1,08 | 0,98 | 0,89 | 0,81 | 0,74 | 0,67 | 0,62 | 0,57 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 41,27 | 21,13 | 12,23 | 7,70  | 5,16  | 3,62 | 2,64 | 1,98 | 1,53 | 1,20 | 0,96 | 0,78 | 0,64 | 0,54 | 0,45 | 0,39 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,19 |
| 0,88          | 8,80                      | q <sub>d1</sub> | 16,91 | 11,98 | 8,96  | 6,96  | 5,57  | 4,56 | 3,80 | 3,22 | 2,76 | 2,40 | 2,10 | 1,83 | 1,61 | 1,42 | 1,27 | 1,14 | 1,03 | 0,93 | 0,85 | 0,78 | 0,72 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 14,69 | 10,56 | 7,99  | 6,27  | 5,06  | 4,17 | 3,50 | 2,98 | 2,57 | 2,24 | 1,97 | 1,74 | 1,56 | 1,40 | 1,26 | 1,14 | 1,03 | 0,93 | 0,85 | 0,78 | 0,72 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 51,46 | 26,35 | 15,25 | 9,60  | 6,43  | 4,52 | 3,29 | 2,47 | 1,91 | 1,50 | 1,20 | 0,98 | 0,80 | 0,67 | 0,56 | 0,48 | 0,41 | 0,36 | 0,31 | 0,27 | 0,24 |
| 1,00          | 10,00                     | q <sub>d1</sub> | 21,20 | 14,95 | 11,14 | 8,63  | 6,88  | 5,63 | 4,69 | 3,96 | 3,39 | 2,93 | 2,53 | 2,20 | 1,94 | 1,72 | 1,53 | 1,37 | 1,24 | 1,12 | 1,02 | 0,94 | 0,86 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 18,45 | 13,21 | 9,96  | 7,79  | 6,27  | 5,17 | 4,33 | 3,68 | 3,16 | 2,75 | 2,42 | 2,14 | 1,91 | 1,71 | 1,53 | 1,37 | 1,24 | 1,12 | 1,02 | 0,94 | 0,86 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 61,60 | 31,54 | 18,25 | 11,49 | 7,70  | 5,41 | 3,94 | 2,96 | 2,28 | 1,79 | 1,44 | 1,17 | 0,96 | 0,80 | 0,68 | 0,57 | 0,49 | 0,43 | 0,37 | 0,32 | 0,29 |
| 1,13          | 11,30                     | q <sub>d1</sub> | 26,22 | 18,41 | 13,67 | 10,56 | 8,41  | 6,86 | 5,70 | 4,81 | 4,10 | 3,49 | 3,01 | 2,63 | 2,31 | 2,05 | 1,83 | 1,64 | 1,48 | 1,34 | 1,22 | 1,12 | 1,03 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 22,87 | 16,31 | 12,25 | 9,56  | 7,68  | 6,31 | 5,28 | 4,48 | 3,85 | 3,34 | 2,93 | 2,59 | 2,31 | 2,05 | 1,83 | 1,64 | 1,48 | 1,34 | 1,22 | 1,12 | 1,03 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 74,25 | 38,02 | 22,00 | 13,85 | 9,28  | 6,52 | 4,75 | 3,57 | 2,75 | 2,16 | 1,73 | 1,41 | 1,16 | 0,97 | 0,81 | 0,69 | 0,59 | 0,51 | 0,45 | 0,39 | 0,34 |
| 1,25          | 12,50                     | q <sub>d1</sub> | 31,17 | 21,81 | 16,15 | 12,45 | 9,89  | 8,06 | 6,69 | 5,63 | 4,73 | 4,04 | 3,48 | 3,03 | 2,67 | 2,36 | 2,11 | 1,89 | 1,71 | 1,55 | 1,41 | 1,29 | 1,19 |
|               |                           | q <sub>d2</sub> | 27,23 | 19,35 | 14,50 | 11,29 | 9,05  | 7,43 | 6,20 | 5,26 | 4,51 | 3,92 | 3,43 | 3,03 | 2,67 | 2,36 | 2,11 | 1,89 | 1,71 | 1,55 | 1,41 | 1,29 | 1,19 |
|               |                           | q <sub>k</sub>  | 86,53 | 44,30 | 25,64 | 16,14 | 10,82 | 7,60 | 5,54 | 4,16 | 3,20 | 2,52 | 2,02 | 1,64 | 1,35 | 1,13 | 0,95 | 0,81 | 0,69 | 0,60 | 0,52 | 0,46 | 0,40 |

Návrhová a charakteristická únosnost pro spojitý nosník (TR 50/250 tl. 1 mm):

$$(g + q)_{R,d} = 6,88 \text{ kN/m}^2 \quad (g + q)_{R,k} = 7,70 \text{ kN/m}^2$$

**MSÚ**

$$f_{E,d} = 5,506 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,d} = 6,88 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

**MSP**

$$f_{E,k} = 3,912 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,k} = 7,70 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Návrhová a charakteristická únosnost pro prostý nosník (TR 50/250 tl. 1,13 mm):

$$(g + q)_{R,d} = 10,18 \text{ kN/m}^2 \quad (g + q)_{R,k} = 4,61 \text{ kN/m}^2$$

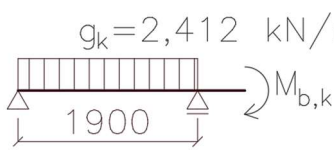
**MSÚ**

$$f_{E,d} = 5,506 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,d} = 10,18 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

**MSP**

$$f_{E,k} = 3,912 \text{ kN/m}^2 < (g + q)_{R,k} = 4,61 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení rybníkového efektu spojitého nosníku



$$I_{\text{eff}} = 31,1 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$M_{b,k} = -\frac{1}{10} \cdot g_k \cdot L^2 = -\frac{1}{10} \cdot 2,412 \cdot 1,9^2 = -0,871 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{E \cdot I_{\text{eff}}} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot g_k \cdot L^4 + \frac{1}{16} \cdot M_{b,k} \cdot L^2 \right) \\ &= \frac{1}{210000 \cdot 31,1 \cdot 10^4} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot 2,412 \cdot 1900^4 + \frac{1}{16} \cdot (-0,871) \cdot 1900^2 \right) = 6,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{ryb}} = \frac{h_{\text{st}}}{10} = \frac{87}{10} = 8,7 \text{ mm}$$

**$\delta = 6,27 \text{ mm} < \delta_{\text{ryb}} = 8,7 \text{ mm} \Rightarrow$  rybníkový efekt nevznikne**

### Posouzení rybníkového efektu prostého nosníku

$$I_{\text{eff}} = 38,1 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

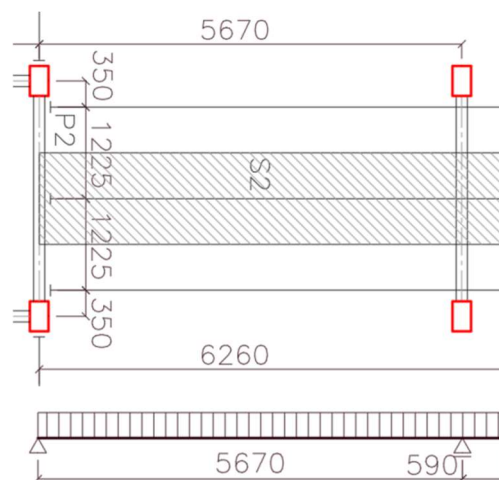
$$\delta = \frac{1}{E \cdot I_{\text{eff}}} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot g_k \cdot L^4 \right) = \frac{1}{210000 \cdot 38,1 \cdot 10^4} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot 2,412 \cdot 1900^4 \right) = 5,12 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{ryb}} = \frac{h_{\text{st}}}{10} = \frac{87}{10} = 8,7 \text{ mm}$$

**$\delta = 5,12 \text{ mm} < \delta_{\text{ryb}} = 8,7 \text{ mm} \Rightarrow$  rybníkový efekt nevznikne**

## 8.1.2 Návrh ocelobetonové stropnice S2

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou. Stropnice je při montážním stavu nepodepřená. Záporný moment bude přenášet ocelový průřez. Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník s převislým koncem:



Stálé zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,225 \cdot 0,087 \cdot 26$ | 2,771        | 1,35       | 3,741        |
| Trapézový plech      | $1,225 \cdot 0,15$           | 0,184        | 1,35       | 0,248        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,4                    | 0,3          | 1,35       | 0,405        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>3,255</b> |            | <b>4,394</b> |

Proměnné zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení          | Výpočet            | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------|--------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Montážní zvětšené | $1,225 \cdot 1,5$  | 1,838                      | 1,5        | 2,757                      |
| Montážní          | $1,225 \cdot 0,75$ | 0,919                      | 1,5        | 1,379                      |
| <b>SUMA</b>       |                    | <b>2,757</b>               |            | <b>4,136</b>               |

Stálé zatížení v montážním stádiu včetně rybníkového efektu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,225 \cdot 0,104 \cdot 26$ | 3,312        | 1,35       | 4,471        |
| Trapézový plech      | $1,225 \cdot 0,15$           | 0,184        | 1,35       | 0,248        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,3                    | 0,3          | 1,35       | 0,405        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>3,796</b> |            | <b>5,125</b> |

Stálé zatížení v provozním stádiu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,225 \cdot 0,104 \cdot 25$ | 3,185        | 1,35       | 4,300        |
| Trapézový plech      | $1,225 \cdot 0,15$           | 0,184        | 1,35       | 0,248        |
| Podhled a podlaha    | $1,225 \cdot 0,5$            | 0,613        | 1,35       | 0,828        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,3                    | 0,3          | 1,35       | 0,405        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>4,282</b> |            | <b>5,781</b> |

\*betonová deska započtena včetně vlivu rybníkového efektu

Proměnné zatížení v provozním stádiu:

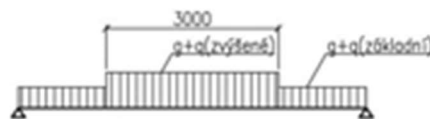
| Zatížení              | Výpočet         | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,225 \cdot 5$ | 6,125                      | 1,5        | 9,188                      |
| <b>SUMA</b>           |                 | <b>6,125</b>               |            | <b>9,188</b>               |

## Návrh ocelobetonového prvku

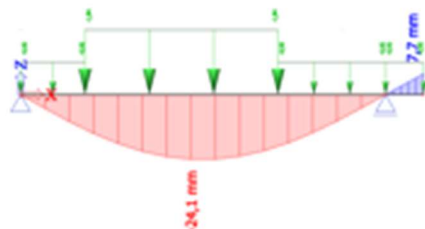
### Vstupní hodnoty

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Rozpon prvku                         | L = 5670 mm                         |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Ocel S355</b>                    |
| Mez kluzu                            | $f_y = 355$ MPa                     |
| Mez pevnosti                         | $f_u = 490$ MPa                     |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_{M1} = 1,0$                 |
| Modul pružnosti                      | $E_s = 210000$ MPa                  |
| Modul pružnosti ve smyku             | $G = 80700$ MPa                     |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Beton C25/30</b>                 |
| Charakteristická pevnost v tlaku     | $f_{ck} = 25$ MPa                   |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_c = 1,5$                    |
| Návrhová pevnost v tlaku             | $f_{cd} = 16,67$ MPa                |
| Modul pružnosti                      | $E_{cm} = 31000$ MPa                |
| <b>Návrh průřezu:</b>                | <b>IPE 180</b>                      |
| Třída průřezu:                       | 1                                   |
| $h_a = 180$ mm                       | $G = 0,188$ kN/m                    |
| $b_a = 91$ mm                        | $I_y = 13170000$ mm <sup>4</sup>    |
| $A_a = 2395$ mm <sup>2</sup>         | $W_y = 146300$ mm <sup>3</sup>      |
| $A_{v,z} = 1125$ mm <sup>2</sup>     | $W_{pl,y} = 166400$ mm <sup>3</sup> |
| <b>Trapézový plech</b>               | <b>TR 50/250</b>                    |
| Výška plechu                         | $h_p = 50$ mm                       |
| Tloušťka betonové vrstvy nad plechem | $h_c = 70$ mm                       |
| Srovnávací tloušťka vrstvy betonu    | $h_{cs} = 87$ mm                    |

### Montážní stádium



|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Zatížení: stálé            | $g_k = 3,255$ kN/m    |
| proměnné: zvýšené          | $q_{k1} = 1,838$ kN/m |
| základní                   | $q_{k2} = 0,919$ kN/m |
| Průhyb od stálého zatížení | $\delta_1 = 24,10$ mm |



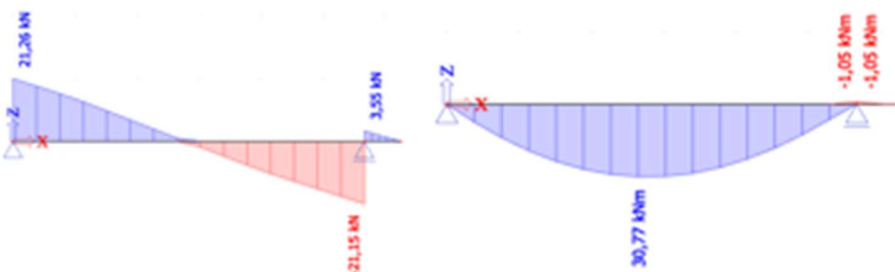
|   |  |
|---|--|
| Rybníkový efekt                                   | $\delta_{ryb} = \frac{h_c}{10} = 7,00$ mm                                      |
| $\delta_{ryb} < \delta_1$ Vznikne rybníkový efekt |  |
| Přírůstek tloušťky desky                          | $0,7 \cdot \delta_1 = 16,87$ mm  |
| Zatěžovací šířka                                  | $Z\check{S} = 1,225$ m   |
| Zvětšení zatížení o                               | $f_{\delta,k} = Z\check{S} \cdot 0,7 \cdot \delta_1 \cdot 26/1000 = 0,54$ kN/m |
|   | $f_{\delta,d} = f_{\delta,k} \cdot 1,35 = 0,73$ kN/m                           |

|                 |          |            |            |
|-----------------|----------|------------|------------|
| Zatížení: stálé |          | $g_d =$    | 4,394 kN/m |
| proměnné:       | zvýšené  | $q_{d1} =$ | 2,757 kN/m |
|                 | základní | $q_{d2} =$ | 1,379 kN/m |

Návrhová hodnota zatížení:

$$f_d^{zvět} = g_d + q_{d1} + f_{\delta,d} = 7,877 \text{ kN/m}$$

$$f_d = g_d + q_{d2} + f_{\delta,d} = 6,498 \text{ kN/m}$$



|               |            |           |
|---------------|------------|-----------|
| Vnitřní síly: | $V_{Ed} =$ | 21,26 kN  |
|               | $M_{Ed} =$ | 30,77 kNm |

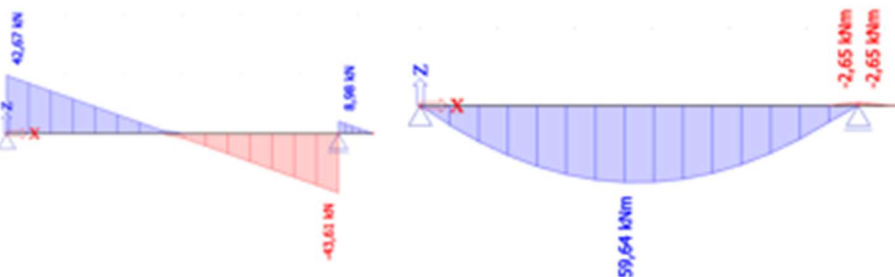
Únosnost průřezu:

$$M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 59,072 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 230,579 \text{ kN}$$

|            |             |          |            |
|------------|-------------|----------|------------|
| Posouzení: | $M_{y,Rd}$  | >        | $M_{y,Ed}$ |
|            | 59,07 kNm   | >        | 30,77 kNm  |
|            | Vyhovuje    | Využití: | 52,09%     |
|            | $V_{pl,Rd}$ | >        | $V_{Ed}$   |
|            | 230,58 kN   | >        | 21,26 kN   |
|            | Vyhovuje    | Využití: | 9,22%      |

**Provozní stádium**



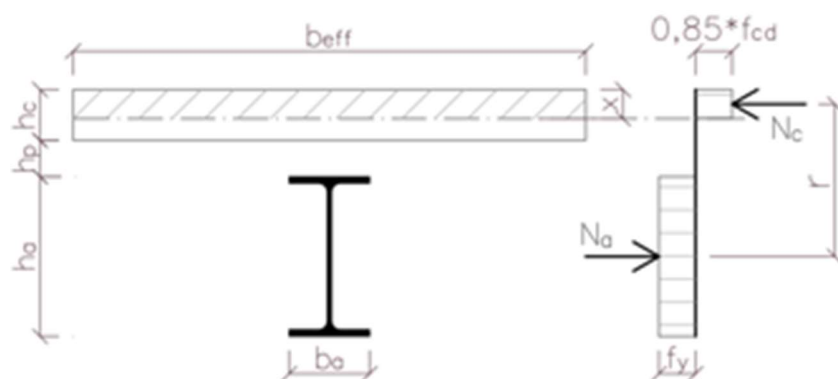
|               |            |           |
|---------------|------------|-----------|
| Vnitřní síly: | $V_{Ed} =$ | 43,61 kN  |
|               | $M_{Ed} =$ | 59,64 kNm |

Momentová únosnost:  
rozteč stropnic

$$b = 1225 \text{ mm}$$

účinná šířka desky:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; b\right) = 1225,0 \text{ mm}$$



|                          |  |            |            |
|--------------------------|--|------------|------------|
| Rovnováha vnitřních sil: | $N_a = N_c$  |            |            |
|                          | $A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$         |            |            |
| Poloha neutrální osy:    | $x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} =$     | 48,99 mm   |            |
|                          | $x = 48,99 < h_c =$  | 70 mm      |            |
|                          | Neutrální osa leží v desce   |            |            |
| Rameno vnitřních sil:    | $r = \frac{h_a}{2} + h_p + h_c - \frac{x}{2} =$                      | 185,50 mm  |            |
| Únosnost:                | $M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot r =$                             | 157,72 kNm |            |
|                          | $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$ | 230,579 kN |            |
| Posouzení:               | $M_{pl,Rd}$  | $>$        | $M_{y,Ed}$ |
|                          | 157,72 kNm   | $>$        | 59,64 kNm  |
|                          | Vyhovuje   | Využití:   | 37,81%     |
|                          | $V_{pl,Rd}$  | $>$        | $V_{Ed}$   |
|                          | 230,58 kN  | $>$        | 43,61 kN   |
|                          | Vyhovuje   | Využití:   | 18,91%     |

## Návrh spřažení

Návrh: Přivařený trn PROWELD 19/100 S235J2

|                          |              |         |
|--------------------------|--------------|---------|
| Materiál                 | Ocel         | S235J2  |
| Mez pevnosti             | $f_u =$      | 360 MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_v =$ | 1,25    |
| Průměr trnu:             | $d =$        | 19 mm   |
| Délka trnu               | $h_{tr} =$   | 100 mm  |

Únosnost trnu ve smyku

Korekční součinitel  $\alpha = 1$

Únosnost 1 trnu:

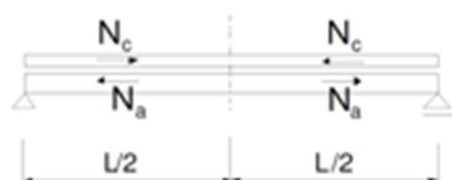
$$P_{Rd} = \min \left( \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v}}{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v}} \right) = 65,33 \text{ kN}$$

|                       |         |       |
|-----------------------|---------|-------|
| Počet trnů v žebří:   | $n_r =$ | 1     |
| Střední rozměr žebra: | $b_0 =$ | 84 mm |
| Redukční součinitel:  |         |       |

$$k_t = \min\left(\frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{tr}}{h_p} - 1\right); 0,85\right) = 0,85$$

Únosnost 1 trnu v žebří:  $P_{Rd} = k_t \cdot P_{Rd} = 55,53 \text{ kN}$

#### Síla na spřažení (polovina nosníku):



$$N_c = N_a = A_a \cdot f_{yd}$$

$$N_c = 850,23 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:  $n_f = \frac{2 \cdot N_c}{P_{Rd}} = 30,62 \Rightarrow 31$

Úmístitelný počet trnů:  $n = \frac{L}{250} = 22,68 \Rightarrow 23$

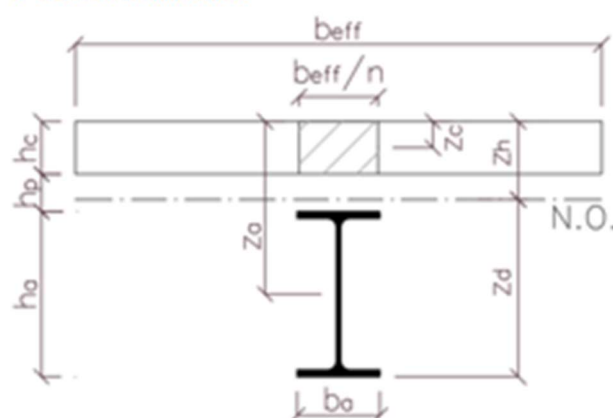
Neúplné spřažení  $\eta = n/n_f = 0,74 > 0,4$  Splněno

Únosnost ocel. průřezu:  $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 59,07 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} = \eta \cdot (M_{pl,Rd} - M_{y,Rd}) + M_{y,Rd} = 132,26 \text{ kNm}$$

Posouzení MSÚ  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = 0,45 > 1,0$  Vyhoví

#### Posouzení MSP



Modul pružnosti bet. (s dotvarováním)  $E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = 15500 \text{ MPa}$

Pracovní součinitel:  $n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = 13,548$

“ideální” efektivní šířka:  $b_{eff}/n = 90,42 \text{ mm}$

Plocha “ideálního” průřezu  $A_i = A_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c = 8724,2 \text{ mm}^2$



Vzdálenosti:  $z_a = h_c + h_p + h_a/2 = 210 \text{ mm}$   
 $z_c = h_c/2 = 35 \text{ mm}$

Těžiště průřezu:  $e = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c \cdot z_c}{A_i} = 83,04 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$$I_{y,i} = I_y + A_a \cdot (z_a - e)^2 + \frac{1}{12} \cdot \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c^3 + \frac{b_{\text{eff}}}{n} \cdot h_c \cdot (z_c - e)^2 =$$

$$I_{y,i} = 68965749 \text{ mm}^4$$

Moment od trapézu, betonu a průřezu:  $g_k = 3,669 \text{ kN/m}$   
 $M_0 = 14,38 \text{ kNm}$

Moment od zbylého zatížení:  $(g + q)_k = 6,738 \text{ kN/m}$   
 $M_p = 26,41 \text{ kNm}$

Vzdálenost horních a spodních vláken:  $z_h = e = 83,04 \text{ mm}$   
 $z_d = h_a + h_p + h_c - e = 216,96 \text{ mm}$

### Posudky

Napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,\text{max}} = \frac{M_p}{n \cdot I_{y,i}} \cdot z_h = 2,35 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

Vyhoví

Napětí v oceli bez spolupůsobení

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_{\text{ply}}} = 86,42 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhoví

Napětí v oceli spolupůsobení

$$\sigma_p = \frac{M_p}{I_{y,i}} \cdot z_d = 83,08 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhoví

Maximální napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{a,\text{max}} = \sigma_0 + \sigma_p = 169,50 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhoví

### Průhyb

$$\delta_2 = 7,50 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = 22,68 \text{ mm}$$

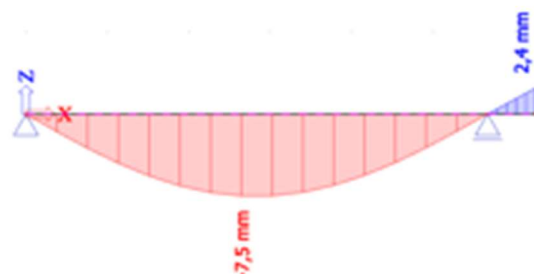
$$\delta_2 = 7,50 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 22,68 \text{ mm}$$

Vyhoví

Posouzení kmitání

$$\delta_2 = 7,50 \text{ mm} < \delta_{\text{lim,dyn}} = 28 \text{ mm}$$

Vyhoví

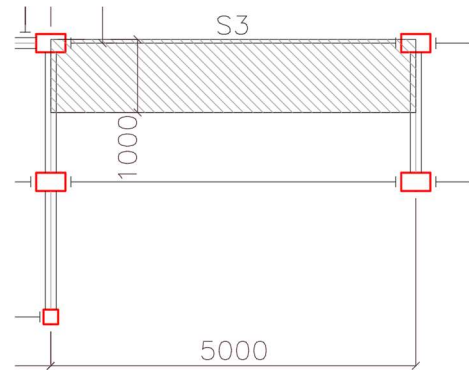


### 8.1.3 Návrh ocelové stropnice S3

Vybrána byla stropnice, která je běžná po celé části ochozu a je nejdelší. Stropnice bude pouze ocelová a nebude spřažená s betonem.

Klopení však bude zabráněno pomocí připevnění plechu ke stropnici.

Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník:



Stálé zatížení:

| Zatížení             | Výpočet                    | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|----------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,0 \cdot 0,087 \cdot 25$ | 2,175        | 1,35       | 2,936        |
| Trapézový plech      | $1,0 \cdot 0,15$           | 0,15         | 1,35       | 0,203        |
| Podhled a podlaha    | $1,0 \cdot 0,5$            | 0,5          | 1,35       | 0,675        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,3                  | 0,3          | 1,35       | 0,405        |
| <b>SUMA</b>          |                            | <b>3,125</b> |            | <b>4,219</b> |

Proměnné zatížení:

| Zatížení              | Výpočet       | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|---------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,0 \cdot 5$ | 5                          | 1,5        | 7,500                      |
| <b>SUMA</b>           |               | <b>5,000</b>               |            | <b>7,500</b>               |

Spojité zatížení:

$$f_{E,d} = f_{d,s} + f_{d,p} = 4,219 + 7,5 = 11,719 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{E,k} = f_{k,s} + f_{k,p} = 3,125 + 5 = 8,125 \text{ kN/m}^2$$

Vnitřní síly:

$$M_{E,d} = \frac{1}{8} \cdot f_{E,d} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,719 \cdot 5^2 = 36,62 \text{ kNm}$$

$$V_{E,d} = \frac{1}{2} \cdot f_{E,d} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 11,719 \cdot 5 = 29,3 \text{ kNm}$$

## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |   |        |                 |
|---------------------------|---|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$  | 36,62  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel  | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$   | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$                                       | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | IPE 200   |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1   |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{pl,y} =$  | 220600 | mm <sup>3</sup> |
| Únosnost průřezu:         | $M_{y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} =$ | 78,31  | kNm             |
| Posouzení:                | $M_{y,Rd}$  | >      | $M_{y,Ed}$      |
|                           | 78,31 kNm   | >      | 36,62 kNm       |
|                           | Vyhovuje  |        |                 |
| Využití:                  | 46,8 %  |        |                 |

### Posouzení smyku

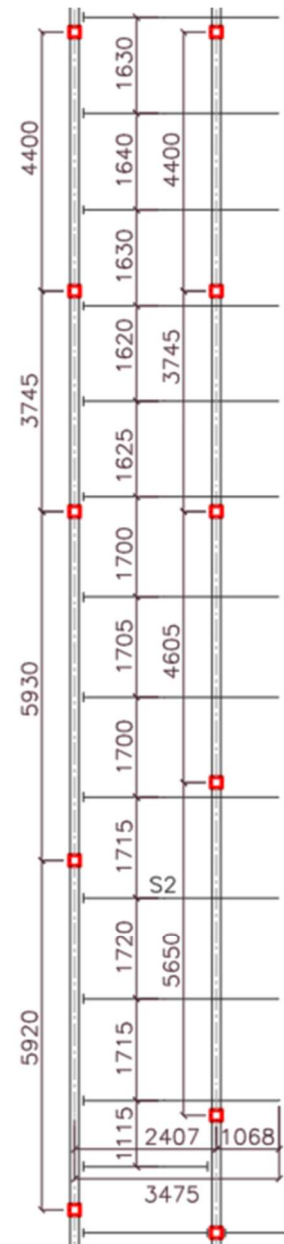
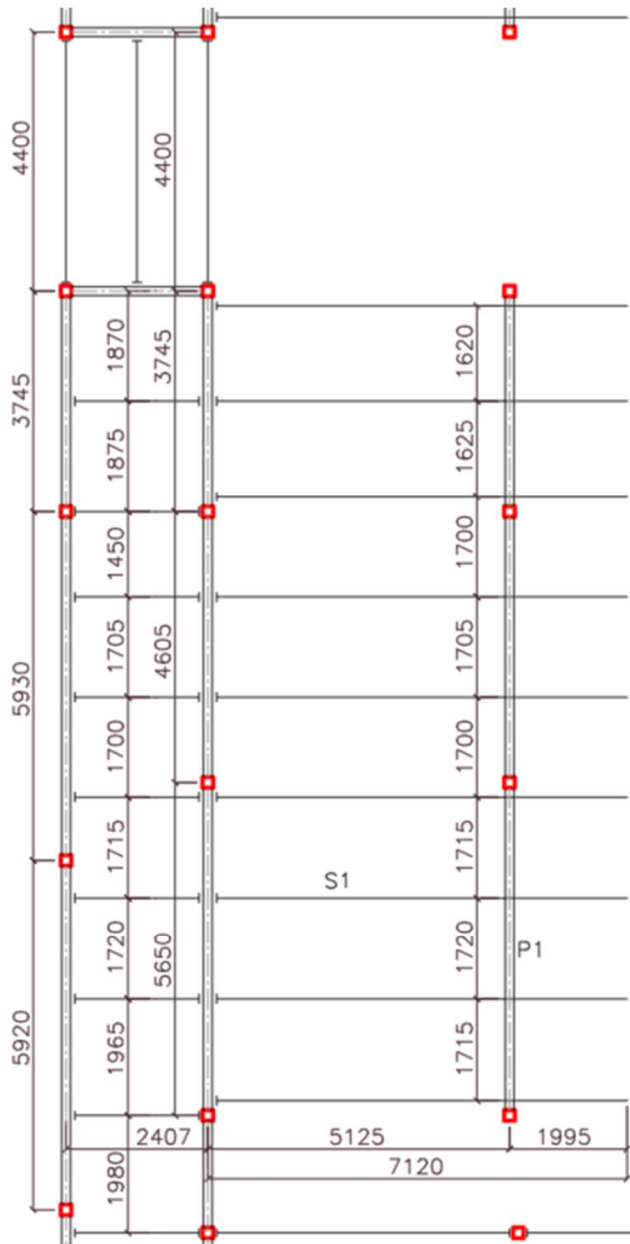
|                           |  |        |                 |
|---------------------------|--|--------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$   | 29,3   | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$  | 1400   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$  | 1,0    |                 |
| Únosnost průřezu:         | $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$ | 286,94 | kN              |
|                           | $V_{pl,Rd}$  | >      | $V_{Ed}$        |
|                           | 286,94 kN  | >      | 29,3 kN         |
|                           | Vyhovuje   |        |                 |
| Využití:                  | 10,2 %   |        |                 |

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## Posouzení MSP

|                  |  |       |            |
|------------------|--|-------|------------|
| Rozpon prvku:    | $l =$  | 5000  | mm         |
| Hodnoty zatížení | $f_k =$  | 8,125 | kN/m       |
|                  | $(g+q)_k =$  | 5,5   | kN/m       |
| Limitní průhyb   | $\delta_{lim} = \frac{l}{250} =$   | 20,00 | mm         |
|                  | $\delta_{lim} = \frac{l}{400} =$   | 12,5  | mm         |
| Průhyb celkový   | $\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} =$     | 16,21 | mm         |
|                  | $\delta_{lim}$   | >     | $\delta_z$ |
|                  | 20,00 mm   | >     | 16,21 mm   |
|                  | 28,00 mm   | >     | 16,21 mm   |
|                  | Vyhoví   |       |            |
| Průhyb           | $\delta_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g+q)_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} =$ | 10,97 | mm         |
|                  | $\delta_{lim}$   | >     | $\delta_p$ |
|                  | 12,50 mm   | >     | 10,97 mm   |
|                  | Vyhoví   |       |            |

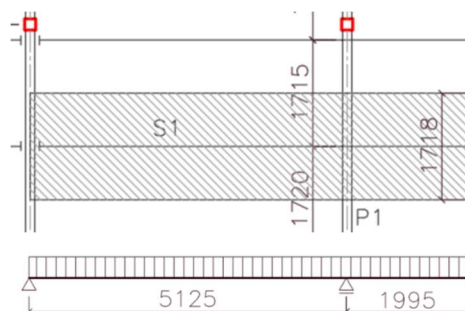
## 8.2 Ochoz tribuna východ



## 8.2.1 Návrh ocelobetonové

### stropnice S1

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou. Stropnice je při montážním stavu nepodepřená. Záporný moment bude přenášet pouze ocelový průřez. Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník s převislým koncem:



Stálé zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,718 \cdot 0,087 \cdot 26$ | 3,886        | 1,35       | 5,246        |
| Trapézový plech      | $1,718 \cdot 0,15$           | 0,258        | 1,35       | 0,348        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>4,544</b> |            | <b>6,134</b> |

Proměnné zatížení v montážním stádiu:

| Zatížení          | Výpočet            | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------|--------------------|--------------|------------|--------------|
| Montážní zvětšené | $1,718 \cdot 1,5$  | 2,577        | 1,5        | 3,866        |
| Montážní          | $1,718 \cdot 0,75$ | 1,289        | 1,5        | 1,934        |
| <b>SUMA</b>       |                    | <b>3,866</b> |            | <b>5,799</b> |

Stálé zatížení v montážním stádiu včetně rybníkového efektu:

| Zatížení             | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|----------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska       | $1,718 \cdot 0,098 \cdot 26$ | 4,377        | 1,35       | 5,909        |
| Trapézový plech      | $1,718 \cdot 0,15$           | 0,258        | 1,35       | 0,348        |
| Vlastní tíha nosníku | odhad 0,4                    | 0,4          | 1,35       | 0,540        |
| <b>SUMA</b>          |                              | <b>5,035</b> |            | <b>6,797</b> |

Stálé zatížení v provozním stádiu:

| Zatížení                | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska          | $1,718 \cdot 0,098 \cdot 25$ | 4,209        | 1,35       | 5,682        |
| Trapézový plech         | $1,718 \cdot 0,15$           | 0,258        | 1,35       | 0,348        |
| SDK, instalace, podlaha | $1,758 \cdot 0,75$           | 1,289        | 1,35       | 1,740        |
| Vlastní tíha nosníku    | odhad 0,3                    | 0,3          | 1,35       | 0,405        |
| <b>SUMA</b>             |                              | <b>6,056</b> |            | <b>8,176</b> |

\*betonová deska započtena včetně vlivu rybníkového efektu

Proměnné zatížení v provozním stádiu:

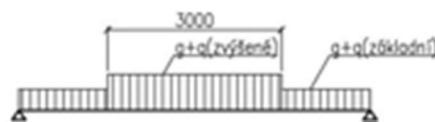
| Zatížení              | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,718 \cdot 5$   | 8,59                       | 1,5        | 12,885                     |
| Příčky (do 3kN/m)     | $1,718 \cdot 1,2$ | 2,062                      | 1,5        | 3,093                      |
| <b>SUMA</b>           |                   | <b>10,652</b>              |            | <b>15,978</b>              |

## Návrh ocelobetonového prvku

### Vstupní hodnoty

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Rozpon prvku                         | L = 5125 mm                         |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Ocel S355</b>                    |
| Mez kluzu                            | $f_y = 355$ MPa                     |
| Mez pevnosti                         | $f_u = 490$ MPa                     |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_{M1} = 1,0$                 |
| Modul pružnosti                      | $E_s = 210000$ MPa                  |
| Modul pružnosti ve smyku             | $G = 80700$ MPa                     |
| <b>Materiál</b>                      | <b>Beton C25/30</b>                 |
| Charakteristická pevnost v tlaku     | $f_{ck} = 25$ MPa                   |
| Součinitel spolehlivosti             | $\gamma_c = 1,5$                    |
| Návrhová pevnost v tlaku             | $f_{cd} = 16,67$ MPa                |
| Modul pružnosti                      | $E_{cm} = 31000$ MPa                |
| <b>Návrh průřezu:</b>                | <b>IPE 180</b>                      |
| Třída průřezu:                       | 1                                   |
| $h_s = 180$ mm                       | $G = 0,188$ kN/m                    |
| $b_s = 91$ mm                        | $I_y = 13170000$ mm <sup>4</sup>    |
| $A_s = 2395$ mm <sup>2</sup>         | $W_y = 146300$ mm <sup>3</sup>      |
| $A_{v,z} = 1125$ mm <sup>2</sup>     | $W_{pl,y} = 166400$ mm <sup>3</sup> |
| <b>Trapézový plech</b>               | <b>TR 50/250</b>                    |
| Výška plechu                         | $h_p = 50$ mm                       |
| Tloušťka betonové vrstvy nad plechem | $h_c = 70$ mm                       |
| Srovnávací tloušťka vrstvy betonu    | $h_{cs} = 87$ mm                    |

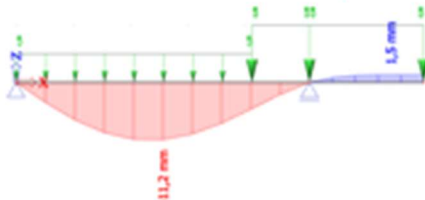
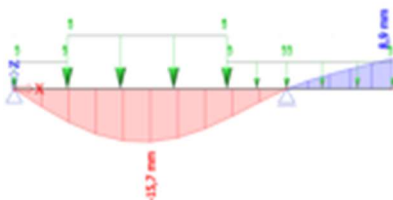
### Montážní stádium



|                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| Zatížení: stálé   | $g_k = 4,544$ kN/m    |
| proměnné: zvýšené | $q_{k1} = 2,577$ kN/m |
| základní          | $q_{k2} = 1,289$ kN/m |

Průhyb od stálého zatížení

$$\delta_1 = 15,70 \text{ mm}$$



Rybíkový efekt  
 $\delta_{ryb} < \delta_1$  Vznikne rybíkový efekt

$$\delta_{ryb} = \frac{h_c}{10} = 7,00 \text{ mm}$$

Přírůstek tloušťky desky

$$0,7 \cdot \delta_1 = 10,99 \text{ mm}$$

Zatěžovací šířka

$$Z\check{S} = 1,718 \text{ m}$$

Zvětšení zatížení o

$$f_{\delta,k} = Z\check{S} \cdot 0,7 \cdot \delta_1 \cdot 26/1000 = 0,49 \text{ kN/m}$$

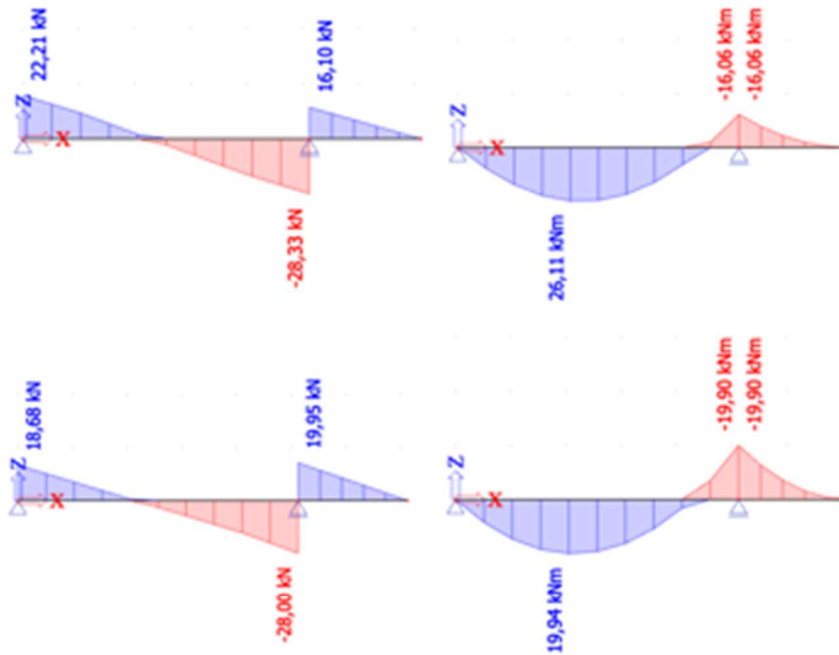
$$f_{\delta,d} = f_{\delta,k} \cdot 1,35 = 0,66 \text{ kN/m}$$

|                 |          |            |            |
|-----------------|----------|------------|------------|
| Zatížení: stálé |          | $g_d =$    | 6,134 kN/m |
| proměnné:       | zvýšené  | $q_{d1} =$ | 3,866 kN/m |
|                 | základní | $q_{d2} =$ | 1,934 kN/m |

Návrhová hodnota zatížení:

$$f_d^{zvět} = g_d + q_{d1} + f_{\delta,d} = 10,663 \text{ kN/m}$$

$$f_d = g_d + q_{d2} + f_{\delta,d} = 8,731 \text{ kN/m}$$



Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 28,33 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 26,11 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu:

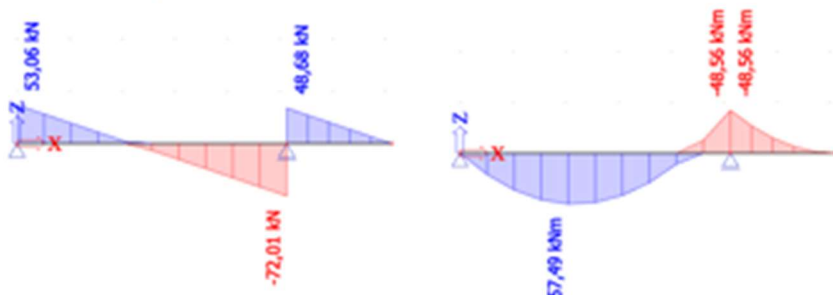
$$M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 59,072 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 230,579 \text{ kN}$$

Posouzení:

|             |          |            |
|-------------|----------|------------|
| $M_{y,Rd}$  | >        | $M_{y,Ed}$ |
| 59,07 kNm   | >        | 26,11 kNm  |
| Vyhovuje    | Využití: | 44,20%     |
| $V_{pl,Rd}$ | >        | $V_{Ed}$   |
| 230,58 kN   | >        | 28,33 kN   |
| Vyhovuje    | Využití: | 12,29%     |

## Provozní stádium



Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 72,01 \text{ kN}$$

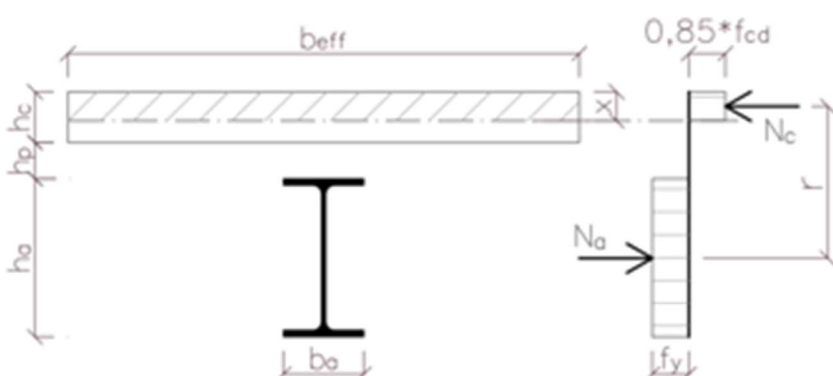
$$M_{Ed} = 57,49 \text{ kNm}$$

Momentová únosnost:  
rozteč stropnic

$$b = 1715 \text{ mm}$$

účinná šířka desky:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; b\right) = 1281,3 \text{ mm}$$



Rovnováha vnitřních sil:

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

Poloha neutrální osy:

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = 46,84 \text{ mm}$$

$$x = 46,84 < h_c = 70 \text{ mm}$$

Neutrální osa leží v desce

Rameno vnitřních sil:

$$r = \frac{h_a}{2} + h_p + h_c - \frac{x}{2} = 186,58 \text{ mm}$$

Únosnost:

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 158,63 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 230,579 \text{ kN}$$

Posouzení:

|             |          |            |
|-------------|----------|------------|
| $M_{pl,Rd}$ | >        | $M_{y,Ed}$ |
| 158,63 kNm  | >        | 57,49 kNm  |
| Vyhovuje    | Využití: | 36,24%     |
| $V_{pl,Rd}$ | >        | $V_{Ed}$   |
| 230,58 kN   | >        | 72,01 kN   |
| Vyhovuje    | Využití: | 31,23%     |



## Návrh spřažení

Návrh: Přivařený trn PROWELD 19/100 S235J2

| Materiál                 | Ocel         | S235J2  |
|--------------------------|--------------|---------|
| Mez pevnosti             | $f_u =$      | 360 MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_v =$ | 1,25    |
| Průměr trnu:             | $d =$        | 19 mm   |
| Délka trnu               | $h_{tr} =$   | 100 mm  |

### Únosnost trnu ve smyku

Korekční součinitel  $\alpha = 1$

Únosnost 1 trnu:

$$P_{Rd} = \min \left( \begin{array}{l} 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} \\ 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v} \end{array} \right) = 65,33 \text{ kN}$$

|                       |         |       |
|-----------------------|---------|-------|
| Počet trnů v žeburu:  | $n_r =$ | 1     |
| Střední rozměr žebra: | $b_0 =$ | 84 mm |
| Redukční součinitel:  |         |       |

$$k_t = \min \left( \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{tr}}{h_p} - 1 \right); 0,85 \right) = 0,85$$

Únosnost 1 trnu v žeburu:  $P'_{Rd} = k_t \cdot P_{Rd} = 55,53 \text{ kN}$

### Síla na spřažení (polovina nosníku):



$$N_c = N_a = A_a \cdot f_{yd}$$

$$N_c = 850,23 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:  $n_f = \frac{2 \cdot N_c}{P_{Rd}} = 30,62 \Rightarrow 31$

Úmístitelný počet trnů:  $n = \frac{L}{250} = 20,5 \Rightarrow 21$

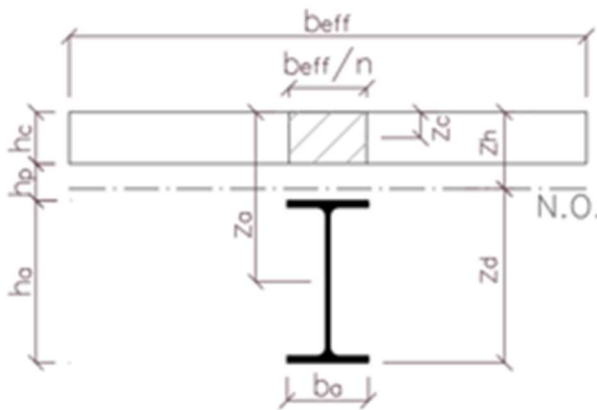
Neúplné spřažení  $\eta = n/n_f = 0,68 > 0,4$  Splněno

Únosnost ocel. průřezu:  $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 59,07 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} = \eta \cdot (M_{pl,Rd} - M_{y,Rd}) + M_{y,Rd} = 126,52 \text{ kNm}$$

Posouzení MSÚ  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = 0,45 < 1,0$  Vyhoví

## Posouzení MSP



Modul pružnosti bet. (s dotvarováním)  $E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = 15500 \text{ MPa}$

Pracovní součinitel:  $n = \frac{E_a}{E_{cm}} = 13,548$

“ideální” efektivní šířka:  $b_{eff}/n = 94,57 \text{ mm}$

Plocha “ideálního” průřezu  $A_i = A_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c = 9014,8 \text{ mm}^2$

Vzdálenosti:  $z_a = h_c + h_p + h_a/2 = 210 \text{ mm}$   
 $z_c = h_c/2 = 35 \text{ mm}$

Těžiště průřezu:  $e = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c \cdot z_c}{A_i} = 81,49 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$$I_{y,i} = I_y + A_a \cdot (z_a - e)^2 + \frac{1}{12} \cdot \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c^3 + \frac{b_{eff}}{n} \cdot h_c \cdot (z_c - e)^2 =$$

$$I_{y,i} = 69733564 \text{ mm}^4$$

Moment od trapézu, betonu a průřezu:  $g_k = 4,767 \text{ kN/m}$   
 $M_0 = 11,23 \text{ kNm}$

Moment od zbylého zatížení:  $(g + q)_k = 11,941 \text{ kN/m}$   
 $M_p = 28,13 \text{ kNm}$

Vzdálenost horních a spodních vláken:  $z_h = e = 81,49 \text{ mm}$   
 $z_d = h_a + h_p + h_c - e = 218,51 \text{ mm}$

## Posudky

Napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n \cdot I_{y,i}} \cdot z^h = 2,43 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli bez spolupůsobení

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_{ply}} = 67,49 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Napětí v oceli spolupůsobení

$$\sigma_p = \frac{M_p}{I_{y,i}} \cdot z_d = 88,14 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

Maximální napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_p = 155,63 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

**Vyhoví**

## Průhyb

$$\delta_2 = 8,30 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 6,30 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = 20,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{400} = 12,81 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 8,30 \text{ mm} < \delta_{lim} = 20,5 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

$$< \delta_{lim} = 12,81 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

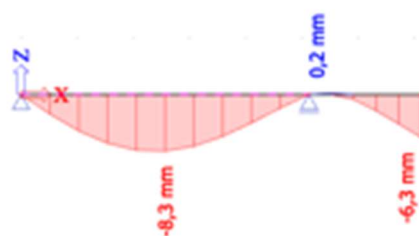
Posouzení kmitání

$$\delta_2 = 8,30 \text{ mm} < \delta_{lim,dyn} = 28 \text{ mm}$$

**Vyhoví**

$$\delta_2 = 6,30 \text{ mm} < \delta_{lim,dyn} = 10 \text{ mm}$$

**Vyhoví**



## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |                 |        |                 |
|---------------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$    | 48,56  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel            | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$         | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$ | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | <b>IPE 180</b>  |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1               |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{pl,y} =$    | 166400 | mm <sup>3</sup> |

Únosnost průřezu:  $M_{y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 59,07 \text{ kNm}$

|            |            |   |            |
|------------|------------|---|------------|
| Posouzení: | $M_{y,Rd}$ | > | $M_{y,Ed}$ |
|            | 59,07 kNm  | > | 48,56 kNm  |

Vyhovuje

Využití: 82,2 %

### Posouzení smyku

|                           |                 |       |                 |
|---------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 48,68 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1125  | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0   |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 230,58 \text{ kN}$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 230,58 kN   | > | 48,68 kN |

Vyhovuje

Využití: 21,1 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

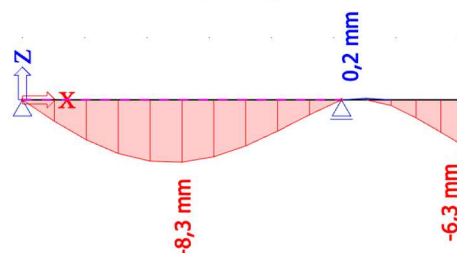
### Posouzení MSP

|               |       |      |    |
|---------------|-------|------|----|
| Rozpon prvku: | $l =$ | 1995 | mm |
|---------------|-------|------|----|

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 7,98 \text{ mm}$

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 7,98 mm        | > | 6,3 mm     |

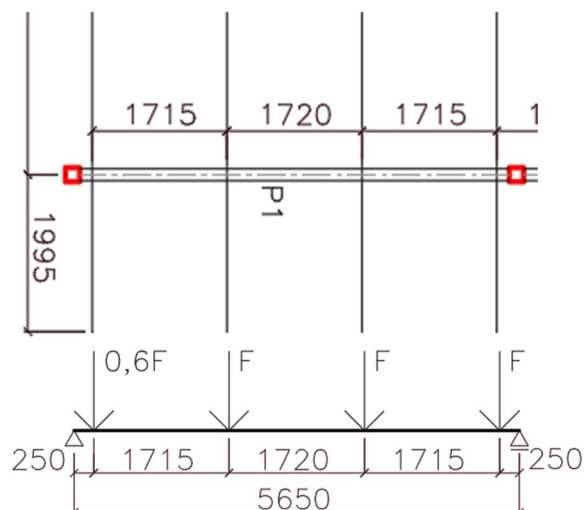
Vyhovuje



Navržený profil IPE 180 vyhoví na MSÚ i MSP

## 8.2.2 Návrh průvlaku P1

Vybrána byla průvlak s největší zatěžovací plochou. Průvlak bude vynášet stropnice na něj připevněné. Zatěžovací šířka bude dopočtena z posouvající síly stropnice. Z důvodu velikosti profilu pod stropem bude použit profil HEA namísto IPE. Zatěžovací schéma průvlaku je prostý nosník:



Výpočet zatěžovací šířky:

$$Z\dot{S} = \frac{V_{Ed}}{(g + q)_d} + 1,995 = \frac{72,01}{8,176 + 15,978} + 1,995 = 4,976\text{m}$$

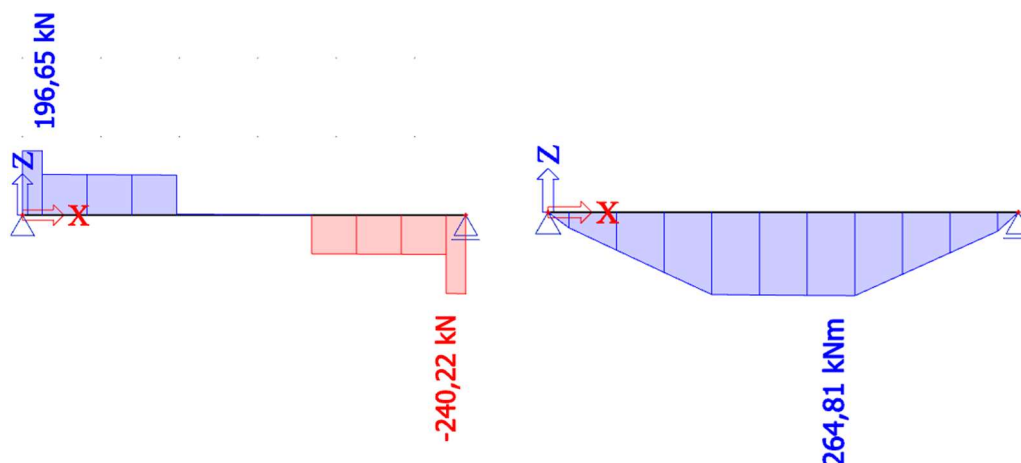
Stálé zatížení na průvlak

| Zatížení                | Výpočet                    | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>G</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|-------------------------|----------------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Vlastní tíha profilu    | Započítá výpočetní program | -                   | 1,35           | -                   |
| Betonová deska          | 1,718*4,976*0,098*25       | 20,944              | 1,35           | 28,274              |
| Trapézový plech         | 1,718*4,976*0,15           | 1,282               | 1,35           | 1,731               |
| Stropnice               | 4,976*0,2                  | 0,995               | 1,35           | 1,343               |
| SDK, instalace, podlaha | 1,718*4,976*0,75           | 6,412               | 1,35           | 8,656               |
| <b>SUMA</b>             |                            | <b>29,633</b>       |                | <b>40,005</b>       |

Proměnné zatížení na průvlak

| Zatížení              | Výpočet         | F <sub>k</sub> [kN] | γ <sub>Q</sub> | F <sub>d</sub> [kN] |
|-----------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Užitné – kategorie C5 | 1,718*4,976*5   | 42,744              | 1,5            | 64,116              |
| Příčky (do 3kN/m)     | 1,718*4,976*1,2 | 10,259              | 1,5            | 15,389              |
| <b>SUMA</b>           |                 | <b>53,003</b>       |                | <b>79,505</b>       |

Vnitřní síly:



## Posouzení ohybu

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhový moment          | $M_{y,Ed} = 264,55$ | kNm  |
| Délka úseku na klopení   | $L_c = 1,7$         | m    |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Modul pružnosti ve smyku | $G = 80700$         | MPa  |

### Návrh průřezu:

|                  |                 |                      |                 |
|------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| Třída průřezu:   | HEA 300         |                      |                 |
|                  | 3               |                      |                 |
| $h_s = 290$      | mm              | $I_y = 182600000$    | mm <sup>4</sup> |
| $b_s = 300$      | mm              | $I_z = 63100000$     | mm <sup>4</sup> |
| $t_w = 8,5$      | mm              | $W_y = 1260000$      | mm <sup>3</sup> |
| $t_f = 14$       | mm              | $W_{pl,y} = 1383000$ | mm <sup>3</sup> |
| $A_s = 11250$    | mm <sup>2</sup> | $I_t = 851700$       | mm <sup>4</sup> |
| $A_{v,z} = 3728$ | mm <sup>2</sup> | $I_w = 1,2E+12$      | mm <sup>6</sup> |
| $G = 0,883$      | kN/m            |                      |                 |

### Vliv klopení:

|   |  |     |
|---|--|-----|
| Bezrozměrný kritický moment               | $\mu_{cr} = 19,85$                           |     |
| (výpočet viz. Software LT Beam - příloha) |  |     |
| Kritický moment                           | $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot M_{y,Ed} = 5250,00$ | kNm |

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,292$$

|                |   |               |                              |
|----------------|---|---------------|------------------------------|
| Křivka klopení | a | $\Rightarrow$ | $\alpha_{LT} = 0,21$         |
|                |   |               | $\beta = 0,75$               |
|                |   |               | $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ |

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,52$$

$$\chi_{LT,1} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 1,025$$

nosník neklopí  $\Rightarrow \chi_{LT} = 1,00$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 447,30 \text{ kNm}$$

|            |            |     |            |
|------------|------------|-----|------------|
| Posouzení: | $M_{b,Rd}$ | $>$ | $M_{y,Rd}$ |
|            | 447,30 kNm | $>$ | 264,55 kNm |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 59,1 % |
|----------|--------|

## Posouzení smyku

|                           |                 |        |                 |
|---------------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 240,02 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 3728   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |                 |

$$\text{Únosnost průřezu: } V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 764,09 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{ccc} V_{pl,Rd} & > & V_{Ed} \\ 764,09 \text{ kN} & > & 240,02 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití: 31,4 %

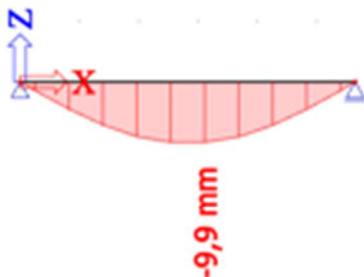
Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## Posouzení MSP

Rozpon prvku:  $l = 5650 \text{ mm}$

$$\text{Limitní průhyb } \delta_{lim} = \frac{l}{250} = 22,60 \text{ mm}$$

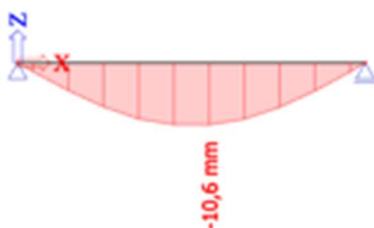
$$\delta_{lim} = \frac{l}{400} = 14,125 \text{ mm}$$



Průhyb celkový  $\delta_z = 9,90 \text{ mm}$

$$\begin{array}{ccc} \delta_{lim} & > & \delta_z \\ 22,60 \text{ mm} & > & 9,90 \text{ mm} \\ 10,00 \text{ mm} & > & 9,90 \text{ mm} \end{array}$$

Vyhoví



Průhyb od proměnného 10,60 mm

$$\begin{array}{ccc} \delta_{lim} & > & \delta_p \\ 14,13 \text{ mm} & > & 10,60 \text{ mm} \end{array}$$

Vyhoví

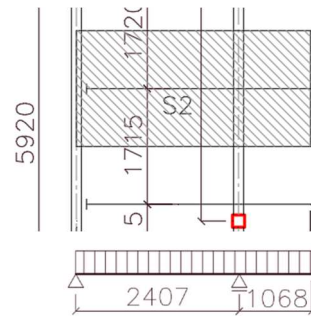
### 8.2.3 Návrh ocelové stropnice

Vybrána byla stropnice s největší zatěžovací plochou.

Stropnice je při montážním stavu nepodepřená.

Zatěžovací schéma stropnice je prostý nosník

s převislým koncem:



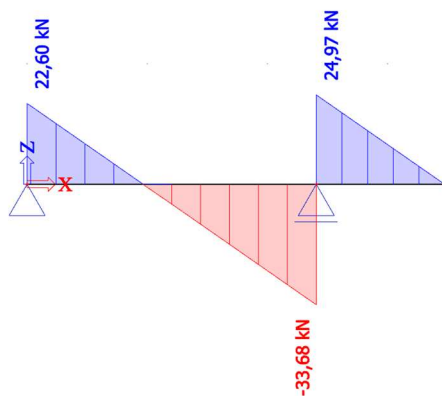
Svislé zatížení stropnice:

| Zatížení                | Výpočet                      | $f_k$ [kN/m] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m] |
|-------------------------|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| Betonová deska          | $1,718 \cdot 0,087 \cdot 25$ | 3,737        | 1,35       | 5,045        |
| Trapézový plech         | $1,718 \cdot 0,15$           | 0,258        | 1,35       | 0,348        |
| SDK, instalace, podlaha | $1,718 \cdot 0,75$           | 1,289        | 1,35       | 1,740        |
| Vlastní tíha nosníku    | odhad 0,2                    | 0,2          | 1,35       | 0,270        |
| <b>SUMA</b>             |                              | <b>5,484</b> |            | <b>7,403</b> |

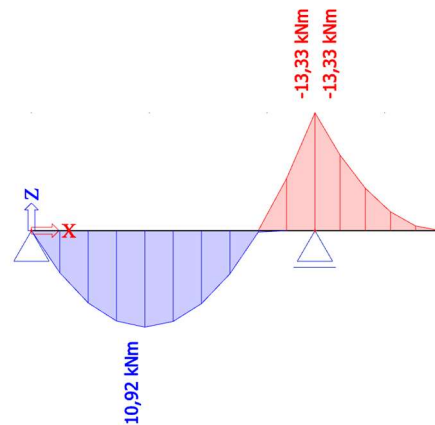
| Zatížení              | Výpočet           | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | $1,718 \cdot 5$   | 8,59                       | 1,5        | 12,885                     |
| Příčky (do 3kN/m)     | $1,718 \cdot 1,2$ | 2,062                      | 1,5        | 3,093                      |
| <b>SUMA</b>           |                   | <b>10,652</b>              |            | <b>15,978</b>              |

Vnitřní síly:

Posouvající síly



Moment





## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |  |       |                 |
|---------------------------|--|-------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$   | 13,33 | kNm             |
| Materiál                  | Ocel   | S355  |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$  | 355   | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$                                      | 1,0   |                 |
| Návrh průřezu:            | <b>IPE 120</b>                                       |       |                 |
| Třída průřezu:            | 1  |       |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{ply} =$  | 52960 | mm <sup>3</sup> |
| Únosnost průřezu:         | $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} =$ | 18,80 | kNm             |
| Posouzení:                | $M_{y,Rd}$   | >     | $M_{y,Ed}$      |
|                           | 18,80 kNm  | >     | 13,33 kNm       |
| Využití:                  | Vyhovuje<br>70,9 %                                   |       |                 |

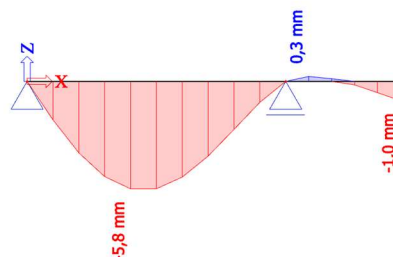
### Posouzení smyku

|                           |  |        |                 |
|---------------------------|--|--------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$   | 33,68  | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$  | 631    | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$  | 1,0    |                 |
| Únosnost průřezu:         | $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$ | 129,33 | kN              |
|                           | $V_{pl,Rd}$  | >      | $V_{Ed}$        |
|                           | 129,33 kN  | >      | 33,68 kN        |
| Využití:                  | Vyhovuje<br>26,0 %   |        |                 |

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

### Posouzení MSP

|                |                                  |      |            |
|----------------|----------------------------------|------|------------|
| Rozpon prvku:  | $l =$                            | 2407 | mm         |
| Limitní průhyb | $\delta_{lim} = \frac{l}{250} =$ | 9,63 | mm         |
|                | $\delta_{lim}$                   | >    | $\delta_z$ |
|                | 9,63 mm                          | >    | 5,8 mm     |
|                | Vyhovuje                         |      |            |



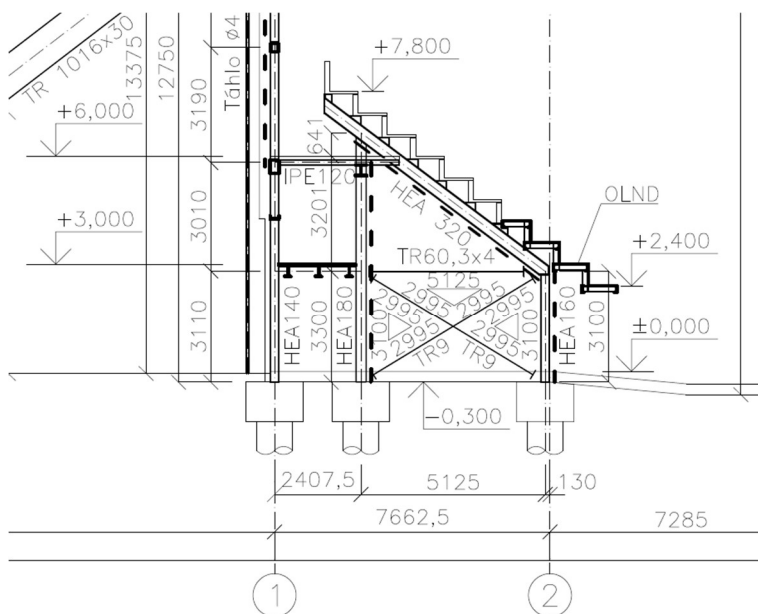
Navržený profil IPE 120 vyhoví na MSÚ i MSP

## 9 Návrh tribun

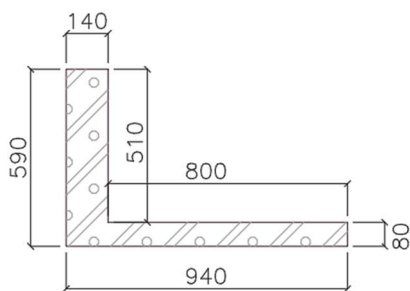
### 9.1 Tribuna východ a západ (vedlejší)

Tribuny se nachází na příčných stranách stadionu. Tribuna je rozdělena do 7 polí. Ve dvou polích je vymezen otvor pro přístup na tribunu. V prostředním poli je spodní část lavicových nosníků řešena pomocí oceli, aby bylo možné tuto část rozebrat. Po rozebrání vznikne dostatečně velký prostor pro průjezd kamionu či jeřábu. Nosník je navržen jako prostý nosník s převislým koncem. Tento nosník podpírá železobetonové prefabrikované lavicové nosníky. Lavicové nosníky jsou na nosník ukládány každých 800 mm. Vzhledem k četnosti sil bude zjednodušeně počítáno se spojitým zatížením po celé délce nosníku. Spojité zatížení se skládá z vlastní tíhy prefabrikátu, užitého zatížení typu C5 s dynamickým součinitelem 1,6 a vlastní tíha samotného nosníku.

#### Nákres tribuny



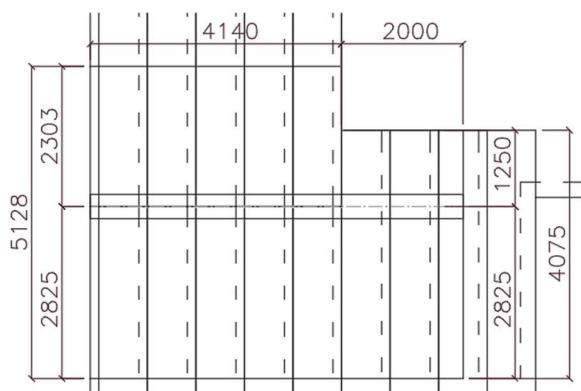
#### Vlastní tíha lavicového nosníku



$$g_{k.lav} = (0,59 \cdot 0,14 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 25 = 3,665 \text{ kN/0,8m}$$

$$g_{k.lav} = \frac{3,665}{0,8} = 4,581 \text{ kN/m}$$

### 9.1.1 Návrh tribunového nosníku



Zatěžovací plocha je rozdělena do dvou částí se zatěžovacími šířkami 4,075m a 5,128m. Menší zatěžovací šířka je z důvodu volného prostoru pro vstup na tribunu. Dále zatížení od lavicových nosníků, které jsou ukládány na tribunový nosník, bude použito excentricky s hodnotou 0,07m. Na nosníku není uvažováno s působením větru a přenosem tlaku od větru nosníkem. Při započítání větru by využití od tlaku vzrostlo pouze o 2 %. Navržený profil tedy stále vyhoví s rezervou.

Svislé zatížení stropnice:

| Zatížení             | Výpočet          | $f_k$ [kN/m]  | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m]  |
|----------------------|------------------|---------------|------------|---------------|
| Prefabrikát          | 5,128*4,581      | 23,491        | 1,35       | 31,713        |
| Vlastní tíha nosníku | započítá program |               | 1,35       |               |
| <b>SUMA</b>          |                  | <b>23,491</b> |            | <b>31,713</b> |

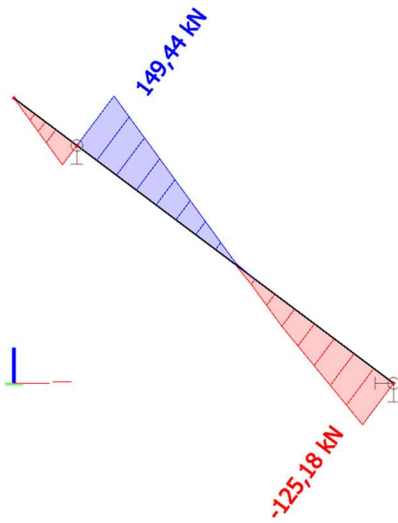
| Zatížení              | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | 5,128*8 | 41,024                     | 1,5        | 61,536                     |
| <b>SUMA</b>           |         | <b>41,024</b>              |            | <b>61,536</b>              |

| Zatížení             | Výpočet          | $f_k$ [kN/m]  | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m]  |
|----------------------|------------------|---------------|------------|---------------|
| Prefabrikát          | 4,075*4,581      | 18,668        | 1,35       | 25,202        |
| Vlastní tíha nosníku | započítá program |               | 1,35       |               |
| <b>SUMA</b>          |                  | <b>18,668</b> |            | <b>25,202</b> |

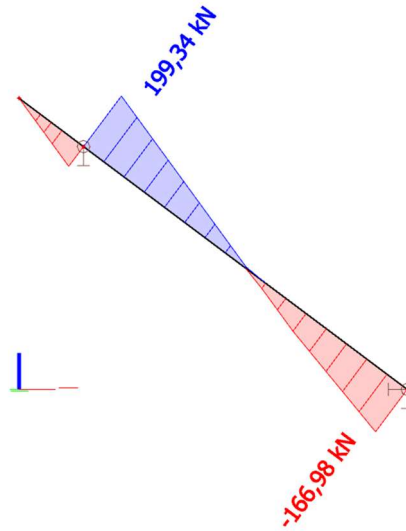
| Zatížení              | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | 4,075*8 | 32,6                       | 1,5        | 48,900                     |
| <b>SUMA</b>           |         | <b>32,600</b>              |            | <b>48,900</b>              |

Vnitřní síly:

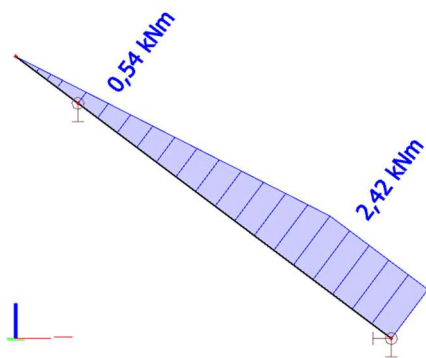
Normálová síla



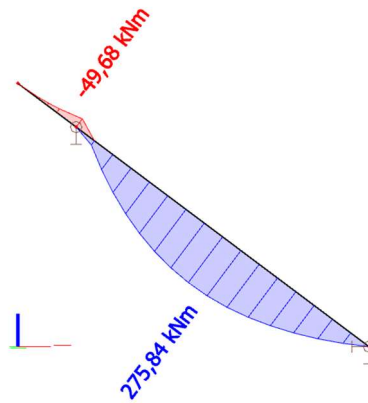
Posouvající síla



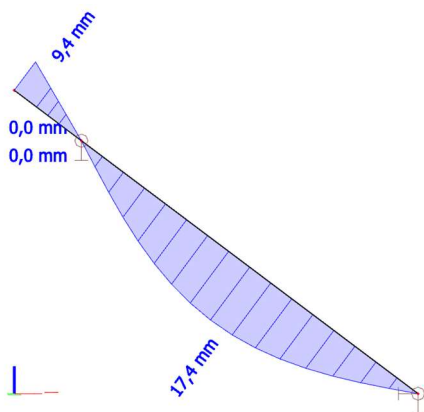
Kroutící moment



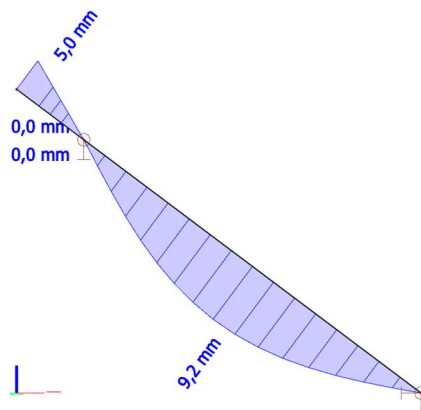
Moment  $M_y$



Průhyb celkový



Průhyb pro posudek kmitání



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 125,2  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 6405   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 6405   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 276    | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

### Návrh průřezu:

### HEA 320

|               |                       |              |                           |
|---------------|-----------------------|--------------|---------------------------|
| $h =$         | 310 mm                | $I_y =$      | 229300000 mm <sup>4</sup> |
| $b =$         | 300 mm                | $W_y =$      | 1479000 mm <sup>3</sup>   |
| $t_w =$       | 9 mm                  | $W_{pl,y} =$ | 1628000 mm <sup>3</sup>   |
| $t_f =$       | 15,5 mm               | $i_y =$      | 136 mm                    |
| $d =$         | 225 mm                | $I_z =$      | 69850000 mm <sup>4</sup>  |
| $A =$         | 12440 mm <sup>2</sup> | $W_z =$      | 465700 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{v,z} =$   | 4113 mm <sup>2</sup>  | $W_{pl,z} =$ | 709700 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$         | 27 mm                 | $i_z =$      | 74,9 mm                   |
| $c =$         | 114,00 mm             | $I_t =$      | 1080000 mm <sup>4</sup>   |
| $\lambda_1 =$ | 76,41                 | $I_w =$      | 1,515E+12 mm <sup>6</sup> |

### Zatížení průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 39,186$  mm

### Součinitel $\alpha$ - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,587$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 25,000 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 48,58$

Pásnice  $c/t_f = 7,355 < 10 \cdot \varepsilon = 8,14$

Třída 1

Třída 2

průřez celkově => Třída 2

### Posudek vzpěr

#### Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                  |   |                     |       |
|------------------|---|---------------------|-------|
| y-y              | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34  |
| z-z              | křivka c  | $\alpha_z =$        | 0,49  |
| Štíhlost         | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 47,10 |
|                  |   | $\lambda_z =$       | 85,51 |
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,62  |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,12  |

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \begin{array}{l} \phi_y = 0,76 \\ \phi_z = 1,35 \end{array}$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \begin{array}{l} \chi_y = 0,829 \\ \chi_z = 0,474 \end{array}$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 2093,96 \text{ kN}$$

Posouzení:  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $2093,96 \text{ kNm} > 125,2 \text{ kN}$

Využití: **Vyhovuje**  
6,0 %

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 4416,2 \text{ kN}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 577,94 \text{ kNm}$   
 Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 251,94 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,94 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = -0,1801 \quad \psi = 0$   
 $C_{mz} = 0,60 \quad 0,6 + 0,4 \psi \quad \psi = 0$   
 $C_{mLT} = 0,94 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = -0,1801 \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,954 \quad 0,954 \leq 0,967$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,390$$

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

$$k_{zy} = 0,991 \quad 0,990 \geq 0,991$$

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

$$k_{zz} = 0,650 \quad 0,659 \leq 0,650$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

0,034 + 0,456 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,490 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

0,060 + 0,473 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,533 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

0,028 + 0,477 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,506 < 1,0

### Posouzení smyku

|                           |                 |       |                 |
|---------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 199,3 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 4113  | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0   |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 843,00$  kN

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$  |
| 843,00 kN   | > | 199,34 kN |

Vyhovuje

Využití: 23,6 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

### Posouzení MSP

Rozpon prvku:  $l = 6405$  mm

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 25,62$  mm

Průhyb celkový  $\delta_z = 17,40$  mm

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 25,62 mm       | > | 17,40 mm   |

Vyhoví

Průhyb pro kmitání  $\delta_p = 9,20$  mm

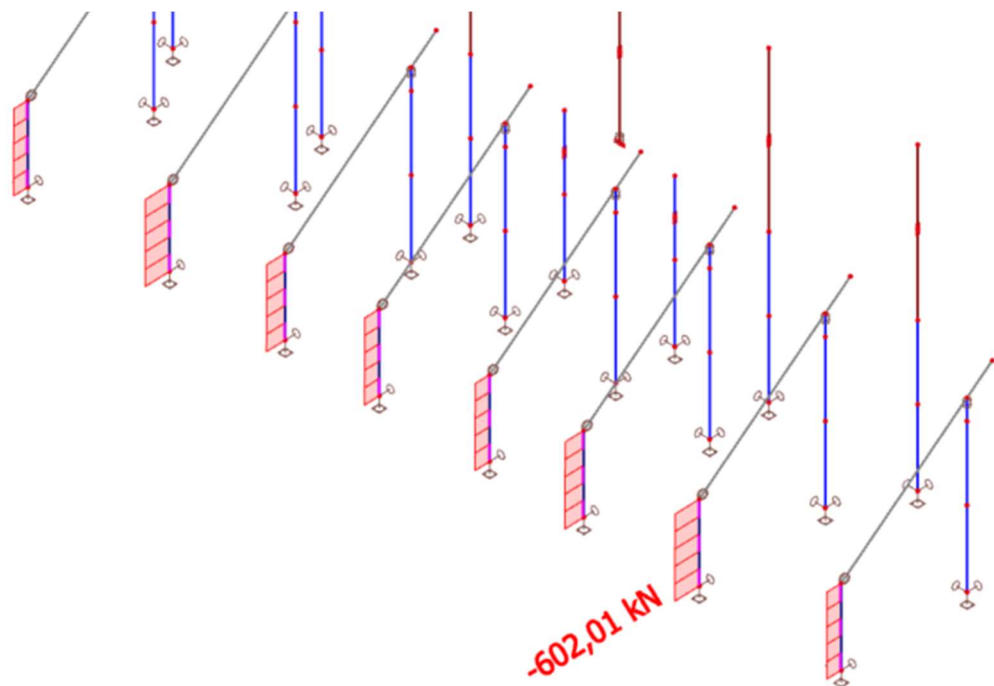
|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_p$ |
| 10,00 mm       | > | 9,20 mm    |

Vyhoví

### 9.1.2 Návrh sloupů 1. řady

Návrh bude proveden na vzpěr, vzpěrná délka je uvažována jako výška patra. Na sloupy jsou v úrovni patra excentricky připojeny průvlaky a přes průvlaky procházejí stropnice. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozponech je moment od excentrického připojení zanedbatelný.

Maximální normálová síla ve sloupu:





## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 602,01$   | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3100$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                |                |                 |
|----------------|----------------|-----------------|
| Návrh průřezu: | <b>HEA 160</b> |                 |
| Třída průřezu: | 2              |                 |
| $A =$          | 3877           | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$  | 76,41          |                 |
|                | $i_y =$        | 65,7 mm         |
|                | $i_z =$        | 39,8 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka b  | $\alpha_y = 0,34$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 47,18$<br>$\lambda_z = 77,89$           |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,62$<br>$\bar{\lambda}_z = 1,02$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 0,76$<br>$\phi_z = 1,22$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,828 \quad \chi_z = 0,529$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 727,777 \text{ kN}$$

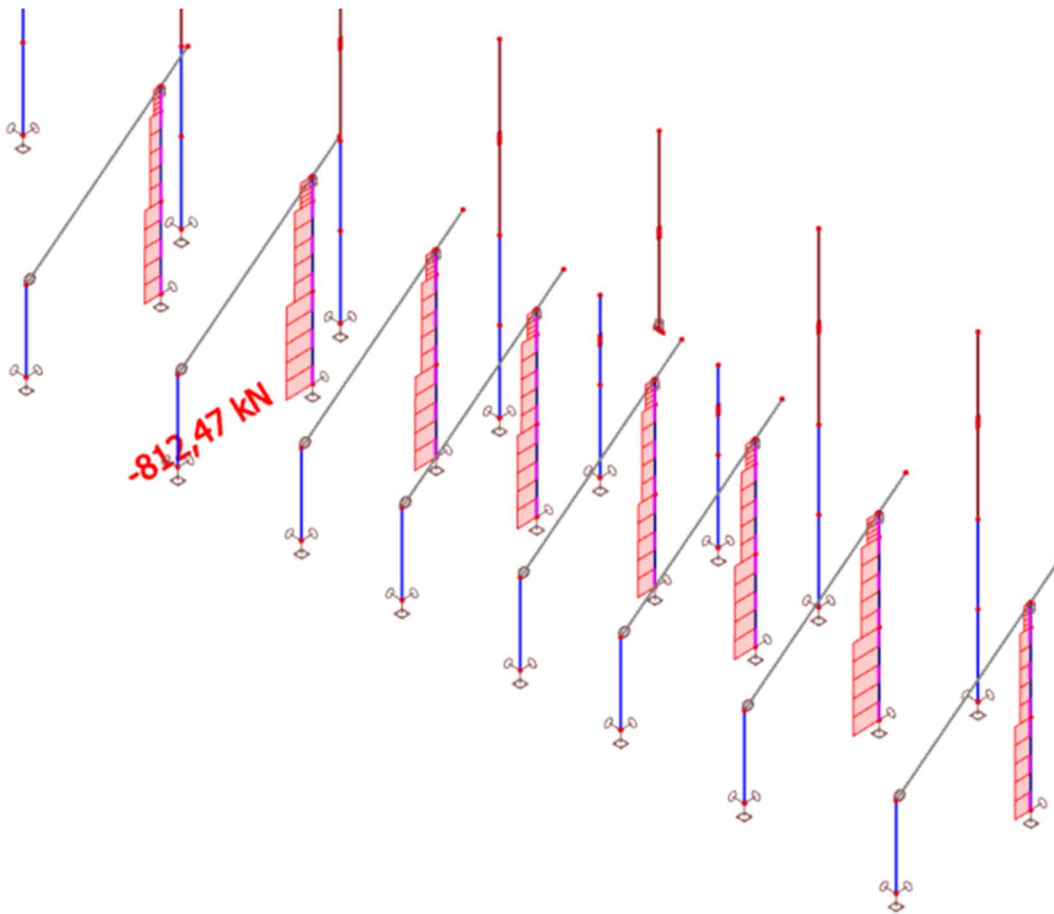
|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 727,78 kN  | > | 602,01 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
82,7 %

### 9.1.3 Návrh sloupů 2. řady

Návrh bude proveden na vzpěr, vzpěrná délka je uvažována jako výška patra. Na sloupy jsou v úrovních 3,1m a 6,1m excentricky připojeny průvlaky a stropnice. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozponech je moment od excentrického připojení zanedbatelný.

Maximální normálová síla ve sloupu:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 812,47$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3100$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | <b>HEA 180</b>  |
| Třída průřezu:             | 3               |
| $A = 4525$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 74,5$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 45,2$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka b  | $\alpha_y = 0,34$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 41,61$<br>$\lambda_z = 68,58$           |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,54$<br>$\bar{\lambda}_z = 0,90$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 0,71$<br>$\phi_z = 1,07$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,864 \quad \chi_z = 0,601$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 965,934 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 965,93 kN  | > | 812,47 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
84,1 %

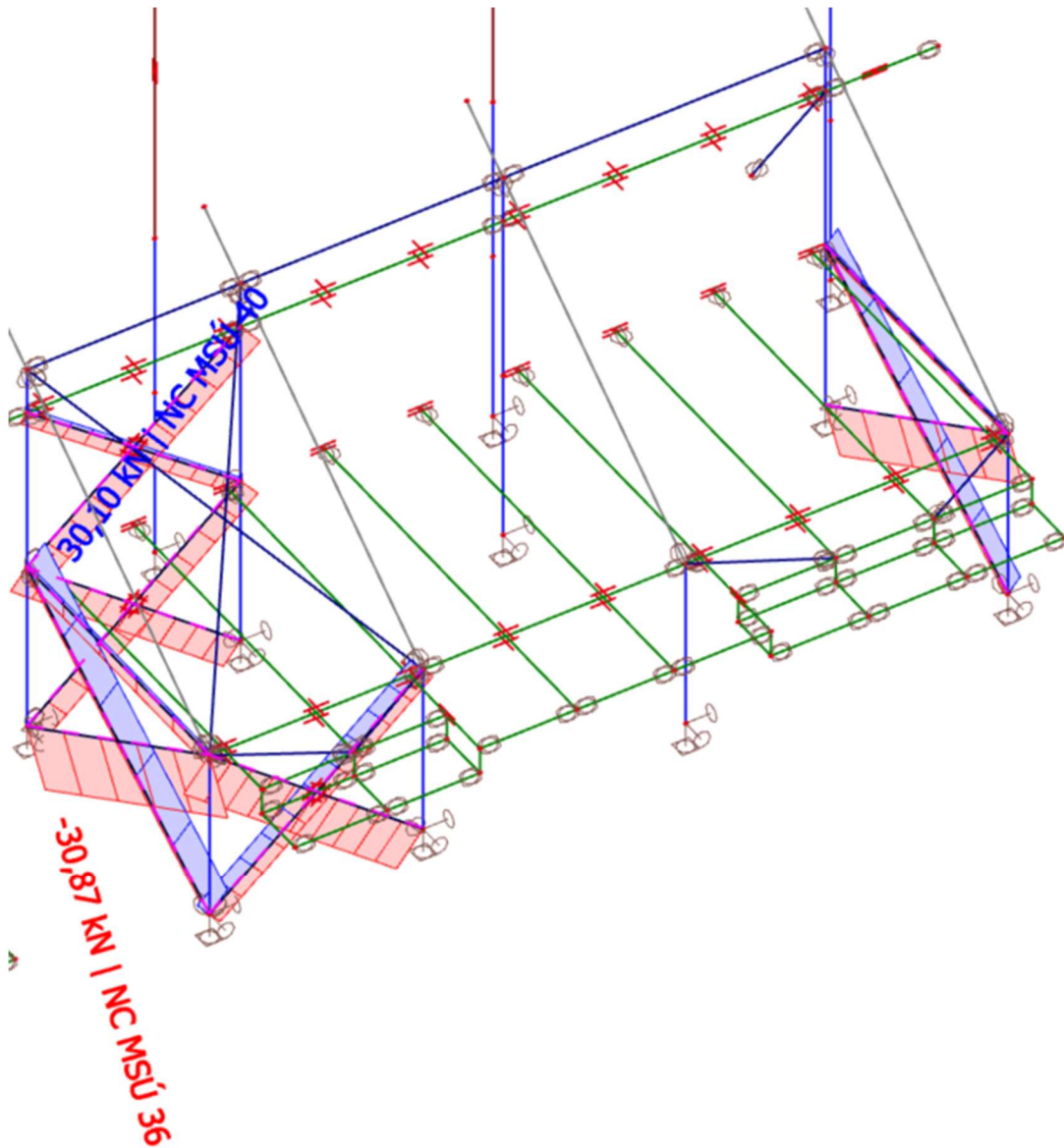
### 9.1.4 Ztužení tribuny

Ztužení tribuny je provedeno pomocí křížových ztužidel. Maximální normálová tlaková síla ve ztužidle je z kombinace minimálního stálého a návrhové hodnoty příčného zatížení.

Tahová síla při kombinaci NC MSÚ 36 je 27,83 kN.

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 5,990 \sqrt{1 - 0,75 \frac{27,83 \cdot 5,990}{30,87 \cdot 5,990}} = 3,409\text{m}$$

Maximální normálová síla ve ztužidlech:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 30,87$    | kN              |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3409$   | mm              |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3409$   | mm              |
| Materiál                 | Ocel                | S235            |
| Mez kluzu                | $f_y = 235$         | MPa             |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |
| Návrh průřezu:           | TR 60,3x4           |                 |
| Třída průřezu:           | 1                   |                 |
| $A =$                    | 708                 | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$            | 93,91               |                 |
|                          | $i_y =$             | 20 mm           |
|                          | $i_z =$             | 20 mm           |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 170,45$<br>$\lambda_z = 170,45$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,81$<br>$\bar{\lambda}_z = 1,81$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 2,54$<br>$\phi_z = 2,54$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,231 \quad \chi_z = 0,231$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 38,482 \text{ kN}$$

|            |            |     |          |
|------------|------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 38,48 kNm  | $>$ | 30,87 kN |

Vyhovuje

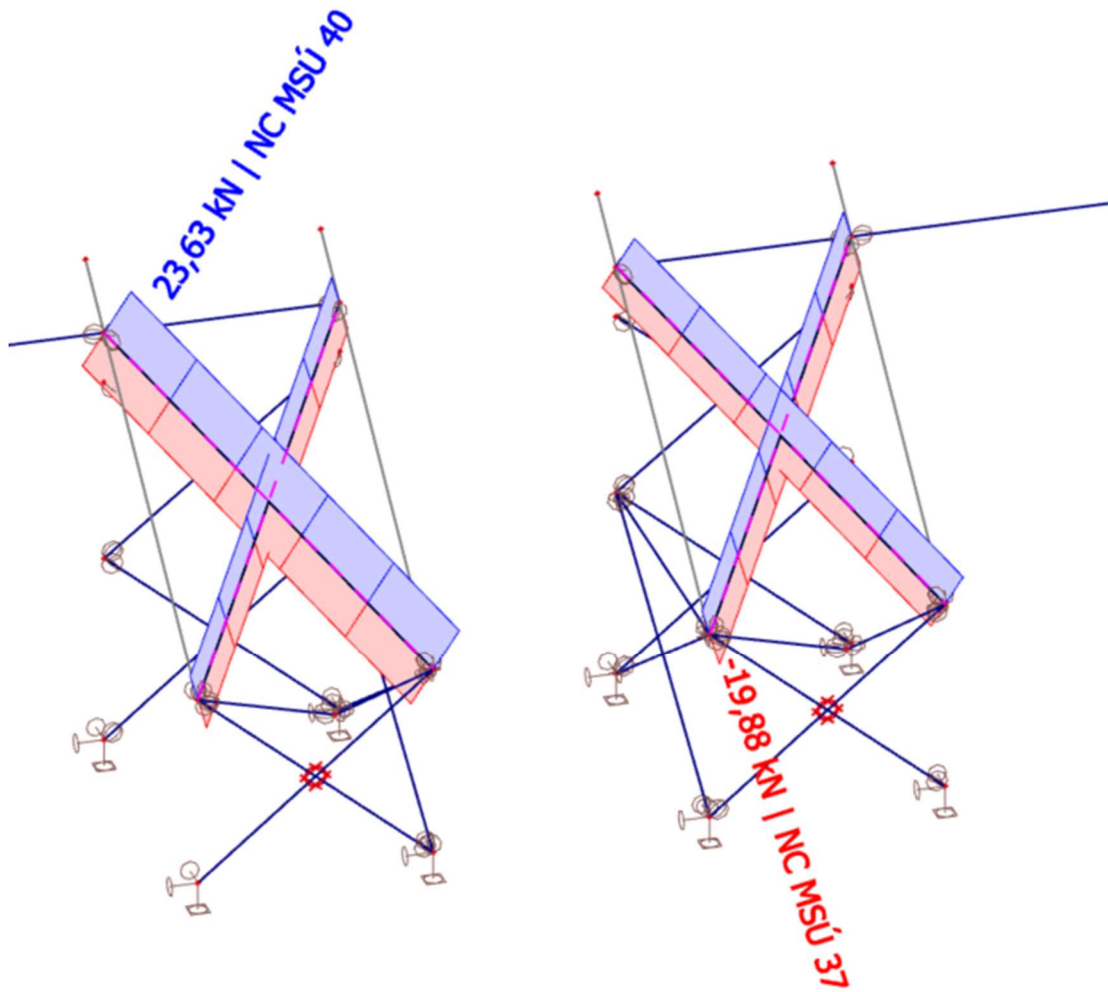
Využití: 80,2 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |  |                        |          |
|-------------------------|--|------------------------|----------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 27,83$                             | kN                     |          |
| Návrh průřezu:          | TR 60,3x4                                    |                        |          |
| Vzpěrná únosnost        | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 166,38$ kN |          |
| Posouzení:              | $N_{b,Rd}$                                   | $>$                    | $N_{Ed}$ |
|                         | 166,38 kNm                                   | $>$                    | 27,83 kN |
|                         |  | Vyhovuje               |          |
| Využití:                |  | 16,7 %                 |          |

Ztužení v úrovni tribunových nosníků

Maximální normálová síla ve ztužidlech:



Tahová síla při kombinaci NC MSÚ 37 je 15,17 kN.

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 7,420 \sqrt{1 - 0,75 \frac{15,17 \cdot 7,420}{19,88 \cdot 7,420}} = 4,853\text{m}$$

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 19,9$     | kN              |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 4853$   | mm              |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 4853$   | mm              |
| Materiál                 | Ocel                | S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa             |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |
| Návrh průřezu:           | TR 70x3,2           |                 |
| Třída průřezu:           | 1                   |                 |
| $A = 672$                | $i_y = 23,6$        | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 = 76,41$      | $i_z = 23,6$        | mm              |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 205,64$<br>$\lambda_z = 205,64$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,69$<br>$\bar{\lambda}_z = 2,69$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 4,73$<br>$\phi_z = 4,73$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,116 \quad \chi_z = 0,116$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 27,6636 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 27,66 kNm  | > | 19,88 kN |

Vyhovuje  
71,9 %

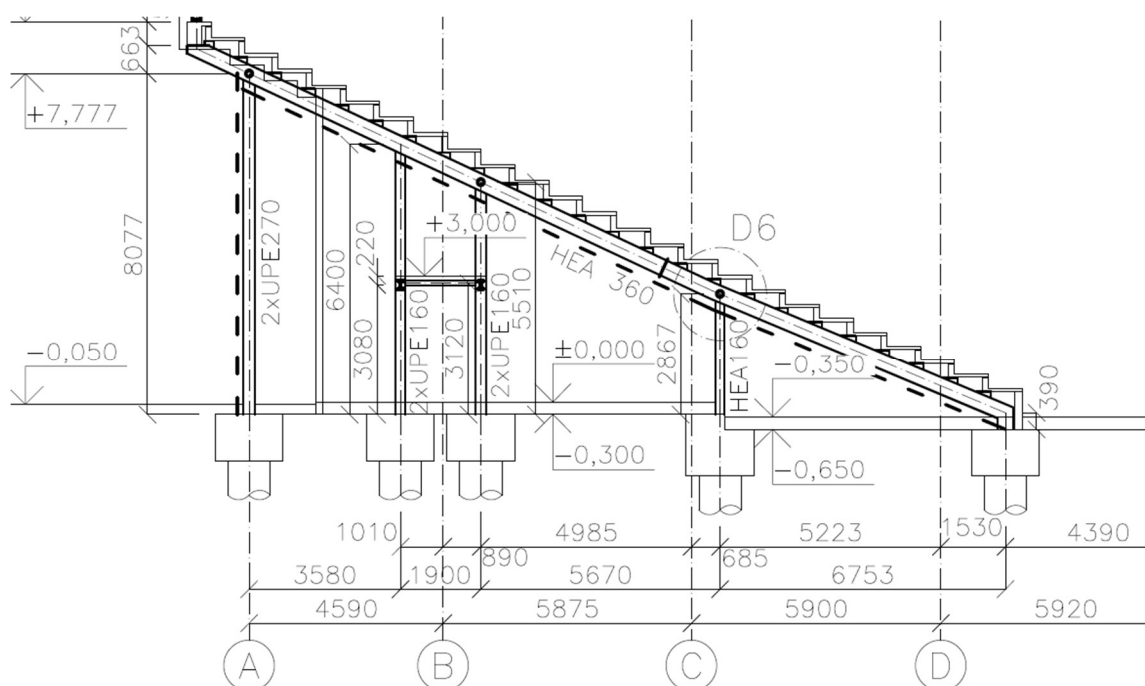
## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |  |                        |          |
|-------------------------|--|------------------------|----------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 23,63$                             | kN                     |          |
| Návrh průřezu:          | TR 70x3,2                                    |                        |          |
| Vzpěrná únosnost        | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 238,56$ kN |          |
| Posouzení:              | $N_{b,Rd}$                                   | >                      | $N_{Ed}$ |
|                         | 238,56 kNm                                   | >                      | 23,63 kN |
| Využití:                | Vyhovuje<br>9,9 %                            |                        |          |

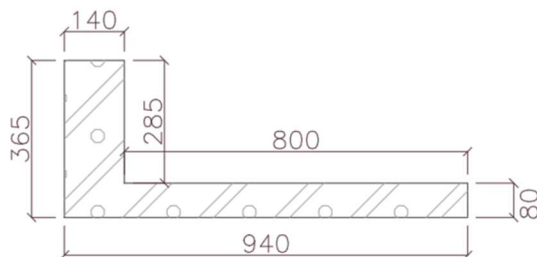
## 9.2 Tribuna jih a sever

Tribuny se nachází na podélných stranách stadionu. Tribuna je rozdělena do 12 polí. Ve čtyřech polích je vynechán otvor pro přístup na tribuny. Nosník je navržen jako spojitý nosník s převislým koncem. Tento nosník podpírá železobetonové prefabrikované lavicové nosníky. Lavicové nosníky jsou na nosník ukládány každých 800 mm. Vzhledem k četnosti sil bude zjednodušeně počítáno se spojitým zatížením po celé délce nosníku. Spojité zatížení se skládá z vlastní tíhy prefabrikátu, užitečného zatížení typu C5 s dynamickým součinitelem 1,6 a vlastní tíha samotného nosníku.

### Nákres tribuny



### Vlastní tíha lavicového nosníku

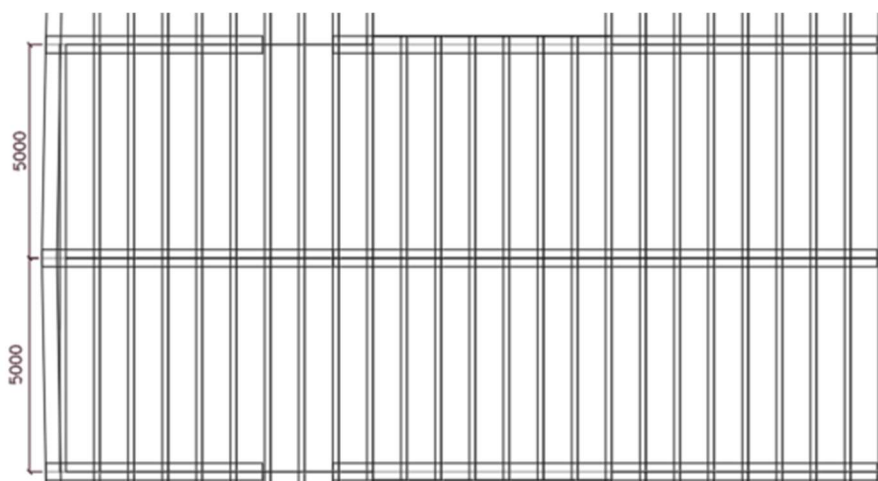


$$g_{k.lav} = (0,365 \cdot 0,14 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 25 = 2,8775 \text{ kN}/0,8\text{m}$$

$$g_{k.lav} = \frac{2,8775}{0,8} = 3,60 \text{ kN}/\text{m}$$



## 9.2.1 Návrh tribunového nosníku



Zatěžovací plocha se skládá ze dvou částí se zatěžovacími šířkami 2,5m a 2,5m. Dále zatížení od lavicových nosníků, které jsou ukládány na tribunový nosník, bude použito excentricky s hodnotou 0,07m. Na nosníku je uvažováno s působením větru a přenosem tlaku od větru nosníkem. Na nosníku bylo spojitě zatížení vkládáno vždy mezi jednotlivé podpory a následně provedena obálka všech kombinací.

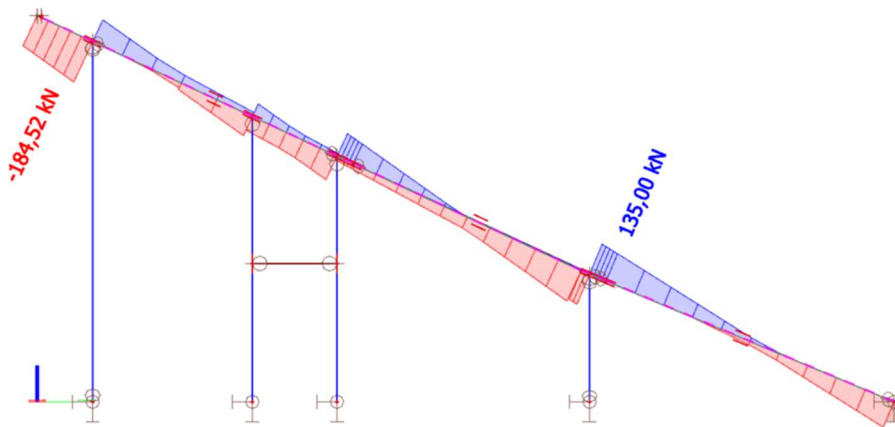
Svislé zatížení stropnice:

| Zatížení             | Výpočet          | $f_k$ [kN/m]  | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m]  |
|----------------------|------------------|---------------|------------|---------------|
| Prefabrikát          | 5,0*3,6          | 18            | 1,35       | 24,300        |
| Vlastní tíha nosníku | započítá program |               | 1,35       |               |
| <b>SUMA</b>          |                  | <b>18,000</b> |            | <b>24,300</b> |

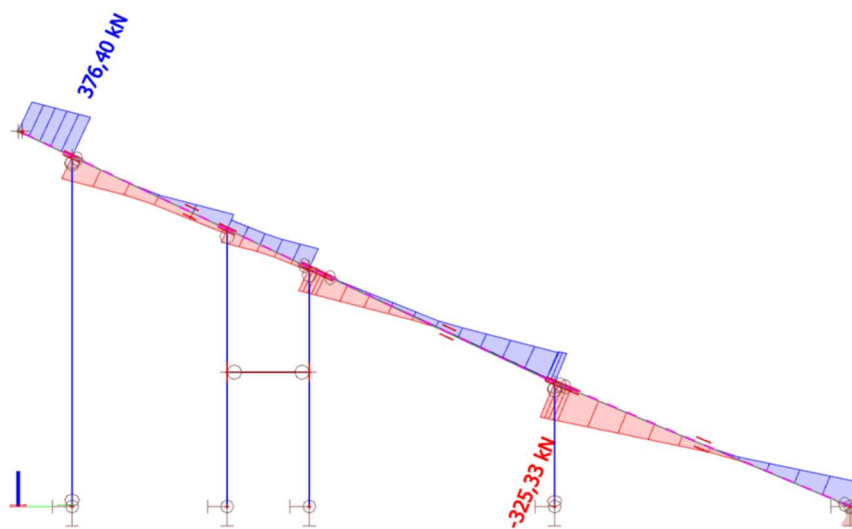
| Zatížení              | Výpočet | $f_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma_g$ | $f_d$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|---------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Užitné – kategorie C5 | 5,0*8   | 40                         | 1,5        | 60,000                     |
| <b>SUMA</b>           |         | <b>40,000</b>              |            | <b>60,000</b>              |

Vnitřní síly:

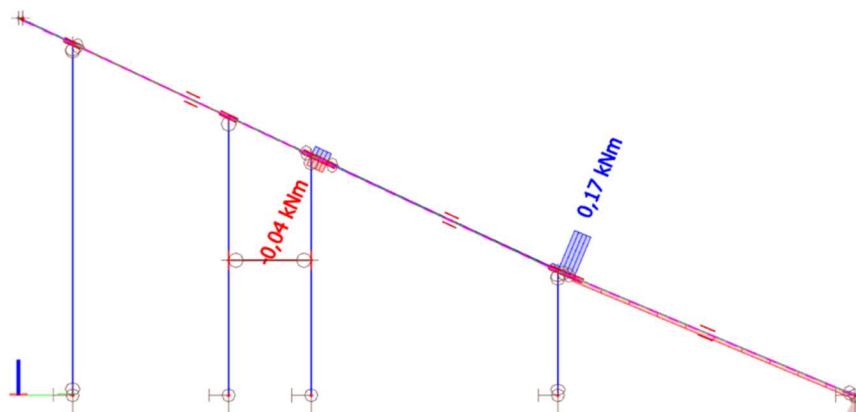
Normálová síla



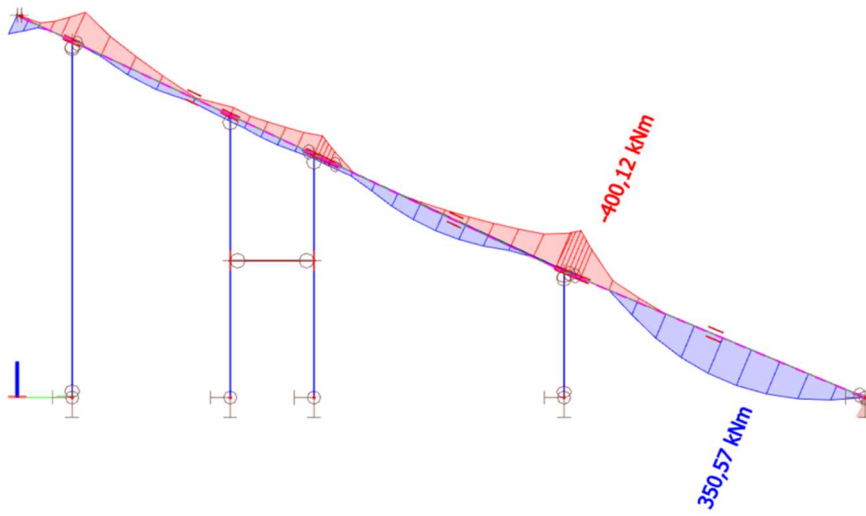
Posouvající síla



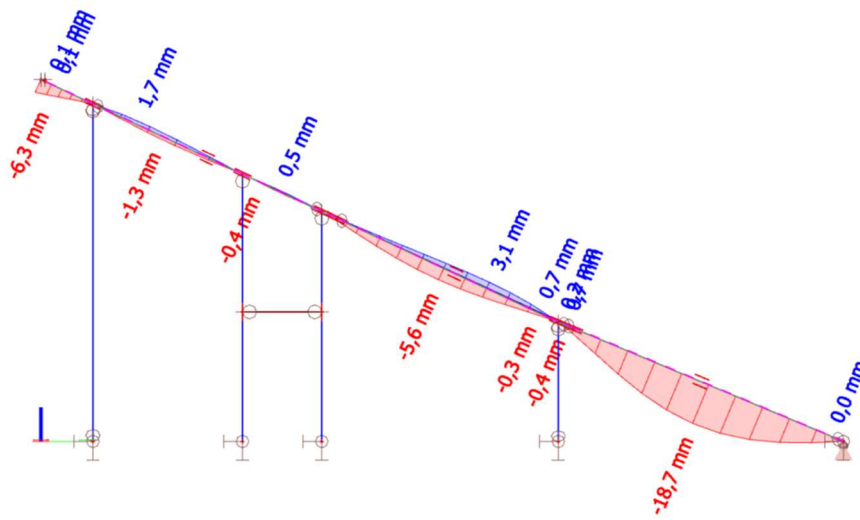
Kroutící moment



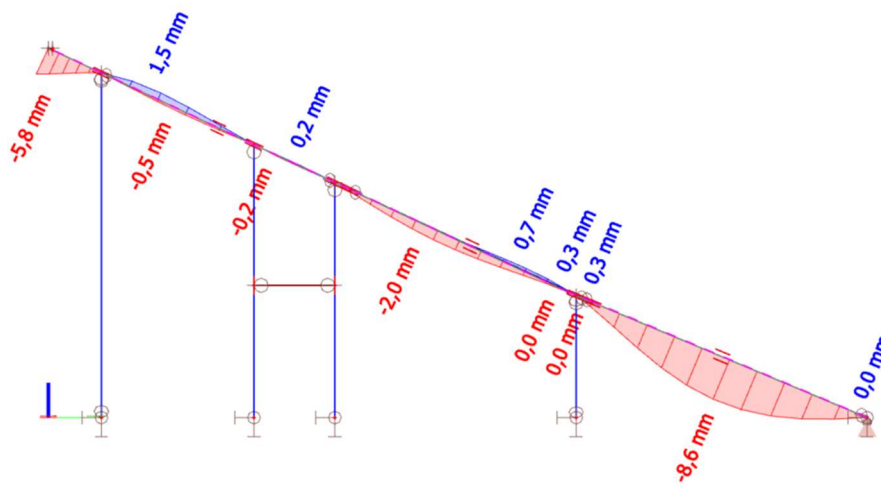
### Moment $M_y$



### Průhyb celkový



### Průhyb pro posudek kmitání



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 130    | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 6250   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 6250   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 400,1  | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                                      |
|-----------------------|--------------------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>HEA 360</b>                       |
| $h =$                 | 350 mm                               |
| $b =$                 | 300 mm                               |
| $t_w =$               | 10 mm                                |
| $t_f =$               | 17,5 mm                              |
| $d =$                 | 261 mm                               |
| $A =$                 | 14280 mm <sup>2</sup>                |
| $A_{v,z} =$           | 4896 mm <sup>2</sup>                 |
| $r =$                 | 27 mm                                |
| $c =$                 | 113,00 mm                            |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                                |
|                       | $I_y = 330900000$ mm <sup>4</sup>    |
|                       | $W_y = 1891000$ mm <sup>3</sup>      |
|                       | $W_{pl,y} = 2088000$ mm <sup>3</sup> |
|                       | $i_y = 152$ mm                       |
|                       | $I_z = 78870000$ mm <sup>4</sup>     |
|                       | $W_z = 525800$ mm <sup>3</sup>       |
|                       | $W_{pl,z} = 802300$ mm <sup>3</sup>  |
|                       | $i_z = 74,3$ mm                      |
|                       | $I_t = 1488000$ mm <sup>4</sup>      |
|                       | $I_w = 2,177E+12$ mm <sup>6</sup>    |

### Zatřetí průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 36,620$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,570$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 26,100 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 50,25$  **Třída 1**

Pásnice  $c/t_f = 6,457 < 9 \cdot \varepsilon = 7,32$  **Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

y-y křivka b  $\alpha_y = 0,34$

z-z křivka c  $\alpha_z = 0,49$

Štíhlost  $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$   $\lambda_y = 41,12$   
 $\lambda_z = 84,12$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$   $\bar{\lambda}_y = 0,54$   
 $\bar{\lambda}_z = 1,10$

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 0,70$$

$$\phi_z = 1,33$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,867$$

$$\chi_z = 0,484$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 2452,43 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} > N_{Ed}$$

$$2452,43 \text{ kNm} > 130 \text{ kN}$$

Vyhovuje  
5,3 %

Využití:

Klopení

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

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku

$$N_{Rk} = 5069,4 \text{ kN}$$

Char. únosnost v ohybu k ose y

$$M_{y,Rk} = 741,24 \text{ kNm}$$

Char. únosnost v ohybu k ose z

$$M_{z,Rk} = 284,82 \text{ kNm}$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my} = 0,42 \quad 0,1-0,8 \alpha_s \quad \alpha_s = -0,395 \quad \psi = 0,4$$

$$C_{mz} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \psi = 0$$

$$C_{mLT} = 0,42 \quad 0,1-0,8 \alpha_s \quad \alpha_s = -0,395 \quad \psi = 0,4$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,420 \quad 0,420 \leq 0,426$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,387$$

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

$$k_{zy} = 0,968 \quad 0,965 \geq 0,968$$

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

$$k_{zz} = 0,645 \quad 0,651 \leq 0,645$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,030 + 0,227 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,256 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,053 + 0,523 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,576 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,026 + 0,540 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,565 < 1,0

### Posouzení smyku

|                           |             |       |                 |
|---------------------------|-------------|-------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$  | 376,0 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$ | 4896  | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $Y_{M1} =$  | 1,0   |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M1}} = 1003,48 \text{ kN}$

$$\frac{V_{pl,Rd}}{1003,48 \text{ kN}} > \frac{V_{Ed}}{376 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití: 37,5 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

### Posouzení MSP

Rozpon prvku:  $l = 7500 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 30,00 \text{ mm}$

Průhyb celkový  $\delta_z = 18,70 \text{ mm}$

$$\frac{\delta_{lim}}{30,00 \text{ mm}} > \frac{\delta_z}{18,70 \text{ mm}}$$

Vyhoví

Průhyb pro kmitání  $\delta_p = 8,60 \text{ mm}$

$$\frac{\delta_{lim}}{10,00 \text{ mm}} > \frac{\delta_p}{8,60 \text{ mm}}$$

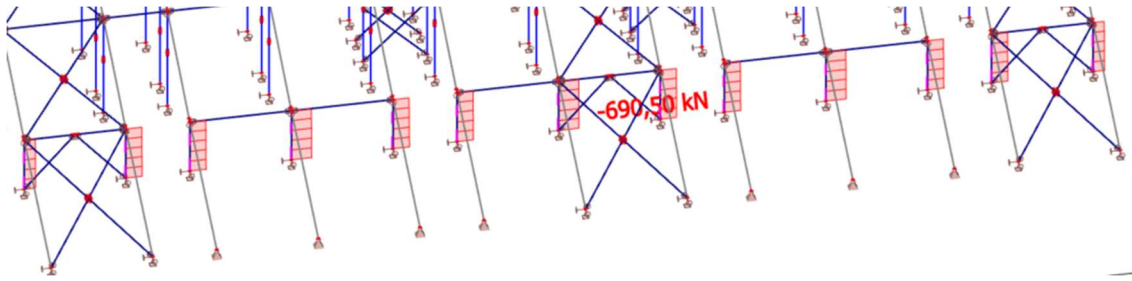
Vyhoví

### 9.2.2 Návrh sloupů 1. řady

Návrh bude proveden na vzpěr, vzpěrná délka je uvažována jako výška celého sloupu. Na sloup působí normálová síla v hlavě sloupu od tribuny. Dále na sloupy jsou v horní úrovni excentricky připojeny průvlaky a ztužidla. Průvlaky nesoucí přístup na tribunu v následujícím obrázku nejsou viditelné. Přes tyto průvlaky procházejí stropnice do vykonzolování. V důsledku těchto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment působí jednostranně, jelikož ztužení nevytváří moment. Pro působící moment od excentrického připojení bude ponechána rezerva v únosnosti sloupu.

Maximální normálová síla ve sloupu je z kombinace pouze maximálního svislého zatížení.

Maximální normálová síla ve sloupu:



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 690,5$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 2861$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 2861$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                |                |                 |
|----------------|----------------|-----------------|
| Návrh průřezu: | <b>HEA 160</b> |                 |
| Třída průřezu: | 2              |                 |
| $A =$          | 3877           | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$  | 76,41          |                 |
|                | $i_y =$        | 65,7 mm         |
|                | $i_z =$        | 39,8 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka b | $\alpha_y = 0,34$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 43,55$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 71,88$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,57$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 0,94$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,73$ |
|   | $\phi_z = 1,12$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,852$$

$$\chi_z = 0,575$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 791,387 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 791,39 kN  | > | 690,5 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
87,3 %

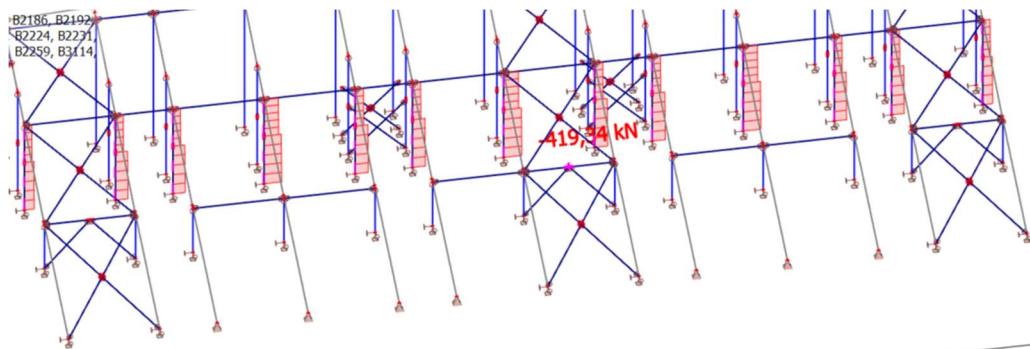


### 9.2.3 Návrh sloupů 2. řady

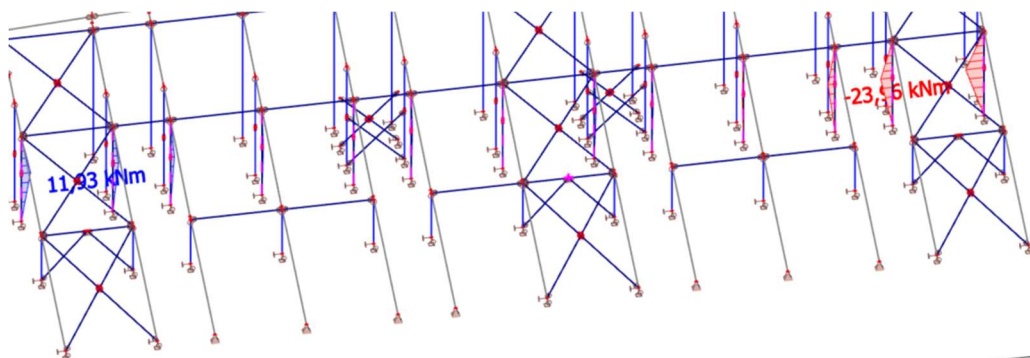
Vzpěrná délka sloupu je uvažována jako výška patra v podélném směru. Na sloupy jsou v úrovních 3,1m excentricky připojeny průvlaky a stropnice. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozpnech je moment od excentrického připojení zanedbatelný. Dále je v hlavě sloupu připojen tribunový nosník.

Návrh bude proveden na maximální normálovou sílu a dále na kombinaci maximálního momentu a příslušné normálové síly.

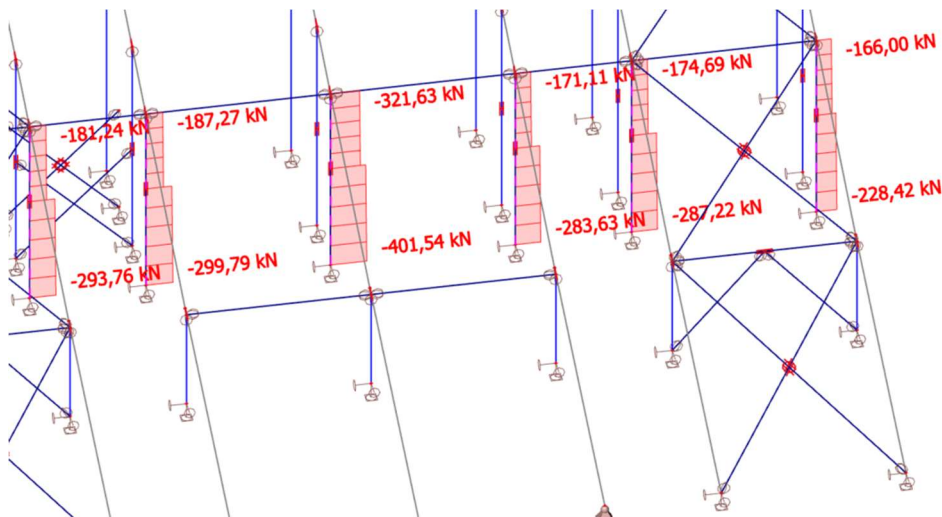
#### Maximální normálová síla ve sloupech



#### Maximální moment ve sloupech



#### Normálová síla ve sloupech odpovídající kombinaci s maximálním momentem



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 419,54$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 5507$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| Návrh průřezu:             | <b>2x UPE 160</b> |
| Třída průřezu:             | 1                 |
| $A = 4337$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 65$ mm     |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 52$ mm     |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka b | $\alpha_y = 0,34$ |
| z-z | křivka b | $\alpha_z = 0,34$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 47,69$  |
|          |                                    | $\lambda_z = 105,90$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,62$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,39$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,77$ |
|   | $\phi_z = 1,66$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,825$$

$$\chi_z = 0,388$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 596,86 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 596,86 kN  | > | 419,54 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
70,3 %

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 228,42 | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 3100   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5507   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 24,0   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |                       |                           |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> |                      | <b>2xUPE 160</b>      |                           |
| $h =$                 | 160 mm               | $I_y =$               | 18231000 mm <sup>4</sup>  |
| $b =$                 | 140 mm               | $W_y =$               | 227890 mm <sup>3</sup>    |
| $t_w =$               | 11 mm                | (součet) $W_{pl,y} =$ | 263370 mm <sup>3</sup>    |
| $t_f =$               | 9,5 mm               | $i_y =$               | 65 mm                     |
| $d =$                 | 117 mm               | $I_z =$               | 11844000 mm <sup>4</sup>  |
| $A =$                 | 4337 mm <sup>2</sup> | $W_z =$               | 169210 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{v,z} =$           | 1795 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$          | 205180 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$                 | 12 mm                | $i_z =$               | 52 mm                     |
| $c =$                 | 105,00 mm            | $I_t =$               | 19830000 mm <sup>4</sup>  |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$               | 3,636E+09 mm <sup>6</sup> |

**Zatřídění průřezu ohyb + tlak**  
 Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 58,494$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti  
 $\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d}$   $\alpha = 0,750$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$   $\varepsilon = 0,814$

Stojina  $d/t_w = 10,636 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 36,82$   
**Třída 1**

Pásnice  $c/t_f = 11,053 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$   
**Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                        |   |                     |        |
|------------------------|---|---------------------|--------|
| $\gamma\text{-}\gamma$ | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34   |
| $z\text{-}z$           | křivka b  | $\alpha_z =$        | 0,34   |
| Štíhlost               | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 47,69  |
|                        |   | $\lambda_z =$       | 105,90 |
| Poměrná štíhlost       | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,62   |
|                        |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,39   |

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \begin{array}{l} \phi_y = 0,77 \\ \phi_z = 1,66 \end{array}$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \begin{array}{l} \chi_y = 0,825 \\ \chi_z = 0,388 \end{array}$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 596,86 \text{ kN}$$

**Posouzení:**  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $596,86 \text{ kNm} > 228,42 \text{ kN}$

**Vyhovuje**  
**38,3 %**

**Využití:**

**Klopení**  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem**

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 1539,635 \text{ kN}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 93,50 \text{ kNm}$

Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 72,84 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \alpha_{h=} \quad \psi = 0$

$C_{mz} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \alpha_{h=} \quad \psi = 0$

$C_{mLT} = 0,95 \quad 0,95+0,05\alpha_h \quad \alpha_{h=} 0 \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,646 \quad 0,646 \leq 0,686$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,470$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,387$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,784 \quad 0,872 \leq 0,784$$

**Posouzení**

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,180 \quad + \quad 0,165 \quad + \quad 0 < 1,0$$

**Vyhovuje** **0,345 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,383 \quad + \quad 0,099 \quad + \quad 0 < 1,0$$

**Vyhovuje** **0,482 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

$$0,148 \quad + \quad 0,256 \quad + \quad 0 < 1,0$$

**Vyhovuje** **0,405 < 1,0**

**Posouzení smyku**

|                           |                 |      |                 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 10,0 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1795 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 367,90 \text{ kN}$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 367,90 kN   | > | 10 kN    |

**Vyhovuje****Využití:** 2,7 %

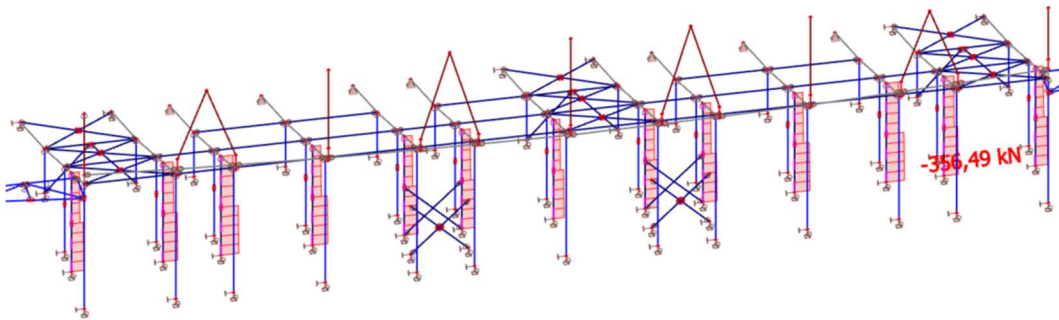
Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## 9.2.4 Návrh sloupů 3. řady

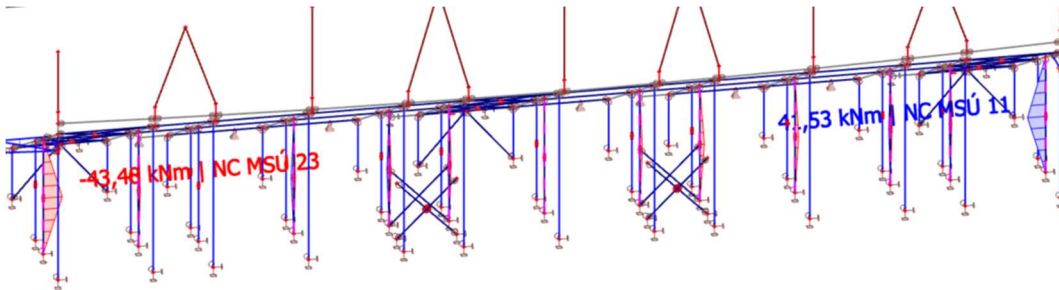
Vzpěrná délka sloupu je uvažována jako výška patra v podélném směru. Na sloupy jsou v úrovních 3,1m excentricky připojeny průvlaky a stropnice. V důsledku tohoto připojení vzniká ohybový moment. Ohybový moment však působí proti sobě, a tím se účinek neguje. I přes drobné rozdíly v rozponech je moment od excentrického připojení zanedbatelný. Dále je v hlavě sloupu připojen tribunový nosník.

Návrh bude proveden na maximální normálovou sílu a dále na kombinaci maximálního momentu a příslušné normálové síly.

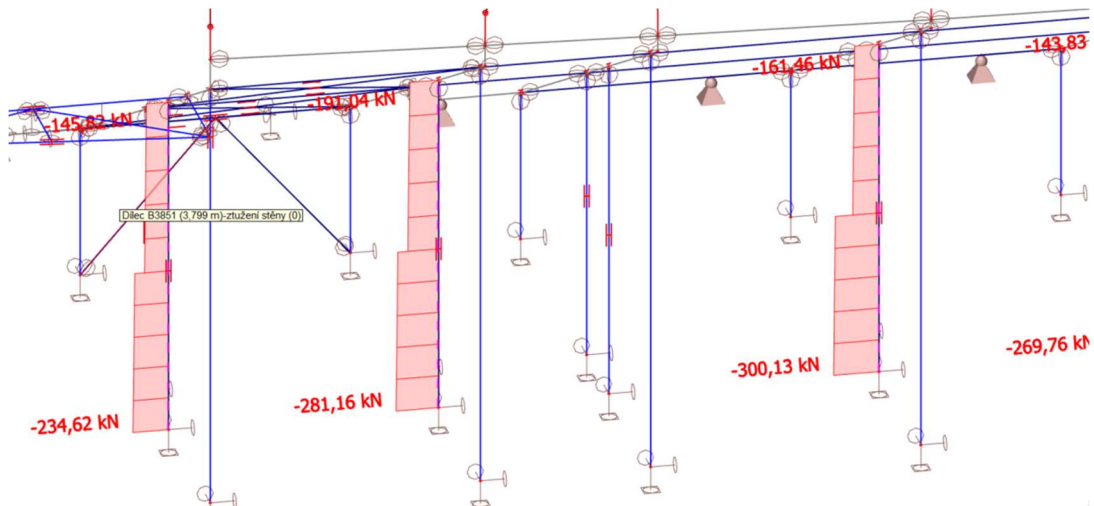
### Maximální normálová síla ve sloupech



### Maximální moment ve sloupech



### Normálová síla ve sloupech odpovídající kombinaci s maximálním momentem



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 356,49$   | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 6397$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                |                   |                 |
|----------------|-------------------|-----------------|
| Návrh průřezu: | <b>2x UPE 160</b> |                 |
| Třída průřezu: | 1                 |                 |
| $A =$          | 4337              | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$  | 76,41             |                 |
|                | $i_y =$           | 65 mm           |
|                | $i_z =$           | 52 mm           |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka b | $\alpha_y = 0,34$ |
| z-z | křivka b | $\alpha_z = 0,34$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 47,69$  |
|          |                                    | $\lambda_z = 123,02$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,62$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,61$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 0,77$ |
|   | $\phi_z = 2,04$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,825$$

$$\chi_z = 0,305$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 469,167 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 469,17 kN  | > | 356,49 kN |

Vyhovuje  
76,0 %

Využití:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 300,16 | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 3100   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 6397   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 43,5   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |                       |                           |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> |                      | <b>2xUPE 160</b>      |                           |
| $h =$                 | 160 mm               | $I_y =$               | 18231000 mm <sup>4</sup>  |
| $b =$                 | 140 mm               | $W_y =$               | 227890 mm <sup>3</sup>    |
| $t_w =$               | 11 mm                | (součet) $W_{pl,y} =$ | 263370 mm <sup>3</sup>    |
| $t_f =$               | 9,5 mm               | $i_y =$               | 65 mm                     |
| $d =$                 | 117 mm               | $I_z =$               | 11844000 mm <sup>4</sup>  |
| $A =$                 | 4337 mm <sup>2</sup> | $W_z =$               | 169210 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{v,z} =$           | 1795 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$          | 205180 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$                 | 12 mm                | $i_z =$               | 52 mm                     |
| $c =$                 | 105,00 mm            | $I_t =$               | 19830000 mm <sup>4</sup>  |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$               | 3,636E+09 mm <sup>6</sup> |

**Zatřídění průřezu ohyb + tlak**  
 Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 76,866$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti  
 $\alpha = \frac{d+x}{2 \cdot d}$   $\alpha = 0,828$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$   $\varepsilon = 0,814$

Stojina  $d/t_w = 10,636 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 32,98$

Pásnice  $c/t_f = 11,053 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$

**Třída 1**

**Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                  |   |                     |        |
|------------------|---|---------------------|--------|
| y-y              | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34   |
| z-z              | křivka b  | $\alpha_z =$        | 0,34   |
| Štíhlost         | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 47,69  |
|                  |   | $\lambda_z =$       | 123,02 |
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,62   |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,61   |



$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 0,77$$

$$\phi_z = 2,04$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,825$$

$$\chi_z = 0,305$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 469,17 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{b,Rd}}{469,17 \text{ kNm}} > \frac{N_{Ed}}{300,16 \text{ kN}}$$

Využití:

Vyhovuje  
64,0 %

Klopení

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

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku

$$N_{Rk} = 1539,635 \text{ kN}$$

Char. únosnost v ohybu k ose y

$$M_{y,Rk} = 93,50 \text{ kNm}$$

Char. únosnost v ohybu k ose z

$$M_{z,Rk} = 72,84 \text{ kNm}$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \alpha_h = \psi = 0$$

$$C_{mz} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \alpha_h = \psi = 0$$

$$C_{mLT} = 0,95 \quad 0,95+0,05\alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,660 \quad 0,660 \leq 0,713$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,544$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,396$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,907 \quad 1,141 \leq 0,907$$

**Posouzení**

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,236 \quad + \quad 0,307 \quad + \quad 0 \quad < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,543 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,640 \quad + \quad 0,184 \quad + \quad 0 \quad < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,824 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,195 \quad + \quad 0,465 \quad + \quad 0 \quad < 1,0$$

**Vyhovuje**                      **0,660 < 1,0**

**Posouzení smyku**

|                           |                 |      |                 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 14,0 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1795 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 367,90 \text{ kN}$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 367,90 kN   | > | 14 kN    |

**Vyhovuje****Využití:** 3,8 %

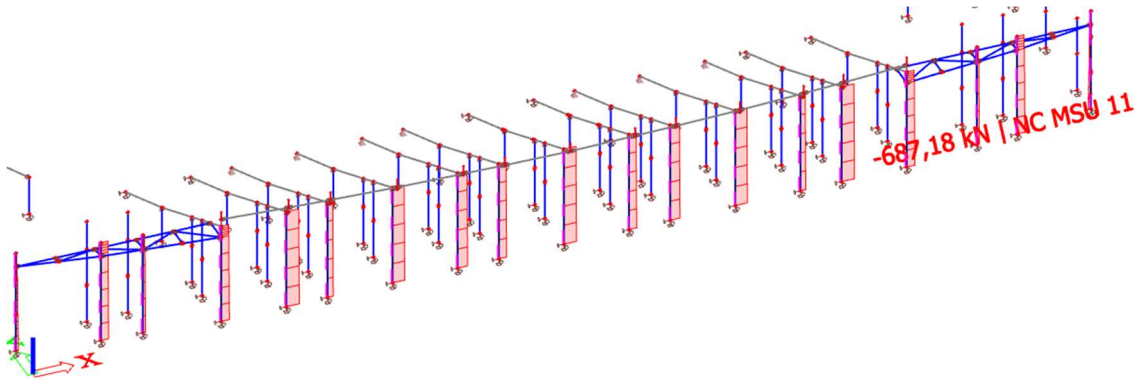
Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## 9.2.5 Návrh sloupů 4. řady

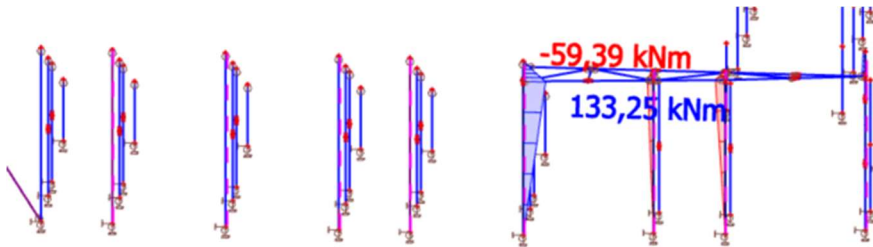
Vzpěrná délka sloupu je uvažována jako celá výška sloupu. Na sloupy je v krajích objektu připevněn podpůrný nosník. Ve střední části je v hlavě sloupu připojen tribunový nosník. Byla snaha o co největší zachování podobnosti se současným stadionem, kde šířka tribunového nosníku odpovídá šířce sloupu. Zde šířka tribunového nosníku je 300 mm. Proto bude zvolen profil 2x UPE 270, který bude přivařen ke styčnickovému plechu o šířce 300 mm. V krajních částech pokračují další sloupy pro vynesení střechy.

Návrh bude proveden na maximální normálovou sílu a dále na kombinaci maximálního momentu a příslušné normálové síly.

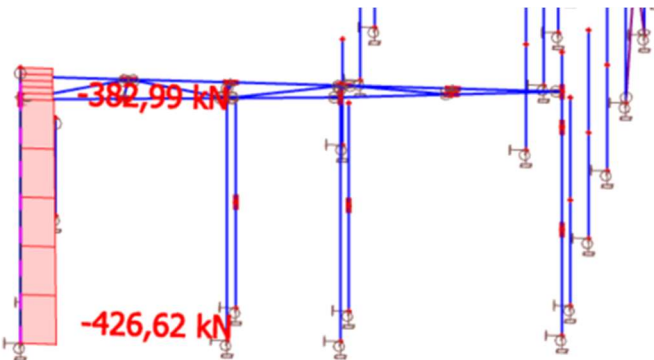
### Maximální normálová síla ve sloupech



### Maximální ohybový moment ve sloupech



### Příslušná normálová síla



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 687$      | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 8077$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 8077$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |                  |                 |
|---------------------|------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:      | <b>2xUPE 270</b> |                 |
| Třída průřezu:      | 1                |                 |
| $A = 8968$          | $i_y = 108$      | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 73$       | mm              |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 74,79$  |
|          |                                    | $\lambda_z = 110,64$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,98$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,45$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,17$ |
|   | $\phi_z = 1,85$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,552$$

$$\chi_z = 0,332$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 1056,89 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 1056,89 kN | > | 687 kN   |

Vyhovuje  
65,0 %

Využití:

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 383    | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 7145   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 7145   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 133,3  | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |                       |                          |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> |                      | <b>2xUPE 270</b>      |                          |
| $h =$                 | 270 mm               | $I_y =$               | 1,05E+08 mm <sup>4</sup> |
| $b =$                 | 190 mm               | $W_y =$               | 778800 mm <sup>3</sup>   |
| $t_w =$               | 15 mm                | (součet) $W_{pl,y} =$ | 902590 mm <sup>3</sup>   |
| $t_f =$               | 13,5 mm              | $i_y =$               | 108 mm                   |
| $d =$                 | 213 mm               | $I_z =$               | 47194000 mm <sup>4</sup> |
| $A =$                 | 8968 mm <sup>2</sup> | $W_z =$               | 496770 mm <sup>3</sup>   |
| $A_{v,z} =$           | 4037 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$          | 592830 mm <sup>3</sup>   |
| $r =$                 | 15 mm                | $i_z =$               | 73 mm                    |
| $c =$                 | 145,00 mm            | $I_t =$               | 92214000 mm <sup>4</sup> |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$               | 7,52E+10 mm <sup>6</sup> |

### Zatřídění průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} \quad x = 71,925 \text{ mm}$

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,669$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 28,400 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 41,87$   
Třída 1

Pásnice  $c/t_f = 10,741 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$   
Třída 1

průřez celkově => Třída 1

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                  |   |                     |       |
|------------------|---|---------------------|-------|
| y-y              | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34  |
| z-z              | křivka b  | $\alpha_z =$        | 0,34  |
| Štíhlost         | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 66,16 |
|                  |   | $\lambda_z =$       | 97,88 |
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 0,87  |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,28  |

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 0,99$$

$$\phi_z = 1,50$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,683$$

$$\chi_z = 0,436$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 1388,61 \text{ kN}$$

**Posouzení:**  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $1388,61 \text{ kNm} > 383 \text{ kN}$

**Využití:** **Vyhovuje**  
**27,6 %**

**Klopení**  $\chi_{LT} = 1,0$

**Interakce tlaku s ohybem**

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 3183,64 \text{ kN}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 320,42 \text{ kNm}$

Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 210,45 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \psi = 0$

$C_{mz} = 0,95 \quad 0,95+0,05\alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mLT} = 0,60 \quad 0,6+0,4\psi \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,670 \quad 0,670 \leq 0,685$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,696$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,402$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,160 \quad 1,233 \leq 1,160$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,176 + 0,279 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,455 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,276 + 0,167 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,443 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,120 + 0,416 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,536 < 1,0

### Posouzení smyku

Návrhová posouvající síla

$$V_{Ed} = 63,0 \text{ kN}$$

Smyková plocha

$$A_{v,z} = 4037 \text{ mm}^2$$

Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Únosnost průřezu:

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 827,42 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{ccc} V_{pl,Rd} & > & V_{Ed} \\ 827,42 \text{ kN} & > & 63 \text{ kN} \end{array}$$

**Vyhovuje**

Využití:

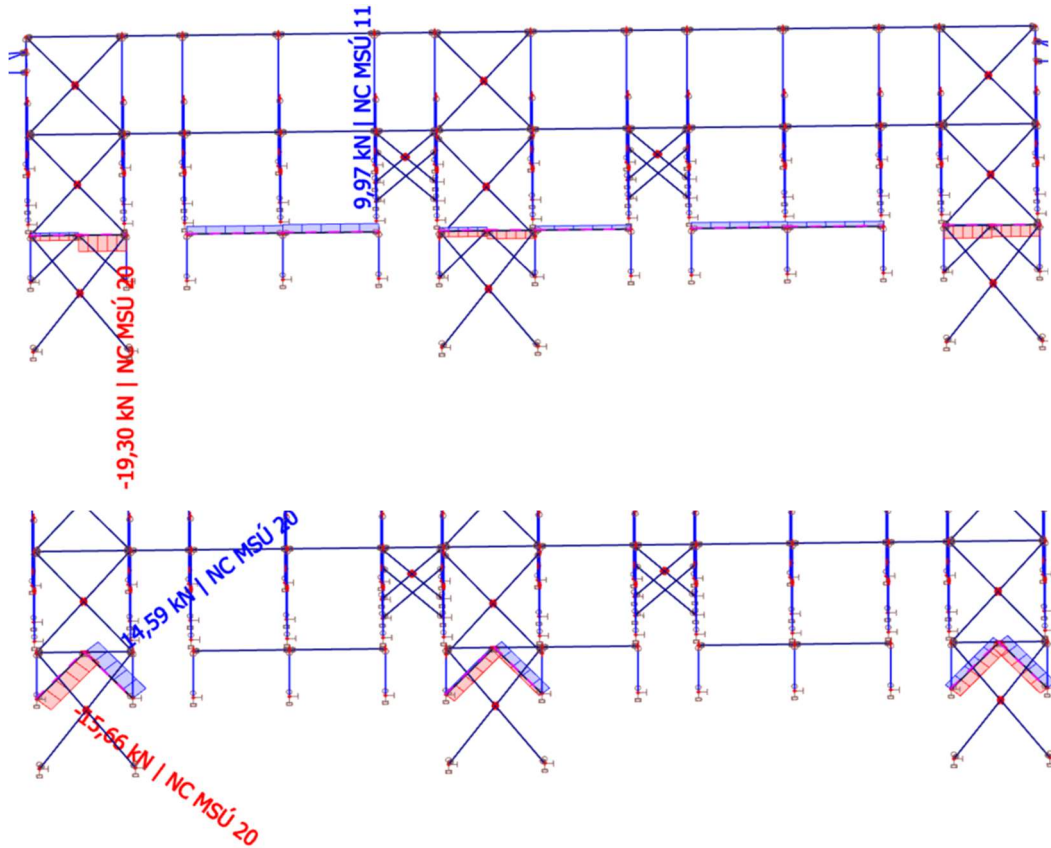
$$7,6 \%$$

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## 9.2.6 Ztužení tribuny

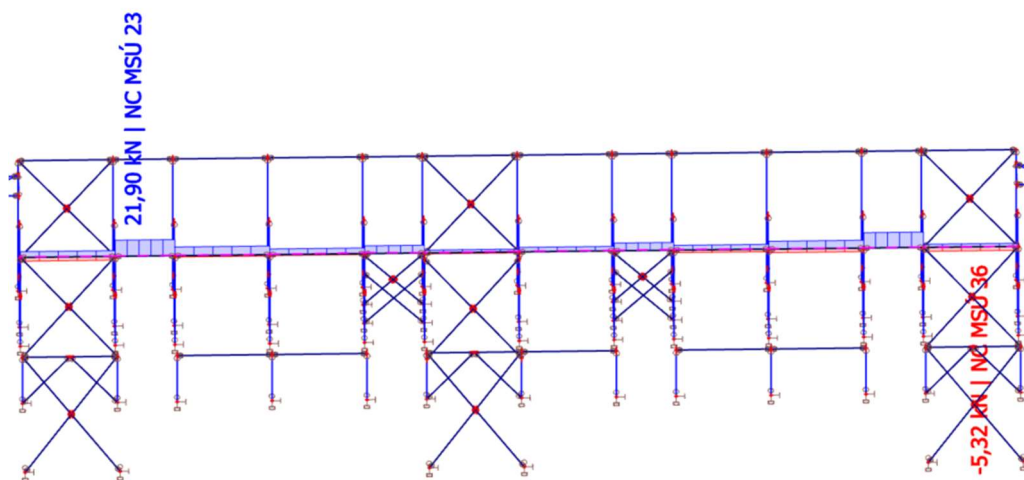
### 9.2.6.1 Podélné ztužidlo č.1 mimo nosné průvlaky

Ztužidlo propojuje prvky v hlavě 1. řadu sloupů tribuny. Profil ztužidla bude tvořit ocelová trubka. Délky prutů pro návrh jsou 5 m pro podélné a 3,8 m pro šikmé.



### 9.2.6.2 Podélné ztužidlo č.2

Ztužidlo propojuje prvky v hlavě 2. řadu sloupů tribuny. Profil ztužidla bude tvořit ocelová trubka.





## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 19,3$     | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 5000$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 5000$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S235 |
| Mez kluzu                | $f_y = 235$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Návrh průřezu:      | TR 60,3x5    |
| Třída průřezu:      | 1            |
| $A = 869$           | $i_y = 19,6$ |
| $\lambda_1 = 93,91$ | $i_z = 19,6$ |

|   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce |          |                   |
| y-y                                       | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z                                       | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 255,10$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 255,10$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,72$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 2,72$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 4,81$ |
|   | $\phi_z = 4,81$ |

|                        |  |                  |
|------------------------|--|------------------|
| Vzpěrnostní součinitel | $\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$ | $\chi_y = 0,114$ |
|                        |  | $\chi_z = 0,114$ |

|                  |   |                      |
|------------------|---|----------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ | $N_{b,Rd} = 23,2847$ |
|                  |   | kN                   |

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 23,28 kNm  | > | 19,3 kN  |

Vyhovuje  
82,9 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                 |    |
|-------------------------|-----------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 9,97$ | kN |
|-------------------------|-----------------|----|

|                |           |
|----------------|-----------|
| Návrh průřezu: | TR 60,3x5 |
|----------------|-----------|

|                  |  |                      |
|------------------|--|----------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 204,215$ |
|                  |  | kN                   |

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 204,22 kNm | > | 9,97 kN  |

Vyhovuje  
4,9 %

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 15,66$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3800$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3800$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S235 |
| Mez kluzu                | $f_y = 235$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Návrh průřezu:      | TR 54x3,2  |
| Třída průřezu:      | 1          |
| $A = 511$           | $i_y = 18$ |
| $\lambda_1 = 93,91$ | $i_z = 18$ |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 211,11$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 211,11$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,25$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 2,25$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 3,53$ |
|   | $\phi_z = 3,53$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,160$$

$$\chi_z = 0,160$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 19,2199 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 19,22 kNm  | > | 15,66 kN |

Vyhovuje  
81,5 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 14,59$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |           |
|----------------|-----------|
| Návrh průřezu: | TR 54x3,2 |
|----------------|-----------|

|                  |  |                      |    |
|------------------|--|----------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 120,085$ | kN |
|------------------|--|----------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 120,09 kNm | > | 14,59 kN |

Vyhovuje  
12,1 %

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 5,32$     | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 5000$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 5000$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S235 |
| Mez kluzu                | $f_y = 235$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Návrh průřezu:      | TR 54x3,2  |
| Třída průřezu:      | 1          |
| $A = 511$           | $i_y = 18$ |
| $\lambda_1 = 93,91$ | $i_z = 18$ |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 277,78$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 277,78$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,96$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 2,96$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 5,55$ |
|   | $\phi_z = 5,55$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,098$$

$$\chi_z = 0,098$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 11,72 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 11,72 kNm  | > | 5,32 kN  |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 45,4 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                 |    |
|-------------------------|-----------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 21,9$ | kN |
|-------------------------|-----------------|----|

|                |           |
|----------------|-----------|
| Návrh průřezu: | TR 54x3,2 |
|----------------|-----------|

|                  |  |                      |    |
|------------------|--|----------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 120,085$ | kN |
|------------------|--|----------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 120,09 kNm | > | 21,9 kN  |

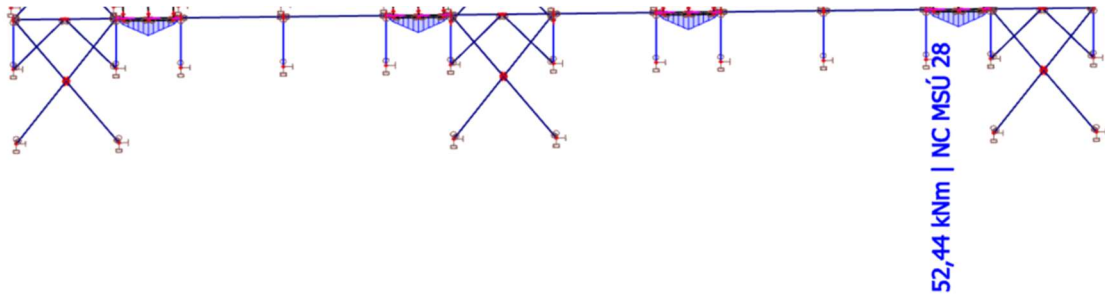
Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 18,2 % |
|----------|--------|

### 9.2.6.3 Podélné ztužidlo č.1 a nosný průvlak

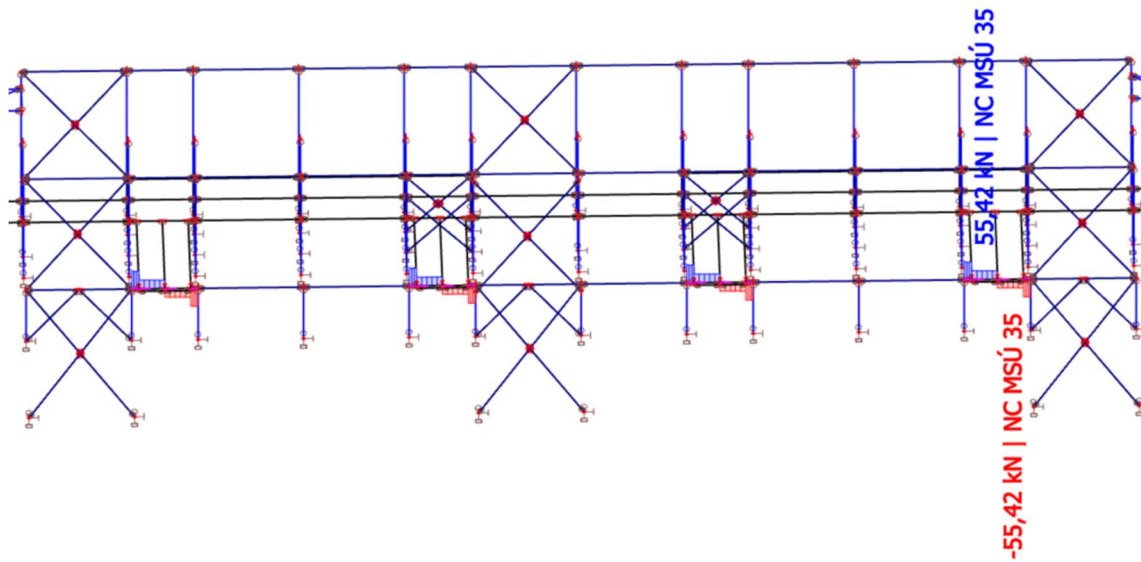
Prvek funguje jako součást podélného ztužidla a zároveň vynáší vaznice přístupu na tribunu. Vzhledem k tomu, že prvek je namáhán osovou silou pouze 5 kN, tato síla bude pro výpočet zanedbána a prvek bude posouzen pouze na ohyb.

Ohybový moment:



Posouvající síla

330



## Návrh ocelového prvku - ohyb

### Posouzení ohybu

|                           |  |        |                 |
|---------------------------|--|--------|-----------------|
| Návrhový moment           | $M_{y,Ed} =$   | 52,44  | kNm             |
| Materiál                  | Ocel   | S355   |                 |
| Mez kluzu                 | $f_y =$  | 355    | Mpa             |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} =$                                      | 1,0    |                 |
| Návrh průřezu:            | <b>IPE 180</b>                                       |        |                 |
| Třída průřezu:            | 1  |        |                 |
| Plastický průřezový modul | $W_{ply} =$  | 166400 | mm <sup>3</sup> |
| Únosnost průřezu:         | $M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} =$ | 59,07  | kNm             |
| Posouzení:                | $M_{y,Rd}$   | >      | $M_{y,Ed}$      |
|                           | 59,07 kNm  | >      | 52,44 kNm       |
| Využití:                  | Vyhovuje<br>88,8 %                                   |        |                 |

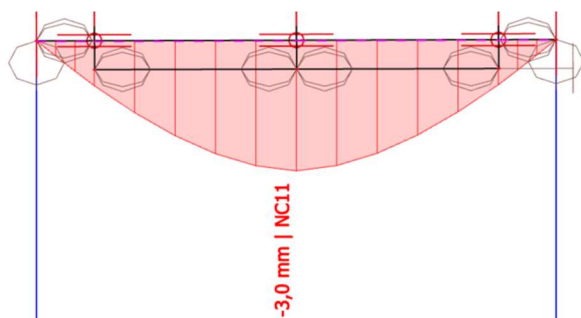
### Posouzení smyku

|                           |  |        |                 |
|---------------------------|--|--------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$   | 55,42  | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$  | 1125   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$  | 1,0    |                 |
| Únosnost průřezu:         | $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$ | 230,58 | kN              |
|                           | $V_{pl,Rd}$  | >      | $V_{Ed}$        |
|                           | 230,58 kN  | >      | 55,42 kN        |
| Využití:                  | Vyhovuje<br>24,0 %   |        |                 |
|                           | Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V                        |        |                 |

### Posouzení MSP

|                |                                  |       |            |
|----------------|----------------------------------|-------|------------|
| Rozpon prvku:  | $l =$                            | 3150  | mm         |
| Limitní průhyb | $\delta_{lim} = \frac{l}{250} =$ | 12,60 | mm         |
|                | $\delta_{lim}$                   | >     | $\delta_z$ |
|                | 12,60 mm                         | >     | 3,0 mm     |
|                | Vyhovuje                         |       |            |

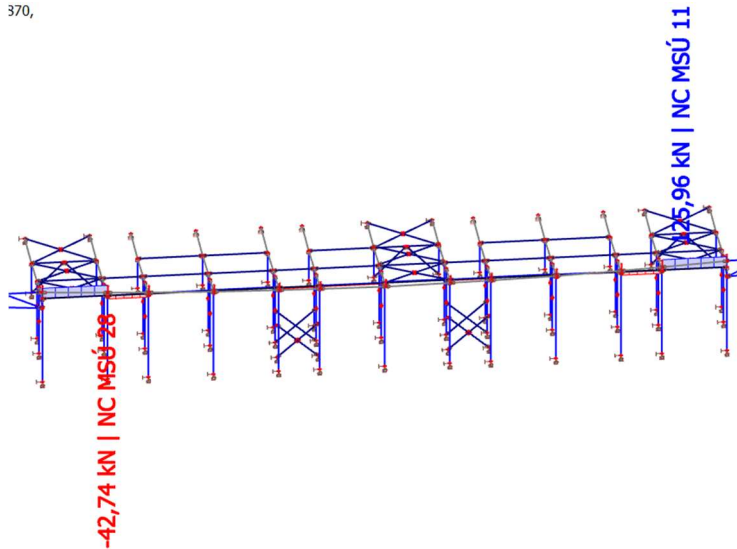
Průhyb nosníku:



#### 9.2.6.4 Podélné ztužidlo č.3

Ztužidlo propojuje prvky v hlavě 2. řadu sloupů tribuny. Profil ztužidla bude tvořit ocelová trubka.

370,

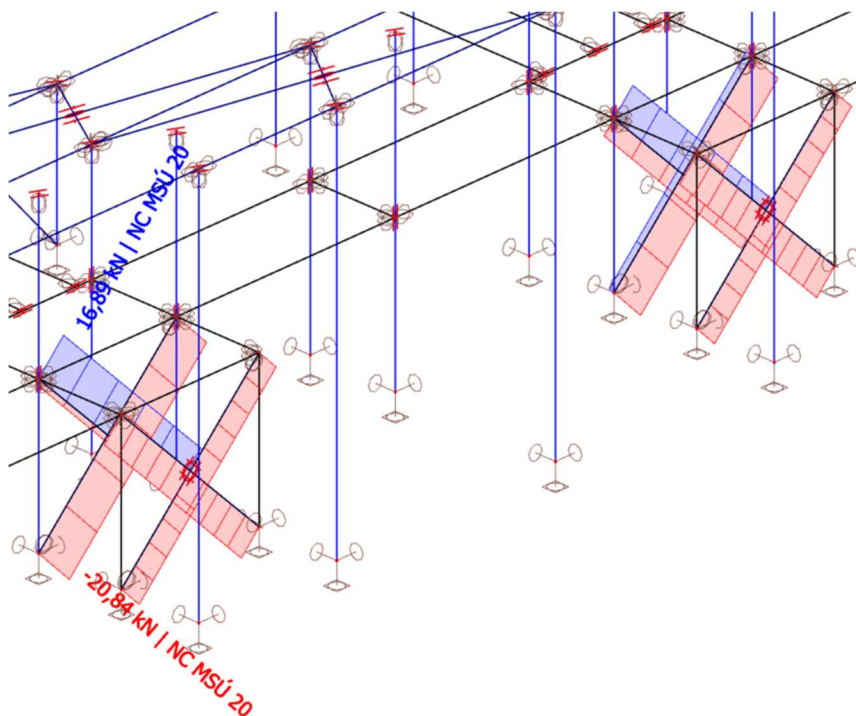


#### 9.2.6.5 Svislé ztužení ochozů

Ztužení ochozů je provedeno pomocí křížových ztužidel. Maximální normálová tlaková síla ve ztužidle je z kombinace NC MSÚ 20

Tahová síla při kombinaci NC MSÚ 20 je 16,89 kN.

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 4,420 \sqrt{1 - 0,75 \frac{16,89 \cdot 4,420}{20,84 \cdot 4,420}} = 2,77\text{m}$$



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 42,74$ kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3150$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3150$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Návrh průřezu:            | TR 60,3x4     |
| Třída průřezu:            | 1             |
| $A = 708$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 20$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$       | $i_z = 20$ mm |

|   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce |          |                   |
| y-y                                       | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z                                       | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 157,50$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 157,50$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,06$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 2,06$ |

|  |                 |
|--|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ | $\phi_y = 3,08$ |
|  | $\phi_z = 3,08$ |

|                        |  |                  |
|------------------------|--|------------------|
| Vzpěrnostní součinitel | $\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$ | $\chi_y = 0,186$ |
|                        |  | $\chi_z = 0,186$ |

|                  |   |                         |
|------------------|---|-------------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ | $N_{b,Rd} = 46,8081$ kN |
|------------------|---|-------------------------|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 46,81 kNm  | > | 42,74 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 91,3 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 125,96$ kN |
|-------------------------|----------------------|

|                |           |
|----------------|-----------|
| Návrh průřezu: | TR 60,3x4 |
|----------------|-----------|

|                  |  |                        |
|------------------|--|------------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 251,34$ kN |
|------------------|--|------------------------|

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 251,34 kNm | > | 125,96 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 50,1 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 20,8$     | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 2770$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 2770$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Návrh průřezu:      | TR 48,3x3,2 |
| Třída průřezu:      | 1           |
| $A = 453$           | $i_y = 16$  |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 16$  |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 173,13$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 173,13$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,27$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 2,27$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 3,57$ |
|   | $\phi_z = 3,57$ |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,158$$

$$\chi_z = 0,158$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 25,383 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 25,38 kNm  | > | 20,84 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 82,1 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 16,89$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |             |
|----------------|-------------|
| Návrh průřezu: | TR 48,3x3,2 |
|----------------|-------------|

|                  |  |                      |    |
|------------------|--|----------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 160,815$ | kN |
|------------------|--|----------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 160,82 kNm | > | 16,89 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 10,5 % |
|----------|--------|



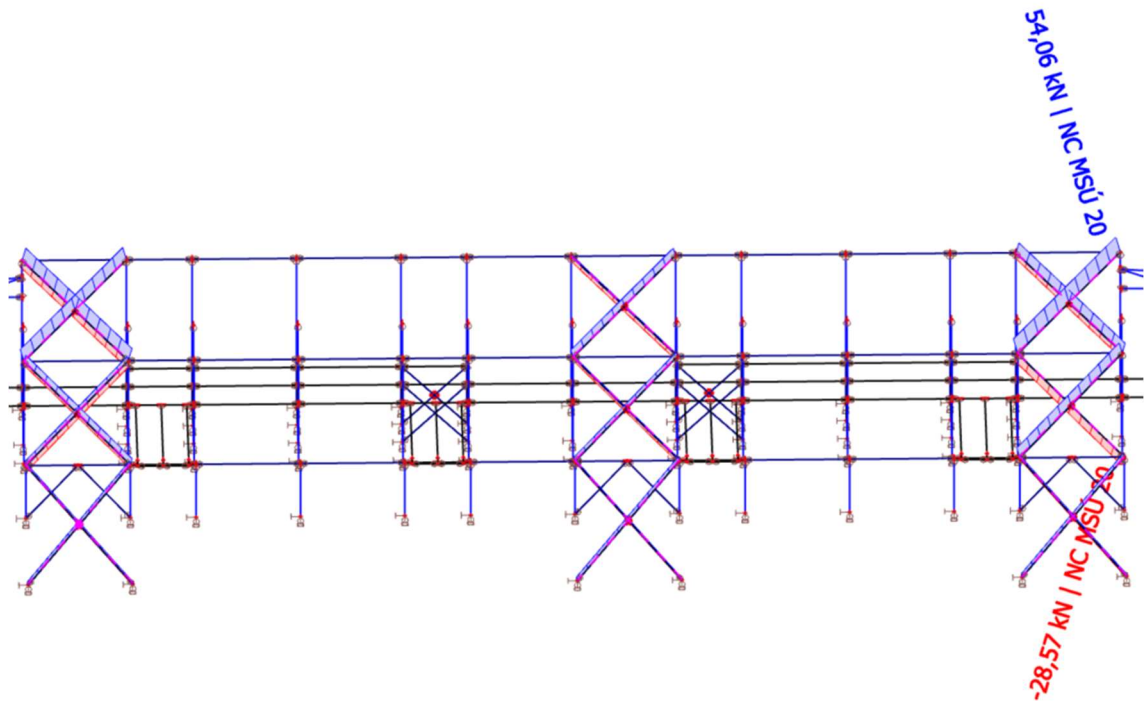
### 9.2.6.6 Ztužidlo příčné tribunové

Ztužení tribuny je provedeno pomocí křížových ztužidel. Maximální normálová tlaková síla ve ztužidle je z kombinace NC MSÚ 20

Tahová síla při kombinaci NC MSÚ 20 je 35,54 kN.

$$L_{cr} = L_{diag} \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 8,010 \sqrt{1 - 0,75 \frac{35,54 \cdot 8,010}{28,57 \cdot 8,010}} = 3,409\text{m}$$

Takto však nelze uvažovat redukci vzpěrné délky, jelikož vzpěrná délka je kratší než poloviční délka prutu. Tažený prut tedy tvoří podporu a vzpěrná délka bude mezi taženým prutem a připojením na nosník. Vzpěrná délka je tedy 4,05m



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 28,57$    | kN              |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 4050$   | mm              |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 4050$   | mm              |
| Materiál                 | Ocel                | S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa             |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |                 |
| Návrh průřezu:           | TR 70x3,2           |                 |
| Třída průřezu:           | 1                   |                 |
| $A =$                    | 672                 | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 =$            | 76,41               |                 |
|                          | $i_y =$             | 23,6 mm         |
|                          | $i_z =$             | 23,6 mm         |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 171,61$<br>$\lambda_z = 171,61$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,25$<br>$\bar{\lambda}_z = 2,25$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 3,52$<br>$\phi_z = 3,52$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,160 \quad \chi_z = 0,160$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 38,2422 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 38,24 kNm  | > | 28,57 kN |

Vyhovuje

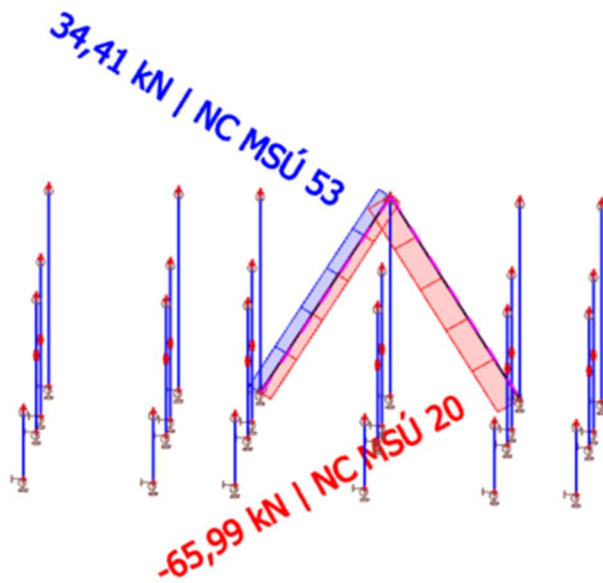
Využití: 74,7 %

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |  |                        |          |
|-------------------------|--|------------------------|----------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 54$                                | kN                     |          |
| Návrh průřezu:          | TR 60,3x4                                    |                        |          |
| Vzpěrná únosnost        | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 238,56$ kN |          |
| Posouzení:              | $N_{b,Rd}$                                   | >                      | $N_{Ed}$ |
|                         | 238,56 kNm                                   | >                      | 54 kN    |
|                         |  | Vyhovuje               |          |
| Využití:                |  | 22,6 %                 |          |

### 9.2.6.7 Stěnové ztužidlo vnější

Stěnové ztužidlo tribuny je provedeno pomocí dvou šikmých prutů. Maximální normálová tlaková síla ve ztužidle je z kombinace NC MSÚ 20  
Maximální tahová síla při kombinaci NC MSÚ 53 je 34,41kN.  
Vzpěrná délka prutu je 9,5 m.



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 65,99$    | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 9500$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 9500$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |                 |
|---------------------|--------------|-----------------|
| Návrh průřezu:      | TR 140x5     |                 |
| Třída průřezu:      | 1            |                 |
| $A = 2121$          | $i_y = 47,8$ | mm <sup>2</sup> |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 47,8$ |                 |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 198,74$<br>$\lambda_z = 198,74$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 2,60$<br>$\bar{\lambda}_z = 2,60$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 4,47$<br>$\phi_z = 4,47$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,123$$
$$\chi_z = 0,123$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 92,8707 \text{ kN}$$

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 92,87 kNm  | > | 65,99 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 71,1 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                  |    |
|-------------------------|------------------|----|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 34,41$ | kN |
|-------------------------|------------------|----|

|                |          |
|----------------|----------|
| Návrh průřezu: | TR 140x5 |
|----------------|----------|

|                  |  |                      |    |
|------------------|--|----------------------|----|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 752,955$ | kN |
|------------------|--|----------------------|----|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 752,96 kNm | > | 34,41 kN |

Vyhovuje

|          |       |
|----------|-------|
| Využití: | 4,6 % |
|----------|-------|

# 10 Štítová stěna

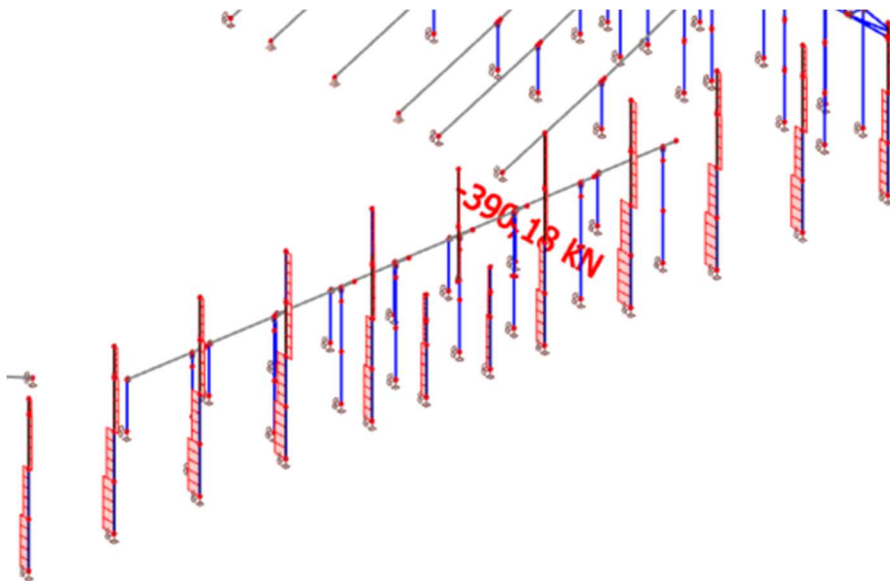
## 10.1 Příčná stěna

### 10.1.1 Sloupy

Sloupy budou posouzeny na vzpěr s maximální normálovou silou a dále na kombinaci normálové síly a momentu pro dva pruty. V dolní části (dvě patra je uvažována vzpěrná délka jako vzdálenost patra. Následně výše jdou sloupy od úrovně 6,1m až ke střeše. Zde má každý sloup jinou vzpěrnou délku. Vzpěrná délka v rámci stěny je u nejdelších prvků cca poloviční oproti vzpěru z roviny. Na sloupy jsou připojeny vaznice a průvlaky ochozů.

Moment od excentrického zatížení sloupu není započítán a bude ponechána rezerva na využití.

#### Maximální normálová síla ve sloupech



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 390,18$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 3100$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 3100$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Návrh průřezu:             | <b>HEA 140</b>  |
| Třída průřezu:             | 2               |
| $A = 3142$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 57,3$ mm |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 35,2$ mm |

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka b  | $\alpha_y = 0,34$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 54,10$<br>$\lambda_z = 88,07$           |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 0,71$<br>$\bar{\lambda}_z = 1,15$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 0,84$<br>$\phi_z = 1,40$                   |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,779 \quad \chi_z = 0,457$$

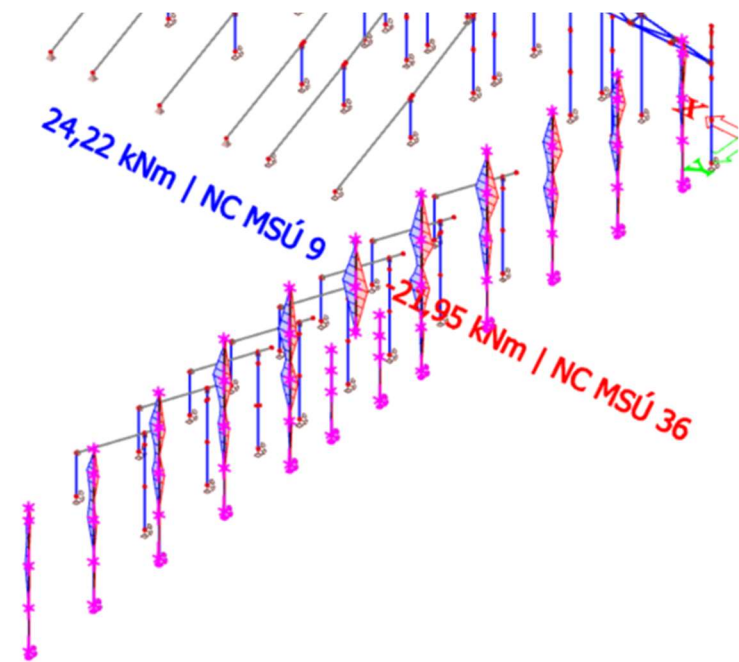
Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 509,763 \text{ kN}$$

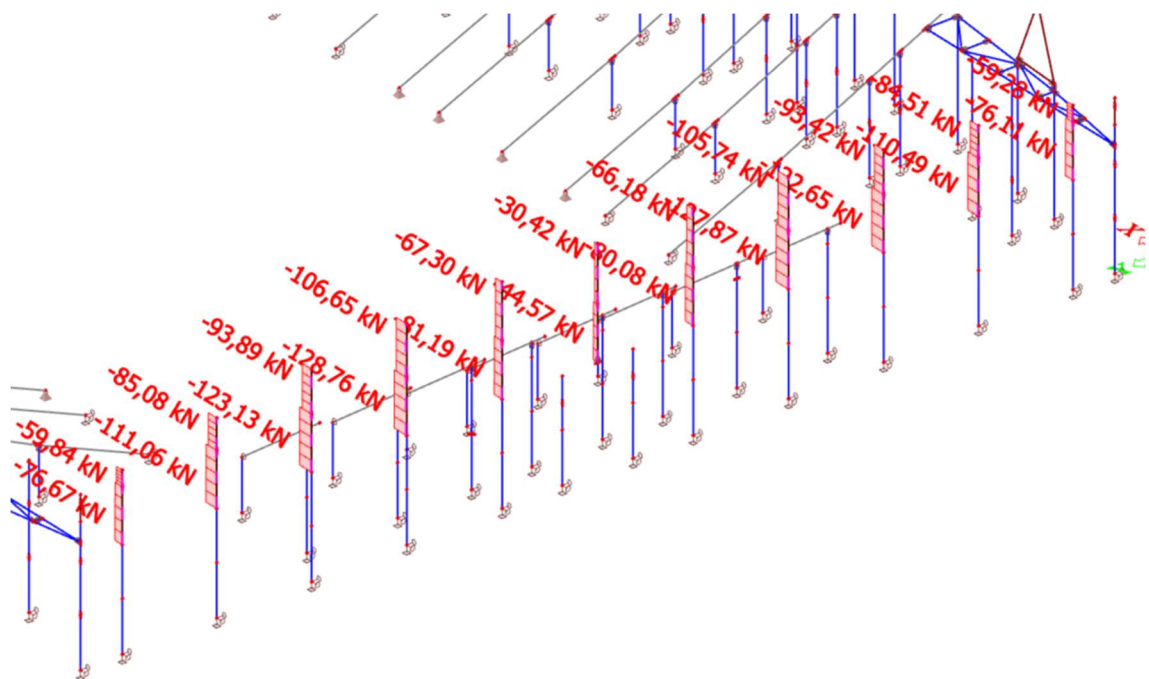
|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 509,76 kN  | > | 390,18 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
76,5 %

### Maximální ohybový moment ve sloupech



### Příslušná normálová síla ve sloupu



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 81,19  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 6650   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 3250   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 24,2   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

### Návrh průřezu:

|               |                      |                                  |
|---------------|----------------------|----------------------------------|
|               |                      | <b>HEA 140</b>                   |
| $h =$         | 130 mm               | $I_y = 16730000 \text{ mm}^4$    |
| $b =$         | 140 mm               | $W_y = 220100 \text{ mm}^3$      |
| $t_w =$       | 6 mm                 | $W_{pl,y} = 245100 \text{ mm}^3$ |
| $t_f =$       | 9 mm                 | $i_y = 65,7 \text{ mm}$          |
| $d =$         | 104 mm               | $I_z = 6156000 \text{ mm}^4$     |
| $A =$         | 3877 mm <sup>2</sup> | $W_z = 76950 \text{ mm}^3$       |
| $A_{v,z} =$   | 1231 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} = 117600 \text{ mm}^3$ |
| $r =$         | 15 mm                | $i_z = 39,8 \text{ mm}$          |
| $c =$         | 49,00 mm             | $I_t = 121900 \text{ mm}^4$      |
| $\lambda_1 =$ | 76,41                | $I_w = 3,141E+10 \text{ mm}^6$   |

### Zatřetí průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 38,117 \text{ mm}$

### Součinitel $\alpha$ - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,683$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 17,333 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 40,88$

Pásnice  $c/t_f = 5,444 < 9 \cdot \varepsilon = 7,32$

průřez celkově => **Třída 1**

### Posudek vzpěr

#### Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|                  |   |                     |        |
|------------------|---|---------------------|--------|
| y-y              | křivka b  | $\alpha_y =$        | 0,34   |
| z-z              | křivka c  | $\alpha_z =$        | 0,49   |
| Štíhlost         | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y =$       | 101,22 |
|                  |   | $\lambda_z =$       | 81,66  |
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 1,32   |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,07   |



$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 1,57$$

$$\phi_z = 1,28$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,415$$

$$\chi_z = 0,501$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 571,42 \text{ kN}$$

Posouzení:  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $571,42 \text{ kNm} > 81,19 \text{ kN}$

Vyhovuje  
 14,2 %

Využití:

Klopení  $\chi_{LT} = 0,87$

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 1376,335 \text{ kN}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 87,0105 \text{ kNm}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{z,Rk} = 41,75 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mz} = 0,60 \quad 0,6 + 0,4 \psi \quad \psi = 0$

$C_{mLT} = 0,60 \quad 0,6 + 0,4 \psi \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 1,058 \quad 1,102 \leq 1,058$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,419$$

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

$$k_{zy} = 0,966 \quad 0,964 \geq 0,966$$

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

$$k_{zz} = 0,699 \quad 0,709 \leq 0,699$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,142 + 0,338 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,480 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,118 + 0,309 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,427 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1,0$$

0,059 + 0,278 + 0 < 1,0  
Vyhovuje 0,337 < 1,0

### Posouzení smyku

|                           |                 |      |                 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 9,86 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1231 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 252,30 \text{ kN}$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 252,30 kN   | > | 9,86 kN  |

Vyhovuje

Využití: 3,9 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

### Posouzení MSP

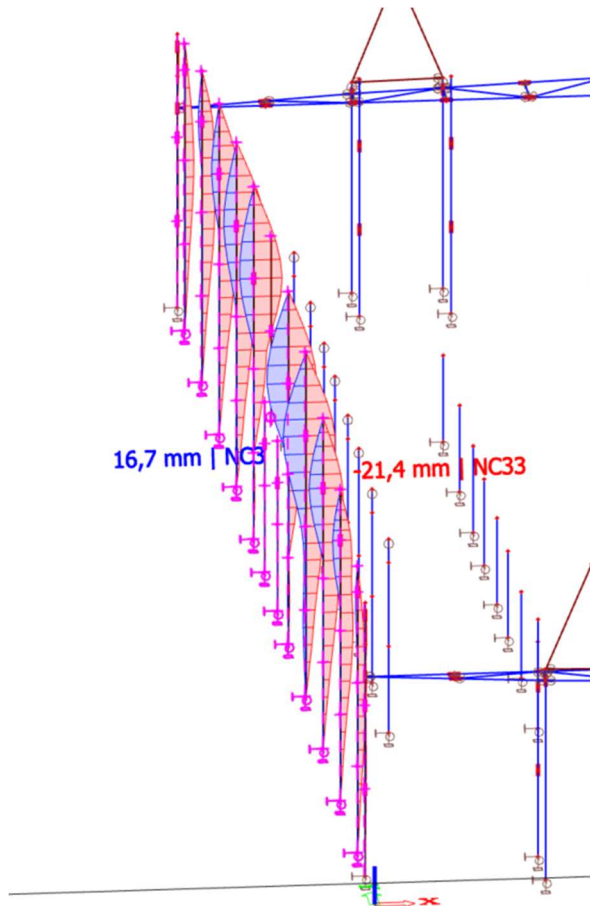
Rozpon prvku:  $l = 6650 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 26,60 \text{ mm}$

Průhyb celkový  $\delta_z = 21,40 \text{ mm}$

|                |     |            |
|----------------|-----|------------|
| $\delta_{lim}$ | $>$ | $\delta_z$ |
| 26,60 mm       | $>$ | 21,40 mm   |
| Vyhoví         |     |            |

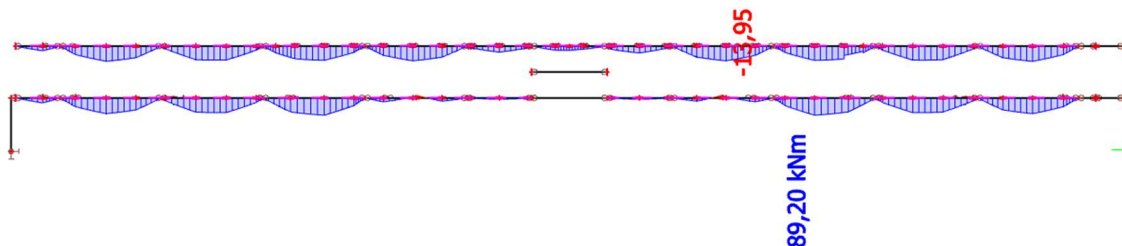
Relativní průhyb sloupů štítové stěny:



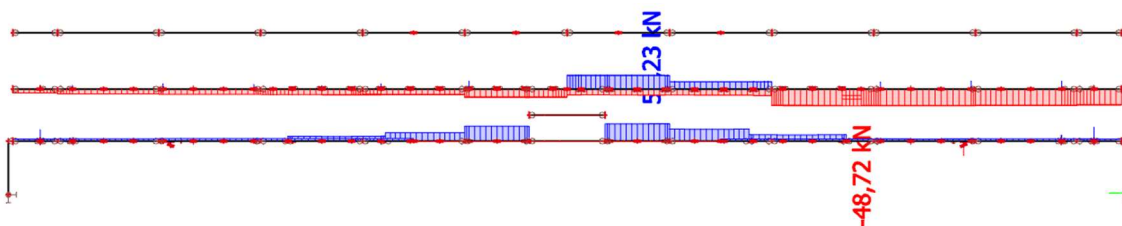
### 10.1.2 Podélné prvky – spodní dvě řady

Podélné prvky štítové stěny slouží k přenosu zatížení od větru a dále spodní dvě řady vynášejí svislé zatížení od ochozů a opláštění. Jelikož prvky budou od svislého zatížení namáhány jednostranně s excentricitou v přípoji, tak bude použit svařenec 2xUPE. Svařenec vytvoří uzavřený průřez, který má vysokou torzní tuhost a neklopí.

#### Maximální ohybový moment



#### Normálová síla při maximálním ohybovém momentu



#### Moment $M_z$

Moment  $M_z$  je v porovnání s velikostí momentu či normálové síly zanedbatelný. Z toho důvodu nebude do výpočtu započítán.

## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 48,72  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 5920   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 1720   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 89,2   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |                  |                           |
|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> |                      | <b>2xUPE 180</b> |                           |
| $h =$                 | 180 mm               | $I_y =$          | 27082000 mm <sup>4</sup>  |
| $b =$                 | 150 mm               | $W_y =$          | 300910 mm <sup>3</sup>    |
| $t_w =$               | 11 mm (součet)       | $W_{pl,y} =$     | 346150 mm <sup>3</sup>    |
| $t_f =$               | 10,5 mm              | $i_y =$          | 73 mm                     |
| $d =$                 | 135 mm               | $I_z =$          | 15603000 mm <sup>4</sup>  |
| $A =$                 | 5022 mm <sup>2</sup> | $W_z =$          | 208040 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{v,z} =$           | 2020 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$     | 252900 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$                 | 12 mm                | $i_z =$          | 56 mm                     |
| $c =$                 | 115,00 mm            | $I_t =$          | 19830000 mm <sup>4</sup>  |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$          | 3,636E+09 mm <sup>6</sup> |

### Zatřížení průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 12,476$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,546$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 12,273 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 52,81$

Pásnice  $c/t_f = 10,952 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$

**Třída 1**

**Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

y-y křivka b  $\alpha_y = 0,34$

z-z křivka b  $\alpha_z = 0,34$

Štíhlost  $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$   $\lambda_y = 81,10$   
 $\lambda_z = 30,71$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$   $\bar{\lambda}_y = 1,06$   
 $\bar{\lambda}_z = 0,40$

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \begin{array}{l} \phi_y = 1,21 \\ \phi_z = 0,62 \end{array}$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \begin{array}{l} \chi_y = 0,559 \\ \chi_z = 0,925 \end{array}$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 995,99 \text{ kN}$$

$$\text{Posouzení:} \quad \begin{array}{l} N_{b,Rd} > N_{Ed} \\ 995,99 \text{ kNm} > 48,72 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje  
4,9 %

Využití:

$$\text{Klopení} \quad \chi_{LT} = 1,0$$

Interakce tlaku s ohybem

$$\text{Char. únosnost průřezu v tlaku} \quad N_{Rk} = 1782,81 \text{ kN}$$

$$\text{Char. únosnost v ohybu k ose y} \quad M_{y,Rk} = 122,88 \text{ kNm}$$

$$\text{Char. únosnost v ohybu k ose z} \quad M_{z,Rk} = 89,78 \text{ kNm}$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{my} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$$

$$C_{mz} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$$

$$C_{mLT} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,987 \quad 0,990 \leq 0,987$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,573$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

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

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,956 \quad 0,956 \leq 0,972$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,049 + 0,717 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,766 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,030 + 0,430 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,459 < 1,0

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

0,027 + 0,726 + 0 < 1,0  
**Vyhovuje** 0,753 < 1,0

### Posouzení smyku

|                           |             |      |                 |
|---------------------------|-------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$  | 62,0 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$ | 2020 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $Y_{M1} =$  | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M1}} = 414,02$  kN

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 414,02 kN   | > | 62 kN    |

**Vyhovuje**

Využití: 15,0 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

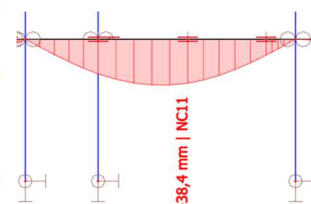
### Posouzení MSP

Rozpon prvku:  $l = 5920$  mm

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 23,68$  mm

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 23,68 mm       | > | 38,4 mm    |

**Nevyhovuje, změna na 2x UPE 240**

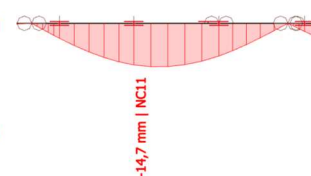


Rozpon prvku:  $l = 5920$  mm

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 23,68$  mm

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 23,68 mm       | > | 14,7 mm    |

**Vyhovuje**

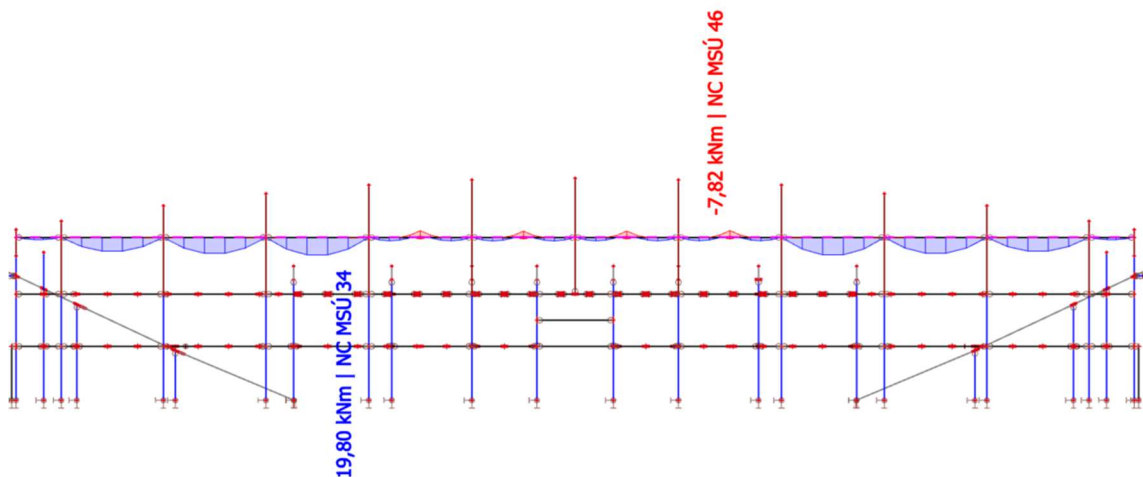


Svařenec 2x UPE 240 vyhoví na MSÚ a MSP.

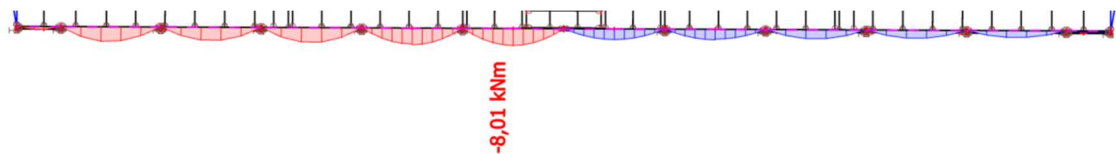
### 10.1.3 Podélné prvky – horní řada

Podélné prvky štítové stěny slouží k přenosu zatížení od větru a opláštění. Jelikož prvky budou od svislého zatížení ochozů namáhány jednostranně s excentricitou v přípoji, tak bude použit svařenec 2xUPE. Svařenec vytvoří uzavřený průřez, který má vysokou torzní tuhost a neklopí. Dále je to průřez vhodný pro únosnost ve dvou rovinách. Rozhodující namáhání tvoří maximální ohybový moment v kombinaci s tlakovou normálovou silou (maximální tlakové namáhání ze všech kombinací). Dále je průřez v kombinaci NC MSÚ 22 namáhán tahovou silou 176,73kN. Ohybový moment  $M_y$  je však poloviční a ohybový moment  $M_z$  je také nižší. Tudíž kombinace NC MSÚ 22 není rozhodující.

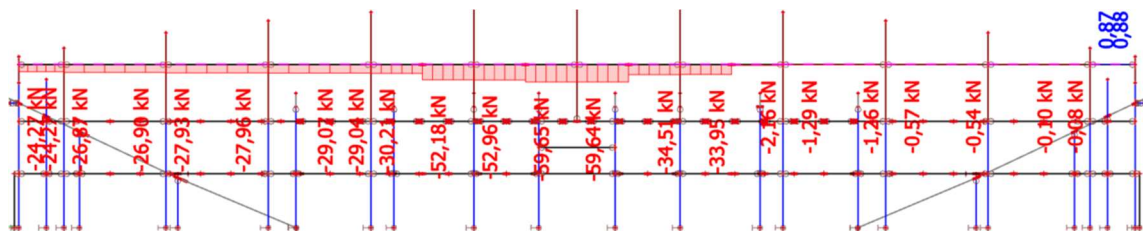
Maximální ohybový moment  $M_y$



Příslušný ohybový moment  $M_z$



Příslušná normálová síla





## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 29,04  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 5920   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 5920   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 19,8   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 8      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $E =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |                       |                           |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> |                      | <b>2xUPE 140</b>      |                           |
| $h =$                 | 140 mm               | $I_y =$               | 11997000 mm <sup>4</sup>  |
| $b =$                 | 130 mm               | $W_y =$               | 171380 mm <sup>3</sup>    |
| $t_w =$               | 10 mm                | (součet) $W_{pl,y} =$ | 197820 mm <sup>3</sup>    |
| $t_f =$               | 9 mm                 | $i_y =$               | 57 mm                     |
| $d =$                 | 98 mm                | $I_z =$               | 8477500 mm <sup>4</sup>   |
| $A =$                 | 3684 mm <sup>2</sup> | $W_z =$               | 130420 mm <sup>3</sup>    |
| $A_{y,z} =$           | 1439 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$          | 159510 mm <sup>3</sup>    |
| $r =$                 | 12 mm                | $i_z =$               | 48 mm                     |
| $c =$                 | 96,00 mm             | $I_t =$               | 13449000 mm <sup>4</sup>  |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_w =$               | 1,876E+09 mm <sup>6</sup> |

### Zatížení průřezu ohyb + tlak

Tlačená část  $x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}}$   $x = 8,180$  mm

Součinitel  $\alpha$  - velikost tlačené oblasti

$$\alpha = \frac{d + x}{2 \cdot d} \quad \alpha = 0,542$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \varepsilon = 0,814$$

Stojina  $d/t_w = 9,800 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 53,32$  **Třída 1**

Pásnice  $c/t_f = 10,667 < 33 \cdot \varepsilon = 26,85$  **Třída 1**

**průřez celkově => Třída 1**

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

y-y křivka b  $\alpha_y = 0,34$

z-z křivka b  $\alpha_z = 0,34$

Štíhlost  $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$   $\lambda_y = 103,86$   
 $\lambda_z = 123,33$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$   $\bar{\lambda}_y = 1,36$   
 $\bar{\lambda}_z = 1,61$

$$\text{Součinitel } \phi_i = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \quad \phi_y = 1,62$$

$$\phi_z = 2,04$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,399$$

$$\chi_z = 0,303$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 396,84 \text{ kN}$$

Posouzení:  $N_{b,Rd} > N_{Ed}$   
 $396,84 \text{ kNm} > 29,04 \text{ kN}$

Vyhovuje  
7,3 %

Využití:

Klopení  $\chi_{LT} = 1,0$

Interakce tlaku s ohybem

Char. únosnost průřezu v tlaku  $N_{Rk} = 1307,82 \text{ kN}$

Char. únosnost v ohybu k ose y  $M_{y,Rk} = 70,23 \text{ kNm}$

Char. únosnost v ohybu k ose z  $M_{z,Rk} = 56,63 \text{ kNm}$

Součinitele průběhu momentu

$C_{my} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mz} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

$C_{mLT} = 0,95 \quad 0,95 + 0,05 \alpha_h \quad \alpha_h = 0 \quad \psi = 0$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = 0,992 \quad 1,011 \leq 0,992$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,603$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,595$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,006 \quad 1,048 \leq 1,006$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,056 + 0,280 + 0,08535 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,421 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,073 + 0,168 + 0,14225 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,383 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} < 1,0$$

$$0,022 + 0,282 + 0,14145 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,446 < 1,0**

### Posouzení smyku

|                           |             |      |                 |
|---------------------------|-------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$  | 14,0 | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$ | 1439 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $Y_{M1} =$  | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M1}} = 294,94 \text{ kN}$

|             |   |          |
|-------------|---|----------|
| $V_{pl,Rd}$ | > | $V_{Ed}$ |
| 294,94 kN   | > | 14 kN    |

**Vyhovuje**

**Využití:** 4,7 %  
Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

### Posouzení MSP

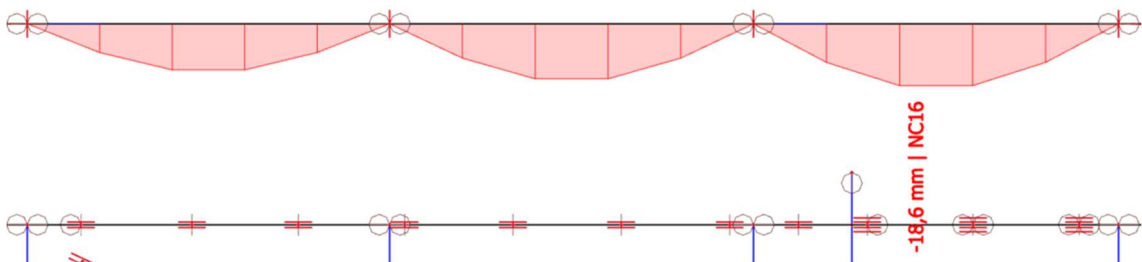
Rozpon prvku:  $l = 5920 \text{ mm}$

Limitní průhyb  $\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 23,68 \text{ mm}$

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\delta_{lim}$ | > | $\delta_z$ |
| 23,68 mm       | > | 18,6 mm    |

**Vyhovuje**

Průhyb nosníku:

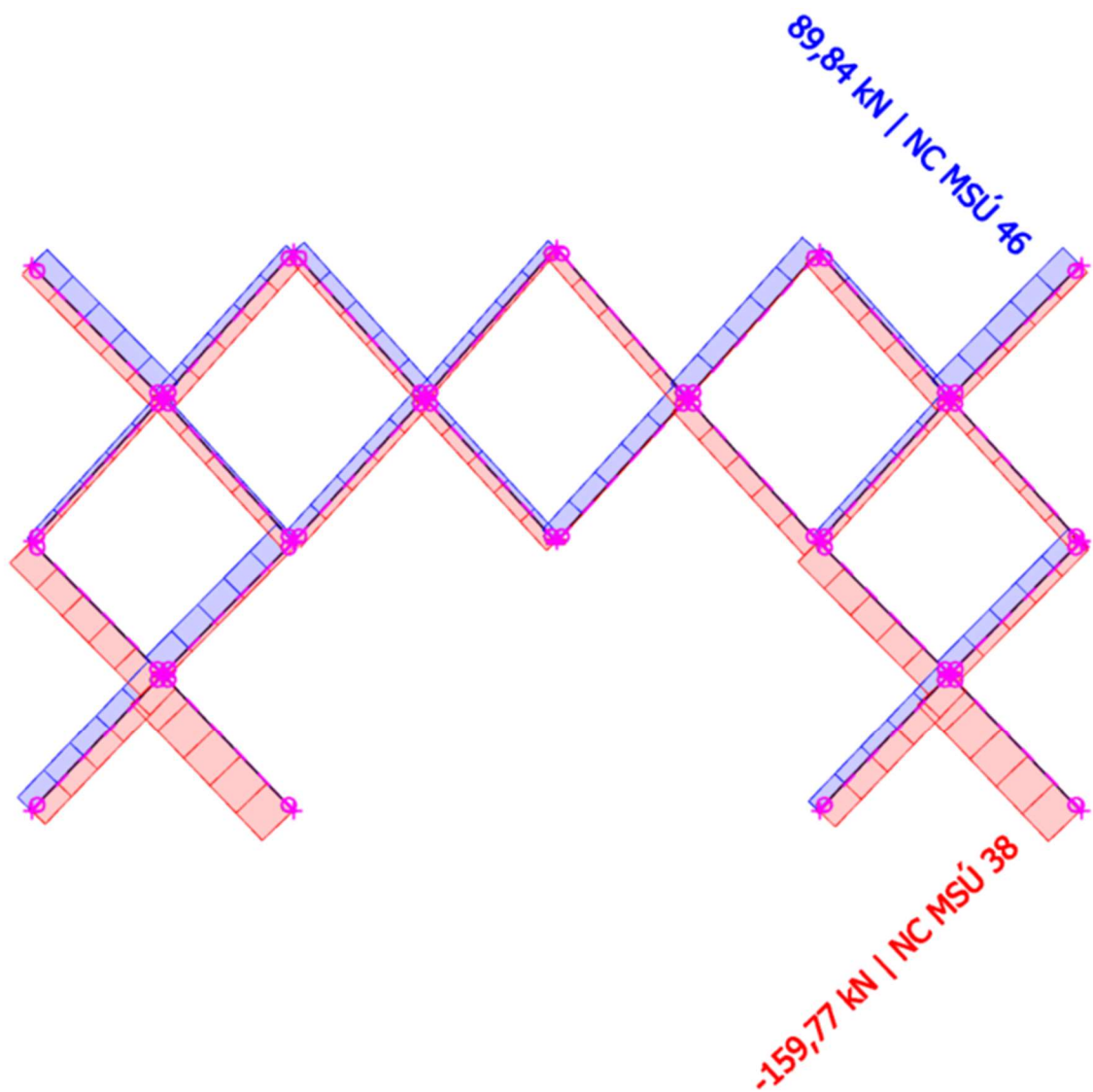


### 10.1.4 Ztužení štítové stěny

Stěnové ztužidlo stěny je provedeno pomocí šikmých prutů, které tvoří kříže přes dvě podlaží. Zároveň šikmé pruty podírají podélný krajní nosník, který vynáší stop. Díky tomu jsou více tlačeny a nedochází k velkým tahovým silám v patce sloupu. Maximální normálová tlaková síla ve ztužidle je z kombinace NC MSÚ 38 je 159,77 kN.

Maximální tahová síla při kombinaci NC MSÚ 46 je 89,84 kN.

Vzpěrná délka tlačného prutu je 4,29 m.



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 159,77$ kN |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 4290$ mm |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 4290$ mm |
| Materiál                 | Ocel S355            |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$ MPa      |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$  |

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b>      | <b>TR 108x6,3</b> |
| Třída průřezu:             | 1                 |
| $A = 2013$ mm <sup>2</sup> | $i_y = 36$ mm     |
| $\lambda_1 = 76,41$        | $i_z = 36$ mm     |

|   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce |          |                   |
| y-y                                       | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z                                       | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                      |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 119,17$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 119,17$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,56$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,56$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 2,05$ |
|   | $\phi_z = 2,05$ |

|                        |  |                  |
|------------------------|--|------------------|
| Vzpěrnostní součinitel | $\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$ | $\chi_y = 0,296$ |
|                        |  | $\chi_z = 0,296$ |

|                  |   |                         |
|------------------|---|-------------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ | $N_{b,Rd} = 211,513$ kN |
|------------------|---|-------------------------|

|            |            |     |           |
|------------|------------|-----|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$  |
|            | 211,51 kNm | $>$ | 159,77 kN |

Vyhovuje

|          |        |
|----------|--------|
| Využití: | 75,5 % |
|----------|--------|

## Návrh ocelového prvku - Tah

|                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Návrhová normálová síla | $N_{Ed} = 89,84$ kN |
|-------------------------|---------------------|

|                |            |
|----------------|------------|
| Návrh průřezu: | TR 108x6,3 |
|----------------|------------|

|                  |  |                         |
|------------------|--|-------------------------|
| Vzpěrná únosnost | $N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ | $N_{b,Rd} = 714,615$ kN |
|------------------|--|-------------------------|

|            |            |     |          |
|------------|------------|-----|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$ |
|            | 714,62 kNm | $>$ | 89,84 kN |

Vyhovuje

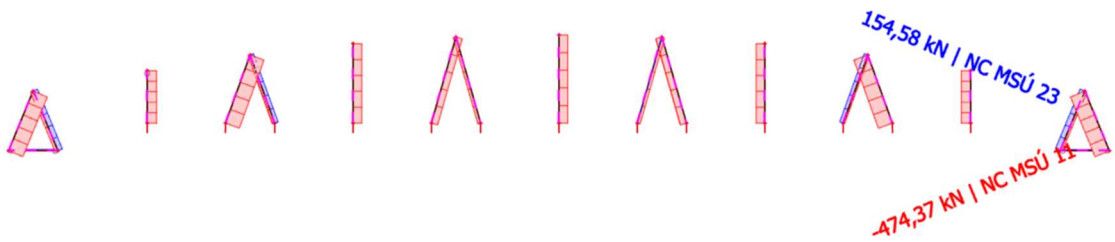
## 10.2 Podélná stěna

### 10.2.1 Sloupy

Sloupy posouzeny na vzpěr při maximální normálové síle a dále na normálovou sílu při větší vzpěrné délce. Vzpěrná délka uvažována jako celá délka prutu.

Na sloupy jsou připojeny vazníky a střešní ztužidla. V patě sloupu jsou uloženy na ocelovém sloupu nebo na železobetonovém průvlaku.

Maximální normálová síla ve sloupech



Normálová síla v nejdelších sloupech



## Posouzení nejvíce namáhaného prutu

### Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 390,18$   | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 4110$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 4110$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |    |
|---------------------|--------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 152x6,3   |    |
| Třída průřezu:      | 2            |    |
| $A = 2884$          | $i_y = 51,6$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 51,6$ | mm |

#### Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y = 0,49$ |
| z-z | křivka c | $\alpha_z = 0,49$ |

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y = 79,65$ |
|          |                                    | $\lambda_z = 79,65$ |

|                  |   |                          |
|------------------|---|--------------------------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,04$ |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z = 1,04$ |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y = 1,25$ |
|   | $\phi_z = 1,25$ |

#### Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,516$$
$$\chi_z = 0,516$$

#### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 528,004 \text{ kN}$$

|            |            |     |           |
|------------|------------|-----|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | $>$ | $N_{Ed}$  |
|            | 528,00 kN  | $>$ | 390,18 kN |

Využití: **Vyhovuje**  
73,9 %

## Posouzení nejdelšího prutu

### Návrh ocelového prvku - Vzpěr

|                          |                     |      |
|--------------------------|---------------------|------|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} = 270,08$   | kN   |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} = 5600$   | mm   |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} = 5600$   | mm   |
| Materiál                 | Ocel                | S355 |
| Mez kluzu                | $f_y = 355$         | MPa  |
| Modul pružnosti          | $E = 210000$        | MPa  |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} = 1,0$ |      |

|                     |              |    |
|---------------------|--------------|----|
| Návrh průřezu:      | TR 152x6,3   |    |
| Třída průřezu:      | 2            |    |
| $A = 2884$          | $i_y = 51,6$ | mm |
| $\lambda_1 = 76,41$ | $i_z = 51,6$ | mm |

#### Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|   |   |  |
|---|---|--|
| y-y   | křivka c  | $\alpha_y = 0,49$                                    |
| z-z   | křivka c  | $\alpha_z = 0,49$                                    |
| Štíhlost  | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$              | $\lambda_y = 108,53$<br>$\lambda_z = 108,53$         |
| Poměrná štíhlost  | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y = 1,42$<br>$\bar{\lambda}_z = 1,42$ |
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ |   | $\phi_y = 1,81$<br>$\phi_z = 1,81$                   |

#### Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0 \quad \chi_y = 0,342 \quad \chi_z = 0,342$$

#### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 349,924 \text{ kN}$$

|            |            |   |           |
|------------|------------|---|-----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$  |
|            | 349,92 kN  | > | 270,08 kN |

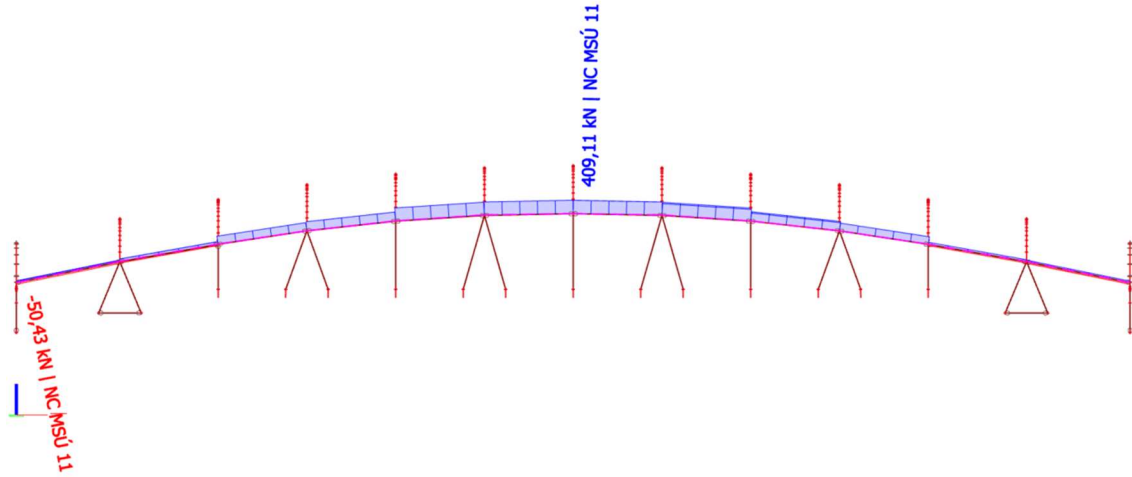
Využití: **Vyhovuje**  
77,2 %



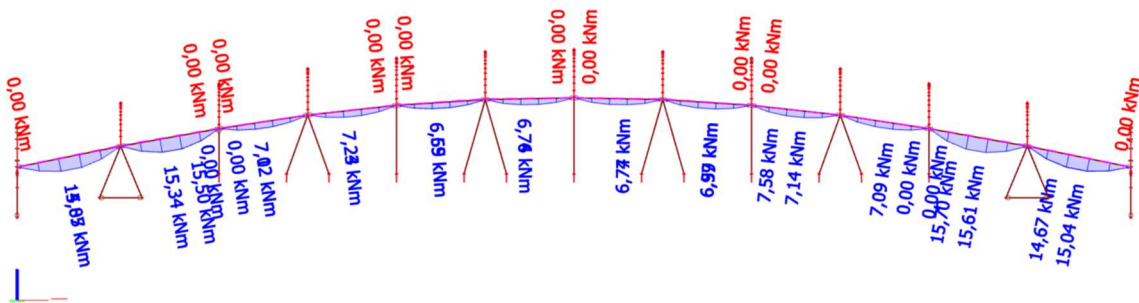
## 10.2.2 Podélný nosník

Podélný nosník bude tvořen kruhovým profilem. Nosník je zatížen normálovou silou a také momentem. Moment  $M_z$  je však v rozhodující kombinaci nízký.

Maximální normálová síla



Příslušný ohybový moment  $M_y$



## Návrh ocelového prvku - Vzpěr + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 50,43  | kN  |
| Vzpěrná délka y          | $L_{cr,y} =$    | 7913   | mm  |
| Vzpěrná délka z          | $L_{cr,z} =$    | 7913   | mm  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 15,1   | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0      | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M1} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |              |                          |
|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>TR 159x5</b>      |              |                          |
| $h =$                 | 159 mm               | $I_y =$      | 7180000 mm <sup>4</sup>  |
| $t =$                 | 5 mm                 | $W_y =$      | 90300 mm <sup>3</sup>    |
| $A =$                 | 2419 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,y} =$ | 119000 mm <sup>3</sup>   |
| $A_{v,z} =$           | 1540 mm <sup>2</sup> | $I_z =$      | 7180000 mm <sup>4</sup>  |
| $i_y =$               | 54,5 mm              | $W_z =$      | 90300 mm <sup>3</sup>    |
| $i_z =$               | 54,5 mm              | $W_{pl,z} =$ | 119000 mm <sup>3</sup>   |
| $\lambda_1 =$         | 76,41                | $I_d =$      | 13900000 mm <sup>4</sup> |

### Posudek vzpěr

Křivka vzpěrnosti a součinitel imperfekce

|     |          |              |      |
|-----|----------|--------------|------|
| y-y | křivka c | $\alpha_y =$ | 0,49 |
| z-z | křivka c | $\alpha_z =$ | 0,49 |

|          |                                    |               |        |
|----------|------------------------------------|---------------|--------|
| Štíhlost | $\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$ | $\lambda_y =$ | 145,19 |
|          |                                    | $\lambda_z =$ | 145,19 |

|                  |   |                     |      |
|------------------|---|---------------------|------|
| Poměrná štíhlost | $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ | $\bar{\lambda}_y =$ | 1,90 |
|                  |   | $\bar{\lambda}_z =$ | 1,90 |

|   |            |      |
|---|------------|------|
| Součinitel $\phi_i = 0,5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$ | $\phi_y =$ | 2,72 |
|   | $\phi_z =$ | 2,72 |

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_y =$ | 0,214 |
| $\chi_z =$ | 0,214 |

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

|              |           |
|--------------|-----------|
| $N_{b,Rd} =$ | 183,85 kN |
|--------------|-----------|

|            |            |   |          |
|------------|------------|---|----------|
| Posouzení: | $N_{b,Rd}$ | > | $N_{Ed}$ |
|            | 183,85 kNm | > | 50,43 kN |

Vyhovuje

Využití: 27,4 %

|  |               |            |
|--|---------------|------------|
| Klopení                                  | $\chi_{LT} =$ | 1,0        |
| <b>Interakce tlaku s ohybem (pružně)</b> |               |            |
| Char. únosnost průřezu v tlaku           | $N_{Rk} =$    | 858,745 kN |
| Char. únosnost v ohybu k ose y           | $M_{y,Rk} =$  | 42,2 kNm   |
| Char. únosnost v ohybu k ose z           | $M_{z,Rk} =$  | 42,2 kNm   |
| Kritická síla vzpěr kolmo k y-y          | $N_{cr,y} =$  | 237,7 kN   |
| Kritická síla vzpěr kolmo k z-z          | $N_{cr,z} =$  | 237,7 kN   |

Pomocné součinitele

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,825 \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,825$$

$$w_{y,z} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = 1,32$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} = 0,059 \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0$$

$$b_{LT} = c_{LT} = d_{LT} = e_{LT} = 0$$

Součinitele průběhu momentu

$$C_{m\psi,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{m\psi,0} = 1,027$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot \Psi + 0,36 \cdot (\Psi - 0,33) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

$$C_{mz,0} = 1,000$$

$$C_{m\psi} = 1,03 \quad C_{mz} = 1,00 \quad C_{mLT} = 1,00$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{m\psi}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{m\psi}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 0,906 \geq 0,759$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{yz} = 0,800 \geq 0,455$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{m\psi}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 0,787 \geq 0,455$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zz} = 0,912 \geq 0,759$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}} = 1,188$$

$$k_{yz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0,786$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,820$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}} = 1,148$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,274 + 0,424 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,698 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{XLT \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,274 + 0,293 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,567 < 1,0**

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} < 1,0$$

$$0,059 + 0,357 + 0 < 1,0$$

**Vyhovuje**      **0,415 < 1,0**

Posouzení smyku

|                           |                 |      |                 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|
| Návrhová posouvající síla | $V_{Ed} =$      | 8,7  | kN              |
| Smyková plocha            | $A_{v,z} =$     | 1540 | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M1} =$ | 1,0  |                 |

Únosnost průřezu:  $V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 315,64 \text{ kN}$

$$\begin{array}{ccc} V_{pl,Rd} & > & V_{Ed} \\ 315,64 \text{ kN} & > & 8,65 \text{ kN} \end{array}$$

**Vyhovuje**

**Využití:** 2,7 %

Malý smyk, není třeba posuzovat kombinaci M+V

## Ověření tah + ohyb

### Návrh ocelového prvku - Tah + Ohyb

|                          |                 |        |     |
|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Návrhová normálová síla  | $N_{Ed} =$      | 409,11 | kN  |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{y,Ed} =$    | 6,8    | kNm |
| Návrhový ohybový moment  | $M_{z,Ed} =$    | 0,0    | kNm |
| Materiál                 | Ocel            | S355   |     |
| Mez kluzu                | $f_y =$         | 355    | MPa |
| Modul pružnosti          | $E =$           | 210000 | MPa |
| Modul pružnosti ve smyku | $G =$           | 80700  | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M0} =$ | 1,0    |     |

|                       |                      |               |                        |
|-----------------------|----------------------|---------------|------------------------|
| <b>Návrh průřezu:</b> | <b>TR 159x5</b>      |               |                        |
| $d =$                 | 159 mm               | $W_y =$       | 90300 mm <sup>3</sup>  |
| $t =$                 | 5 mm                 | $W_{pl,y} =$  | 119000 mm <sup>3</sup> |
| $t_f =$               | 11 mm                | $W_z =$       | 90300 mm <sup>3</sup>  |
| $A =$                 | 2419 mm <sup>2</sup> | $W_{pl,z} =$  | 119000 mm <sup>3</sup> |
|                       |                      | $\lambda_1 =$ | 76,41                  |

Plastická osová únosnost:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl,Rd} = 858,75 \text{ kN}$$

Součinitel pro výpočet:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad n = 0,476$$
$$\alpha = \beta = 2,233$$

Momentová únosnost:

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| Plastická únosnost v ohybu k ose y | $M_{y,Rd} =$ | 42,25 | kNm |
| Plastická únosnost v ohybu k ose z | $M_{z,Rd} =$ | 42,25 | kNm |

Redukovaná momentová únosnost:

$$M_{N,y,Rd} = M_{y,Rd} \cdot (1 - n) \cdot (1 - n) \quad M_{N,y,Rd} = 11,58 \text{ kNm}$$
$$M_{N,z,Rd} = M_{z,Rd} \cdot (1 - n) \cdot (1 - n) \quad M_{N,z,Rd} = 11,58 \text{ kNm}$$

Posudek:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta < 1$$

$$0,305 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

### Posouzení MSP

Rozpon prvku:

$$l = 7913 \text{ mm}$$

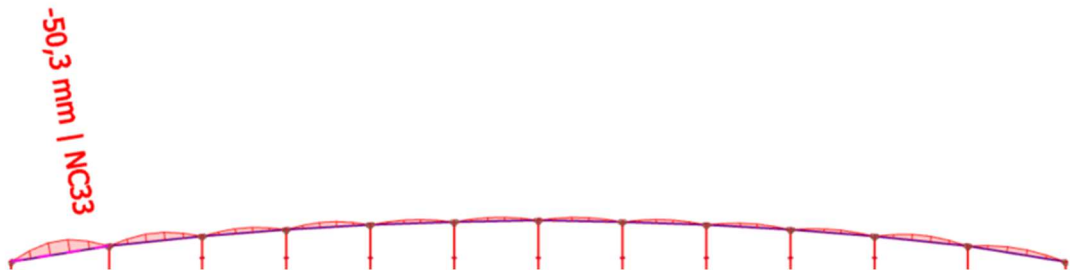
Limitní průhyb

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 31,65 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ccc} \delta_{lim} & > & \delta_y \\ 31,65 \text{ mm} & > & 50,3 \text{ mm} \end{array}$$

Nevyhovuje

Průhyb nosníku:



Nutná změna za profil TR 194x5,6

Rozpon prvku:

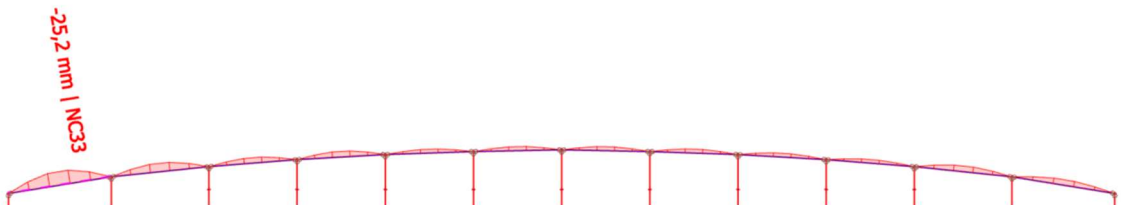
$$l = 7913 \text{ mm}$$

Limitní průhyb

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = 31,65 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ccc} \delta_{lim} & > & \delta_y \\ 31,65 \text{ mm} & > & 25,2 \text{ mm} \end{array}$$

Vyhovuje

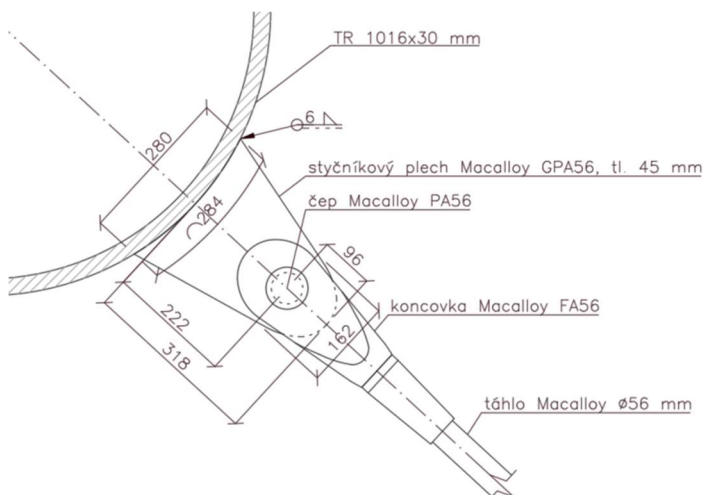


Profil **TR 194x5,6** vyhoví na MSÚ i MSP

# 11 Návrh jednotlivých detailů

## 11.1 Přípoj táhla na oblouk

Přípoj táhla na oblouk je proveden přes styčnický plech GPA56 tl. 45 mm. Návrh proveden na maximální tahovou sílu v táhle. Rozměry styčnickového plechu jsou převzaty od výrobce. Posouzen bude svar styčnickového plechu k oblouku a únosnost styčnicku se styčnickovým plechem.



### Únosnost svaru

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 825,57$ kN |
| Úhel                             | $\alpha = 90^\circ$  |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 826$ kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 0$ kN    |
| Materiál                         | Ocel S355            |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$ MPa      |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$ MPa      |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| Návrh svaru:          | 2x koutový svar              |
| Účinná tloušťka svaru | $a = 6$ mm                   |
| Délka svaru           | $L_w = 284$ mm               |
| Plocha svaru          | $A_w = 3408$ mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 171,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$342,59 \text{ MPa} < 435,6 \text{ MPa}$$

Využití:

Vyhovuje 78,7 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_{u}}{\gamma_{M2}}$$

$$171,29 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa}$$

Využití:

Vyhovuje 48,6 %

## Únosnost styčníku se styčnickovými plechy

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Návrhová síla            | $F_{Ed} = 825,57$ kN  |
| Materiál                 | Ocel S355             |
| Mez kluzu                | $f_{y0} = 355$ MPa    |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{Ms} = 1,00$  |
| Síla v pásu              | $N_{0,Ed} = 11195$ kN |
| Moment v pásu            | $M_{0,Ed} = 1046$ kNm |

**Průřez pásu** TR 1016x30

$$A = 92930 \text{ mm}^2$$

$$d_0 = 1016 \text{ mm}$$

$$t_0 = 30 \text{ mm}$$

$$W_y = 2,9E+07 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{p,Ed} = N_{0,Ed}/A + M_{0,Ed}/W_y \quad \sigma_{p,Ed} = 156,289 \text{ MPa}$$

$$n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0} \quad n_p = 0,44$$

$$k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p) \leq 1,0 \quad k_p = 0,81$$

$$b_i = 280 \text{ mm}$$

$$t_i = 45 \text{ mm}$$

$$\beta = b_i/d_0 \quad \beta = 0,276 > 0,25$$

**Porušení povrchu pásu**

$$N_{i,Rd} = k_p t_0^2 (4 + 20\beta^2) \frac{f_{y0}}{\gamma_{Ms}} \quad N_{i,Rd} = 1427,90 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & N_{i,Rd} \\ 825,57 \text{ kN} & < & 1427,9 \text{ kN} \end{array}$$

**Vyhovuje**  
57,8 %

**Využití:**

**Porušení prolomení smykem**

$$\sigma_{max} t_i = (F_{Ed}/A_i) t_i \quad \sigma_{max} t_i = 2948,46 \text{ N/mm}$$

$$\begin{array}{ccc} \sigma_{max} t_i & < & 2t_0(f_{y0}/\sqrt{3})/\gamma_{Ms} \\ 2948,46 \text{ N/mm} & < & 12297,6 \text{ N/mm} \end{array}$$

**Vyhovuje**  
24,0 %

**Využití:**





### 11.2.1 Připojení táhla k vazníku

Ukázka přivaření samotného plechu, který nevyhoví.

#### Únosnost styčnicku se styčnickovými plechy

|                          |                 |             |     |
|--------------------------|-----------------|-------------|-----|
| Návrhová síla            | $F_{Ed} =$      | <b>800</b>  | kN  |
| Materiál                 | Ocel            | <b>S355</b> |     |
| Mez kluzu                | $f_{y0} =$      | 355         | MPa |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M5} =$ | 1,00        |     |
| Síla v pásu              | $N_{0,Ed} =$    | 300         | kN  |
| Moment v pásu            | $M_{0,Ed} =$    | 20          | kNm |

#### Průřez pásu

**TR 219x9**

$$A = 5938 \text{ mm}^2$$

$$d_0 = 219 \text{ mm}$$

$$t_0 = 9 \text{ mm}$$

$$W_y = 299000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{p,Ed} = N_{0,Ed}/A + M_{0,Ed}/W_y$$

$$\sigma_{p,Ed} = 117,412 \text{ MPa}$$

$$n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0}$$

$$n_p = 0,33$$

$$k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p) \leq 1,0$$

$$k_p = 0,87$$

$$h_i = 650 \text{ mm}$$

$$t_i = 15 \text{ mm}$$

$$\eta = h_i/d_0$$

$$\eta = 2,968 < 4,0$$

#### Porušení povrchu pásu

$$N_{i,Rd} = 5k_p t_0^2 (1 + 0,25\eta) \frac{f_{y0}}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{i,Rd} = 217,39 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{800,00 \text{ kN}}$$

$$2 \cdot N_{i,Rd}$$

$$< 434,8 \text{ kN}$$

**Nevyhovuje**

**Využití:**

**184,0 %**

#### Porušení prolomení smykem

$$\sigma_{max} t_i = (F_{Ed}/A_i) t_i$$

$$\sigma_{max} t_i = 1230,77 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{max} t_i$$

$$< 2t_0(f_{y0}/\sqrt{3})/\gamma_{M5}$$

$$1230,77 \text{ N/mm}$$

$$< 3689,3 \text{ N/mm}$$

**Vyhovuje**

**Využití:**

**33,4 %**

## Návrh připojení diagonál k vloženému plechu

Posudek svarů diagonál a případně svislic na jiných vaznicích byl proveden tak, aby přenesly maximální zatížení. V našem případě bude proveden posudek dvou diagonál.

Maximální síla v diagonále D1= **160,44 kN**

Maximální síla v diagonále D2= **476,30 kN**

Minimální délka svaru diagonály D1 s plechem je 150 mm

### Únosnost svaru

|                                  |                 |               |            |
|----------------------------------|-----------------|---------------|------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>160,44</b> | <b>kN</b>  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>0</b>      | <b>°</b>   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | <b>0</b>      | <b>kN</b>  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | <b>160</b>    | <b>kN</b>  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b>   |            |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | <b>355</b>    | <b>MPa</b> |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | <b>490</b>    | <b>MPa</b> |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | <b>1,25</b>   |            |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | <b>0,9</b>    |            |

|                       |                        |            |                       |
|-----------------------|------------------------|------------|-----------------------|
| <b>Návrh svaru:</b>   | <b>2x koutový svar</b> |            |                       |
| Účinná tloušťka svaru | $a =$                  | <b>3</b>   | <b>mm</b>             |
| Délka svaru           | $L_w =$                | <b>150</b> | <b>mm</b>             |
| Plocha svaru          | $A_w =$                | <b>900</b> | <b>mm<sup>2</sup></b> |

|   |                                   |               |            |
|---|-----------------------------------|---------------|------------|
| Napětí ve svaru   |                                   |               |            |
| $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$ | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | <b>0,00</b>   | <b>MPa</b> |
| $\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$                             | $\tau_{\parallel} =$              | <b>178,27</b> | <b>MPa</b> |

|                        |   |                  |
|------------------------|---|------------------|
| <b>Posouzení svaru</b> | $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ |                  |
| <b>308,77 MPa</b>      | <b>&lt;</b>   | <b>435,6 MPa</b> |

|   |                 |                  |
|---|-----------------|------------------|
| <b>Využití:</b>                                   | <b>Vyhovuje</b> | <b>70,9 %</b>    |
| $\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$ | <b>0,00 MPa</b> | <b>&lt;</b>      |
|   |                 | <b>352,8 MPa</b> |

|                 |                 |              |
|-----------------|-----------------|--------------|
| <b>Využití:</b> | <b>Vyhovuje</b> | <b>0,0 %</b> |
|-----------------|-----------------|--------------|

Minimální délka svaru diagonály D2 s plechem je 300 mm

## Únosnost svaru

|                                  |                 |             |     |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-----|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>476</b>  | kN  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>0</b>    | °   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 0           | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 476         | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b> |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355         | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490         | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25        |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9         |     |

### Návrh svaru:

### 2x koutový svar

|                       |         |      |                 |
|-----------------------|---------|------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 4    | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 300  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 2400 | mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 198,33 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$343,52 \text{ MPa} < 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Využití:

78,9 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0,00 \text{ MPa}$$

<

$$352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Využití:

0,0 %

## 11.2.2 Připojení svislých ztužidel

Připojení svislých ztužidel bude provedeno přes navařený styčnickový plech na vazníku a sešroubováno se ztužidlem. V místě přípoje táhla je maximální síla v pásu ztužidla 194,9 kN. Maximální síla v připojení šikmého prvku svislého ztužidla je 119,3 kN

### Návrh šroubového přípoje horního pásu ztužidla

#### Únosnost šroubového přípoje

|                       |             |              |                 |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Návrhová síla         | $F_{Ed} =$  | <b>194,9</b> | <b>kN</b>       |
| Návrh šroubů          | <b>2x</b>   | <b>M20</b>   | <b>8.8</b>      |
| Mez kluzu šroubů      | $f_{v,b} =$ | 640          | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$ | 800          | MPa             |
| Průměr šroubů         | $d =$       | 20           | mm              |
| Průměr otvoru         | $d_0 =$     | 22           | mm              |
| Plocha šroubu (závit) | $A_s =$     | 245          | mm <sup>2</sup> |

#### Rozteče šroubů

|         |       |         |       |
|---------|-------|---------|-------|
| $p_1 =$ | mm    | $e_1 =$ | 50 mm |
| $p_2 =$ | 80 mm | $e_2 =$ | 50 mm |

#### Materiál

Ocel S355

|                     |         |         |
|---------------------|---------|---------|
| Tloušťka plechu     | $t_p =$ | 10 mm   |
| Mez pevnosti plechu | $f_u =$ | 490 MPa |

#### Součinitele geometrie a materiálu

|         |     |              |      |
|---------|-----|--------------|------|
| $k_1 =$ | 2,5 | $\alpha_b =$ | 0,76 |
|         |     | $\alpha_v =$ | 0,6  |

|                          |                 |      |
|--------------------------|-----------------|------|
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{M2} =$ | 1,25 |
| Počet šroubů             | $n =$           | 2    |

#### Únosnost ve stříhu

počet střízných ploch  $n_s =$  2

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{vb}}{\gamma_{M2}} \quad F_{v,Rd} = 188,16$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 194,90 \text{ kN} & < & 376,3 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití: 51,8 %

#### Porušení v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = 148,48$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 194,90 \text{ kN} & < & 297,0 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití: 65,6 %

## Návrh šroubového přípoje diagonály ztužidla

### Únosnost šroubového přípoje

|                       |             |              |                 |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Návrhová síla         | $F_{Ed} =$  | <b>119,3</b> | <b>kN</b>       |
| Návrh šroubů          | <b>2x</b>   | <b>M20</b>   | <b>8.8</b>      |
| Mez kluzu šroubů      | $f_{v,b} =$ | 640          | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$ | 800          | MPa             |
| Průměr šroubů         | $d =$       | 20           | mm              |
| Průměr otvoru         | $d_0 =$     | 22           | mm              |
| Plocha šroubu (závit) | $A_s =$     | 245          | mm <sup>2</sup> |

#### Rozteče šroubů

|         |       |         |       |
|---------|-------|---------|-------|
| $p_1 =$ | 55 mm | $e_1 =$ | 40 mm |
| $p_2 =$ | 0 mm  | $e_2 =$ | 60 mm |

#### Materiál

|                     |         |         |
|---------------------|---------|---------|
| Tloušťka plechu     | $t_p =$ | 8 mm    |
| Mez pevnosti plechu | $f_u =$ | 490 MPa |

#### Součinitele geometrie a materiálu

|         |     |              |      |
|---------|-----|--------------|------|
| $k_1 =$ | 2,5 | $\alpha_b =$ | 0,58 |
|         |     | $\alpha_v =$ | 0,6  |

#### Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

#### Počet šroubů

$$n = 2$$

#### Únosnost ve stříhu

počet střízných ploch

$$n_s = 1$$

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{vb}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 94,08$$

$$\frac{F_{Ed}}{119,30 \text{ kN}} < \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{188,2 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití:

63,4 %

#### Porušení v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 91,47$$

$$\frac{F_{Ed}}{119,30 \text{ kN}} < \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{182,9 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití:

65,2 %

## Návrh svaru plechu přípoje pásu ztužidla

### Únosnost svaru

|                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 194,9$     | kN          |
| Úhel                             | $\alpha = 0$         | °           |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 0$       | kN          |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 195$     | kN          |
| Materiál                         | Ocel                 | <b>S355</b> |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$          | MPa         |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$          | MPa         |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |             |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |             |

#### Návrh svaru:

#### 4x koutový svar

|                       |             |                 |
|-----------------------|-------------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a = 3$     | mm              |
| Délka svaru           | $L_w = 80$  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w = 960$ | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 203,02 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**351,64 MPa < 435,6 MPa**

Vyhovuje

**80,7 %**

#### Využití:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**0,00 MPa < 352,8 MPa**

Vyhovuje

#### Využití:

**0,0 %**

## Návrh svaru plechu přípoje diagonály ztužidla

### Únosnost svaru

|                                  |                 |              |     |
|----------------------------------|-----------------|--------------|-----|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>119,3</b> | kN  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>0</b>     | °   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 0            | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 119          | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b>  |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355          | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490          | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25         |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9          |     |

#### Návrh svaru:

#### 4x koutový svar

|                       |         |     |                 |
|-----------------------|---------|-----|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 3   | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 60  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 720 | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 165,69 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$286,99 \text{ MPa}$$

<

$$435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

#### Využití:

65,9 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0,00 \text{ MPa}$$

<

$$352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

#### Využití:

0,0 %



### 11.2.3 Připojení vodorovný ztužidel

Připojení vodorovných ztužidel bude provedeno přes navařený styčnickový plech na vazníku a sešroubováno se ztužidlem. V místě přípoje táhla je maximální síla ve ztužidle 315 kN.

Návrh šroubového přípoje ztužidla

#### Únosnost šroubového přípoje

|   |                 |              |                    |
|---|-----------------|--------------|--------------------|
| Návrhová síla   | $F_{Ed} =$      | 315          | kN                 |
| Návrh šroubů  | 2x              | M24          | 8.8                |
| Mez kluzu šroubů  | $f_{y,b} =$     | 640          | MPa                |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$     | 800          | MPa                |
| Průměr šroubů   | $d =$           | 24           | mm                 |
| Průměr otvoru   | $d_0 =$         | 26           | mm                 |
| Plocha šroubu (závit)   | $A_s =$         | 353          | mm <sup>2</sup>    |
| <b>Rozteče šroubů</b>   |                 |              |                    |
| $p_1 =$   | mm              | $e_1 =$      | 65 mm              |
| $p_2 =$   | 100 mm          | $e_2 =$      | 70 mm              |
| <b>Materiál</b>   |                 |              |                    |
| Tloušťka plechu   | $t_p =$         | 10           | mm                 |
| Mez pevnosti plechu   | $f_u =$         | 490          | MPa                |
| <b>Součinitele geometrie a materiálu</b>                                      |                 |              |                    |
| $k_1 =$   | 2,5             | $\alpha_b =$ | 0,83               |
|   |                 | $\alpha_v =$ | 0,6                |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M2} =$ | 1,25         |                    |
| Počet šroubů  | $n =$           | 2            |                    |
| <b>Únosnost ve stříhu</b>   |                 |              |                    |
| počet střízných ploch   | $n_s =$         | 2            |                    |
| $F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$          | $F_{v,Rd} =$    | 271,10       |                    |
|   | $F_{Ed}$        |              | $n \cdot F_{v,Rd}$ |
|   | 315,00 kN       | <            | 542,2 kN           |
|   | Vyhovuje        |              |                    |
| Využití:  |                 | 58,1         | %                  |
| <b>Porušení v otláčení</b>  |                 |              |                    |
| $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$ | $F_{b,Rd} =$    | 196,00       |                    |
|   | $F_{Ed}$        |              | $n \cdot F_{v,Rd}$ |
|   | 315,00 kN       | <            | 392,0 kN           |
|   | Vyhovuje        |              |                    |
| Využití:  |                 | 80,4         | %                  |

## Návrh svaru plechu přípoje ztužidla

### Únosnost svaru

|                                  |                 |             |     |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-----|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>315</b>  | kN  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>0</b>    | °   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 0           | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 315         | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b> |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355         | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490         | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25        |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9         |     |

#### Návrh svaru:

#### 4x koutový svar

|                       |         |      |                 |
|-----------------------|---------|------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 4    | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 100  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 1600 | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 196,88 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

341,00 MPa < 435,6 MPa

Vyhovuje

#### Využití:

78,3 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

0,00 MPa < 352,8 MPa

Vyhovuje

#### Využití:

0,0 %

## Návrh svaru plechu styčnicku k trubce

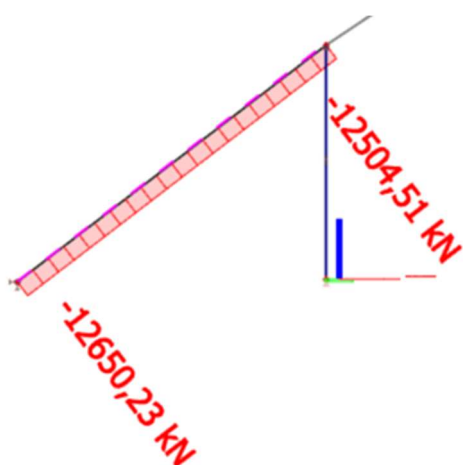
Tento svar bude proveden konstrukční vzhledem k délce prvku a zároveň svaření vložených plechů kolmo k sobě.

## 11.3 Návrh čepu oblouku

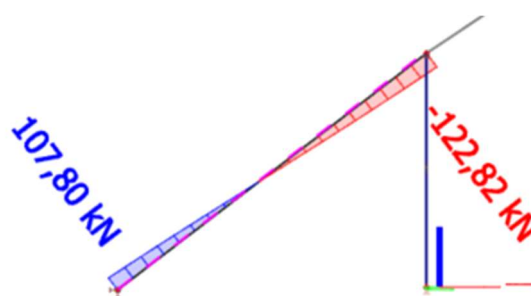
Čepový spoj je navržen jako čtyř střížný spoj s průměrem čepu 180 mm. Spoj je tvořen celkem 5 plechy, dva plechy (tl.60 mm) jsou přivařeny k oblouku a další tři plechy (1x tl. 60 mm a 2x tl. 40 mm) jsou přivařeny k ocelové konstrukci, která bude vložena do výkopu, proarmována a následně zalita betonem. Konstrukcí budou procházet předpínací lana a pod stadionem povede železobetonové předpjaté táhlo. Návrh tohoto zemního táhla není součástí diplomové práce.

Přípoj je navržen na maximální tlakovou sílu v kombinaci s posouvající silou v oblouku  
Čep je navržený jako výměnný.

Maximální normálová síla



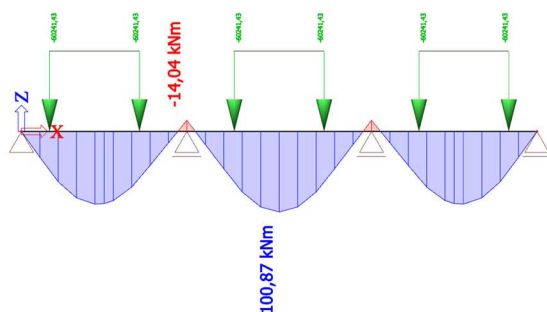
Posouvající síla



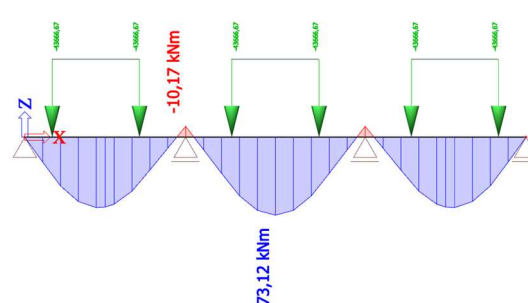
Výsledná síla pro návrh

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{12650,23^2 + 107,8^2} = 12650,7 \text{ kN}$$

Moment  $M_{Ed}$



Moment  $M_{Ed,ser}$



## Únosnost čepového přípoje

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Návrhová síla   | $F_{Ed} = 12650,7$ kN           |
| Návrhová síla v MSP   | $F_{Ed,ser} = 9170$ kN          |
| Materiál čepu   | Ocel S420                       |
| Mez kluzu   | $f_{yp} = 390$ MPa              |
| Mez pevnosti  | $f_{up} = 520$ MPa              |
| Materiál konstrukce   | Ocel S355                       |
| Mez kluzu   | $f_y = 335$ MPa                 |
| Mez pevnosti  | $f_u = 470$ MPa                 |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} = 1,00$            |
|   | $\gamma_{M2} = 1,25$            |
|   | $\gamma_{M6,ser} = 1,00$        |
| Průměr čepu   | $d = 240$ mm                    |
| Průměr otvoru   | $d_0 = 243$ mm                  |
| Plocha čepu   | $A = 45238,9$ mm <sup>2</sup>   |
| Průřezový modul   | $W_y = 1357168$ mm <sup>3</sup> |
| <b>Geometrie čepu</b>   |                                 |
| $a = 40$ mm   | $t = 70$ mm                     |
|   | $c = 2$ mm                      |
|   | $M_{Ed} = 100,87$ kNm           |
|   | $M_{Ed,ser} = 73,12$ kNm        |
| <b>Únosnost čepu ve stříhu</b>  |                                 |
| $F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}}$               | $F_{v,Rd} = 11291,6$ kN         |
| $F_{Ed}$  | $n_s \cdot F_{v,Rd}$            |
| 12650,70 kN   | < 67749,8 kN                    |
| Vyhovuje  |                                 |
| Využití:  | 18,7 %                          |
| <b>Únosnost čepu otažení</b>  |                                 |
| $F_{b,Rd} = 1,5 \cdot d \cdot \Sigma t \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$         | $F_{b,Rd} = 25326,0$ kN         |
| $F_{Ed}$  | $F_{b,Rd}$                      |
| 12650,70 kN   | < 25326,0 kN                    |
| Vyhovuje  |                                 |
| Využití:  | 50,0 %                          |
| $F_{b,Rd,ser} = 0,6 \cdot d \cdot \Sigma t \frac{f_y}{\gamma_{M6,ser}}$ | $F_{b,Rd,ser} = 10130,4$ kN     |
| $F_{Ed,ser}$  | $F_{b,Rd}$                      |
| 9170,00 kN  | < 10130,4 kN                    |
| Vyhovuje  |                                 |
| Využití:  | 90,5 %                          |

### Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5W_{el} \frac{f_{yp}}{Y_{M0}} \quad M_{Rd} = 793,94 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{100,87 \text{ kNm}}{793,9 \text{ kNm}} < 1$$

Vyhovuje

Využití: 12,7 %

$$M_{Rd} = 0,8W_{el} \frac{f_{yp}}{Y_{M6,ser}} \quad M_{Rd} = 423,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed,ser}}{M_{Rd}} = \frac{73,12 \text{ kNm}}{423,4 \text{ kNm}} < 1$$

Vyhovuje

Využití: 17,3 %

### Posudek kombinace stříhu a ohybu

$$0,016 + \frac{\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right]^2}{0,035} + \frac{\left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right]^2}{0,051} \leq 1,0$$

$$0,016 + 0,035 < 1,0$$

$$0,051 < 1,0$$

Vyhovuje

### Posudek napětí v kontaktu

$$f_{h,Ed} = 2,5 f_y / Y_{M6,ser} \quad f_{h,Ed} = 837,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{EF_{Ed,ser}(d_0 - d)}{d^2 \tau}} \quad \sigma_{h,Ed} = 707,4 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{h,Ed}}{f_{h,Ed}} = \frac{707,43 \text{ kNm}}{837,5 \text{ kNm}} < 1$$

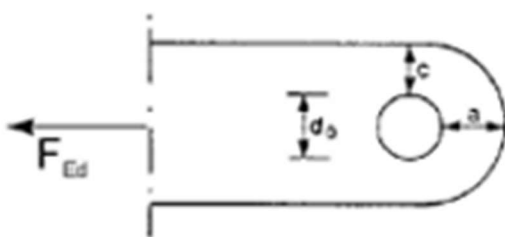
Vyhovuje

Využití: 84,5 %

### Zbývá geometrie plechu

$$a \geq \frac{F_{Ed} Y_{M0}}{2\tau f_y} + \frac{2d_0}{3} \quad a_{min} = 431,74 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} Y_{M0}}{2\tau f_y} + \frac{2d_0}{3} \quad c_{min} = 350,7 \text{ mm}$$



## Návrh svarů plechů vložených do trubky tvořící oblouk

### Únosnost svaru

|                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 12650,2$   | kN          |
| Úhel                             | $\alpha = 0$         | °           |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 0$       | kN          |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 12650$   | kN          |
| Materiál                         | Ocel                 | <b>S355</b> |
| Mez kluzu                        | $f_y = 335$          | MPa         |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 470$          | MPa         |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |             |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |             |

|                       |                         |                 |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| <b>Návrh svaru:</b>   | <b>12x koutový svar</b> |                 |
| Účinná tloušťka svaru | $a = 6$                 | mm              |
| Délka svaru           | $L_w = 900$             | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w = 64800$           | mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 195,22 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**338,13 MPa** < **417,8 MPa**

Vyhovuje

Využití:

**80,9 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**0,00 MPa** < **338,4 MPa**

Vyhovuje

Využití:

**0,0 %**

Návrh patní desky spolu s ocelovým svařencem a založením oblouku není součástí zadání diplomové práce. Tlak se do patní desky přenesou kontaktem. Betonový blok pak bude mít podobný rozměr jako ocelový svařenec. Vodorovná síla bude zachycena již zmíněným předpjatým železobetonovým táhlem v zemi pod stadionem. Svislá síla bude do základové půdy přenášena pomocí pilot, které budou pod železobetonovým blokem. Návrh těchto pilot není součástí diplomové práce.

## 11.4 Uložení vazníku na sloup

### 11.4.1 Spoj vazník sloup

Uložení vazníku bude provedeno přes kloubový spoj. Do vazníku bude v koncové části vložen styčnickový plech pro roznoš zatížení do konstrukce. Uložení vazníku bude provedeno pro napojení šikmých sloupů. Obdobně by byl proveden přípoj pro rovné sloupy.

#### Maximální síly v přípoji

Délka šikmých prutů  $l = 4110$  mm

Výška konstrukce  $h = 3792$  mm

Šířka konstrukce  $b = 3150$  mm

Přepočet vnitřních sil:

$$F_{1,h} = 106,04 \cdot \frac{1575}{4110} = 40,64 \text{ kN}$$

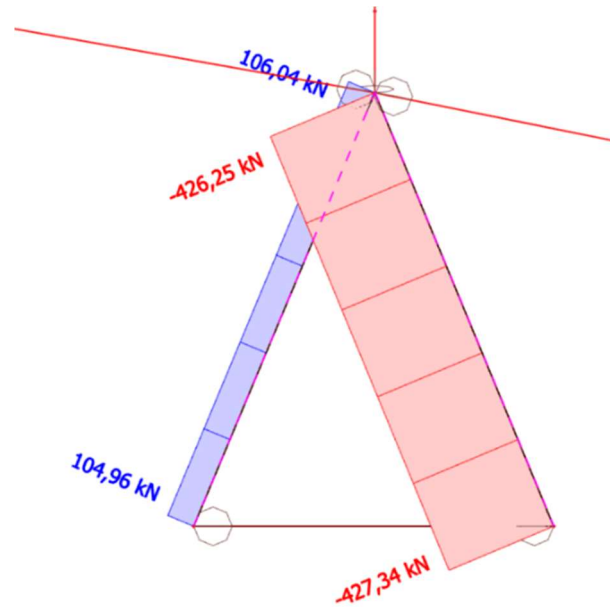
$$F_{1,v} = 106,04 \cdot \frac{3792}{4110} = 97,835 \text{ kN}$$

$$F_{2,h} = 426,25 \cdot \frac{1575}{4110} = 163,35 \text{ kN}$$

$$F_{2,v} = 426,25 \cdot \frac{3792}{4110} = 393,27 \text{ kN}$$

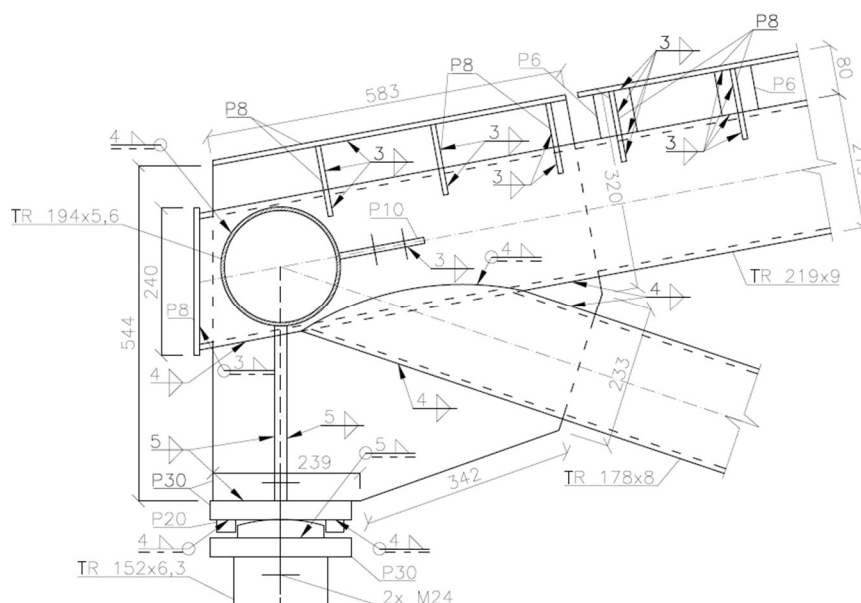
$$F_{v,Ed} = F_{2,v} - F_{1,v} = 295,435 \text{ kN}$$

$$F_{h,Ed} = F_{2,h} + F_{1,h} = 203,99 \text{ kN}$$



Přenos tlakové síly bude pomocí kontaktu. K tahu v přípoji nedojde. Šrouby a svary budou tedy navrženy na vodorovnou sílu v přípoji.

#### Detail spoje:



## Únosnost šroubového přípoje

|                       |             |        |                 |
|-----------------------|-------------|--------|-----------------|
| Návrhová síla         | $F_{Ed} =$  | 203,99 | kN              |
| Návrh šroubů          | 2x          | M24    | 8.8             |
| Mez kluzu šroubů      | $f_{v,b} =$ | 640    | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$ | 800    | MPa             |
| Průměr šroubů         | $d =$       | 24     | mm              |
| Průměr otvoru         | $d_0 =$     | 26     | mm              |
| Plocha šroubu (závit) | $A_s =$     | 353    | mm <sup>2</sup> |

### Rozteče šroubů

|         |     |    |         |     |    |
|---------|-----|----|---------|-----|----|
| $p_1 =$ | 660 | mm | $e_1 =$ | 45  | mm |
| $p_2 =$ | 0   | mm | $e_2 =$ | 115 | mm |

### Materiál

|                     |         |     |     |
|---------------------|---------|-----|-----|
| Tloušťka plechu     | $t_p =$ | 30  | mm  |
| Mez pevnosti plechu | $f_u =$ | 490 | MPa |

### Součinitele geometrie a materiálu

|         |     |              |      |
|---------|-----|--------------|------|
| $k_1 =$ | 2,5 | $\alpha_b =$ | 0,58 |
|         |     | $\alpha_v =$ | 0,6  |

### Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Počet šroubů

$$n = 2$$

### Únosnost ve stříhu

počet střízných ploch

$$n_s = 1$$

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 135,55$$

$$\frac{F_{Ed}}{203,99 \text{ kN}} < \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{271,1 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití:

75,2 %

### Porušení v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 407,08$$

$$\frac{F_{Ed}}{203,99 \text{ kN}} < \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{814,2 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití:

25,1 %



## Návrh svaru spodního pásu k roznášecímu plechu

Maximální normálová síla je 422,02 kN.

### Únosnost svaru

|                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 422,02$    | kN          |
| Úhel                             | $\alpha = 0$         | °           |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 0$       | kN          |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 422$     | kN          |
| Materiál                         | Ocel                 | <b>S355</b> |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$          | MPa         |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$          | MPa         |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |             |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |             |

|                       |                        |                      |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Návrh svaru:</b>   | <b>2x koutový svar</b> |                      |
| Účinná tloušťka svaru | $a =$                  | 4 mm                 |
| Délka svaru           | $L_w =$                | 250 mm               |
| Plocha svaru          | $A_w =$                | 2000 mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 211,01 \text{ MPa}$$

**Posouzení svaru**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**365,48 MPa < 435,6 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití: 83,9 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**0,00 MPa < 352,8 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití: 0,0 %**

Délka koutového svaru musí být minimálně 250 mm. Tato délka by mohla být kratší, avšak muselo by se počítat i se svarem na horní pás.

## 11.4.2 Napojení trubek na svařenec

Napojení bude provedeno pomocí šroubového přípoje s čelními deskami.

### Únosnost montážního přípoje

|                                       |                 |       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová síla                         | $F_{L,Ed} =$    | 126   | kN              |
| Návrh šroubů                          | 4x              | M16   | 8.8             |
| Počet šroubů                          | $n =$           | 4     |                 |
| Mez kluzu šroubů                      | $f_{v,b} =$     | 640   | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů                   | $f_{u,b} =$     | 800   | MPa             |
| Průměr šroubů                         | $d =$           | 16    | mm              |
| Průměrná vzdálenost hran a rohů hlavy | $d_m =$         | 25,38 | mm              |
| Průměr otvoru                         | $d_0 =$         | 18    | mm              |
| Plocha šroubu (závit)                 | $A_s =$         | 157   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti              | $\gamma_{M2} =$ | 1,25  |                 |
|                                       | $\gamma_{M0} =$ | 1,00  |                 |

#### Únosnost 1 šroubu v tahu

$$F_{t,Rd,b} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad F_{t,Rd,b} = 90,43 \text{ kN}$$

#### Geometrie přípoje

|   |         |     |    |
|---|---------|-----|----|
| Průměr trubky                           | $d_1 =$ | 152 | mm |
| Tloušťka stěny trubky                   | $t_1 =$ | 6,3 | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k trubce        | $e_1 =$ | 30  | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k okraji plechu | $e_2 =$ | 35  | mm |
| Vzdálenost šroubů od sebe po kružnici   | $p_2 =$ | 167 | mm |

#### Materiál

Ocel S355

|                 |            |     |     |
|-----------------|------------|-----|-----|
| Mez kluzu       | $f_{yp} =$ | 355 | MPa |
| Mez pevnosti    | $f_{up} =$ | 490 | MPa |
| Tloušťka plechu | $t_p =$    | 15  | mm  |

#### Porušení čelní desky

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 \quad r_2 = 106 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} \quad r_3 = 72,85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2/r_3) \quad k_1 = 0,38$$

$$k_3 = k_1 + 2 \quad k_3 = 2,38$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} (k_3 + (k_3^2 - 4k_1)^{0,5}) \quad f_3 = 5,88$$

$$F_{t,Rd,1} = \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot \gamma_{M0}} = 737,66 \text{ kN}$$

#### Porušení šroubů a čelní desky

$$e_{eff} = \min(e_2; 1,25e_1) \quad e_{eff} = 35 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \quad r_1 = 141 \text{ mm}$$

$$F_{t,Rd,2} = \frac{n \cdot F_{t,Rd,b}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)}\right)} = 253,66 \text{ kN}$$

#### Porušení šroubů

$$F_{t,Rd,3} = n \cdot F_{t,Rd,b} = 361,7 \text{ kN}$$

#### Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad B_{p,Rd} = 281,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,4} = n \cdot B_{p,Rd} = 1125,0 \text{ kN}$$

#### Posouzení

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,1}; F_{t,Rd,2}; F_{t,Rd,3}) \quad F_{t,Rd} = 253,7 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} < 1 \quad \frac{126,00 \text{ kN}}{253,7 \text{ kN}} < 1$$

Vyhovuje  
49,7 %

Využití:

## Návrh svaru trubky k čelní desce

### Únosnost svaru

|                                  |                 |              |     |
|----------------------------------|-----------------|--------------|-----|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>126,3</b> | kN  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>90</b>    | °   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 126          | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 0            | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b>  |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355          | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490          | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25         |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9          |     |

#### Návrh svaru:

#### 1x koutový svar

|                       |         |      |                 |
|-----------------------|---------|------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 4    | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 477  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 1908 | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 46,81 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$93,61 \text{ MPa} < 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

#### Využití:

21,5 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$46,81 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

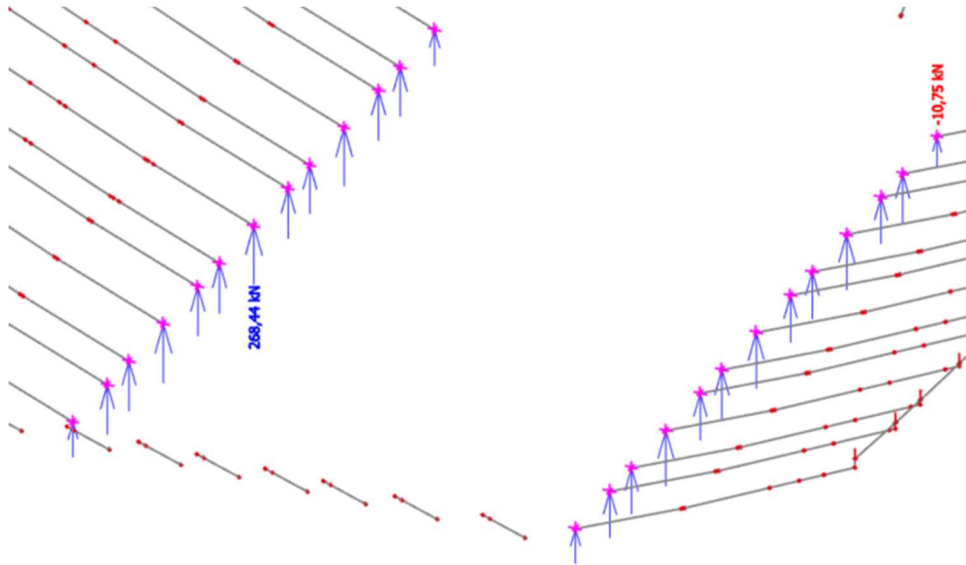
#### Vvužití:

13,3 %

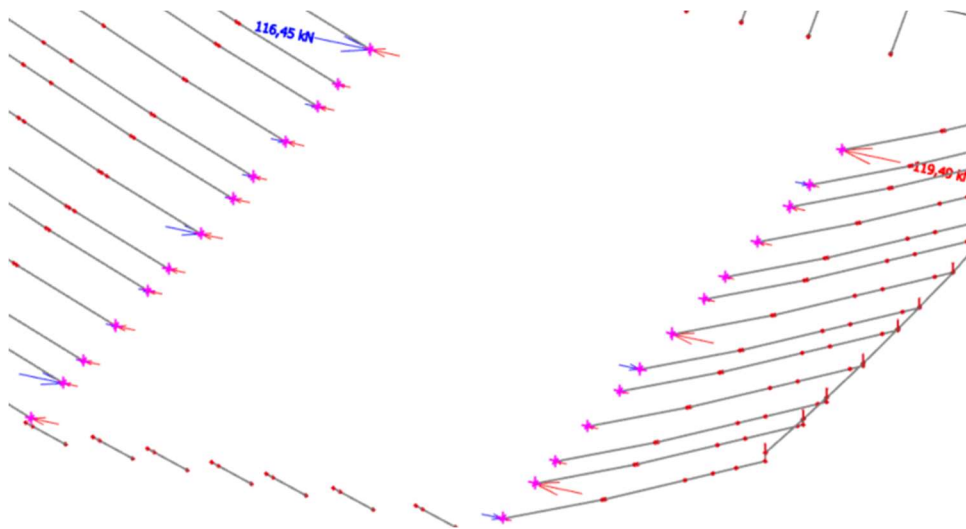
## 11.5 Návrh kotvení tribun

Návrh bude proveden na patní plech. V rámci detailu bude navržen patní plech a kotevní šrouby. Plech bude navržen bezpečně na maximální svislou sílu a zároveň na maximální vodorovnou sílu.

### Maximální svislá reakce



### Maximální svislá reakce



Návrh kotev je proveden v softwaru Fischer  
Kotvy jsou navrženy pro přenos smykové síly.

**Detaily návrhu****Kotva**

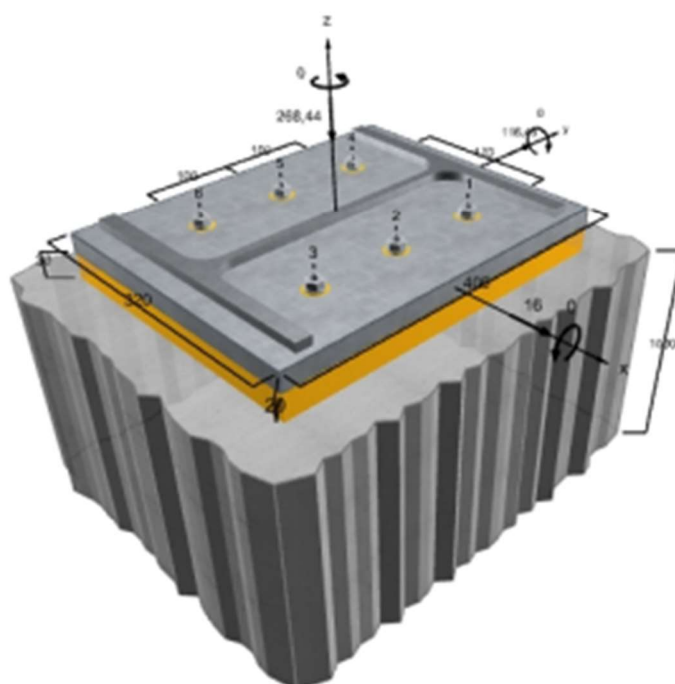
Kotevní systém Injektážní systém fischer Highbond FIS HB s kotevním šroubem FHB II-AS

Injektážní chemická malta FIS HB 360 S  
Upevňovací prvek FHB II-AS M16 x 95/60 A4,  
A4, s injektážní podložkou

Kotevní hloubka 95 mm  
Návrhová data ETA-05/0164 (14.12.2017)

**Jednotky**

Geometrie mm  
Návrhová zatížení kN, kNm



Měřítko neodpovídá

### Vstupní údaje

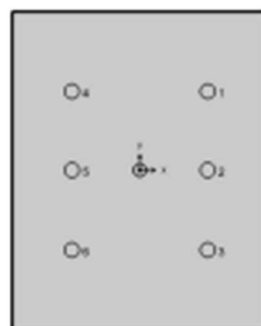
|                        |  |
|------------------------|--|
| Návrhová metoda        | EN 1992-4:2018                                     |
| Kotevní podklad        | Běžný beton, C20/25, EN 206:2013                   |
| Vlastnosti betonu      | Tlačená zóna, Suchý otvor                          |
| Teplotní rozsah        | 24 °C Dlouhodobá teplota, 40 °C Krátkodobá teplota |
| Výžuč                  | Běžná nebo žádná výžuč, Bez podélné výžuche        |
| Způsob vrtání          | Přiklepové vrtání                                  |
| Typ montáže            | Průvěčná montáž                                    |
| Prstencová mezera      | Vyplněná   |
| Typ zatížení           | Statické a kvazistatické                           |
| Umístění kotevní desky | Kotevní deska s nenosnou vrstvou                   |
| Rozměry kotevní desky  | 320 mm x 400 mm x 20 mm                            |
| Typ profilu            | HEA (IPBI) HEA 360                                 |

### Návrhová zatížení včetně bezpečnostních součinitelů

| Stav | $N_{Ed}$<br>kN | $V_{Ed,x}$<br>kN | $V_{Ed,y}$<br>kN | $M_{Ed,x}$<br>kNm | $M_{Ed,y}$<br>kNm | $M_{Ed,z}$<br>kNm | Typ zatížení             | Název |
|------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| 1    | -268,44        | 16,00            | 116,45           | 0,00              | 0,00              | 0,00              | Statické a kvazistatické |       |

### Výsledná reakce kotev

| Kotva č. | Tahové zatížení<br>kN | Smykové<br>zatížení<br>kN | Smykové<br>zatížení x<br>kN | Smykové<br>zatížení y<br>kN |
|----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |
| 2        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |
| 3        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |
| 4        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |
| 5        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |
| 6        | 0,00                  | 19,59                     | 2,67                        | 19,41                       |



|                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Max. tlakové napětí v betonu | 0,07 ‰                            |
| Max. tlak v betonu           | 2,11 N/mm <sup>2</sup>            |
| Výsledná tahová zatížení     | 0,00 kN, Umístění XY (0 / 0 mm)   |
| Výsledná tlaková zatížení    | 268,44 kN, Umístění XY (0 / 0 mm) |

### Odolnost proti smykovému zatížení

| Posouzení                           | Zatížení<br>kN | Únosnost<br>kN | Využití $\beta_v$<br>% |
|-------------------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| Selhání oceli při zatížení smykem * | 19,59          | 35,11          | 55,0                   |
| Vypáčení                            | 117,54         | 165,00         | 71,2                   |

\* Nejnepráznivější kotva

#### Selhání oceli při zatížení smykem

| $V_{Rk,s}$<br>kN | $\gamma_{Ms}$ | $V_{Rd,s}$<br>kN | $V_{Ed}$<br>kN | $\beta_{v,s}$<br>% |
|------------------|---------------|------------------|----------------|--------------------|
| 43,89            | 1,25          | 35,11            | 19,59          | 55,8               |

#### Vypáčení

| $V_{Rk,cp}$<br>kN | $\gamma_{Mc}$ | $V_{Rd,cp}$<br>kN | $V_{Ed}$<br>kN | $\beta_{v,cp}$<br>% |
|-------------------|---------------|-------------------|----------------|---------------------|
| 247,51            | 1,50          | 165,00            | 117,54         | 71,2                |

### Odolnost proti kombinaci tahového a smykového zatížení

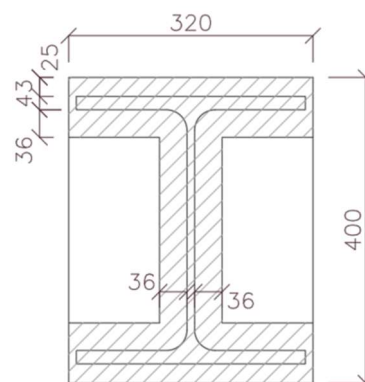
Rozhoduje využití nosnosti ve smyku  $\beta_v = 71,24 \%$



Důkaz úspěšný

## Návrh patního plechu

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Návrhová síla   | $N_{Ed} = 268,4$ kN                |
| Materiál  | Ocel S355                          |
| Mez kluzu   | $f_y = 355$ MPa                    |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M0} = 1,00$               |
| Materiál  | Beton C30/37                       |
| Charakteristická pevnost v tlaku                                  | $f_{ck} = 30$ MPa                  |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_c = 1,50$                  |
| Návrhová pevnost v tlaku  | $f_{cd} = 20$ MPa                  |
| Rozměr roznášecí hlavy  | $a = 1000$ mm                      |
|   | $b = 1000$ mm                      |
|   | $h = 700$ mm                       |
| Rozměry plechu  | $a_0 = 400$ mm                     |
|   | $b_0 = 320$ mm                     |
| Tloušťka plechu   | $t = 20,00$ mm                     |
| Započítatelné rozměry betonové patky                              |                                    |
| $a_1 = \min(3a_0; a_0 + h; a)$                                    | $a_1 = 1000$ mm                    |
| $b_1 = \min(3b_0; b_0 + h; b)$                                    | $b_1 = 960$ mm                     |
| Návrhová pevnost betonu v uložení                                 |                                    |
| $A_{c,1} = a_1 \cdot b_1$   | $A_{c,1} = 960000$ mm <sup>2</sup> |
| $A_{c,0} = a_0 \cdot b_0$   | $A_{c,0} = 128000$ mm <sup>2</sup> |
| $f_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c,1}}{A_{c,0}}}$           | $f_{Rdu} = 54,77$ MPa              |
| Návrhová pevnost betonu   |                                    |
| Součinitel podlití  | $\beta_j = 0,667$                  |
| $f_{jd} = \beta_j \cdot f_{Rdu}$                                  | $f_{jd} = 36,51$ Mpa               |
| Účinná šířka patního plechu                                       |                                    |
| $c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}}$ | $c = 36,00$ mm                     |
| Účinná plocha patního plechu                                      | $A_{eff} = 70166$ mm <sup>2</sup>  |
| Posouzení únosnosti   |                                    |
| $N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd}$                                   | $N_{Rd} = 2562,1$ kN               |
|   | $< N_{Ed}$                         |
|   | $< 2562,1$ kN                      |
| Využití:  | 10,5 %                             |



## Návrh svaru nosníku k patnímu plechu

Tlak bude přenášen kontaktem. Svar bude posouzen na vodorovnou sílu.

### Únosnost svaru

|                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 119,4$     | kN          |
| Úhel                             | $\alpha = 0$         | °           |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 0$       | kN          |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 119$     | kN          |
| Materiál                         | Ocel                 | <b>S355</b> |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$          | MPa         |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$          | MPa         |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |             |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |             |

#### Návrh svaru:

#### 2x koutový svar

|                       |              |                 |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a = 4$      | mm              |
| Délka svaru           | $L_w = 261$  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w = 2088$ | mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\parallel} = 57,18 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

99,05 MPa < 435,6 MPa

Vyhovuje

Využití:

22,7 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

0,00 MPa < 352,8 MPa

Vyhovuje

Využití:

0,0 %

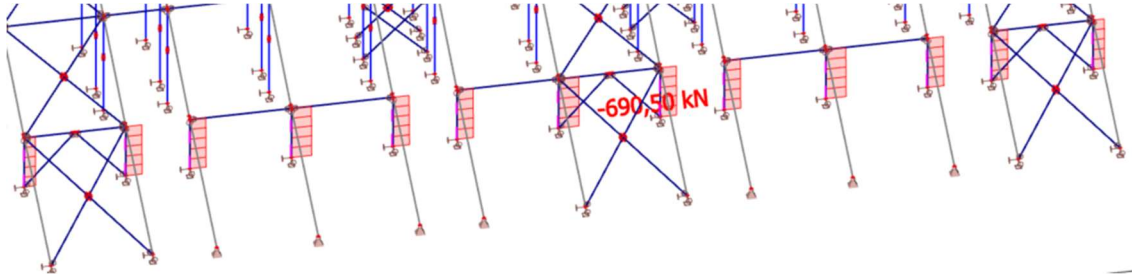
Přivaření pouze samotné stojiny vyhoví na vodorovnou sílu. Svar však bude proveden po celém obvodě prvku.



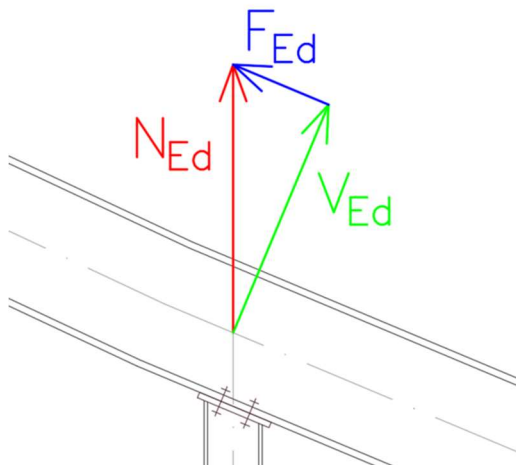
## 11.6 Přípoj sloupu na tribunový nosník

Přípoj bude proveden přes čelní desku. Sloup působí pouze v tlaku. Návrh šroubů a svaru bude proveden na šikmou složku síly po transformaci normálové síly do sil na tribunovém nosníku.

Maximální normálová síla ve sloupech:



Transformace sil



$$N_{Ed} = 690,5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 690,5 \cdot \sin(22,72) = 266,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 690,5 \cdot \cos(22,72) = 636,92 \text{ kN}$$

## Únosnost šroubového přípoje

|                       |             |              |                 |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| <b>Návrhová síla</b>  | $F_{Ed} =$  | <b>266,7</b> | kN              |
| <b>Návrh šroubů</b>   | <b>4x</b>   | <b>M20</b>   | <b>8.8</b>      |
| Mez kluzu šroubů      | $f_{y,b} =$ | 640          | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$ | 800          | MPa             |
| Průměr šroubů         | $d =$       | 20           | mm              |
| Průměr otvoru         | $d_0 =$     | 22           | mm              |
| Plocha šroubu (závit) | $A_s =$     | 245          | mm <sup>2</sup> |

### Rozteče šroubů

|            |        |         |       |
|------------|--------|---------|-------|
| $\rho_1 =$ | 80 mm  | $e_1 =$ | 60 mm |
| $\rho_2 =$ | 120 mm | $e_2 =$ | 40 mm |

### Materiál

|  |   |                             |
|--|---|-----------------------------|
| <p>Ocel S355</p> <p>Tloušťka plechu</p> <p>Mez pevnosti plechu</p> | <p><math>t_p =</math></p> <p><math>f_u =</math></p> | <p>15 mm</p> <p>490 MPa</p> |
|--|---|-----------------------------|

### Součinitele geometrie a materiálu

|         |     |              |      |
|---------|-----|--------------|------|
| $k_1 =$ | 2,5 | $\alpha_b =$ | 0,91 |
|         |     | $\alpha_v =$ | 0,6  |

### Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Počet šroubů

$$n = 4$$

### Únosnost ve stříhu

počet střízných ploch

$$n_s = 1$$

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 94,08$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 266,70 \text{ kN} & < & 376,3 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití:

70,9 %

### Porušení v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 267,27$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 266,70 \text{ kN} & < & 1069,1 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití:

24,9 %

## Únosnost svaru

|                                  |                 |              |     |
|----------------------------------|-----------------|--------------|-----|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>266,7</b> | kN  |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>90</b>    | °   |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 267          | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 0            | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b>  |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355          | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490          | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25         |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9          |     |

### Návrh svaru:

### 2x koutový svar

|                       |         |      |                 |
|-----------------------|---------|------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 3    | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 600  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 3600 | mm <sup>2</sup> |

### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 52,38 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**104,77 MPa** < **435,6 MPa**

### Vyhovuje

### Využití:

**24,1 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**52,38 MPa** < **352,8 MPa**

### Vyhovuje

### Využití:

**14,8 %**

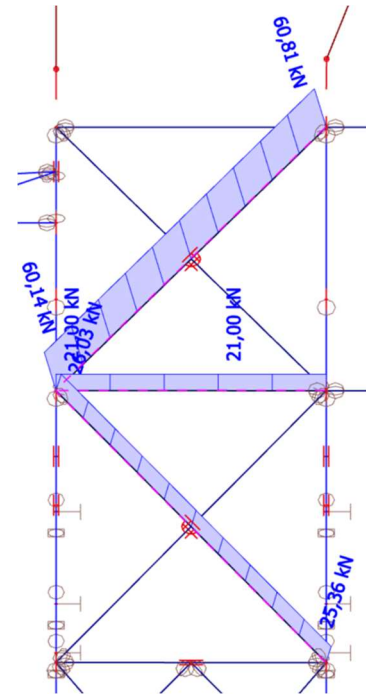
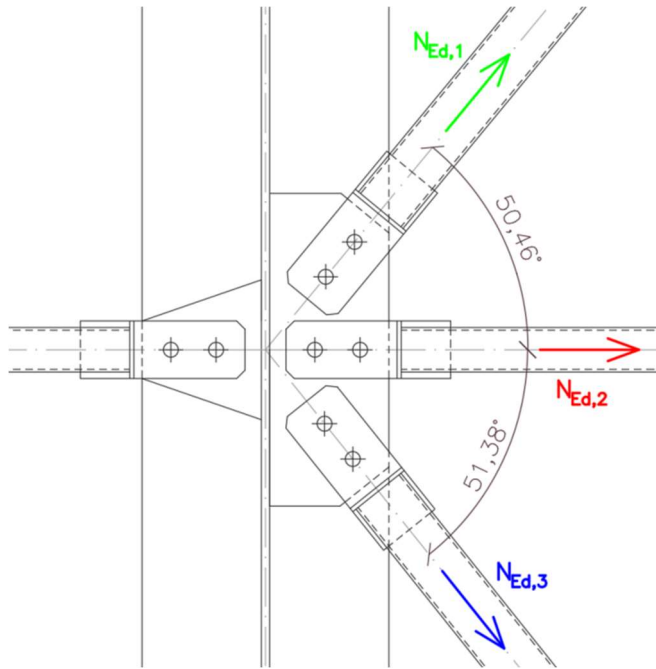
Posudek svaru je proveden pro přivaření pouze pásnic. Svar vyhoví s velkou rezervou.

Svar bude probíhat po celém obvodu nosníku.

## 11.7 Přípoj ztužidel k tribunovému nosníku

Ztužidla jsou k tribunovému nosníku připojena přes styčnický plech v jeho ose.

Ztužidla jsou vždy připojena nad nosnými sloupy tribunového nosníku.



Přepočet vnitřních sil:

$$F_{1,h} = 60,14 \cdot \cos(50,46) = 38,29 \text{ kN}$$

$$F_{1,v} = 60,14 \cdot \sin(50,46) = 46,38 \text{ kN}$$

$$F_{2,h} = 21,0 \text{ kN}$$

$$F_{3,h} = 26,03 \cdot \cos(51,36) = 16,25 \text{ kN}$$

$$F_{3,v} = 26,03 \cdot \sin(51,36) = 20,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = F_{1,v} - F_{3,v} = 26,05 \text{ kN}$$

$$F_{h,Ed} = F_{1,h} + F_{2,h} + F_{3,h} = 75,54 \text{ kN}$$

## Únosnost šroubového přípoje

|                       |             |              |                 |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Návrhová síla         | $F_{Ed} =$  | <b>60,14</b> | kN              |
| Návrh šroubů          | <b>2x</b>   | <b>M16</b>   | <b>8.8</b>      |
| Mez kluzu šroubů      | $f_{y,b} =$ | 640          | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů   | $f_{u,b} =$ | 800          | MPa             |
| Průměr šroubů         | $d =$       | 16           | mm              |
| Průměr otvoru         | $d_0 =$     | 18           | mm              |
| Plocha šroubu (závit) | $A_s =$     | 157          | mm <sup>2</sup> |

### Rozteče šroubů

|            |       |         |       |
|------------|-------|---------|-------|
| $\rho_1 =$ | 55 mm | $e_1 =$ | 35 mm |
| $\rho_2 =$ | 0 mm  | $e_2 =$ | 40 mm |

### Materiál

|                     |         |         |
|---------------------|---------|---------|
| Tloušťka plechu     | $t_p =$ | 8 mm    |
| Mez pevnosti plechu | $f_u =$ | 490 MPa |

Součinitele geometrie a materiálu

|         |     |              |      |
|---------|-----|--------------|------|
| $k_1 =$ | 2,5 | $\alpha_b =$ | 0,65 |
|         |     | $\alpha_v =$ | 0,6  |

Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Počet šroubů

$$n = 2$$

### Únosnost ve stříhu

počet střízných ploch

$$n_s = 1$$

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 60,29$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 60,14 \text{ kN} & < & 120,6 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití:

49,9 %

### Porušení v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot f_u \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 81,30$$

$$\begin{array}{ccc} F_{Ed} & & n \cdot F_{v,Rd} \\ 60,14 \text{ kN} & < & 162,6 \text{ kN} \end{array}$$

Vyhovuje

Využití:

37,0 %

## Svar přípojného plechu k trubce

### Únosnost svaru

|                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 60,14$     | kN          |
| Úhel                             | $\alpha = 0$         | °           |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 0$       | kN          |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 60$      | kN          |
| Materiál                         | Ocel                 | <b>S355</b> |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$          | MPa         |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$          | MPa         |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |             |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |             |

#### Návrh svaru:

#### 4x koutový svar

|                       |             |                 |
|-----------------------|-------------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a = 3$     | mm              |
| Délka svaru           | $L_w = 60$  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w = 720$ | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = 83,53 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

144,67 MPa < 435,6 MPa

#### Vyhovuje

#### Využití:

33,2 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

0,00 MPa < 352,8 MPa

#### Vyhovuje

#### Využití:

0,0 %

## Svar styčnickového plechu k tribunovému nosníku

### Únosnost svaru

|                                  |                 |             |     |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-----|
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 76          | kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 26          | kN  |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b> |     |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355         | MPa |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490         | MPa |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25        |     |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9         |     |

#### Návrh svaru:

#### 2x koutový svar

|                       |         |      |                 |
|-----------------------|---------|------|-----------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a =$   | 3    | mm              |
| Délka svaru           | $L_w =$ | 380  | mm              |
| Plocha svaru          | $A_w =$ | 2280 | mm <sup>2</sup> |

#### Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 23,43 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 11,43 \text{ MPa}$$

#### Posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

50,86 MPa < 435,6 MPa

#### Vyhovuje

#### Využití:

11,7 %

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

23,43 MPa < 352,8 MPa

#### Vyhovuje

#### Využití:

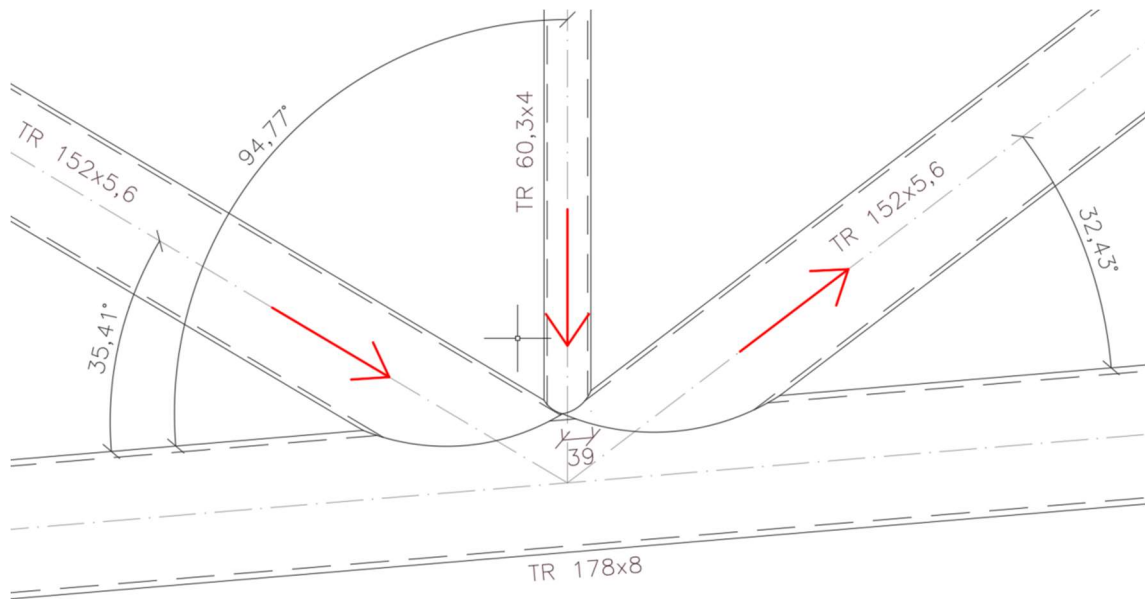
6,6 %

## 11.8 Styčníky příhradových vazníků

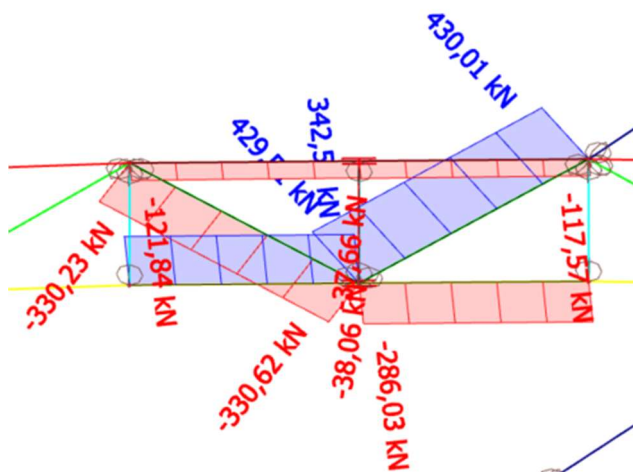
### 11.8.1 Posouzení styčníku KT

Bude posouzen styčník na středovém vazníku v místě připojení táhla, přesněji tažená diagonála je napojena na místo připojení a posuzovaný styčník se nachází na spodním pásu vazníku.

Geometrie styčníku:



Vnitřní síly v prutech:





## Únosnost styčníku KT

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| <b>Materiál</b>          | Ocel S355              |
| Mez kluzu                | $f_{y0} = 355$ MPa     |
| Součinitel spolehlivosti | $\gamma_{Ms} = 1,00$   |
| Síla v pásu              | $N_{0,Ed} = 286,03$ kN |
| Moment v pásu            | $M_{0,Ed} = 6,98$ kNm  |

|                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| <b>Průřez pásu</b>         | <b>TR 178x8</b>                |
| $A = 4273$ mm <sup>2</sup> | $W_y = 174000$ mm <sup>3</sup> |
| $d_0 = 178$ mm             | $\gamma = 11,125$              |
| $t_0 = 8$ mm               | $g = -39$ mm                   |

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| <b>Výplňový prut 1</b> | <b>TR 152x5,6</b>        |
| $d_1 = 152$ mm         | $t_1 = 5,6$ mm           |
| Síla v prutu           | $N_{1,Ed} = 330,62$ kN   |
| Úhel prutu             | $\theta_1 = 35,41^\circ$ |

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| <b>Výplňový prut 2</b> | <b>TR 152x5,6</b>        |
| $d_2 = 152$ mm         | $t_2 = 5,6$ mm           |
| Síla v prutu           | $N_{2,Ed} = 429,51$ kN   |
| Úhel prutu             | $\theta_2 = 32,43^\circ$ |

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| <b>Výplňový prut 3</b> | <b>TR 60,3x4</b>         |
| $d_3 = 60,3$ mm        | $t_3 = 4$ mm             |
| Síla v prutu           | $N_{3,Ed} = 38,1$ kN     |
| Úhel prutu             | $\theta_3 = 94,77^\circ$ |

Součinitel překrytí

$$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024\gamma^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5g}{t_0} - 1,33\right)}} \right) \quad k_g = 2,303$$

Napětí pásu

$$\sigma_{p,Ed} = N_{0,Ed}/A + M_{0,Ed}/W_y \quad \sigma_{p,Ed} = 107,054 \text{ MPa}$$

$$n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0} \quad n_p = 0,30$$

$$k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p) \leq 1,0 \quad k_p = 0,88$$

Porušení povrchu pásu

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin(\theta_1)} \left( 1,8 + 10,2 \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \right) / \gamma_{Ms} = 697,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed} \cdot \sin(\theta_1) + N_{3,Ed} \cdot \sin(\theta_3)}{229,50 \text{ kN}} < \frac{N_{1,Rd} \cdot \sin(\theta_1)}{404,3 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití: 56,8 %

$$\frac{N_{2,Ed} \cdot \sin(\theta_2)}{230,33 \text{ kN}} < \frac{N_{1,Rd} \cdot \sin(\theta_1)}{404,3 \text{ kN}}$$

Vyhovuje

Využití: 57,0 %

Porušení pásu prolomení smykem

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin(\theta_i)}{2 \sin^2(\theta_i)} / \gamma_{Ms} \quad N_{1,Rd} = 1841,74 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = 2091,33 \text{ kN}$$

$$N_{i,Rd} < N_{1,Rd}$$

|        |          |   |           |
|--------|----------|---|-----------|
| Prut 1 | 330,6 kN | < | 1841,7 kN |
| Prut 2 | 429,5 kN | < | 2091,3 kN |

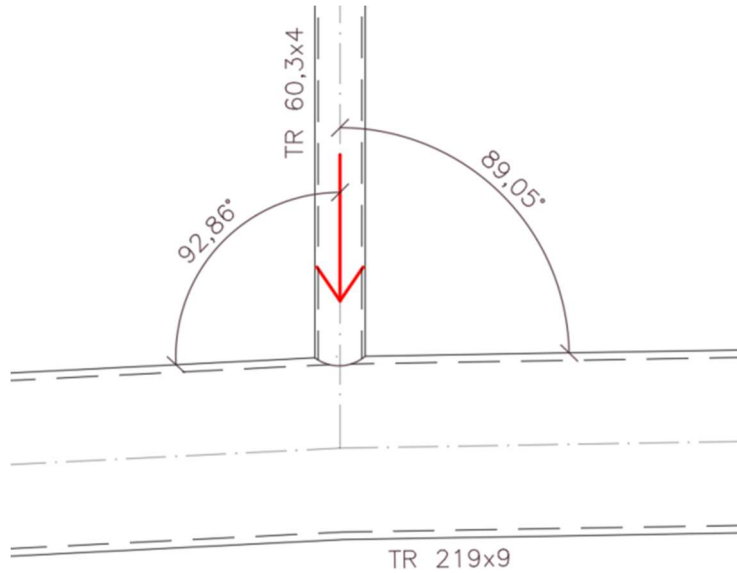
Vyhovuje

Využití: 20,5 %

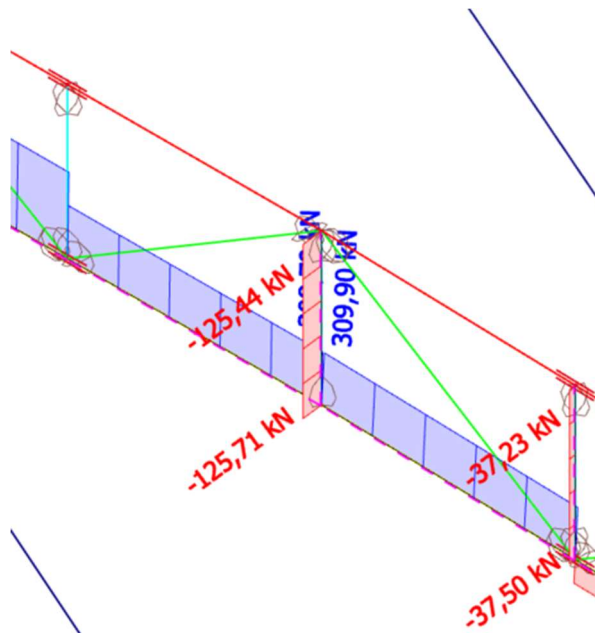
## 11.8.2 Posouzení styčníku T

Bude posouzen styčník na druhém vazníku od středu. Posuzovaný styčník se nachází na spodním pásu vazníku.

Geometrie styčníku:



Vnitřní síly v prutech:



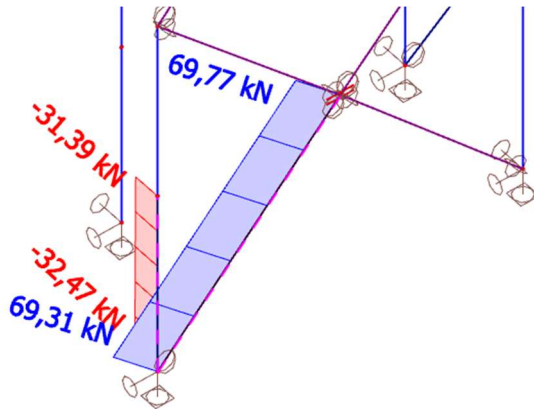
## Únosnost styčnicku T

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>Materiál</b>   | <b>Ocel S355</b>                     |
| Mez kluzu   | $f_{y0} = 355 \text{ MPa}$           |
| Součinitel spolehlivosti  | $\gamma_{M5} = 1,00$                 |
| Síla v pásu   | $N_{0,Ed} = 309,9 \text{ kN}$        |
| Moment v pásu   | $M_{0,Ed} = 7,96 \text{ kNm}$        |
| <b>Průřez pásu</b>  | <b>TR 219x9</b>                      |
| $A = 5938 \text{ mm}^2$   | $W_y = 299000 \text{ mm}^3$          |
| $d_0 = 219 \text{ mm}$  | $\gamma = 12,167$                    |
| $t_0 = 9 \text{ mm}$  |                                      |
| <b>Výplňový prut 1</b>  | <b>TR 60,3x4</b>                     |
| $d_1 = 60,3 \text{ mm}$   | $t_1 = 4 \text{ mm}$                 |
| Síla v prutu  | $N_{1,Ed} = 125,7 \text{ kN}$        |
| Úhel prutu  | $\theta_1 = 89,05^\circ$             |
| Poměr průměrů $\beta = d_i/d_0$   | $0,275$                              |
| <b>Napětí pásu</b>  |                                      |
| $\sigma_{p,Ed} = N_{0,Ed}/A + M_{0,Ed}/W_y$   | $\sigma_{p,Ed} = -25,57 \text{ MPa}$ |
| $n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0}$  | $n_p = -0,07$                        |
| $k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p) \leq 1,0$  | $k_p = 1,00$                         |
| <b>Porušení povrchu pásu</b>  |                                      |
| $N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin(\theta_1)} (2,8 + 14,2\beta^2) / \gamma_{M5} = 183,76 \text{ kN}$ |                                      |
| $\frac{N_{1,Ed}}{125,71 \text{ kN}} < \frac{N_{1,Rd}}{183,8 \text{ kN}}$  |                                      |
| <b>Využití:</b>   | <b>Vyhovuje</b><br>68,4 %            |
| <b>Porušení pásu prolomení smykem</b>   |                                      |
| $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin(\theta_i)}{2 \sin^2(\theta_i)} / \gamma_{M5}$            | $N_{1,Rd} = 349,52 \text{ kN}$       |
| $\frac{N_{1,Ed}}{125,7 \text{ kN}} < \frac{N_{1,Rd}}{349,5 \text{ kN}}$   |                                      |
| <b>Využití:</b>   | <b>Vyhovuje</b><br>36,0 %            |

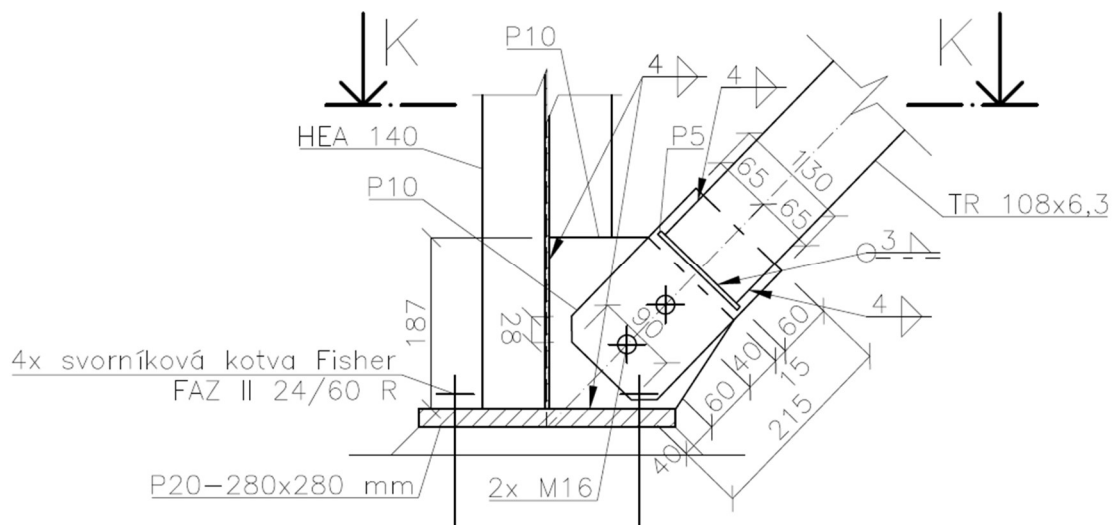
## 11.9 Návrh kotvení sloupku se ztužidlem

Vybrán sloup, který je součástí stěnového ztužidla a dochází k tahu v patě sloupku.

Vnitřní síly jsou z kombinace NC MSÚ 52



Detail přípoje:



Návrh kotev je proveden v softwaru Fischer

Kotvy jsou navrženy pro přenos smykové a tahové síly.

## Detaily návrhu

Kotva

Kotevní systém  
Upevňovací prvek

fischer svorníková kotva FAZ II  
FAZ II 24/60 R,  
R



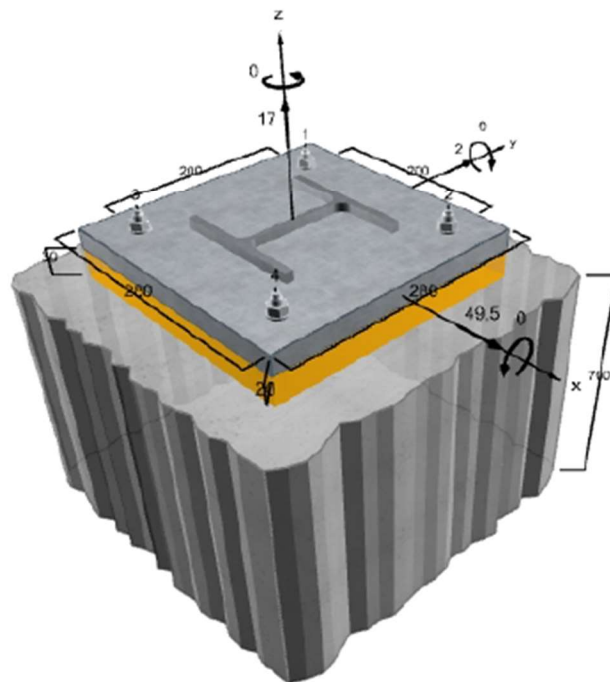
Kotevní hloubka  
Návrhová data

125 mm  
ETA-05/0069 (24.04.2020)

Jednotky

Geometrie  
Návrhová zatížení

mm  
kN, kNm



Měřítko neodpovídá

### Vstupní údaje

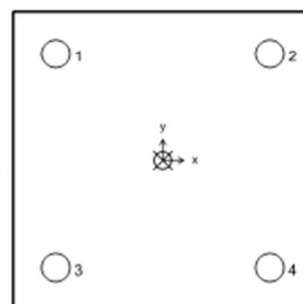
|                        |  |
|------------------------|--|
| Návrhová metoda        | EN 1992-4:2018   |
| Kotevní podklad        | Běžný beton, C30/37, EN 206:2013                                 |
| Vlastnosti betonu      | Tažená zóna, Suchý otvor   |
| Teplotní rozsah        | 24 °C Dlouhodobá teplota, 40 °C Krátkodobá teplota               |
| Výztuž                 | Běžná nebo žádná výztuž, Bez podélné výztuže, S podélnou výztuží |
| Způsob vtání           | Přiklepové vtání   |
| Typ montáže            | Průvěčná montáž  |
| Prstencová mezera      | Nevyplněná   |
| Typ zatížení           | Statické a kvazistatické   |
| Umístění kotevní desky | Kotevní deska s nenosnou vrstvou                                 |
| Rozměry kotevní desky  | 280 mm x 280 mm x 20 mm  |
| Typ profilu            | HEA (IPBI) HEA 140   |

### Návrhová zatížení včetně bezpečnostních součinitelů

| Stav | $N_{Ed}$<br>kN | $V_{Ed,x}$<br>kN | $V_{Ed,y}$<br>kN | $M_{Ed,x}$<br>kNm | $M_{Ed,y}$<br>kNm | $M_{Ed,z}$<br>kNm | Typ zatížení             | Název |
|------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| 1    | 17,00          | 49,50            | 2,00             | 0,00              | 0,00              | 0,00              | Statické a kvazistatické |       |

### Výsledná reakce kotev

| Kotva č. | Tahové zatížení<br>kN | Smykové<br>zatížení<br>kN | Smykové<br>zatížení x<br>kN | Smykové<br>zatížení y<br>kN |
|----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1        | 4,25                  | 12,39                     | 12,38                       | 0,50                        |
| 2        | 4,25                  | 12,39                     | 12,38                       | 0,50                        |
| 3        | 4,25                  | 12,39                     | 12,38                       | 0,50                        |
| 4        | 4,25                  | 12,39                     | 12,38                       | 0,50                        |



|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| Max. tlakové napětí v betonu | 0,00 ‰                           |
| Max. tlak v betonu           | 0,00 N/mm <sup>2</sup>           |
| Výsledná tahová zatížení     | 17,00 kN, Umístění XY (0 / 0 mm) |
| Výsledná tlaková zatížení    | 0,00 kN, Umístění XY (0 / 0 mm)  |

### Odolnost proti tahovému zatížení

| Posouzení       | Zatížení<br>kN | Únosnost<br>kN | Využití $\beta_N$<br>% |
|-----------------|----------------|----------------|------------------------|
| Selhání oceli * | 4,25           | 122,40         | 3,5                    |
| Vytažení *      | 4,25           | 39,12          | 10,9                   |
| Selhání betonu  | 17,00          | 92,38          | 18,4                   |

\* Nejnepříznivější kotva

### Selhání oceli

| $N_{Rk,s}$<br>kN | $\gamma_{Ms}$ | $N_{Rd,s}$<br>kN | $N_{Ed}$<br>kN | $\beta_{N,s}$<br>% |
|------------------|---------------|------------------|----------------|--------------------|
| 183,60           | 1,50          | 122,40           | 4,25           | 3,5                |

**Vytažení**

| $N_{Rk,p}$<br>kN | $\psi_c$ | $V_{Mp}$ | $N_{Rd,p}$<br>kN | $N_{Ed}$<br>kN | $\beta_{N,p}$<br>% |
|------------------|----------|----------|------------------|----------------|--------------------|
| 58,68            | 1,22     | 1,50     | 39,12            | 4,25           | 10,9               |

Uvedený součinitel  $\psi_c$  lze stanovit interpolací.

**Selhání betonu**

| $N_{Rk,c}$<br>kN | $V_{Mc}$ | $N_{Rd,c}$<br>kN | $N_{Ed}$<br>kN | $\beta_{N,c}$<br>% |
|------------------|----------|------------------|----------------|--------------------|
| 138,58           | 1,50     | 92,38            | 17,00          | 18,4               |

**Odolnost proti smykovému zatížení**

| Posouzení                           | Zatížení<br>kN | Únosnost<br>kN | Využití $\beta_v$<br>% |
|-------------------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| Selhání oceli při zatížení ohybem * | 12,39          | 13,34          | 92,9                   |
| Vypáčení                            | 49,54          | 221,72         | 22,3                   |

\* Nejnepříznivější kotva

**Selhání oceli při zatížení ohybem**

| $V_{Rk,s,M}$<br>kN | $V_{Ms}$ | $V_{Rd,s,M}$<br>kN | $V_{Ed}$<br>kN | $\beta_{V,s,M}$<br>% |
|--------------------|----------|--------------------|----------------|----------------------|
| 16,67              | 1,25     | 13,34              | 12,39          | 92,9                 |

**Vypáčení**

| $V_{Rk,cp}$<br>kN | $V_{Mc}$ | $V_{Rd,cp}$<br>kN | $V_{Ed}$<br>kN | $\beta_{V,cp}$<br>% |
|-------------------|----------|-------------------|----------------|---------------------|
| 332,58            | 1,50     | 221,72            | 49,54          | 22,3                |

**Odolnost proti kombinaci tahového a smykového zatížení**

Vliv kombinace zatížení na ocel

Rozhoduje využití nosnosti v tahu  $\beta_{N,cp} = 0.18 \leq 1$

Rozhoduje využití nosnosti ve smyku  $\beta_{V,cp} = 0.22 \leq 1$

Rozhoduje využití kombinace nosností  $\beta_{NV,cp} = \beta_{N,cp}^{1.5} + \beta_{V,cp}^{1.5} = 0.18 \leq 1$



Důkaz úspěšný

## Návrh taženého patního plechu

|                                |                 |       |                 |
|--------------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová síla                  | $N_{t,Ed} =$    | 17,0  | kN              |
| Počet šroubů                   |                 | 4     |                 |
| Geometrie průřezu              | $b_o =$         | 280   | mm              |
|                                | $e =$           | 40    | mm              |
|                                | $e_x =$         | 40    | mm              |
|                                | $p =$           | 200   | mm              |
| $m = 33,5 - 0,8\alpha\sqrt{2}$ | $m =$           | 27,84 | mm              |
| $n = \min(e; 1,25m)$           | $n =$           | 35    | mm              |
| Velikost svaru                 | $a =$           | 5     | mm              |
| Tloušťka čelní desky           | $t =$           | 20    | mm              |
| Materiál                       | Ocel            | S355  |                 |
| Mez kluzu                      | $f_y =$         | 355   | MPa             |
| Mez pevnosti                   | $f_u =$         | 490   | MPa             |
| Součinitel spolehlivosti       | $\gamma_{M0} =$ | 1,00  |                 |
|                                | $\gamma_{M2} =$ | 1,25  |                 |
| Návrh šroubů                   | 4x              | M24   | 8.8             |
| Mez kluzu šroubů               | $f_{y,b} =$     | 640   | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů            | $f_{u,b} =$     | 800   | MPa             |
| Průměr šroubů                  | $d =$           | 24    | mm              |
| Průměr otvoru                  | $d_o =$         | 26    | mm              |
| Plocha šroubu (závit)          | $A_s =$         | 353   | mm <sup>2</sup> |

### Únosnost 1 šroubu v tahu

$$F_{t,Rd,b} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad F_{t,Rd,b} = 203,33 \text{ kN}$$

### Posouzení T profilu

Výpočet efektivních délek

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| $l_1 = 4m + 1,25e_x$   | $l_1 =$         | 161,4 | mm  |
| $l_2 = 4\pi m$   | $l_2 =$         | 349,8 | mm  |
| $l_3 = 0,5 \cdot b_p$  | $l_3 =$         | 140   | mm  |
| $l_4 = 2m + 0,625e + 0,8p$   | $l_4 =$         | 240,7 | mm  |
| $l_5 = 2m + e + 0,625e_x$  | $l_5 =$         | 120,7 | mm  |
| $l_6 = 2\pi m + 4e$  | $l_6 =$         | 334,9 | mm  |
| $l_7 = 2\pi m + 2p$  | $l_7 =$         | 574,9 | mm  |
| $l_{eff1} = \min(l_1; l_2; l_3; l_4; l_5; l_6; l_7)$                   | $l_{eff1} =$    | 120,7 | mm  |
| $l_{eff2} = \min(l_1; l_2; l_4; l_5)$                                  | $l_{eff2} =$    | 120,7 | mm  |
| $M_{pl,Rd,1} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ | $M_{pl,Rd,1} =$ | 4,28  | kNm |
| $M_{pl,Rd,2} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ | $M_{pl,Rd,2} =$ | 4,28  | kNm |

Způsoby porušení přípoje

Únosnost 1 řady šroubů, 2 šrouby v řadě, počet řad  $n_r = 2$

Plastizace plechu

$$F_{Rd,1-2} = \frac{2M_{pl,Rd,1}}{m} \quad F_{Rd,1-2} = 307,8 \text{ kN}$$

Porušení šroubů

$$F_{Rd,3} = \Sigma F_{t,Rd,b} \quad F_{Rd,3} = 406,7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min(F_{Rd,1-2}; F_{Rd,3}) \quad F_{t,Rd} = 307,8 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti

$$N_{t,Ed} < n_r \cdot F_{t,Rd}$$

$$17,00 \text{ kN} < 615,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

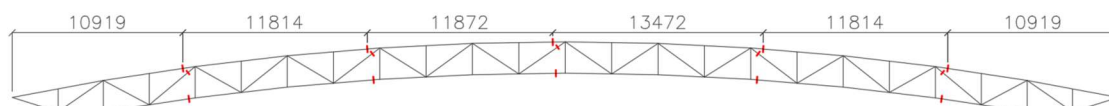
Využití: 2,8 %



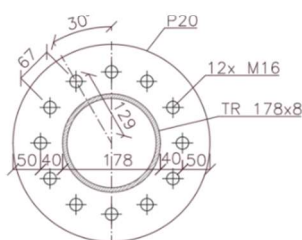
## 11.10 Montážní přípoj dolního pásu

Vazníky jsou rozděleny do 6 dílců, které jsou spojeny pomocí montážních spojů na čelní desku. Návrh montážního přípoje je proveden pro nejvíce namáhaný spoj dolního pásu, který se nachází na spoji 1. a 2. dílce.

Rozdělení vazníku na montážní dílce:



Detail přípoje:



Návrh svaru trubky k čelní desce

### Únosnost svaru

|                                  |                 |             |           |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-----------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} =$      | <b>718</b>  | <b>kN</b> |
| Úhel                             | $\alpha =$      | <b>90</b>   | <b>°</b>  |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} =$    | 718         | kN        |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} =$    | 0           | kN        |
| Materiál                         | Ocel            | <b>S355</b> |           |
| Mez kluzu                        | $f_y =$         | 355         | MPa       |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u =$         | 490         | MPa       |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} =$ | 1,25        |           |
| Korekční součinitel              | $\beta_w =$     | 0,9         |           |

**Návrh svaru:**

Účinná tloušťka svaru  
Délka svaru  
Plocha svaru

**1x koutový svar**

$a =$  5 mm  
 $L_w =$  559 mm  
 $A_w =$  2795 mm<sup>2</sup>

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 181,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

**Posouzení svaru**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**363,29 MPa < 435,6 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**83,4 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**181,65 MPa < 352,8 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**51,5 %**

## Únosnost montážního přípoje

|   |              |       |                 |
|---|--------------|-------|-----------------|
| Návrhová síla                           | $F_{t,Ed} =$ | 718   | kN              |
| Návrh šroubů                            | 12x          | M16   | 8.8             |
| Počet šroubů                            | $n =$        | 12    |                 |
| Mez kluzu šroubů                        | $f_{v,b} =$  | 640   | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů                     | $f_{u,b} =$  | 800   | MPa             |
| Průměr šroubů                           | $d =$        | 16    | mm              |
| Průměrná vzdálenost hran a rohů hlavy š | $d_m =$      | 25,38 | mm              |
| Průměr otvoru                           | $d_0 =$      | 18    | mm              |
| Plocha šroubu (závit)                   | $A_s =$      | 157   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti                | $Y_{M2} =$   | 1,25  |                 |
|   | $Y_{M0} =$   | 1,00  |                 |

### Únosnost 1 šroubu v tahu

$$F_{t,Rd,b} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{Y_{M2}} \quad F_{t,Rd,b} = 90,43 \text{ kN}$$

### Geometrie přípoje

|   |         |     |    |
|---|---------|-----|----|
| Průměr trubky                           | $d_1 =$ | 178 | mm |
| Tloušťka stěny trubky                   | $t_1 =$ | 8   | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k trubce        | $e_1 =$ | 40  | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k okraji plechu | $e_2 =$ | 50  | mm |
| Vzdálenost šroubů od sebe po kružnici   | $p_2 =$ | 68  | mm |

### Materiál

Ocel S355

|                 |            |     |     |
|-----------------|------------|-----|-----|
| Mez kluzu       | $f_{yp} =$ | 355 | MPa |
| Mez pevnosti    | $f_{up} =$ | 490 | MPa |
| Tloušťka plechu | $t_p =$    | 20  | mm  |

### Porušení čelní desky

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 \quad r_2 = 129 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} \quad r_3 = 85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2/r_3) \quad k_1 = 0,42$$

$$k_3 = k_1 + 2 \quad k_3 = 2,42$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} (k_3 + (k_3^2 - 4k_1)^{0,5}) \quad f_3 = 5,35$$

$$F_{t,Rd,1} = \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot Y_{M0}} = 1192,42 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů a čelní desky

$$e_{eff} = \min(e_2; 1,25e_1) \quad e_{eff} = 50 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \quad r_1 = 179 \text{ mm}$$

$$F_{t,Rd,2} = \frac{n \cdot F_{t,Rd,b}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)}\right)} = 784,10 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů

$$\text{Únosnost v tahu} \quad F_{t,Rd,3} = n \cdot F_{t,Rd,b} = 1085,2 \text{ kN}$$

### Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{Y_{M2}} \quad B_{p,Rd} = 375,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,4} = n \cdot B_{p,Rd} = 4499,9 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,1}; F_{t,Rd,2}; F_{t,Rd,3}) \quad F_{t,Rd} = 784,1 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} < F_{t,Rd}$$

$$718,00 \text{ kN} < 784,1 \text{ kN}$$

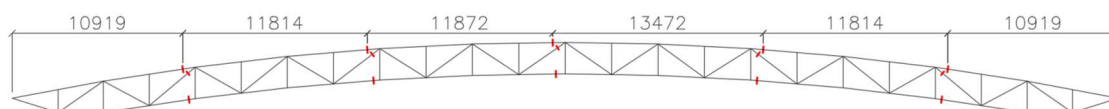
Vyhovuje

$$\text{Využití:} \quad 91,6 \%$$

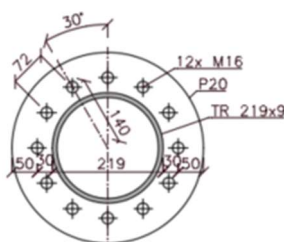
## 11.11 Montážní přípoj horního pásu

Vazníky jsou rozděleny do 6 dílců, které jsou spojeny pomocí montážních spojů na čelní desku. Návrh montážního přípoje je proveden pro nejvíce namáhaný spoj horního pásu, který se nachází na spoji 2. a 3. dílce. Návrh je proveden na nejvyšší tah, velké množství přípojů jsou však tlačené a nebylo by nutné takové množství šroubů.

Rozdělení vazníku na montážní dílce:



Detail přípoje:



Návrh svaru trubky k čelní desce

### Únosnost svaru

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 616,2$ kN  |
| Úhel                             | $\alpha = 90$ °      |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 616$ kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 0$ kN    |
| Materiál                         | Ocel <b>S355</b>     |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$ MPa      |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$ MPa      |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |

**Návrh svaru:**

**1x koutový svar**

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a = 5$ mm                   |
| Délka svaru           | $L_w = 688$ mm               |
| Plocha svaru          | $A_w = 3440$ mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 126,66 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

**Posouzení svaru**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**253,33 MPa < 435,6 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**58,2 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**126,66 MPa < 352,8 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**35,9 %**

## Únosnost montážního přípoje

|   |                 |       |                 |
|---|-----------------|-------|-----------------|
| Návrhová síla                           | $F_{t,Ed} =$    | 718   | kN              |
| Návrh šroubů                            | 12x             | M16   | 8.8             |
| Počet šroubů                            | n =             | 12    |                 |
| Mez kluzu šroubů                        | $f_{v,b} =$     | 640   | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů                     | $f_{u,b} =$     | 800   | MPa             |
| Průměr šroubů                           | d =             | 16    | mm              |
| Průměrná vzdálenost hran a rohů hlavy š | $d_m =$         | 25,38 | mm              |
| Průměr otvoru                           | $d_0 =$         | 18    | mm              |
| Plocha šroubu (závit)                   | $A_s =$         | 157   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti                | $\gamma_{M2} =$ | 1,25  |                 |
|   | $\gamma_{M0} =$ | 1,00  |                 |

### Únosnost 1 šroubu v tahu

$$F_{t,Rd,b} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad F_{t,Rd,b} = 90,43 \text{ kN}$$

### Geometrie přípoje

|   |         |     |    |
|---|---------|-----|----|
| Průměr trubky                           | $d_1 =$ | 219 | mm |
| Tloušťka stěny trubky                   | $t_1 =$ | 9   | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k trubce        | $e_1 =$ | 30  | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k okraji plechu | $e_2 =$ | 50  | mm |
| Vzdálenost šroubů od sebe po kružnici   | $p_2 =$ | 73  | mm |

### Materiál

|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| Ocel            | S355               |
| Mez kluzu       | $f_{yp} =$ 355 MPa |
| Mez pevnosti    | $f_{up} =$ 490 MPa |
| Tloušťka plechu | $t_p =$ 20 mm      |

### Porušení čelní desky

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 \quad r_2 = 139,5 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} \quad r_3 = 105 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2/r_3) \quad k_1 = 0,28$$

$$k_3 = k_1 + 2 \quad k_3 = 2,28$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} (k_3 + (k_3^2 - 4k_1)^{0,5}) \quad f_3 = 7,58$$

$$F_{t,Rd,1} = \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot \gamma_{M0}} = 1689,63 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů a čelní desky

$$e_{eff} = \min(e_2; 1,25e_1) \quad e_{eff} = 37,5 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \quad r_1 = 177 \text{ mm}$$

$$F_{t,Rd,2} = \frac{n \cdot F_{t,Rd,b}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)}\right)} = 762,89 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů

$$\text{Únosnost v tahu} \quad F_{t,Rd,3} = n \cdot F_{t,Rd,b} = 1085,2 \text{ kN}$$

### Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad B_{p,Rd} = 375,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,4} = n \cdot B_{p,Rd} = 4499,9 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,1}; F_{t,Rd,2}; F_{t,Rd,3}) \quad F_{t,Rd} = 762,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} < F_{t,Rd}$$

$$718,00 \text{ kN} < 762,9 \text{ kN}$$

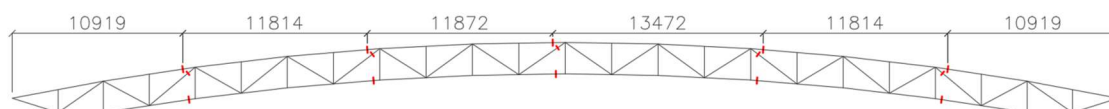
Vyhovuje

Využití: 94,1 %

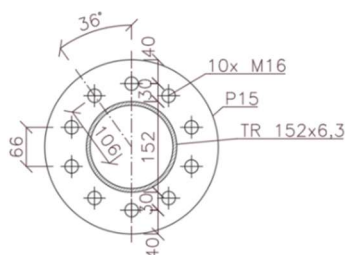
## 11.12 Montážní připoj diagonál

Vazníky jsou rozděleny do 6 dílců, které jsou spojeny pomocí montážních spojů na čelní desku. Návrh montážního připoje je proveden pro nejvíce namáhaný spoj diagonály, který se nachází na spoji 2. a 3. dílce. Návrh je proveden na nejvyšší tah, případný tlak se přenesou kontaktem.

Rozdělení vazníku na montážní dílce:



Detail připoje:



Návrh svaru trubky k čelní desce

### Únosnost svaru

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| Návrhová síla                    | $F_{Ed} = 511,6$ kN  |
| Úhel                             | $\alpha = 90^\circ$  |
| Složka síly kolmá na svar        | $F_{v,Ed} = 512$ kN  |
| Složka síly rovnoběžná se svarem | $F_{h,Ed} = 0$ kN    |
| Materiál                         | Ocel <b>S355</b>     |
| Mez kluzu                        | $f_y = 355$ MPa      |
| Mez pevnosti oceli               | $f_u = 490$ MPa      |
| Součinitel spolehlivosti         | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Korekční součinitel              | $\beta_w = 0,9$      |

**Návrh svaru:**

**1x koutový svar**

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| Účinná tloušťka svaru | $a = 5$ mm                   |
| Délka svaru           | $L_w = 477$ mm               |
| Plocha svaru          | $A_w = 2385$ mm <sup>2</sup> |

Napětí ve svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 151,68 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{h,Ed}}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

**Posouzení svaru**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**303,36 MPa < 435,6 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**69,6 %**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**151,68 MPa < 352,8 MPa**

**Vyhovuje**

**Využití:**

**43,0 %**

## Únosnost montážního přípoje

|   |              |       |                 |
|---|--------------|-------|-----------------|
| Návrhová síla                           | $F_{t,Ed} =$ | 511,6 | kN              |
| Návrh šroubů                            | 10x          | M16   | 8.8             |
| Počet šroubů                            | n =          | 10    |                 |
| Mez kluzu šroubů                        | $f_{v,b} =$  | 640   | MPa             |
| Mez pevnosti šroubů                     | $f_{u,b} =$  | 800   | MPa             |
| Průměr šroubů                           | d =          | 16    | mm              |
| Průměrná vzdálenost hran a rohů hlavy š | $d_m =$      | 25,38 | mm              |
| Průměr otvoru                           | $d_0 =$      | 18    | mm              |
| Plocha šroubu (závit)                   | $A_s =$      | 157   | mm <sup>2</sup> |
| Součinitel spolehlivosti                | $Y_{M2} =$   | 1,25  |                 |
|   | $Y_{M0} =$   | 1,00  |                 |

### Únosnost 1 šroubu v tahu

$$F_{t,Rd,b} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{Y_{M2}} \quad F_{t,Rd,b} = 90,43 \text{ kN}$$

### Geometrie přípoje

|   |         |     |    |
|---|---------|-----|----|
| Průměr trubky                           | $d_1 =$ | 152 | mm |
| Tloušťka stěny trubky                   | $t_1 =$ | 6,3 | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k trubce        | $e_1 =$ | 30  | mm |
| Osová vzdálenost šroubu k okraji plechu | $e_2 =$ | 40  | mm |
| Vzdálenost šroubů od sebe po kružnici   | $p_2 =$ | 67  | mm |

### Materiál

|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| Ocel            | S355               |
| Mez kluzu       | $f_{yp} =$ 355 MPa |
| Mez pevnosti    | $f_{up} =$ 490 MPa |
| Tloušťka plechu | $t_p =$ 15 mm      |

### Porušení čelní desky

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 \quad r_2 = 106 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} \quad r_3 = 72,85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2/r_3) \quad k_1 = 0,38$$

$$k_3 = k_1 + 2 \quad k_3 = 2,38$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} (k_3 + (k_3^2 - 4k_1)^{0,5}) \quad f_3 = 5,88$$

$$F_{t,Rd,1} = \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot Y_{M0}} = 737,66 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů a čelní desky

$$e_{eff} = \min(e_2; 1,25e_1) \quad e_{eff} = 37,5 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \quad r_1 = 144 \text{ mm}$$

$$F_{t,Rd,2} = \frac{n \cdot F_{t,Rd,b}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)}\right)} = 649,91 \text{ kN}$$

### Porušení šroubů

$$\text{Únosnost v tahu} \quad F_{t,Rd,3} = n \cdot F_{t,Rd,b} = 904,3 \text{ kN}$$

### Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{Y_{M2}} \quad B_{p,Rd} = 281,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,4} = n \cdot B_{p,Rd} = 2812,4 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,1}; F_{t,Rd,2}; F_{t,Rd,3}) \quad F_{t,Rd} = 649,9 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{511,60 \text{ kN}}{649,9 \text{ kN}} < 1$$

Vyhovuje

$$\text{Využití:} \quad 78,7 \%$$

## 12 Literatura a zdroje

### Skripta:

JANDERA Michal, ELIÁŠOVÁ Martina, VRANÝ Tomáš. *Ocelové konstrukce 01 – Cvičení* [online]. vid. Rok 2015. Praha 3. upravené vydání. Dostupné z:

[https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/cz/?wpfb\\_dl=3](https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/cz/?wpfb_dl=3)

SOKOL Z., WALD F. *Ocelové konstrukce – Tabulky*. 3.vydání

nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2

Vypracované řešené příklady (podpora RPMT). ČVUT Praha. Dostupné z:

[http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/projekt/RPMT/01-portalovy\\_ram.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/projekt/RPMT/01-portalovy_ram.pdf)

### Přednášky:

ELIÁŠOVÁ Martina, přednášky NNKO – navrhování nosných konstrukcí ocel [přednášky]

Praha: ČVUT v Praze, rok 2020

JANDERA Michal, přednášky OK 01- Ocelové konstrukce 1 [přednášky]

Praha: ČVUT v Praze, rok 2021

### Tabulky a podklady výrobců:

Intelligentní řešení staveb | ArcelorMittal Construction. [online]. Copyright ©

ArcelorMittal Construction [cit. 10.05.2022]. Dostupné z:

<https://construction-ceska-republika.arcelormittal.com/cz>

JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily. *JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily* [online]. Dostupné z: <http://www.jansencz.cz/1-uvod.html>

Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy. *Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy* [online]. Dostupné z: <https://kovprof.cz/>

**Normy:**

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (rok vydání 2004)

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1 až 1-5: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, zatížení sněhem a větrem, teplotou)

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn (rok vydání 2008)

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-10 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-11 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků (rok vydání 2008)



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelové konstrukce na zimním stadionu  
Chomutov

## **Výkresová dokumentace**

Autor: Bc. Pavel Bartůšek

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

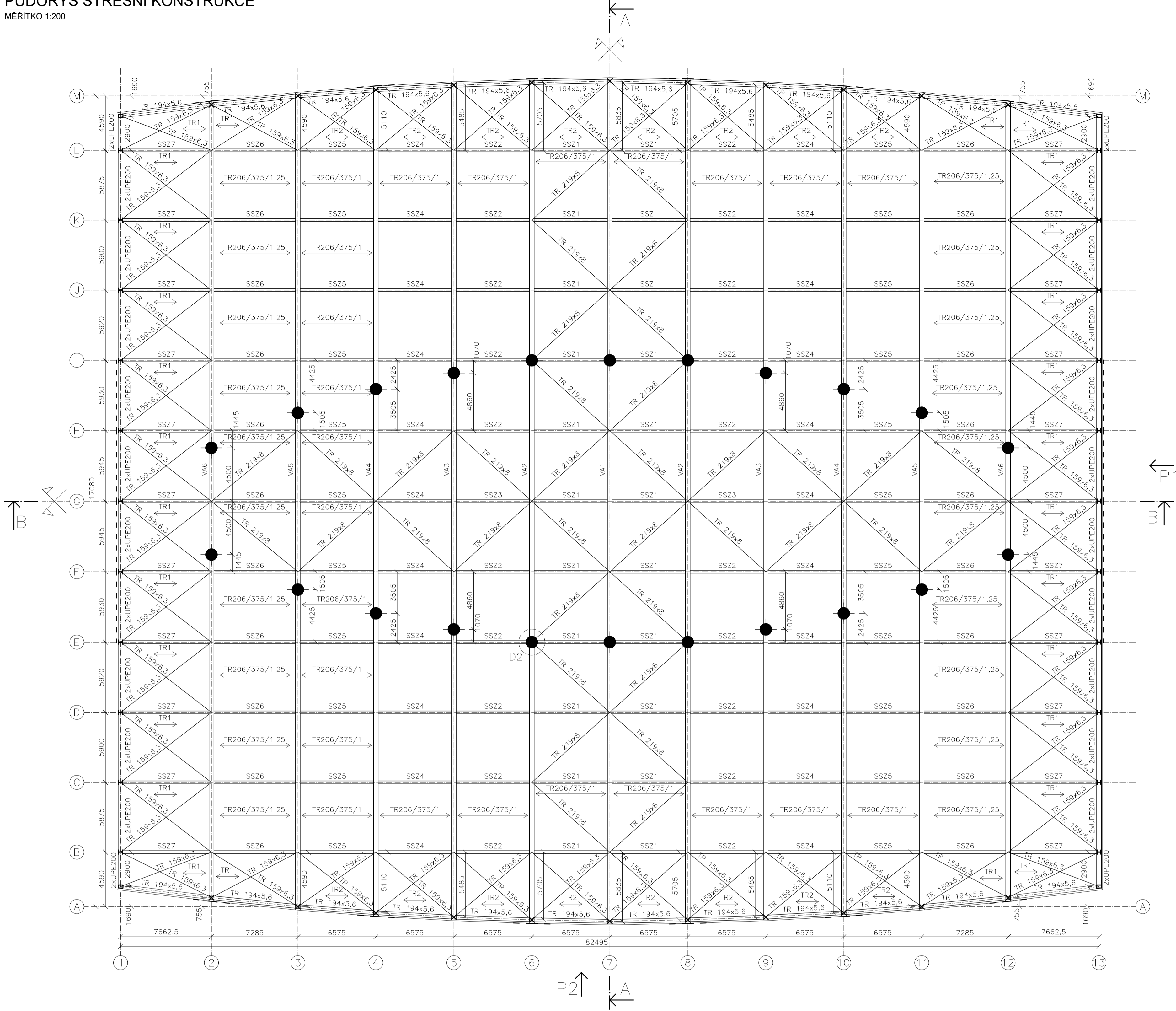
Praha 2024

## **Seznam výkresů:**

- 1 Půdorys střešní konstrukce**
- 2 Půdorys dispozice 1.NP**
- 3 Půdorys dispozice 2.NP a tribuny hlavní**
- 4 Půdorys dispozice 3.NP a tribuny vedlejší**
- 5 Dispozice – pohledy, řezy a geometrie**
- 6 Detail D1, D2, D3 a D4**
- 7 Detail D5, D6, D7 a D8**

# PŮDORYS STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MĚŘITKO 1:200




## Poznámka

TR1 - Trapezový plech TR 206/375/1,25  
 TR2 - Trapezový plech TR 206/375/1,00  
 Všechny zbylé vnitřní plechy jsou profilu TR 206/375/1,00

NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

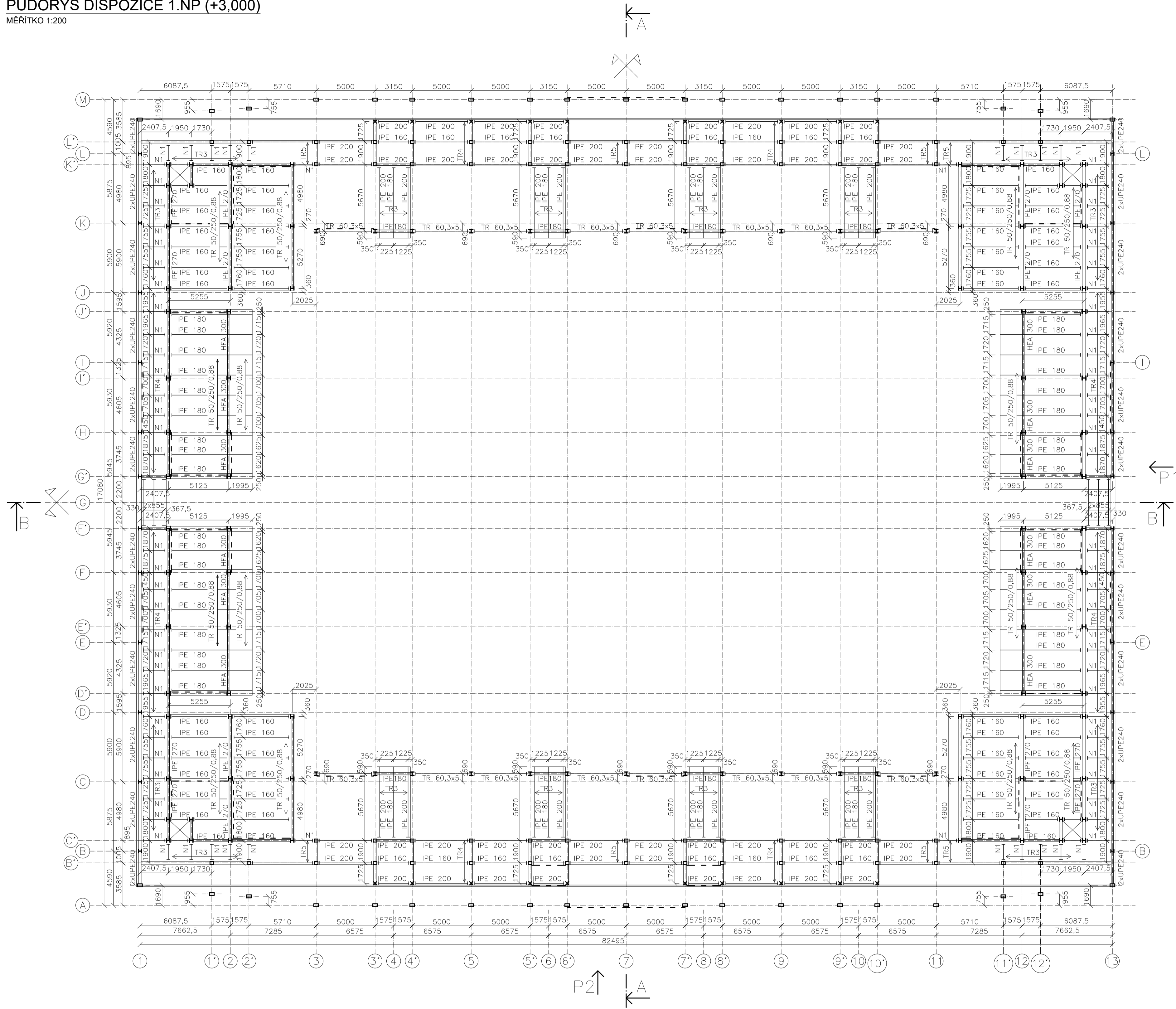
Ocel S320GD - Trapezové plechy  
 Ocel S355JR - Vnitřní ocelové konstrukce  
 Ocel S355JO - Exteriérové ocelové konstrukce  
 Ocel S420JO - Materiál čepu  
 Ocel S460 - Materiál táhel

Třída provedení EXC3

|                            |                                  |                    |   |         |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------|---|---------|
| Obor:                      | Katedra:                         | Jméno studenta:    |  |         |
| KPS                        | K134                             | Bc. Pavel Bartůšek |   |         |
| Ročník:                    | Vedoucí diplomové práce:         |                    | FORMÁT  | 6x A4   |
| 2                          | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    | MĚŘITKO   | 1:200   |
| AKCE:                      |                                  |                    | DATUM   | 01/2024 |
| Diplomová práce            |                                  |                    | Č. VÝKRESU:   | 1       |
| Výkresy:                   |                                  |                    |   |         |
| Půdorys střešní konstrukce |                                  |                    |   |         |

PŮDORYS DISPOZICE 1.NP (+3,000)

MĚŘITKO 1:200



Poznámka


- TR3 – Trapézový plech TR 50/250/0,88
- TR4 – Trapézový plech TR 50/250/1,00
- TR5 – Trapézový plech TR 50/250/1,13

N1 – Ocelový válcovaný profil IPE 120

NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

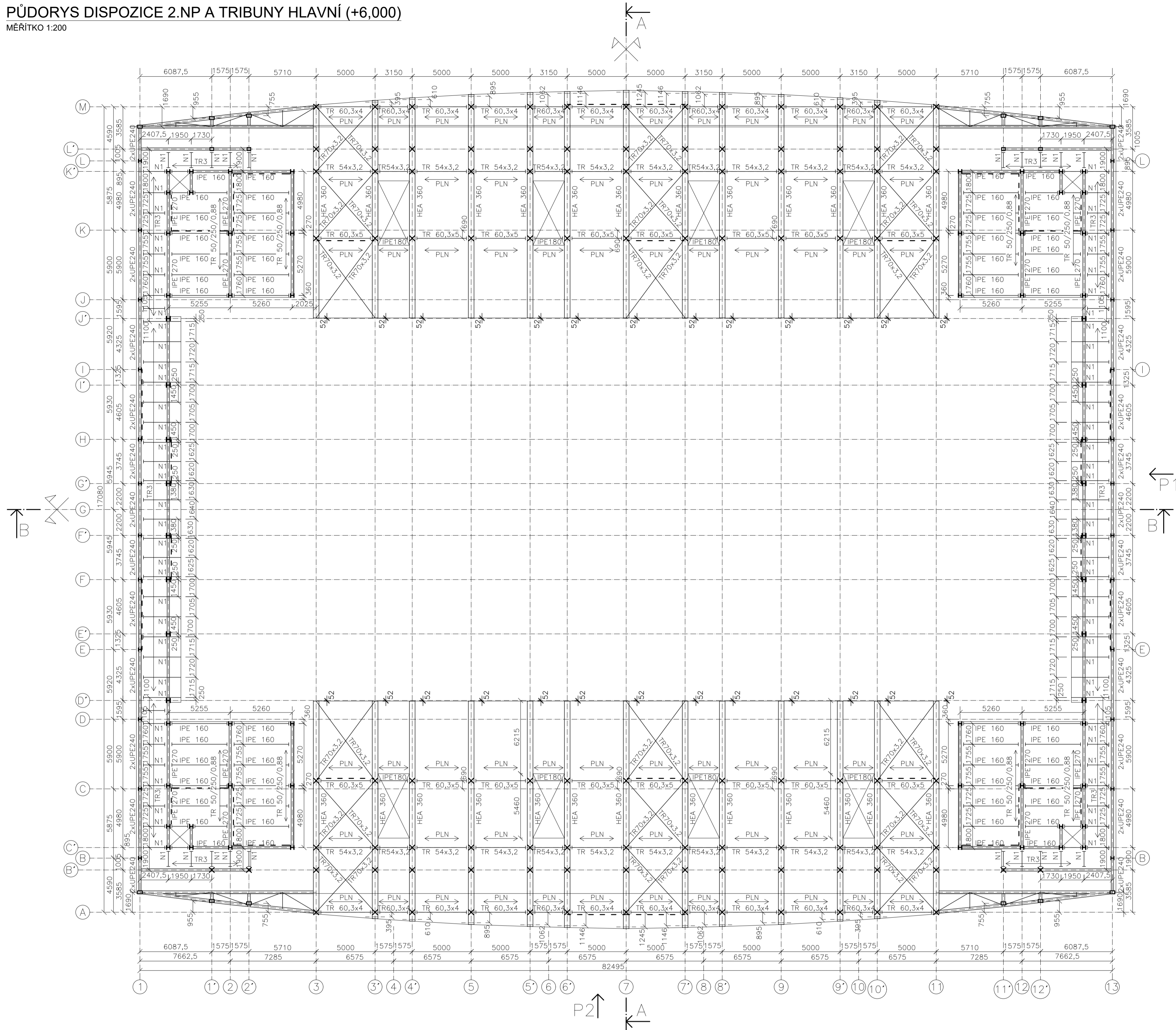
- Ocel S320GD – Trapézové plechy
- Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce
- Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce
- Ocel S420J0 – Materiál čepu
- Ocel S460 – Materiál táhel

Třída provedení EXC3

|                        |                                  |                    |   |         |
|------------------------|----------------------------------|--------------------|---|---------|
| Obor:                  | Katedra:                         | Ujméno studenta:   |  |         |
| KPS                    | K134                             | Bc. Pavel Bartůšek |   |         |
| Ročník:                | Vedoucí diplomové práce:         |                    | FORMÁT  | 6x A4   |
| 2                      | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    | MĚŘITKO   | 1:200   |
| AKCE:                  |                                  |                    | DATUM   | 01/2024 |
| Diplomová práce        |                                  |                    | Č. VÝKRESU:   | 2       |
| Výkresy:               |                                  |                    |   |         |
| Půdorys dispozice 1.NP |                                  |                    |   |         |

# PŮDORYS DISPOZICE 2.NP A TRIBUNY HLAVNÍ (+6,000)

MĚŘITKO 1:200



## Poznámka

TR3 – Trapézový plech TR 50/250/0,88

N1 – Ocelový válcovaný profil IPE 120

PLN – Prefabrikované železobetonové lavicové nosníky

NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

Ocel S320GD – Trapézové plechy


Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce

Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce

Ocel S420J0 – Materiál čepu

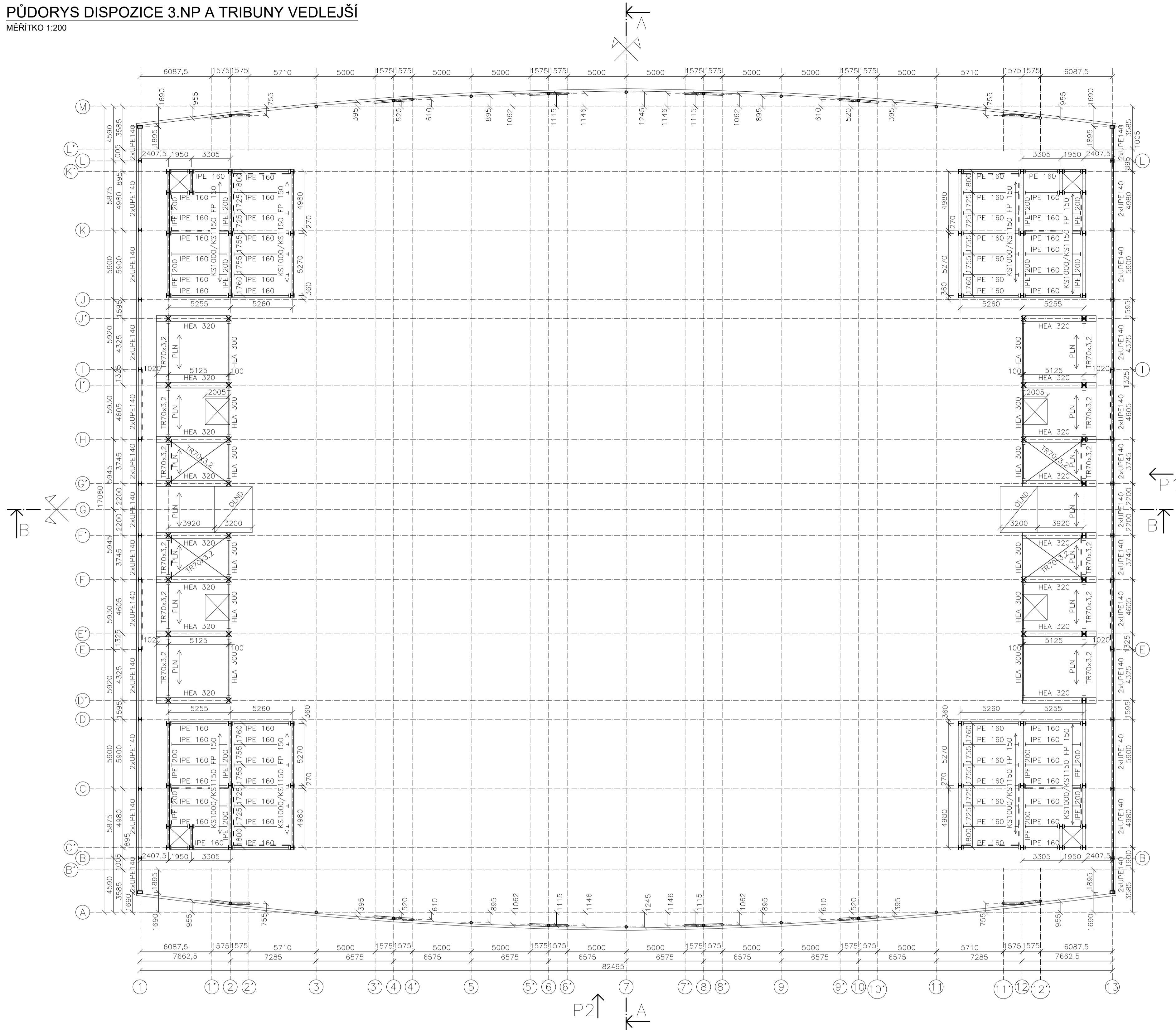
Ocel S460 – Materiál táhel

Třída provedení EXC3

|   |                                  |                    |   |         |
|---|----------------------------------|--------------------|---|---------|
| Obor:                                   | Katedra:                         | Ujměno studenta:   |  |         |
| KPS                                     | K134                             | Bc. Pavel Bartůšek |   |         |
| Ročník:                                 | Vedoucí diplomové práce:         |                    | FORMÁT  | 6x A4   |
| 2                                       | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    | MĚŘITKO   | 1:200   |
| AKCE:                                   |                                  |                    | DATUM   | 01/2024 |
| Diplomová práce                         |                                  |                    | Č. VÝKRESU:   | 3       |
| Výkresy:                                |                                  |                    |   |         |
| Půdorys dispozice 2.NP a tribuny hlavní |                                  |                    |   |         |

# PŮDORYS DISPOZICE 3.NP A TRIBUNY VEDLEJŠÍ

MĚŘITKO 1:200




## Poznámka

PLN – Prefabrikované železobetonové lavicové nosníky  
 OLND – Ocelové lavicové nosníky demontovatelné

NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

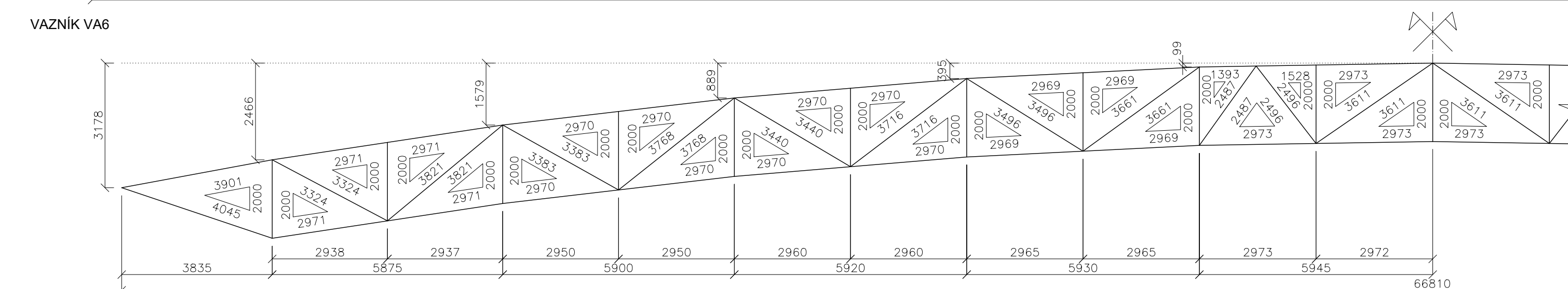
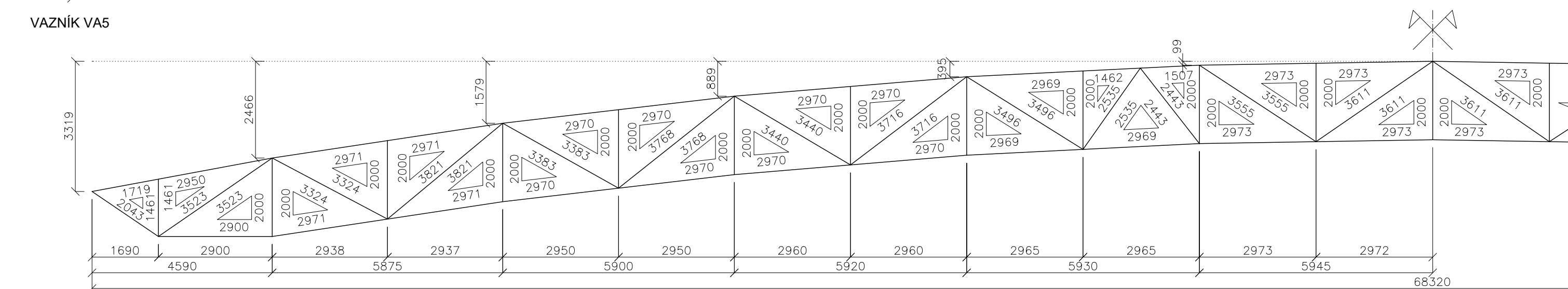
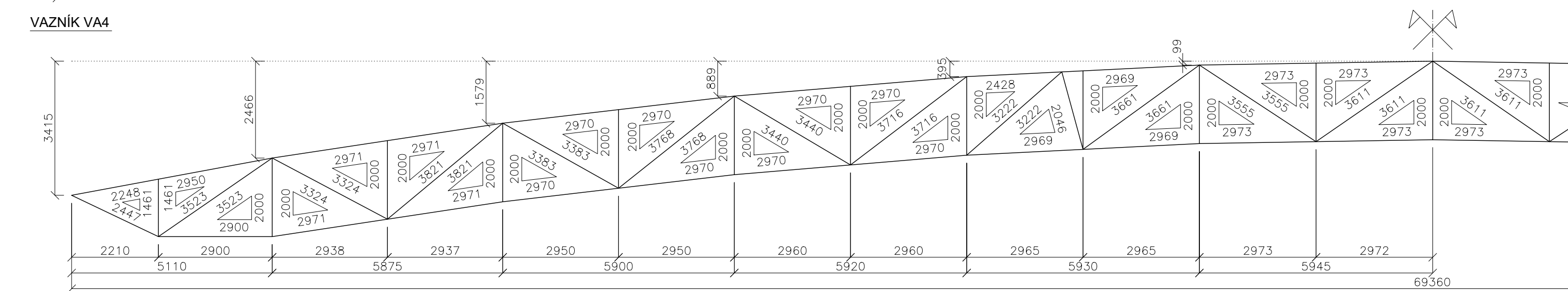
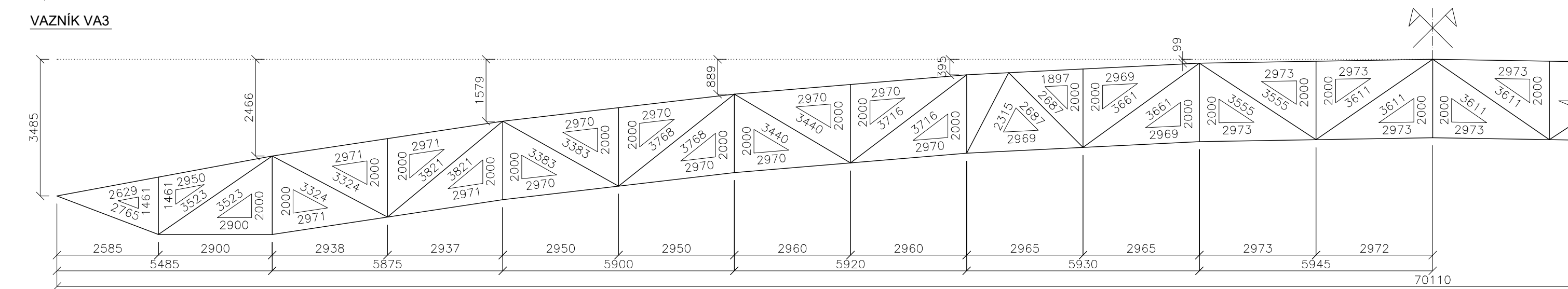
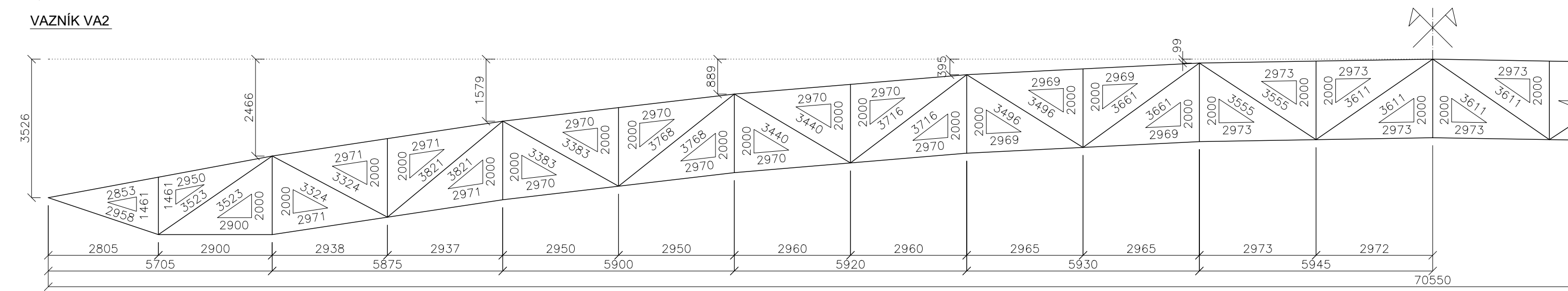
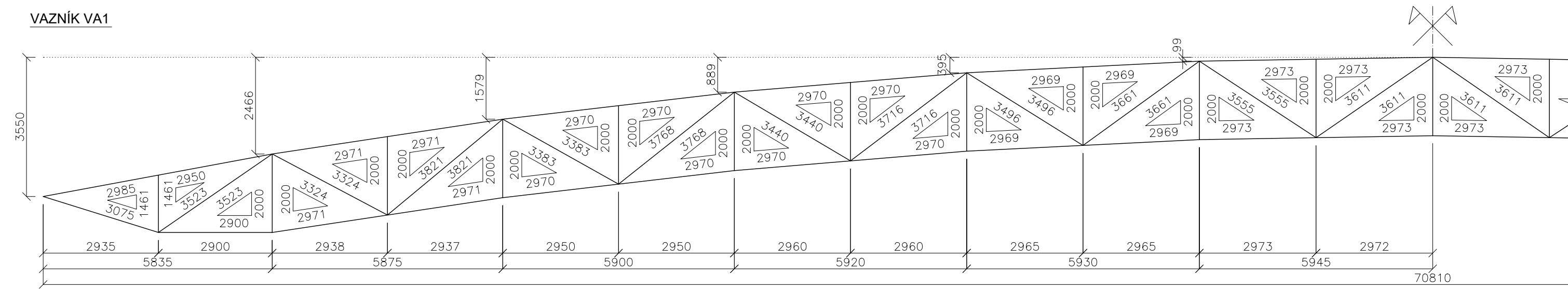
Ocel S320GD – Trapézové plechy  
 Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce  
 Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce  
 Ocel S420J0 – Materiál čepu  
 Ocel S460 – Materiál táhel

Třída provedení EXC3

|   |                                  |                    |   |         |
|---|----------------------------------|--------------------|---|---------|
| Obor:                                     | Katedra:                         | Jméno studenta:    |  |         |
| KPS                                       | K134                             | Bc. Pavel Bartůšek |   |         |
| Ročník:                                   | Vedoucí diplomové práce:         |                    | FORMÁT  | 6x A4   |
| 2   | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    | MĚŘITKO   | 1:200   |
| AKCE:                                     |                                  |                    | DATUM   | 01/2024 |
| Diplomová práce                           |                                  |                    | Č. VÝKRESU:   | 4       |
| Výkresy:                                  |                                  |                    |   |         |
| Půdorys dispozice 3.NP a tribuny vedlejší |                                  |                    |   |         |

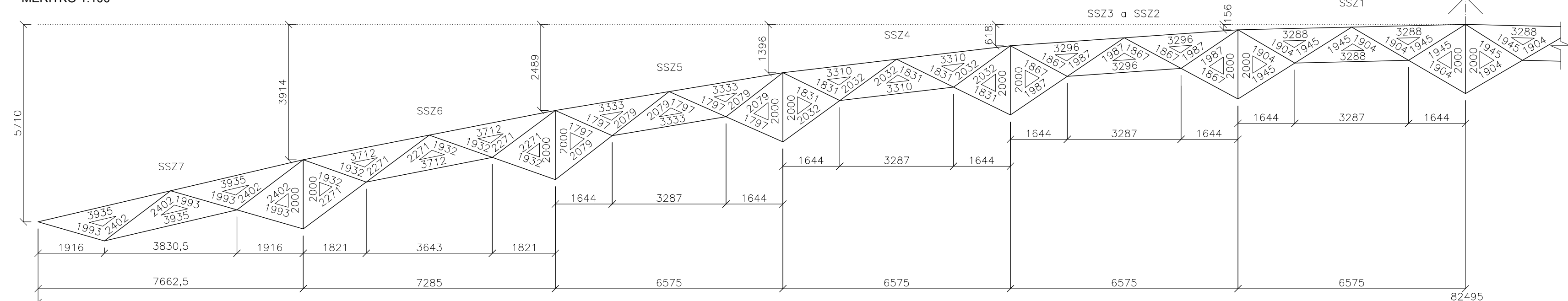
**GEOMETRIE VAZNIKŮ**

MĚRITKO 1:100



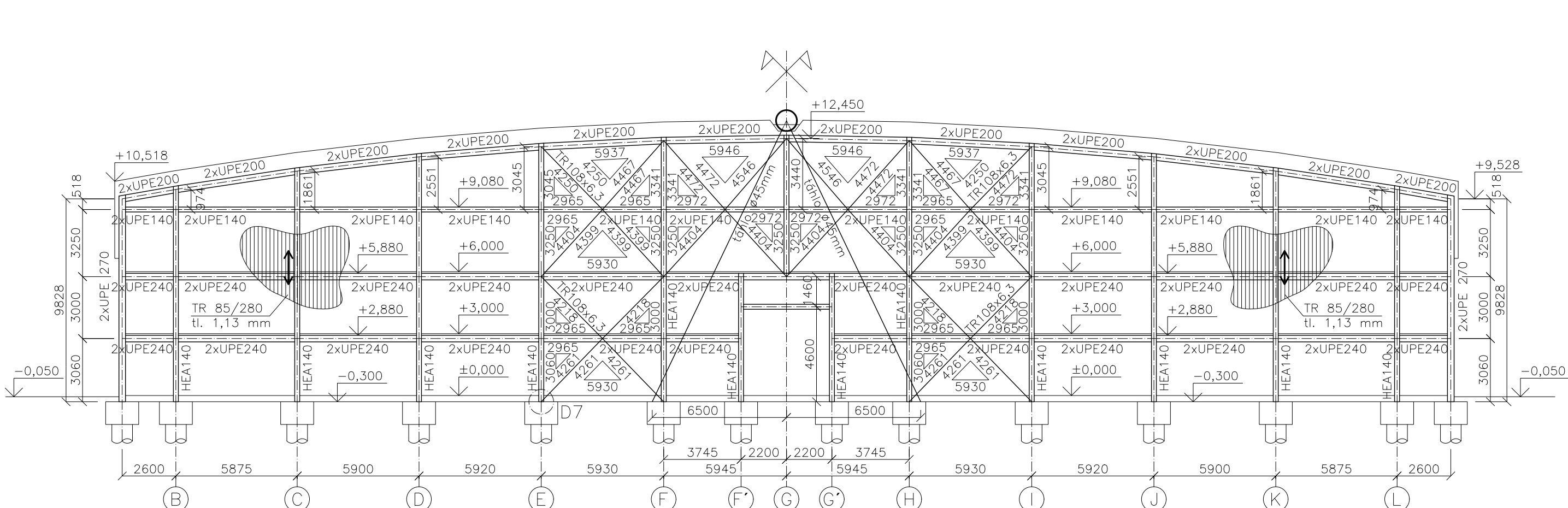
**GEOMETRIE STŘEŠNÍHO ZTUŽIDLA**

MĚRITKO 1:100



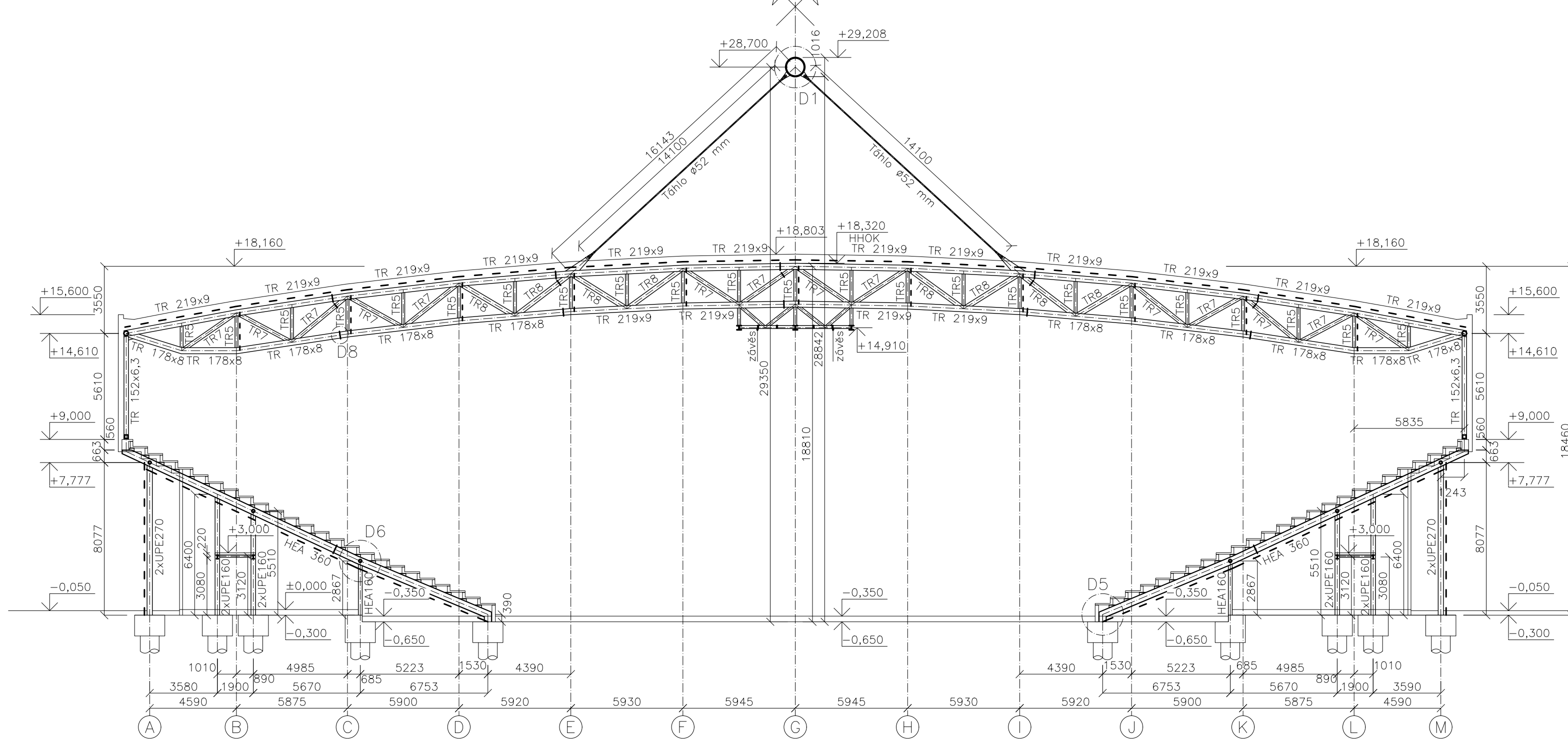
**PRÍČNÝ POHLED NA HALU P1**

MĚRITKO 1:200



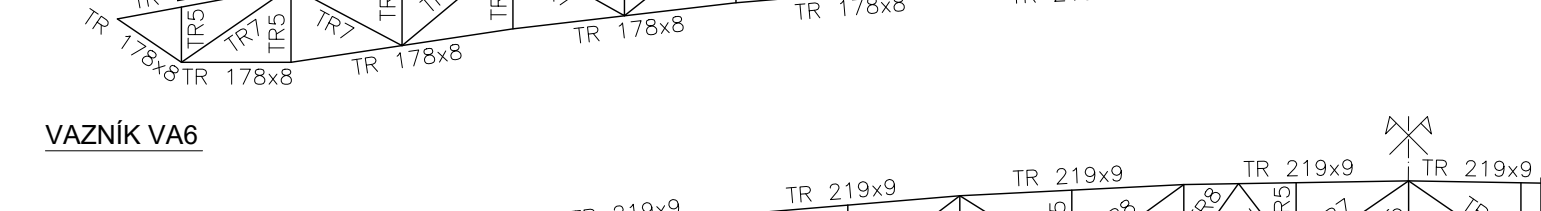
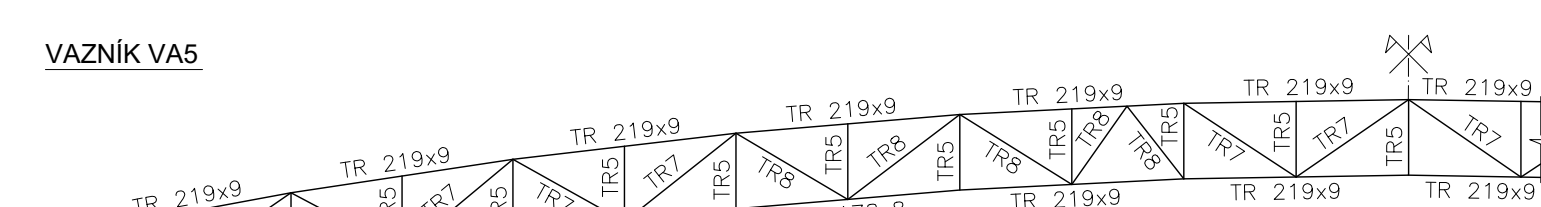
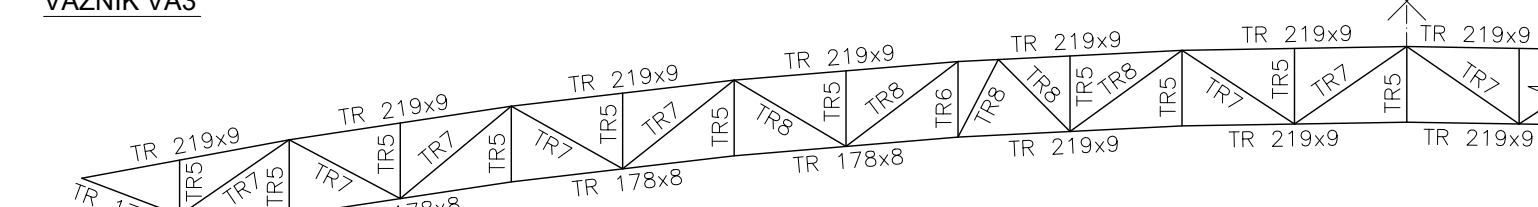
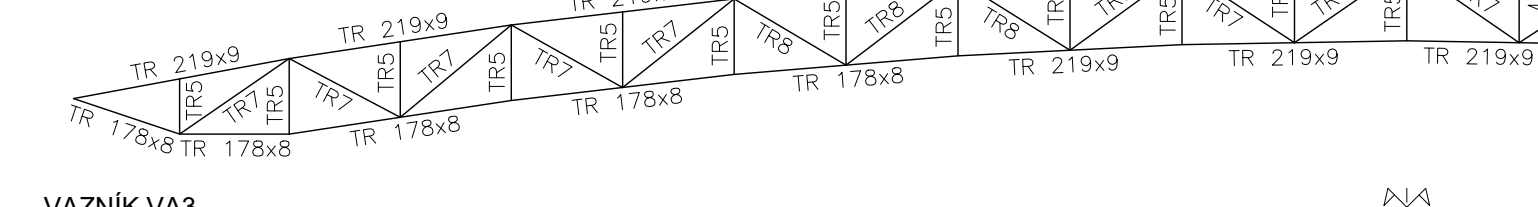
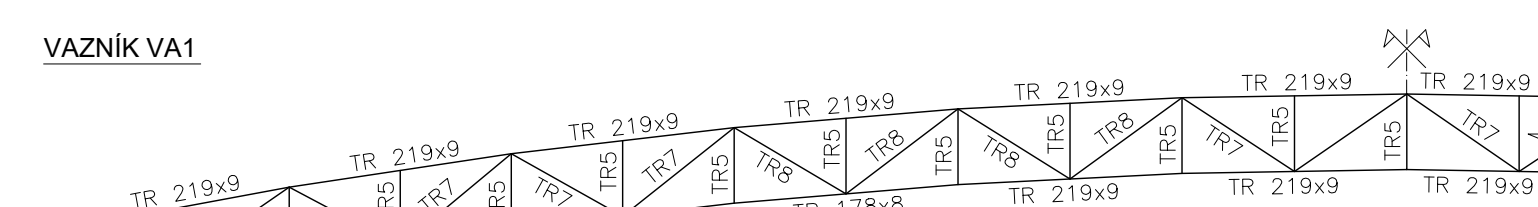
**PRÍČNÝ ŘEZ HALOU A-A**

MĚRITKO 1:200



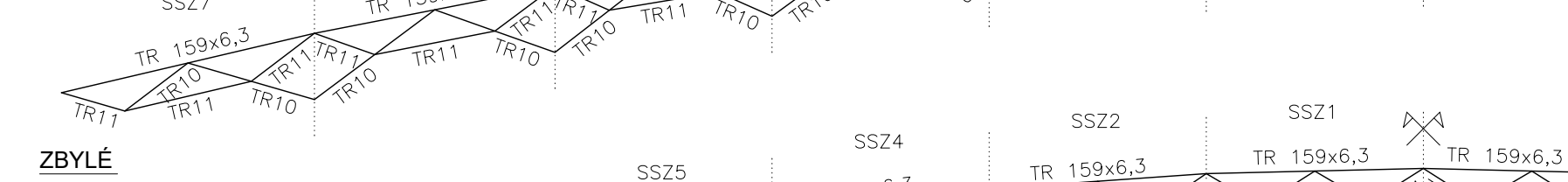
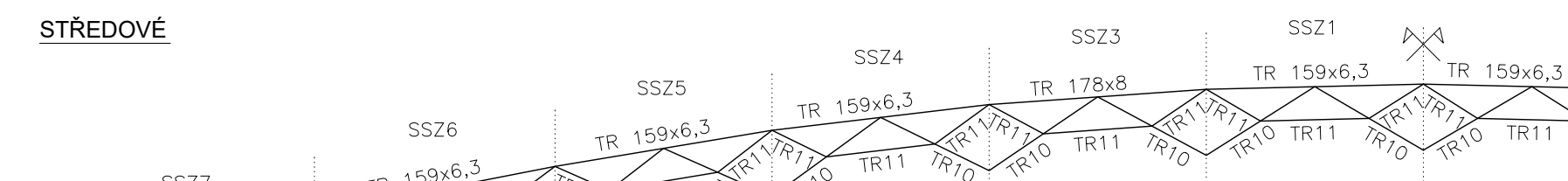
**JEDNOTLIVÉ PRVKY VAZNIKŮ**

MĚRITKO 1:200



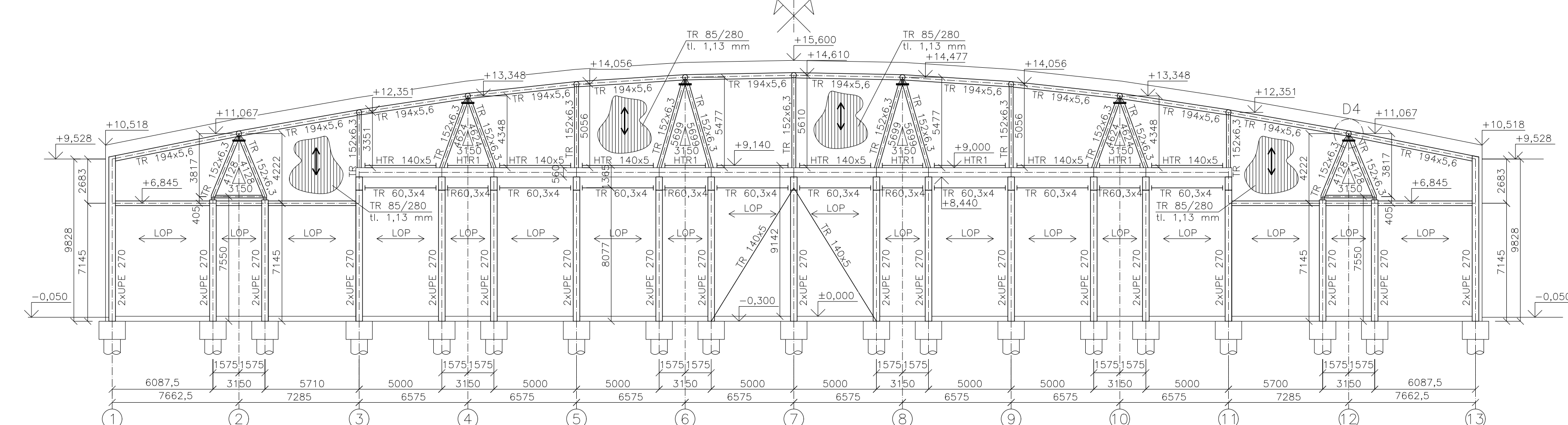
**JEDNOTLIVÉ PRVKY STŘEŠNÍCH ZTUŽIDEL**

MĚRITKO 1:200



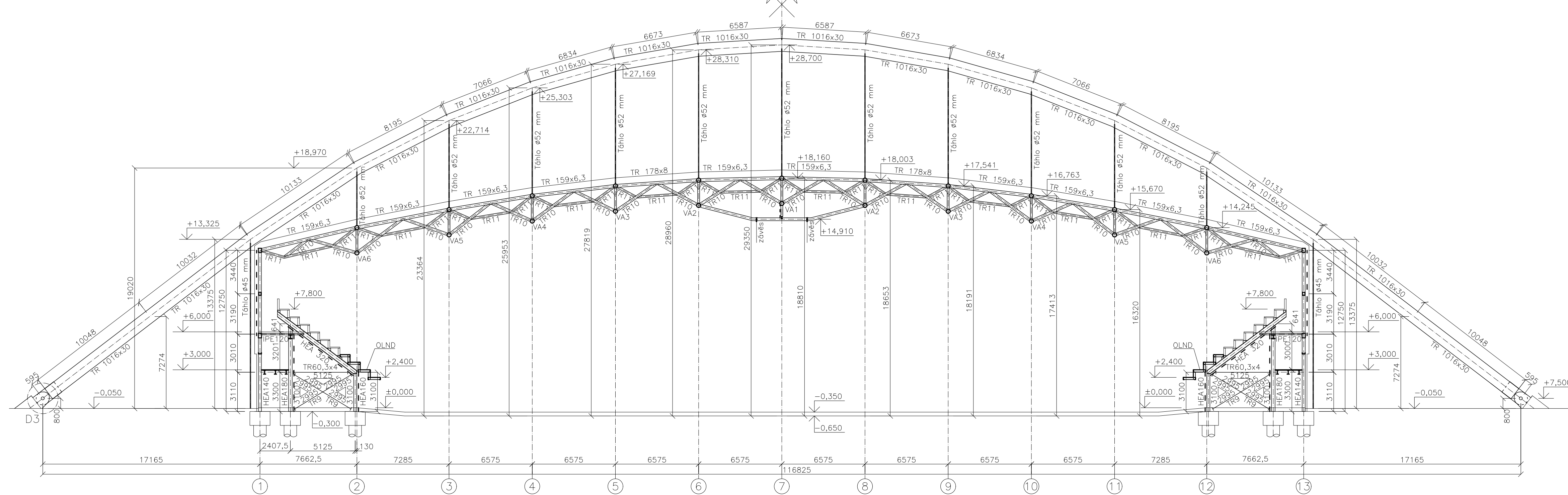
**PODÉLNÝ POHLED NA HALU P2**

MĚRITKO 1:200



**PODÉLNÝ ŘEZ HALOU B-B**

MĚRITKO 1:200



**Poznámka**

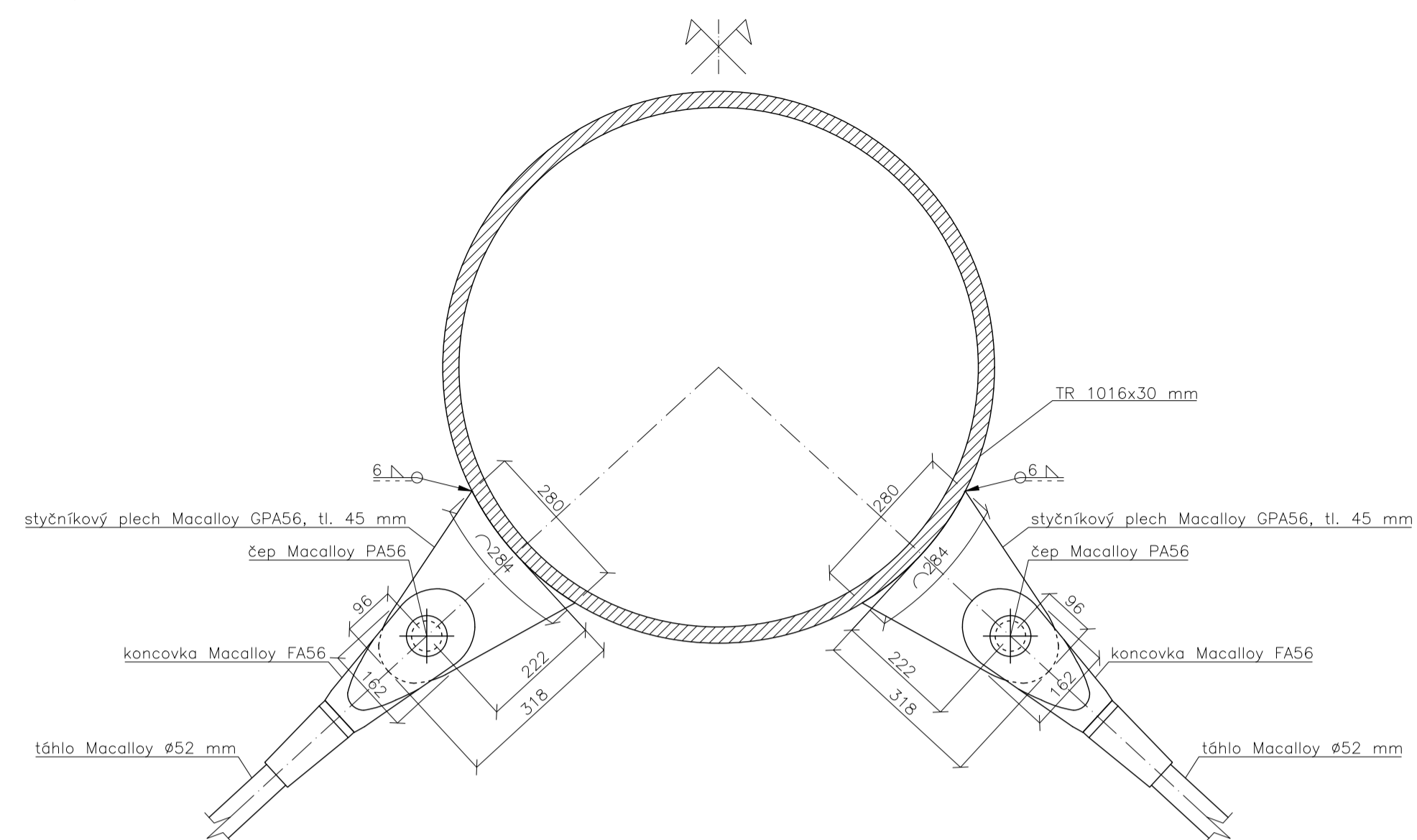
- VA1 – Ocelový svářovaný trubkový vazník
- VA2 – Ocelový svářovaný trubkový vazník
- VA3 – Ocelový svářovaný trubkový vazník
- VA4 – Ocelový svářovaný trubkový vazník
- VA5 – Ocelový svářovaný trubkový vazník
- VA6 – Ocelový svářovaný trubkový vazník

- SS21 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- SS22 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- SS23 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo masivnější
- SS24 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- SS25 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- SS26 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- SS27 – Ocelové svářované svíslé střední ztužidlo
- TR5 – Svíslice vazníku z kruhové trubky TR 60,3x4
- TR6 – Svíslice vazníku z kruhové trubky TR 89x5
- TR7 – Diagonla vazníku z kruhové trubky TR 102x5
- TR8 – Diagonla vazníku z kruhové trubky TR 159x6,3
- TR9 – Stěnové ztužidlo z kruhové trubky TR 60,3x4
- TR10 – Stěnové ztužidlo z kruhové trubky TR 60,3x4
- TR11 – Stěnové ztužidlo z kruhové trubky TR 60,3x4
- HTR1 – Svíslice vazníku z kruhové trubky TR 60,3x4

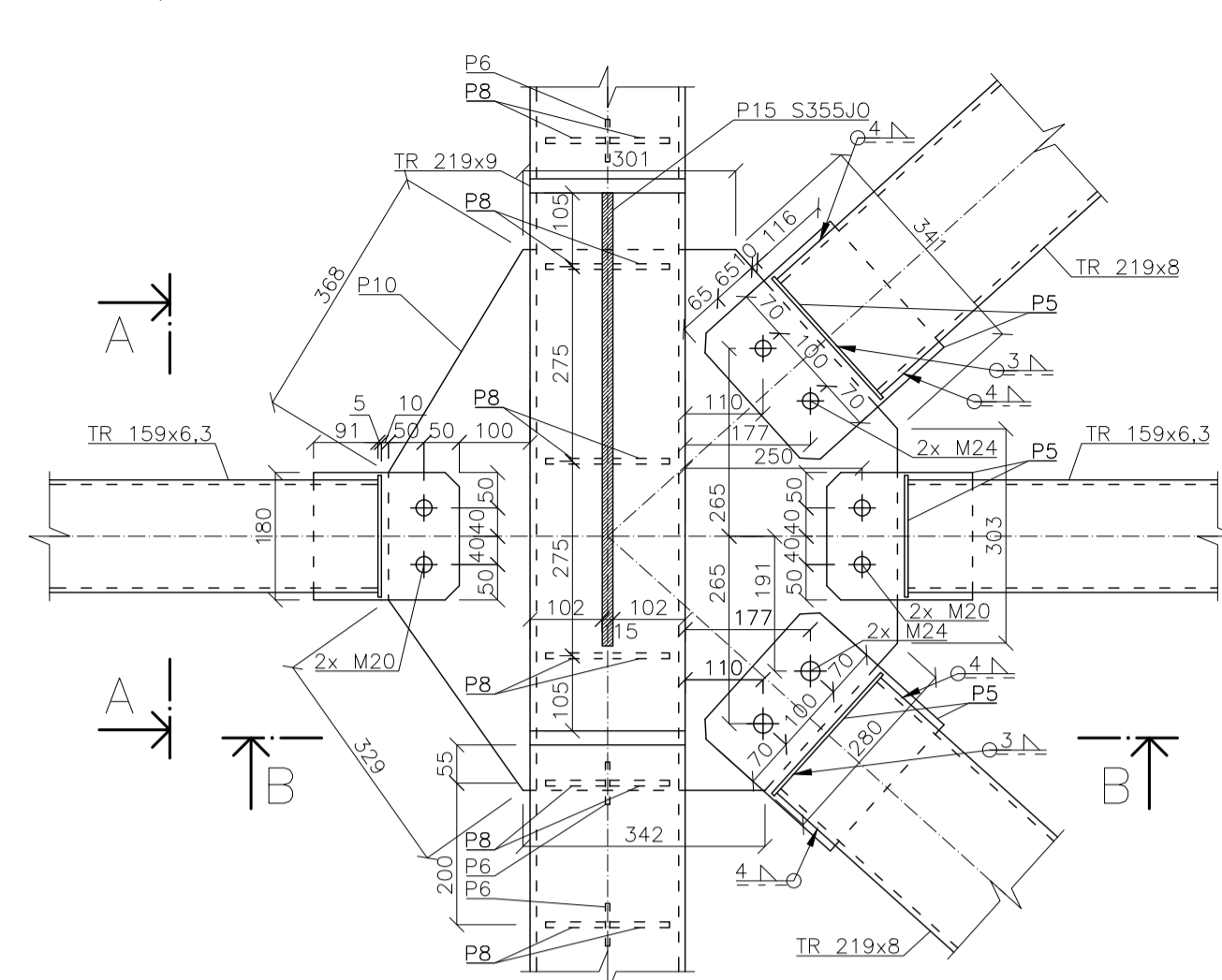
NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

|   |   |  |                             |                            |
|---|---|--|-----------------------------|----------------------------|
| Ocel S320C0 – Trapézové plechy                    | Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce                  | Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce | Ocel S420J0 – Materiál čepu | Ocel S460 – Materiál táhla |
| Beton C25/30 – Beton pro ocelobetonové konstrukce | Beton C20/25 – Beton pro ocelobetonové konstrukce         | Třída provedení EXC3                         |                             |                            |
| Obr: KPS  | Katedra: K134   | Jméno studenta: Bc. Pavel Bartošek           | FORMÁT 16x A4               |                            |
| Ročník: AKCE:                                     | Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. | MĚRITKO 1:200(1:100)                         | DATUM 01/2024               |                            |
| Výkres: Dispoziční – pohledy, řezy a geometrie    | C. VYKRESUJ: 5  |  |                             |                            |

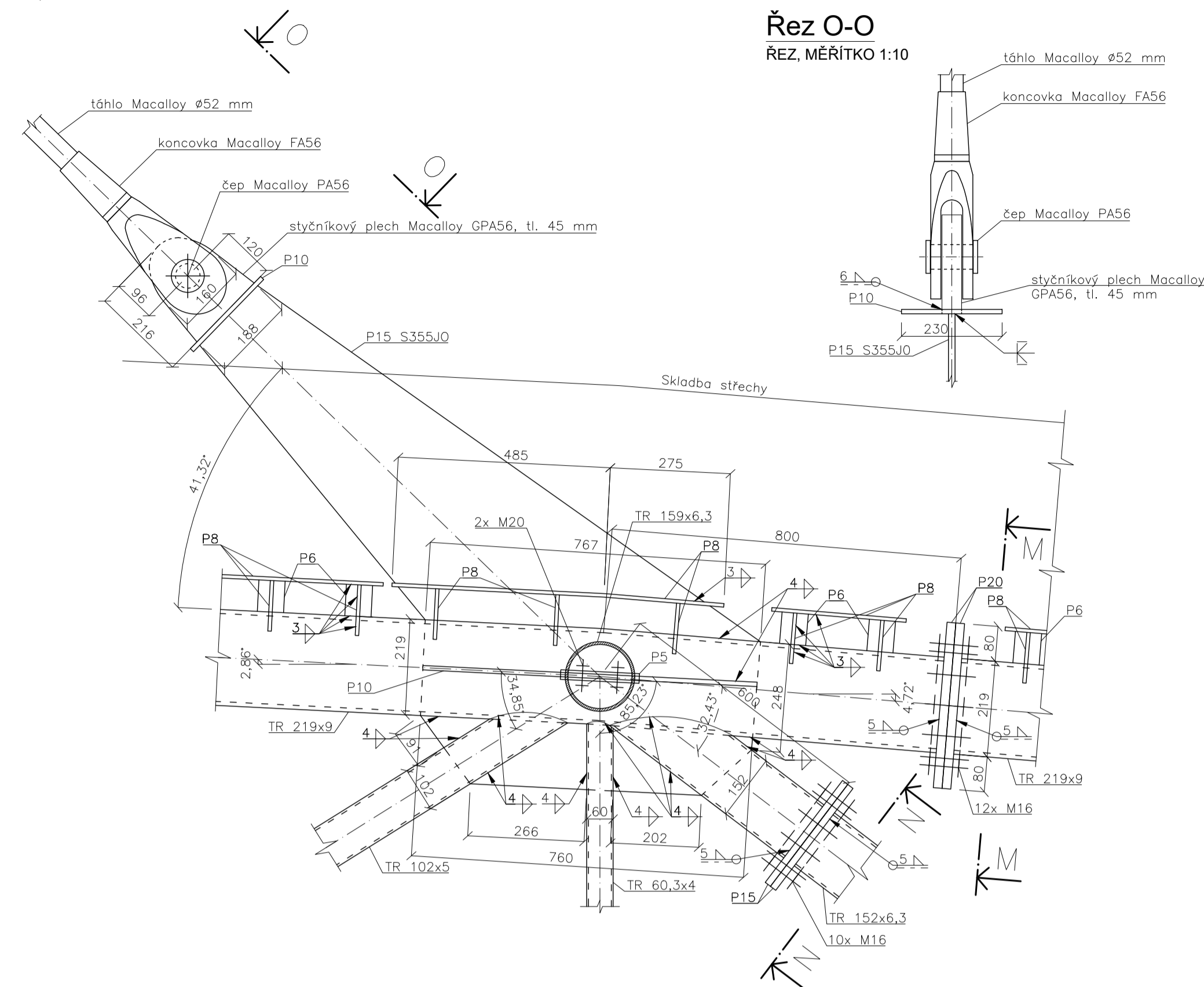
**Detail D1 - Připoj táhla k oblouku**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



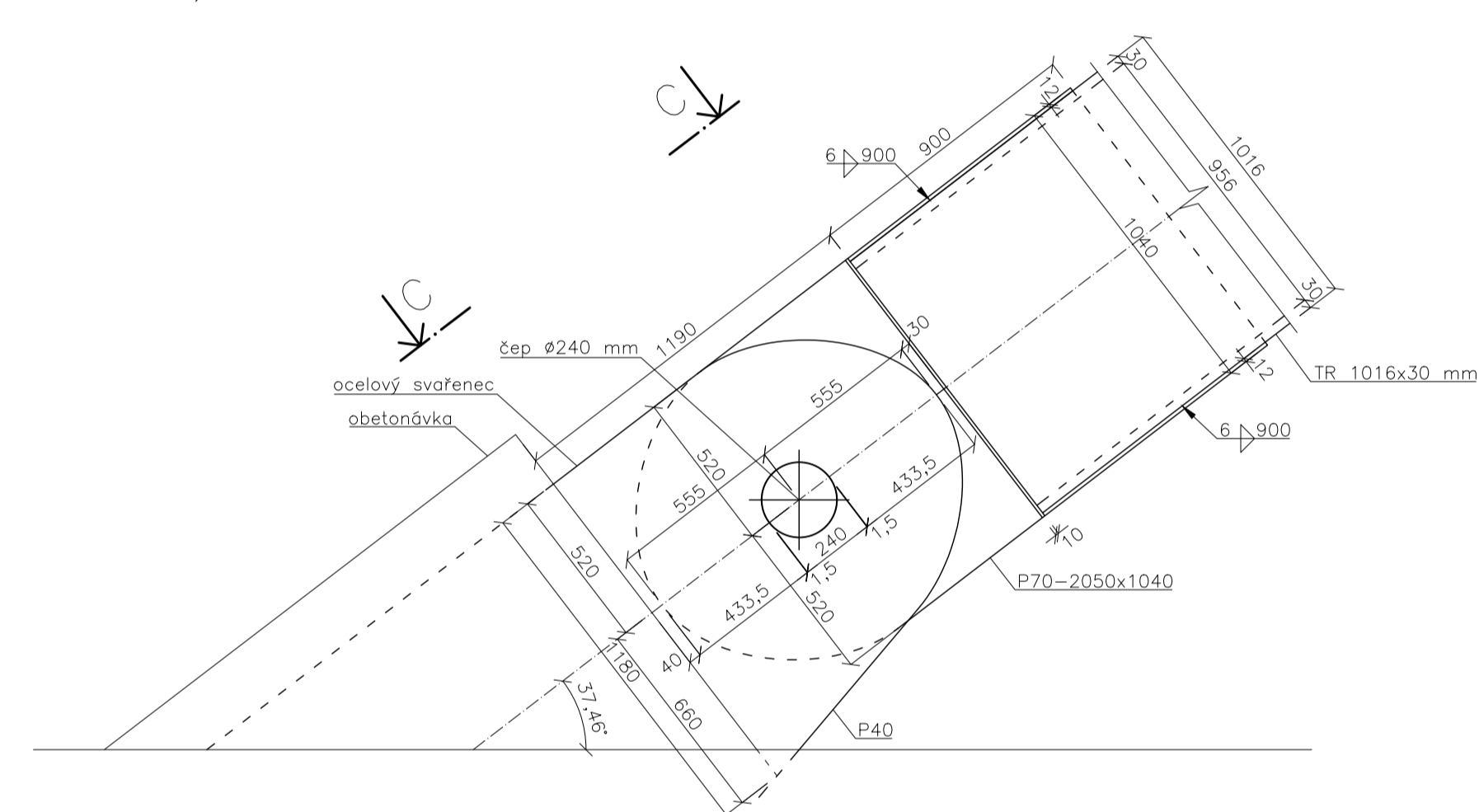
**Detail D2 - Připoj táhla k vazníku**  
 POHLED ZHORA, MĚRÍTKO 1:10



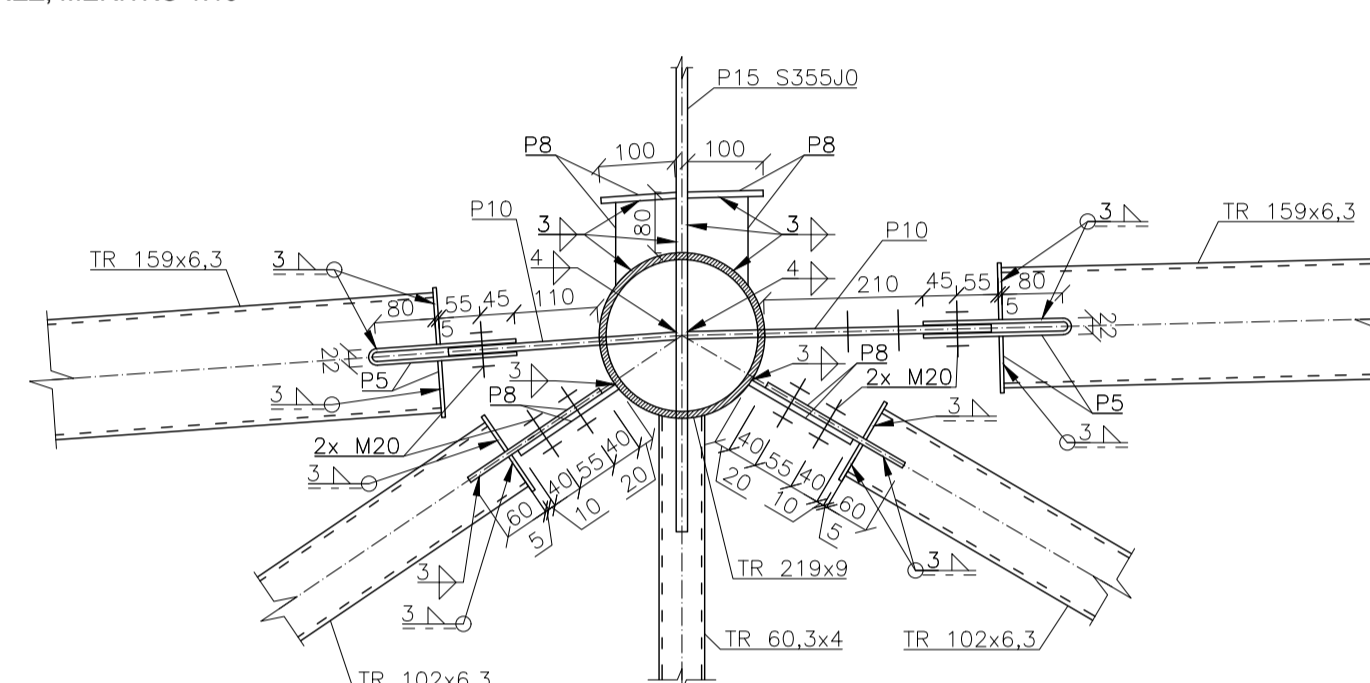
**Řez A-A - Připoj táhla k vazníku a montážní přípoje horního pásu a diagonály**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



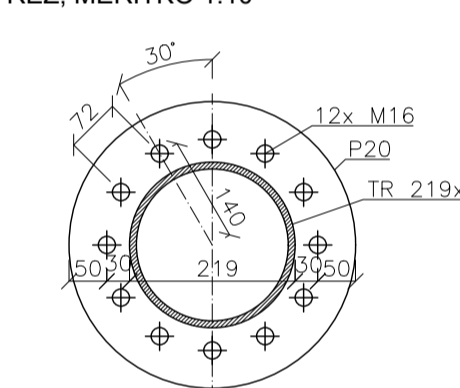
**Detail D3 - Čep oblouku**  
 BOČNÍ POHLED, MĚRÍTKO 1:20



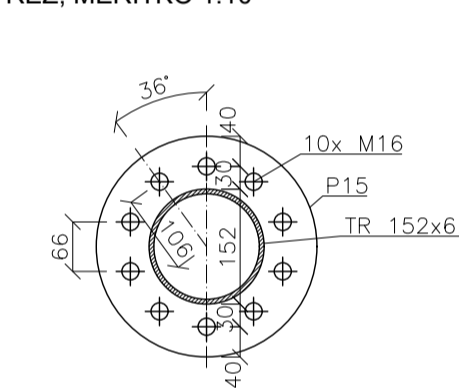
**Řez B-B - Připoj táhla k vazníku**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



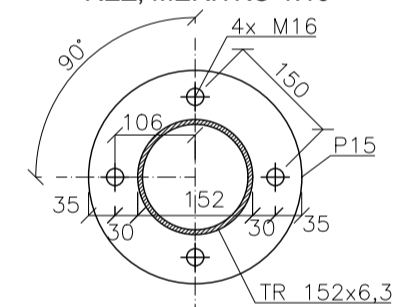
**Řez M-M**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



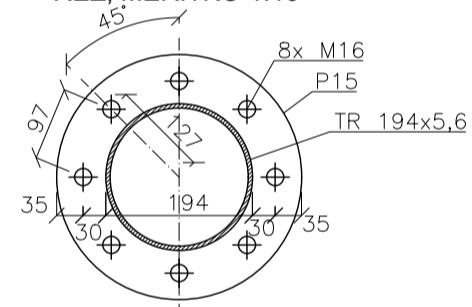
**Řez N-N**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



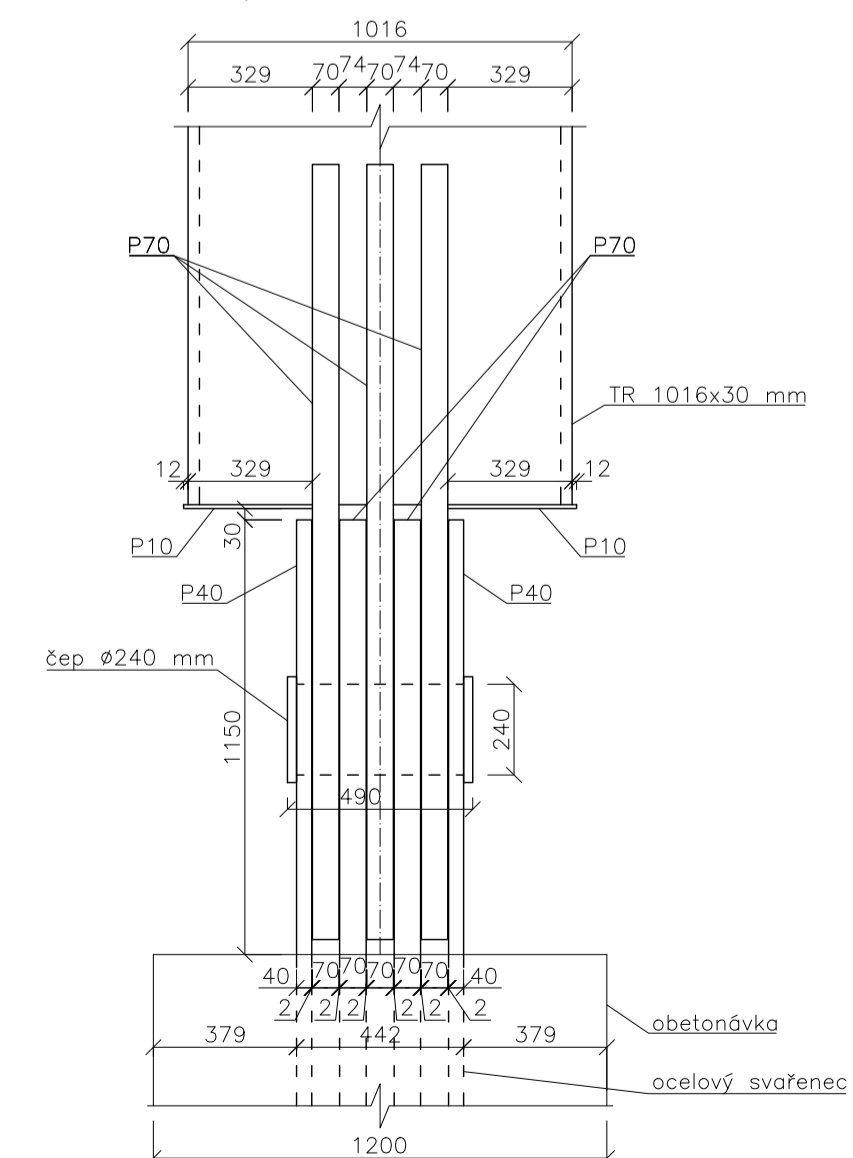
**Řez E-E**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



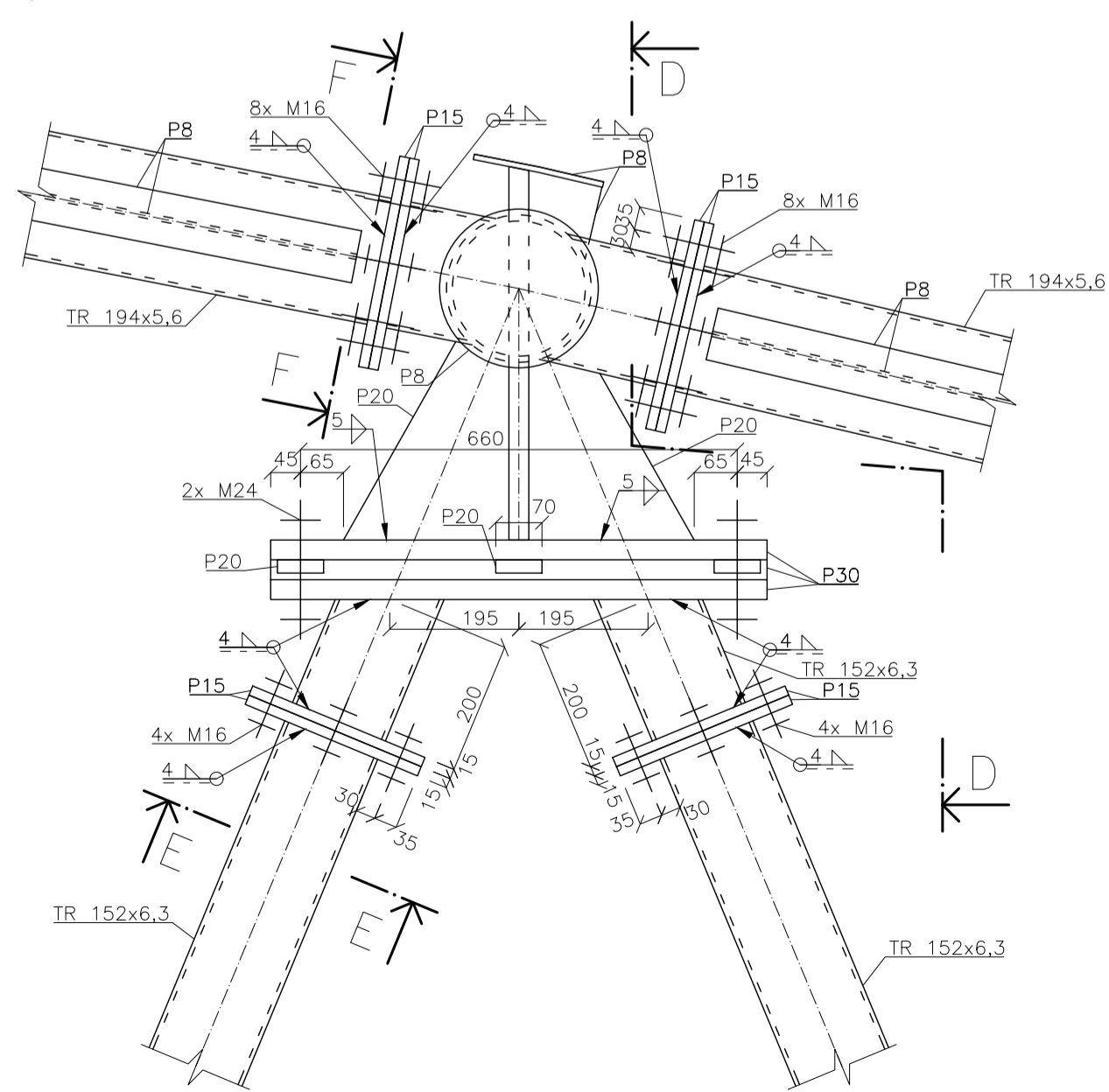
**Řez F-F**  
 REZ, MĚRÍTKO 1:10



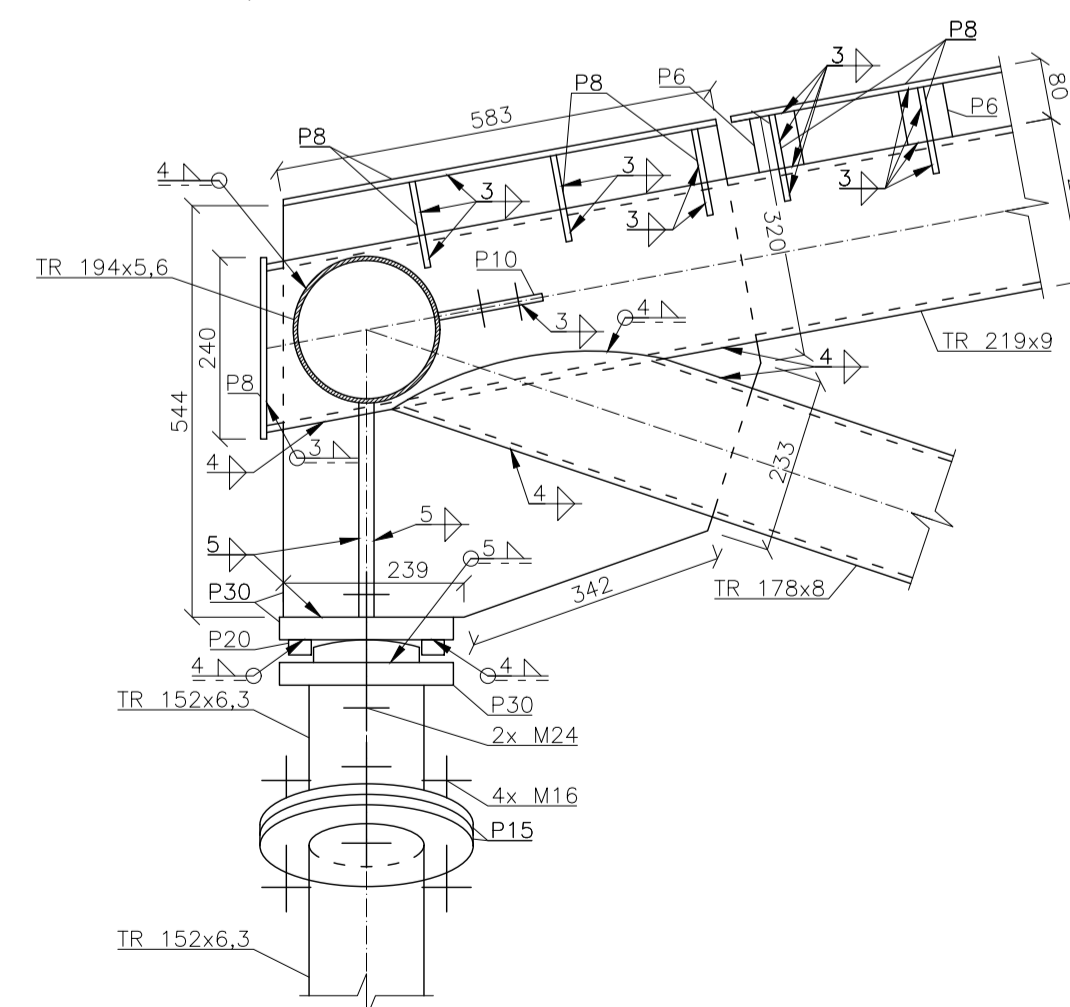
**Pohled C-C - Čep oblouku**  
 POHLED ZHORA, MĚRÍTKO 1:20



**Detail D4 - Připoj sloupu k vazníku**  
 ČELNÍ POHLED, MĚRÍTKO 1:10




**Řez D-D - Připoj sloupu na vazník**  
 POHLED ZHORA, MĚRÍTKO 1:20



Ocel S320GD – Trapézové plechy  
 Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce  
 Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce  
 Ocel S420J0 – Materiál čepu  
 Ocel S460 – Materiál táhla  
 Beton C25/30 – Beton pro ocelobetonové konstrukce  
 Beton C20/25 – Beton pro ocelobetonové konstrukce

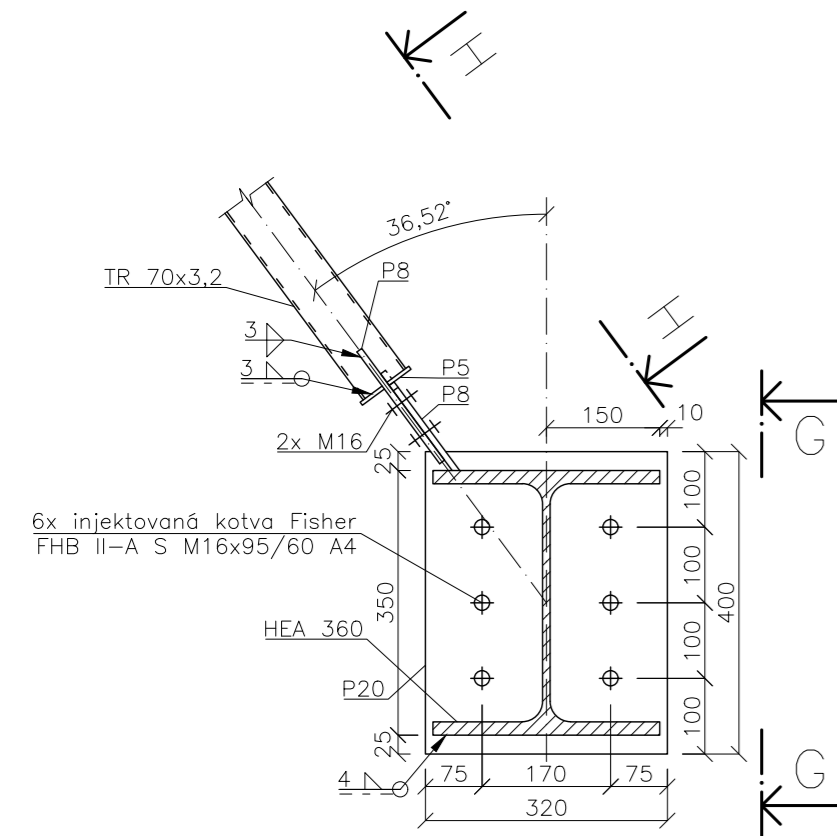
Třída provedení EXC3

|  |                                  |                    |   |         |
|--|----------------------------------|--------------------|---|---------|
| Obar:                                      | Katedra:                         | Jméno studenta:    |  |         |
| KPS  | K134                             | Bc. Pavel Bartošek |   |         |
| Ročník:                                    | Vedoucí diplomové práce:         |                    | FORMÁT  | 8x A4   |
| 2  | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    | MĚRÍTKO   | 1:10    |
| AKCE:                                      |                                  |                    | DATUM   | 01/2024 |
| Diplomová práce                            |                                  |                    | Č. VÝKRESU:   | 6       |
| Výkresy:                                   |                                  |                    |   |         |
| Detail D1, Detail D2, Detail D3, Detail D4 |                                  |                    |   |         |



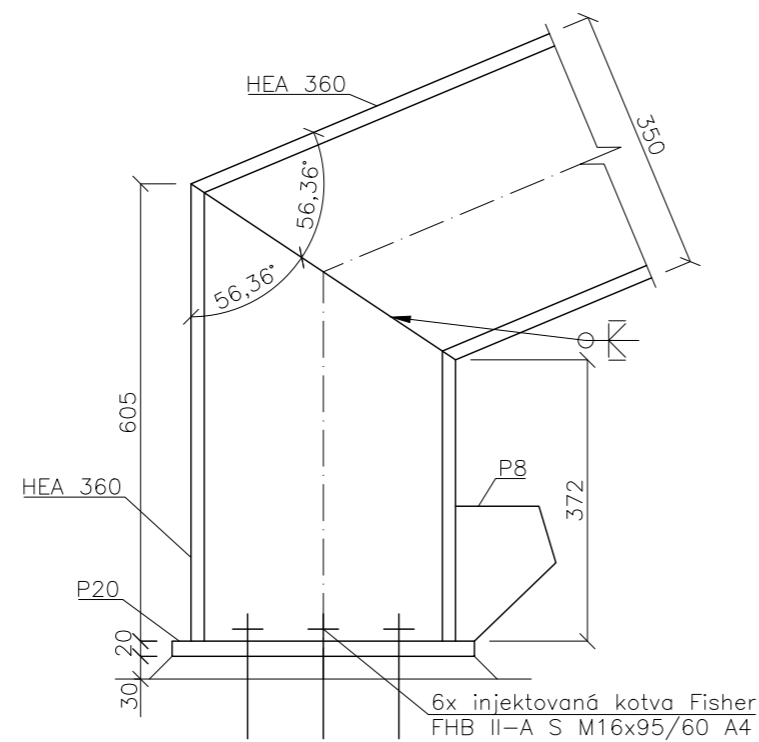
### Detail D5 - Uložení tribunového nosníku

ŘEZ, MĚŘITKO 1:10



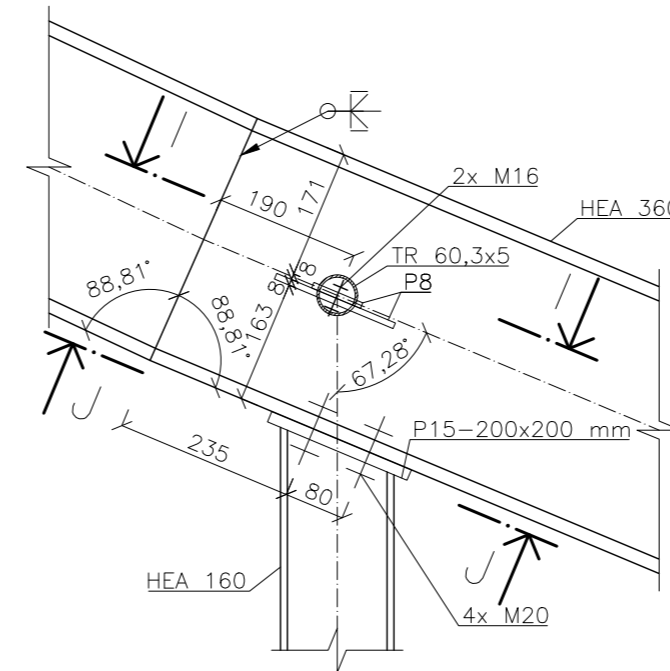
### Pohled G-G - Uložení tribunového nosníku

POHLED BOČNÍ, MĚŘITKO 1:10  
Pohled otočen o 90,0°



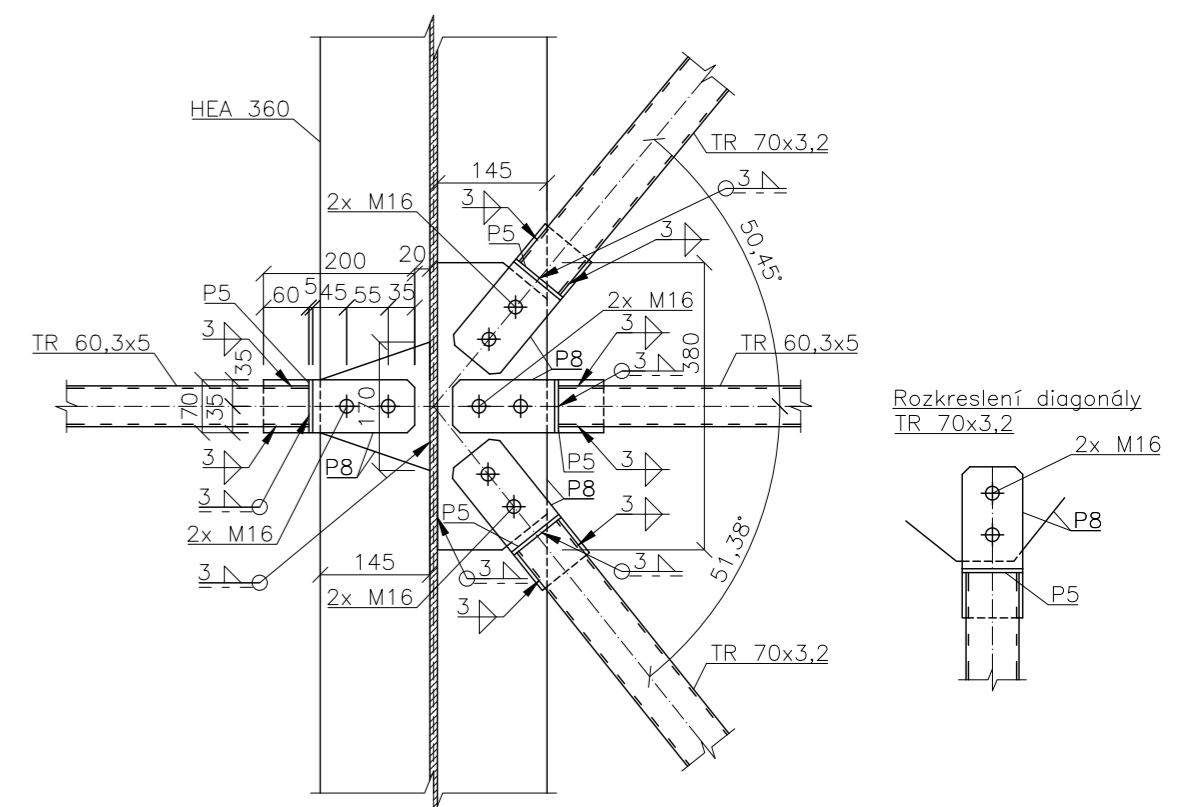
### Detail D6 - Napojení sloupu a ztužidel na nosník

BOČNÍ POHLED, MĚŘITKO 1:10



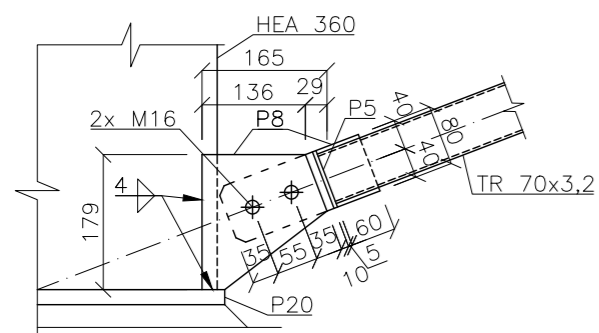
### Řez I-I - Napojení ztužidel na nosník

ŘEZ, MĚŘITKO 1:10



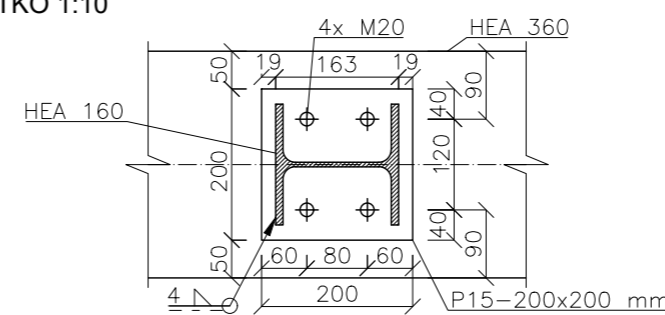
### Pohled H-H - Uložení tribunového nosníku

POHLED ŠIKMÝ, MĚŘITKO 1:10  
Pohled otočen o 126,50°



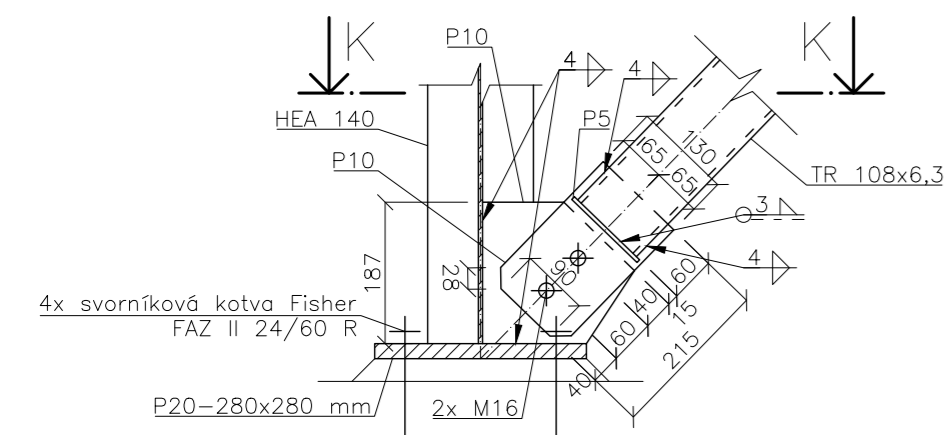
### Řez J-J - Napojení sloupu na nosník

ŘEZ, MĚŘITKO 1:10



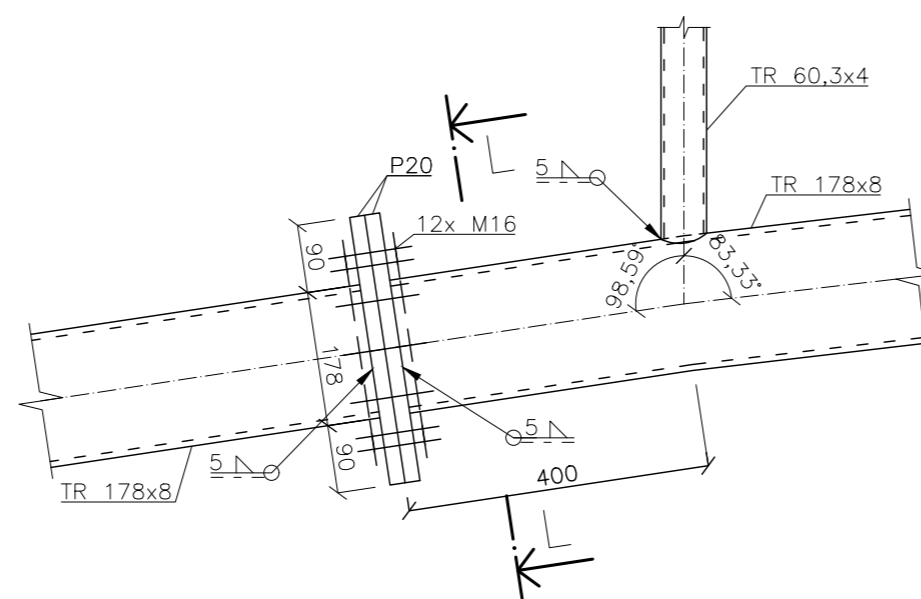
### Detail D7 - Štítový sloup a ztužidlo

ŘEZ ČELNÍ, MĚŘITKO 1:10



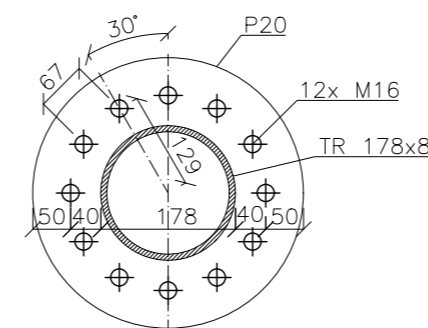
### Detail D8 - Montážní přípoj dolního pásu

ŘEZ ČELNÍ, MĚŘITKO 1:10



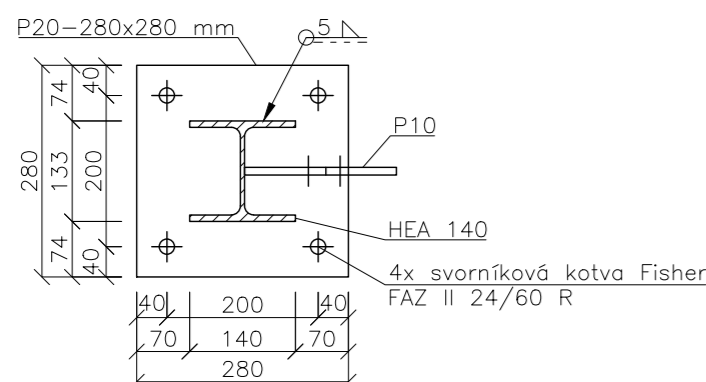
### Řez L-L

ŘEZ, MĚŘITKO 1:10




### Řez K-K - Štítový sloup a ztužidlo

ŘEZ, MĚŘITKO 1:10



- Ocel S320GD – Trapézové plechy
- Ocel S355JR – Vnitřní ocelové konstrukce
- Ocel S355J0 – Exteriérové ocelové konstrukce
- Ocel S420J0 – Materiál čepu
- Ocel S460 – Materiál táhel
- Beton C25/30 – Beton pro ocelobetonové konstrukce
- Beton C20/25 – Beton pro ocelobetonové konstrukce

Třída provedení EXC3

|  |                                  |                    |   |
|--|----------------------------------|--------------------|---|
| Obor:                                      | Katedra:                         | Jméno studenta:    |  |
| KPS  | K134                             | Bc. Pavel Bartůšek |   |
| Ročník:                                    | Vedoucí diplomové práce:         |                    |   |
| 2  | prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. |                    |   |
| AKCE:                                      |                                  |                    |   |
| Diplomová práce                            |                                  |                    |   |
| Výkresy:                                   |                                  |                    |   |
| Detail D5, Detail D6, Detail D7, Detail D8 |                                  |                    |   |
|  |                                  | FORMÁT             | 6x A4   |
|  |                                  | MĚŘITKO            | 1:10  |
|  |                                  | DATUM              | 01/2024   |
|  |                                  | Č. VÝKRESU:        | 7   |