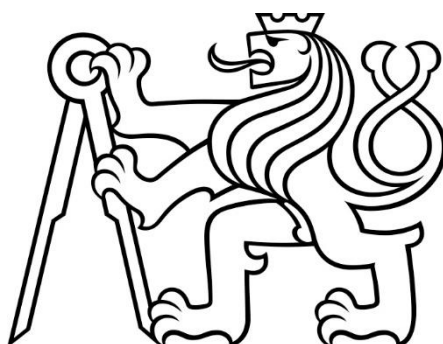


**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**




**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2022

**Bc. ŠIMON
POVOLNÝ**

SEZNAM DOKUMENTACE:

- FORMÁLNÍ NÁLEŽITOSTI
- TECHNICKÁ ZPRÁVA
- STATICKÝ VÝPOČET
- VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE						
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný							
VEDOUcí PRÁCE	ROČNÍK								
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.								
<h1>FORMÁLNÍ NÁLEŽITOSTI</h1>			<table border="1"> <tr> <td>FORMÁT</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td>DATUM</td> <td>01/2022</td> </tr> <tr> <td>POČET LISTŮ</td> <td>4</td> </tr> </table>	FORMÁT	A4	DATUM	01/2022	POČET LISTŮ	4
FORMÁT	A4								
DATUM	01/2022								
POČET LISTŮ	4								
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE									

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Povolný Jméno: Šimon Osobní číslo: 468 183
Zadávající katedra: K134
Studijní program: SI
Studijní obor: C

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zastřešení zimního stadiónu v Chomutově
Název diplomové práce anglicky: Roofing of the ice-hockey arena in Chomutov

Pokyny pro vypracování:

Statický výpočet všech hlavních prvků a detailů,
výkresová dokumentace (dispoziční výkresy, výkresy hlavních detailů),
technická zpráva,
popis postupu montáže.


Seznam doporučené literatury:
Předán osobně vedoucím DP.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

Datum zadání diplomové práce: 30.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2022

Údaj uváděte v souladu s datem v šestičíslném kalendáři ČVUT k 1. lednu 2022 roku


Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.9.2021

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zastřešení zimního stadiónu v Chomutově“ vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze, dne 21.1.2022

Šimon Povolný

Poděkování

Děkuji panu docentu Jakubu Dolejšovi za příkladné vedení závěrečné práce. Děkuji své rodině, rodičům i sestřám, za podporu a vynikající studijní podmínky, které mi byly poskytnuty. Děkuji Emě, která mě neustále podporuje a ukazuje mi svým příkladem správnou cestu. Děkuji Mikovi za to, že mi byl v době psaní této práce vždy připraven zlepšit náladu. A také děkuji Ing. Vladimíru Příbramskému za pomoc s výpočetním softwarem, jelikož bez jeho konzultací by pro mě práce byla mnohem složitější.

Anotace:

Cílem diplomové práce je návrh konstrukce zastřešení zimního stadiónu s využitím předpínaných táhel. Byl proveden návrh a posouzení následujících prvků: nosné oblouky, předepnutá táhla, příhradové vazníky, sloupy a ztužidla. Dále byly navrženy a posouzeny hlavní spoje v konstrukci. Také byl popsán postup montáže celé konstrukce. K návrhu byla vyhotovena technická zpráva a výkresová dokumentace.

Klíčová slova:

Ocelová konstrukce, zastřešení, předpínání, příhradový nosník, statický výpočet, konstrukční detaily, ztužení

Annotation:

The aim of this diploma thesis is a design of load-bearing roofing of an ice-hockey stadium with a use of prestressed strains. Following parts were designed and verified: load-bearing arches, prestressed strains, truss girders, columns and bracing. Then the main joints were designed and verified. The construction process was also described. Technical report and drawing documentation are provided too.

Key words:

Steel structure, roofing, prestressing, truss, structural design, detailing, bracing

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIÓNU V
CHOMUTOVĚ

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Bc. ŠIMON POVOLNÝ

PRAHA 2022

Obsah

1. Základní informace o konstrukci.....	3
2. Popis zatížení.....	4
2.1. Stálé zatížení.....	4
2.2. Proměnné zatížení.....	4
2.3. Předpětí.....	5
3. Popis nosných částí konstrukce	5
3.1. Příhradové vazníky.....	5
3.2. Ztužidla.....	5
3.3. Sloupy	5
3.4. Předepjatá táhla	6
3.5. Nosné oblouky.....	6
4. Materiály	6
5. Postup výroby ocelové konstrukce	6
6. Postup montáže konstrukce.....	7
7. Protikorozní ochrana.....	14
8. Požární odolnost konstrukce.....	14
9. Seznam obrázků.....	15
10. Použitá literatura	15
11. Použité normy	16

1. Základní informace o konstrukci

Ocelová konstrukce slouží k zastřešení zimního stadionu. Stavba se nachází v Chomutově, v Ústeckém kraji. Základy a stěny stavby jsou provedeny z betonu, do kterého jsou vetknuty sloupy navazující stropní konstrukce. Střeška je tvořena příhradovými vazníky a ztužidly. Nosné oblouky jsou ukotveny samostatně, mimo hlavní betonovou konstrukci stavby. Propojení nosných oblouků a střešních příhradových vazníků je zajištěno předepjatými táhly.

Půdorysné rozměry hlavní budovy konstrukce jsou 68 x 82 m. Kotevní body nosných oblouků tvoří v půdorysu obdélník o rozměrech přibližně 127 x 28 m. Celá konstrukce, včetně nosných oblouků a táhel, je symetrická podle dvou os. Oblouky jsou v příčném směru skloněny pod úhlem 35°. Maximální výška nosných oblouků je 35,72 m a maximální čistá výška střešní konstrukce je 18,5 m vzhledem k úrovni okolního terénu. Betonová konstrukce dosahuje výšky 9 m a od této výšky pak navazuje konstrukce ocelová.

Střešní konstrukce je tvořena primárně příhradovými vazníky, které jsou dále doplněné potřebnými ztužujícími prvky. Jednotlivé příhradové vazníky jsou umístěny v osové vzdálenosti 5,125 m. Ve stejné vzdálenosti jsou umístěny v podélném směru také 3 metry vysoké sloupy, na kterých jsou příhradové vazníky umístěny. Mezi sloupy v prostřední části stěny jsou umístěna ztužidla. Ve štítových stěnách jsou sloupy umístěny v osové vzdálenosti 6,8 m a jejich výška je proměnná, aby sloup vždy dosahoval až ke spodní hraně příhradového vazníku. Ztužení v příčném směru je zajištěno umístěním ztužidel do obou krajních polí štítových stěn. Sklon střechy je 5,07°, což na 34 metrech šířky vazníku dělá výškový rozdíl 3 metrů. Střeška je sedlového typu a je spádována ve směru kratších stěn. Spád střechy je tvořen tvarem příhradového vazníku.

2. Popis zatížení

2.1. Stálé zatížení

Stálé zatížení je rozděleno do tří kategorií: vlastní tíha, tíha pláště a tíha podvěsů. Vlastní tíha zahrnuje veškerou vlastní tíhu konstrukce. Plášť je dvojího typu – stěnový a střešní.

V rámci střešního pláště jsou započítané betonové panely, tepelná izolace, hydroizolace i spojovací vrstvy. Hodnota zatížení střešním pláštěm tedy pokrývá celé souvrství, umístěné na ocelové nosné konstrukci. Střešní plášť je vyjádřen zatížením o hodnotě 170 kg/m². Stěnový plášť je tvořen sendvičovými panely o plošné hmotnosti 15 kg/m².

Podvěsy zahrnují zatížení od zavěšených světel, technologického vedení, reproduktorů či jiných elektrotechnických prvků. Hmotnost podvěsů byla plošně stanovena na 15 kg/m².

Uprostřed haly je zavěšena multifunkční kostka o hmotnosti 4 tuny.

2.2. Proměnné zatížení

Dle normy ČSN EN 1991-1-3 je stanoveno zatížení větrem na konstrukci. Určená větrná oblast II s výchozí základní rychlostí větru $v_{b,0}=25$ m/s. Referenční výška budovy je 18 m, součinitele směru větru a ročního období jsou rovny jedné.

Dále je dle normy ČSN EN 1991-1-4 stanoveno zatížení sněhem. Jedná se o sněhovou oblast III s charakteristickou hodnotou $s_k=1,5$ kPa. Charakteristická hodnota plošného zatížení je 1,2 kN/m², návrhová hodnota je pak 1,8 kN/m².

Uvažováno je i montážní zatížení. Jeho velikost je stanovena na 0,75 kN/m² a plocha je vyčleněna pro logické pole mezi vazbami střechy, tedy 13,6 x 10,25 m. To je konzervativní přístup uvažování zatížení, jelikož běžně se montážním zatížením zatěžuje plocha 10 m², ale tento postup neučiní návrh neekonomickým, jelikož vzhledem k velikosti a ploše ostatních zatížení má toto zatížení malý vliv.

Vzhledem k exteriérové expozici konstrukce je také počítáno s náhlým ochlazením či ohřátím konstrukce o 30°C. Tato změna teploty však je aplikována pouze na vnější prvky, tedy táhla a oblouky, jelikož ostatní prvky se nachází ve vytápěném, nebo alespoň temperovaném prostoru a výkyv teploty bude mnohem menší.

2.3. Předpětí

Na veškerá táhla je aplikováno předpětí. Jeho velikost se různí podle umístění táhla, nicméně konstrukce je symetrická a tak jsou táhla navrhována ve skupině po čtyřech (respektive po dvou v místě příčné osy konstrukce). Konkrétní hodnoty předpětí jednotlivých táhel jsou k vidění ve výkresové dokumentaci.

3. Popis nosných částí konstrukce

3.1. Příhradové vazníky

Příhradové vazníky jsou vyrobeny z hranatých trubek (HTR). Horní pás má průřez HTR 300x200x10 mm. Je nutné, aby byl dostatečně široký pro uložení stropních panelů a tak je v konstrukci umístěn tak, že je ohybem namáhán ve směru menší tuhosti. Dolní pás je symetrický, jedná se o profil HTR 200x200x10. Diagonály jsou rozděleny do dvou skupin: krátké (HTR 140x140x8) a dlouhé (HTR 180x180x8). Nejmenším prvkem jsou svislice, které jsou tvořeny profilem HTR 120x120x4.

Absolutní výška příhradového vazníku je 6 metrů, ačkoliv ve svislém řezu je vždy výškový rozdíl mezi horní a dolní hranou roven 3200 mm. Horní i dolní pás mají vzhledem k vodorovné rovině úhel 5,07°. Šířka vazníku je 68m a vazník je osově souměrný. Zároveň vazník svým sklonem rovnou vytváří sedlový tvar střechy.

3.2. Ztužidla

Ztužidel se v konstrukci nachází několik různých druhů. Podélnou tuhost zajišťují vnější podélná ztužidla (TR 127/4), vnitřní podélná ztužidla (TR159/6 pro diagonálu a TR168,3/6 pro horní a dolní pás) a vnitřní horizontály (TR133/5). Příčnou tuhost zajišťují příčná ztužidla (TR101,6/3). Dále jsou v konstrukci umístěna horní střešní ztužidla (TR193,7/6) a dolní střešní ztužidla (TR168,3/5).

Veškerá ztužidla jsou kloubově uložena tak, aby byla namáhána hlavně osovými silami.

3.3. Sloupy

Sloupy jsou rozděleny na 2 kategorie – běžné, stěnové sloupy, pro něž je navržen profil HEA140 a štítové sloupy (včetně rohových), které jsou provedeny z HEA180.

3.4. Předepjatá táhla

Předepjatá táhla byla zvolena podle technického listu výrobce Macalloy. Dvě táhla v konstrukci (Lh1) mají průměr 72 mm, všechna ostatní mají průměr 52 mm. Umístění a předpínací síly táhel jsou k vidění ve výkresové dokumentaci.

3.5. Nosné oblouky

Nosné oblouky jsou vytvořeny ze svařovaného čtvercového průřezu o rozměrech 1400/1400 mm s tloušťkou stěny 60 mm. Materiál oblouků je ocel S235J2.

4. Materiály

V ocelové konstrukci zastřešení jsou použity 3 materiály. Pro táhla je použita ocel od výrobce Macalloy s mezí kluzu 520 MPa, oblouky jsou z oceli S235J2, na všechny ostatní prvky je použita ocel S355J0. Šrouby jsou třídy 8.8. Stropní panely jsou provedeny z betonu C30/37. Spodní část stavby je také provedena z betonu C30/37. Sendvičové panely jsou složeny z více materiálů, jejich přesná skladba může být zjištěna v technickém listu produktu.

5. Postup výroby ocelové konstrukce

Třída provedení ocelové konstrukce je EXC3 (zejména z důvodu možných následků). Nosné oblouky budou dopraveny na staveniště ve formě předpřipravených dílců. Dílce budou mít takový rozměr, aby jejich přeprava nebyla zbytečně komplikovaná (budou tedy mít maximálně 13 metrů v nejdelším rozměru). Tyto dílce se na staveništi svaří, vztyčí a oba oblouky se propojí v jeden celistvý útvar. Podobný postup bude použit u příhradových vazníků. Vazníky budou rozděleny na části takové velikosti, aby byla možná jejich doprava běžnými dopravními prostředky (tedy také délky menší než 13 m). Následně budou vazníky na staveništi svařeny v poloze „na ležato“. Jak vazníky, tak oblouky budou opatřeny dílenským nátěrem, který bude doplněn na svařovaných místech konstrukce přímo na staveništi.

Ztužidla, sloupy (včetně navařených úpalků pro uchycení stěnového pláště) a horizontální vzpěry budou vyrobeny na míru předem a na stavbě už nebudou dále upravovány. Převážně budou plechy a smykové trny, připravené k propojení jednotlivých prvků, ke

konstrukcím přivařeny již z dílenské výroby. Pokud by však tato příprava měla omezit dopravu například neumožněním ideálního uložení dílce, je možné navařit přesahující či vyčnívající části až na staveništi.

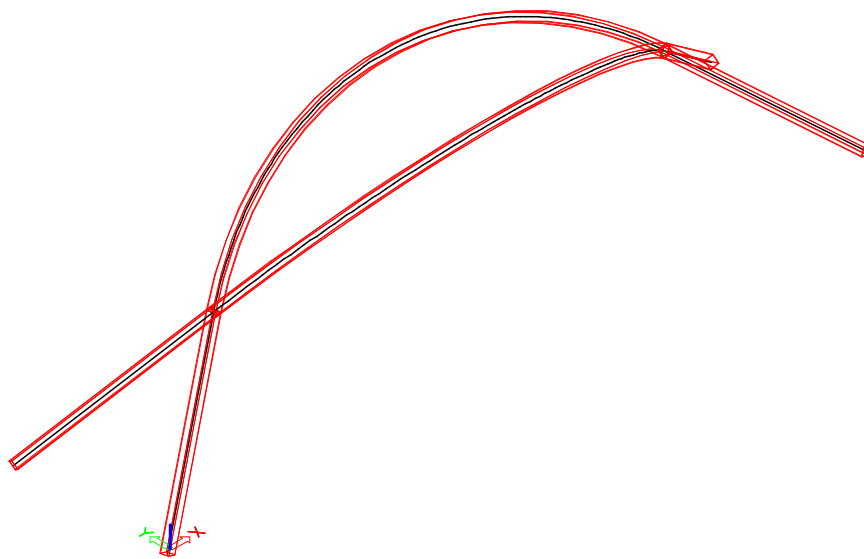
Veškeré montážní spoje na stojící konstrukci budou pouze šroubované. Svařování na staveništi bude součástí přípravné fáze, tedy kompletace jednotlivých dílců, které by nebylo možné přepravit vcelku a v případě nutnosti budou ještě navařeny ty spojovací části, které nemohly být navařeny předem z důvodu možného zkomplikování dopravy.

6. Postup montáže konstrukce

V této kapitole je podrobně popsán postup výstavby. Pro větší přehlednost je přikládáno postupně rostoucí schéma konstrukce, v němž je vždy červenou barvou vyznačena nově umístěná část konstrukce.

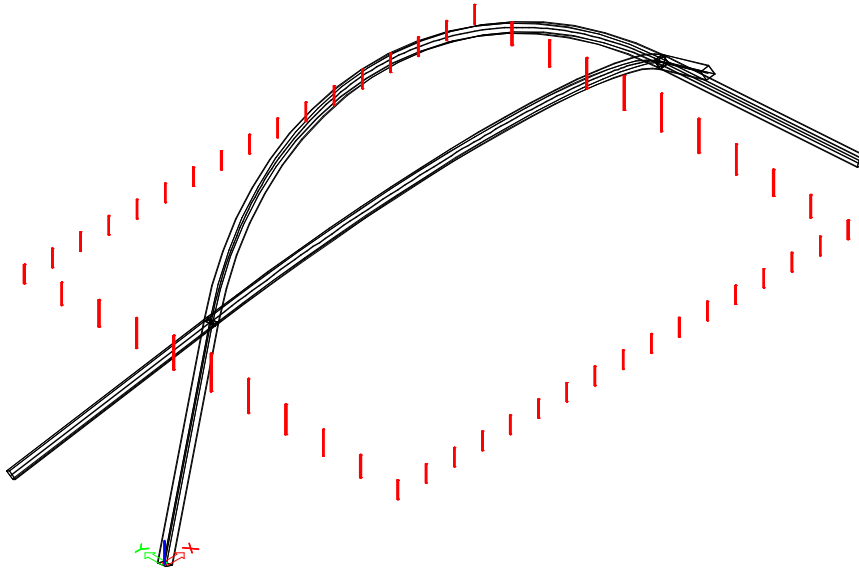
Na staveništi budou nejprve dokončeny dílce, které je potřeba přivést po částech.

Jako první budou umístěny a propojeny nosné oblouky.



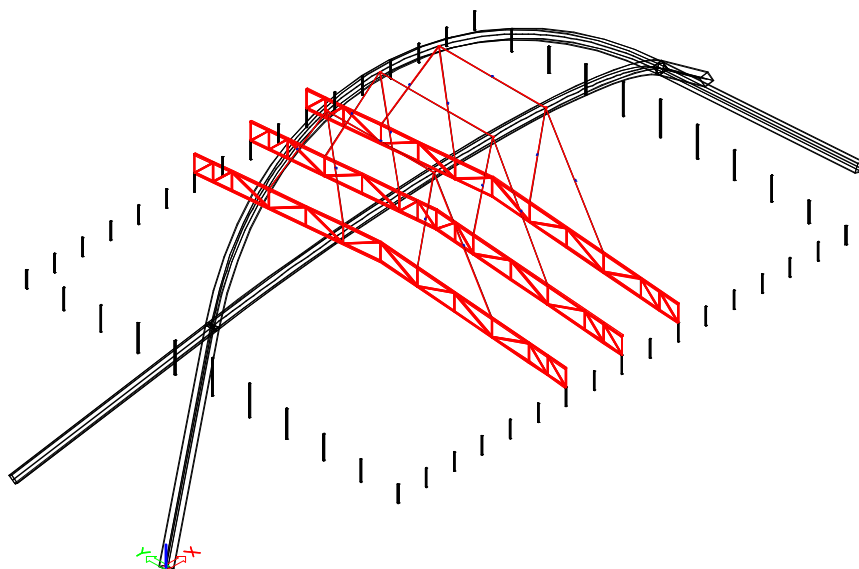
Obrázek 1 – nosné oblouky

Následně dojde k osazení sloupů. Sloupy jsou uloženy kloubově, takže by měly být dočasně podepřeny, než budou spojeny s konstrukcí.



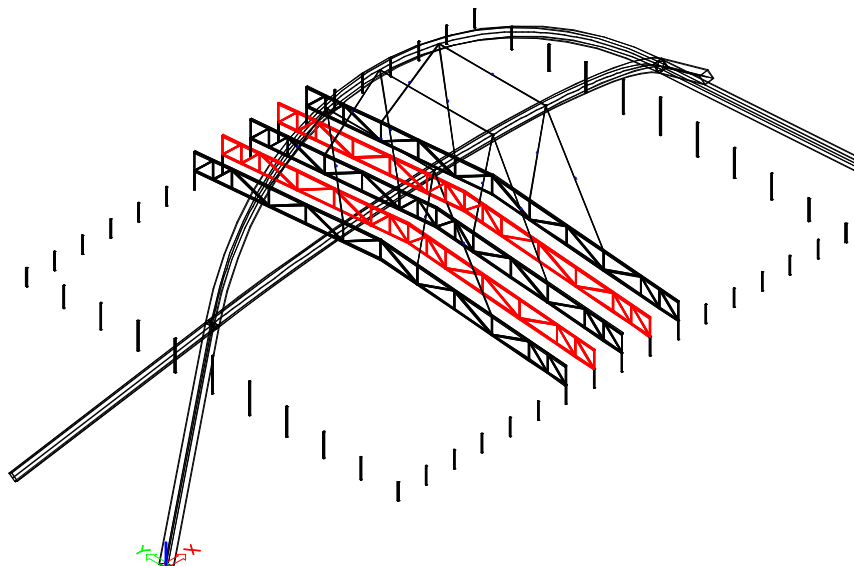
Obrázek 2 – sloupy

Dále bude provedeno ukládání jednotlivých příhradových vazníků. Nejprve budou uloženy tři prostřední vazníky, které budou táhly propojeny s oblouky. Stejně tak budou umístěna náležitá horizontální táhla mezi oblouky. Vazníky budou umisťovány od prostředka směrem ke štítovým stěnám, aby nedocházelo k nesymetrickému zatížení konstrukce. Táhla budou prozatím bez předpětí, ale už od začátku musí být měřeno jejich protažení, aby bylo možné později stanovit požadovanou předpínací sílu.



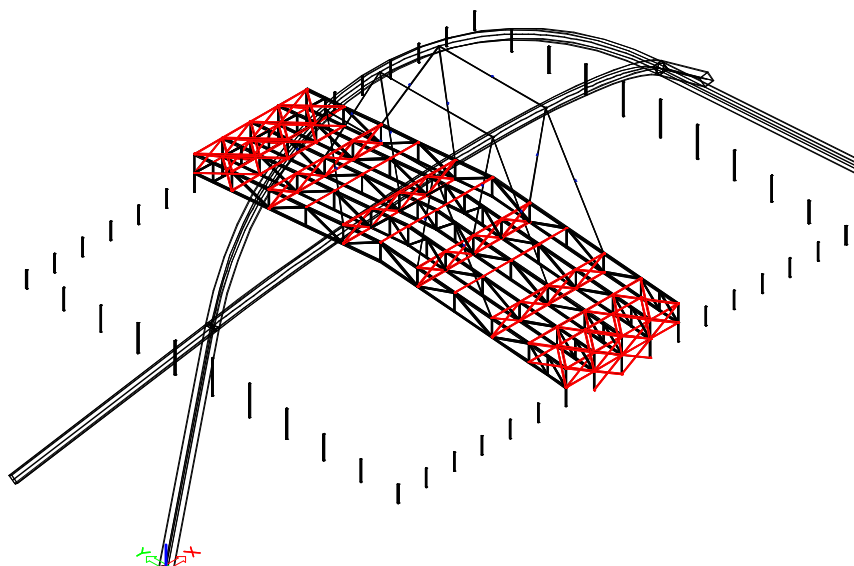
Obrázek 3 – střední vazníky

V dalším kroku budou umístěny dva mezilehlé vazníky. Tyto vazníky však nejsou vyvěšeny na táhlech, a tak musí být podepřeny závěsy na jeřábu, dokud nebudou v dalším kroku ztuženy a propojeny se zavěšenými vazníky po obou stranách.



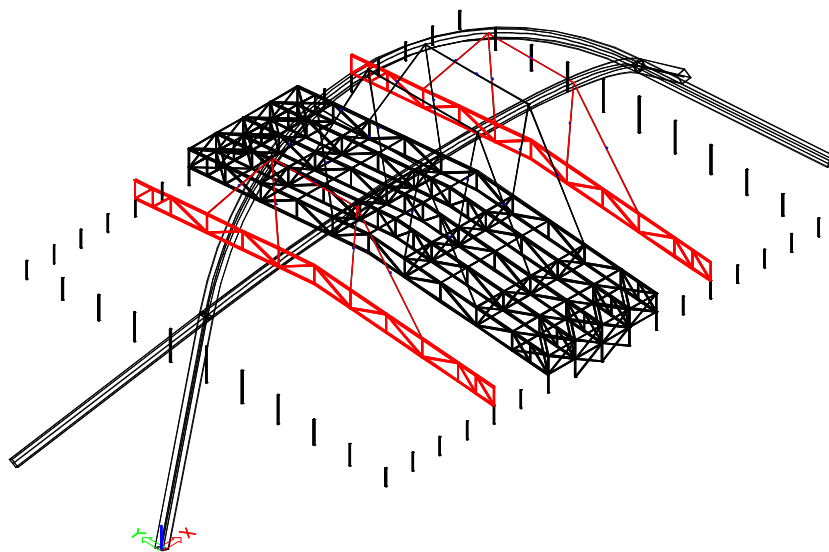
Obrázek 4 – mezilehlé střední vazníky

Co nejrychleji budou vazníky propojeny s již umístěnými vazníky pomocí ztužujících prvků. V této fázi budou umístěna všechna ztužidla patřící mezi uložené vazníky.

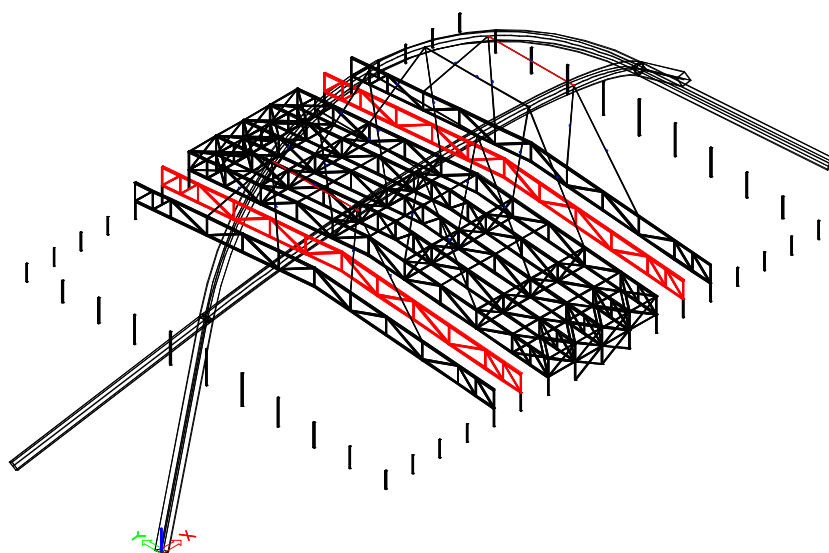


Obrázek 5 – střední ztužidla

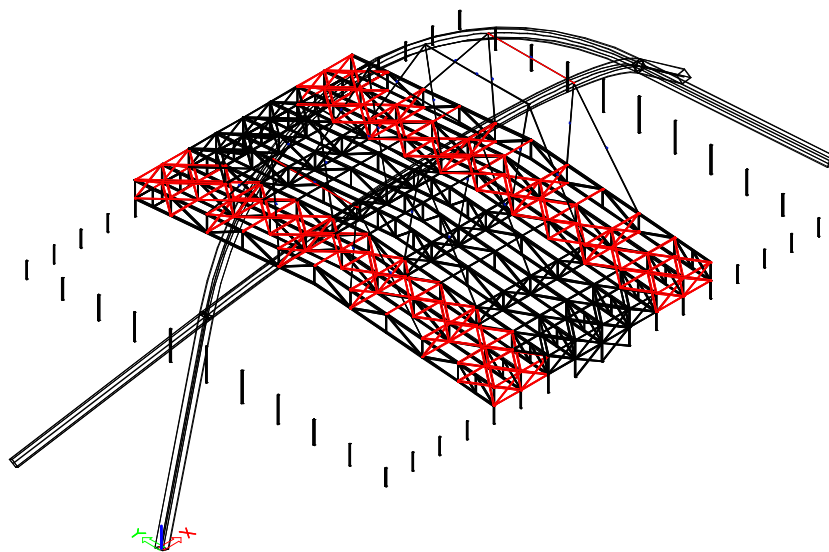
Výstavba bude pokračovat stále stejným principem. Znovu tedy budou umístěny zavěšené vazníky, pak vazníky mezilehlé a vzápětí ztužení.



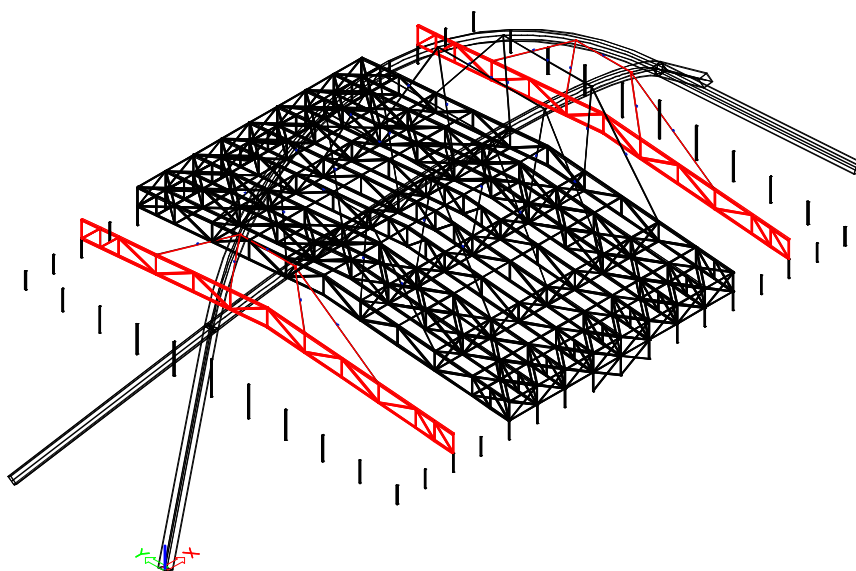
Obrázek 6 – vazníky s táhly



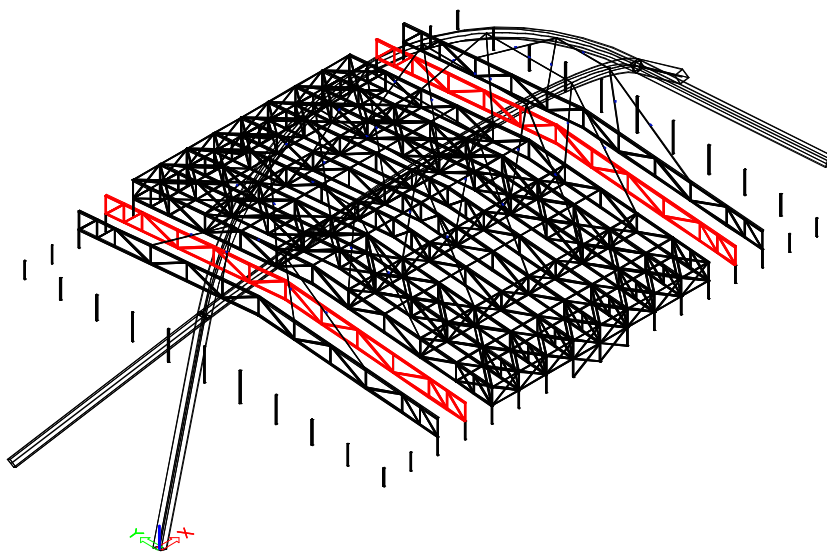
Obrázek 7 – vazníky bez táhel



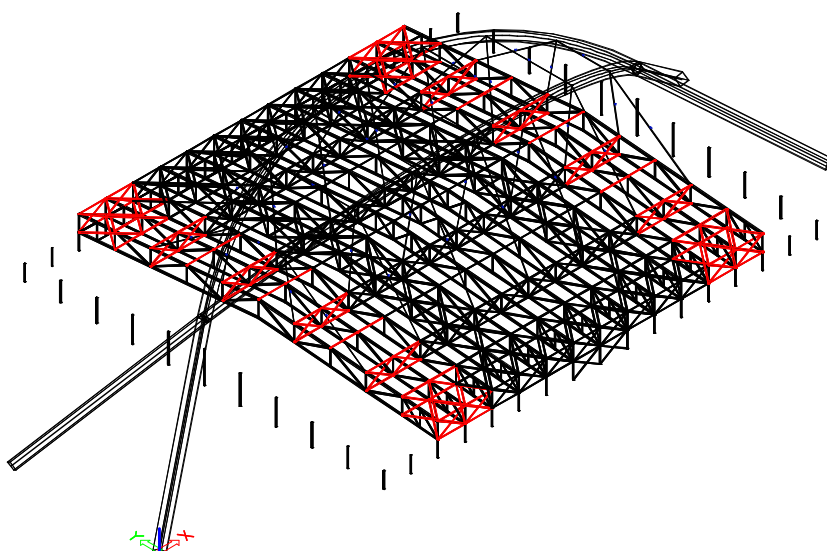
Obrázek 8 – ztužidla u nových vazníků



Obrázek 9 – krajní vazníky s táhly

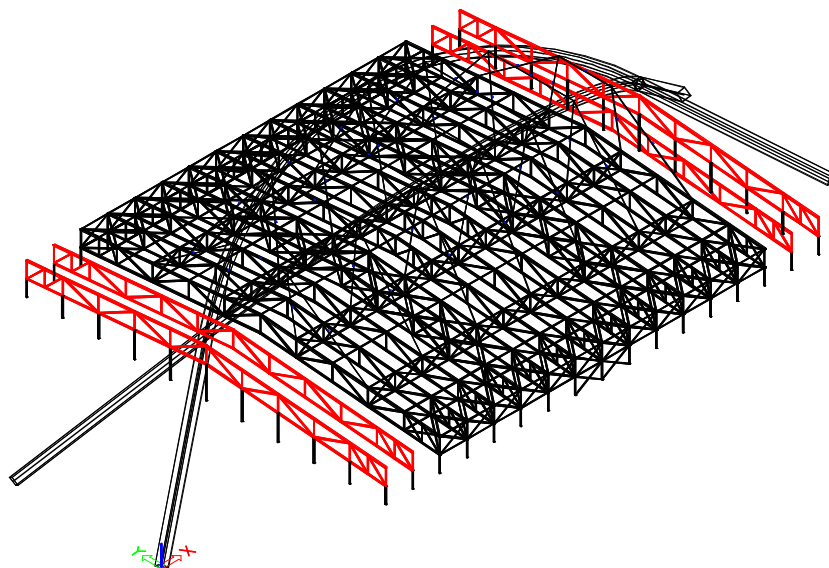


Obrázek 10 – další mezilehlé vazníky



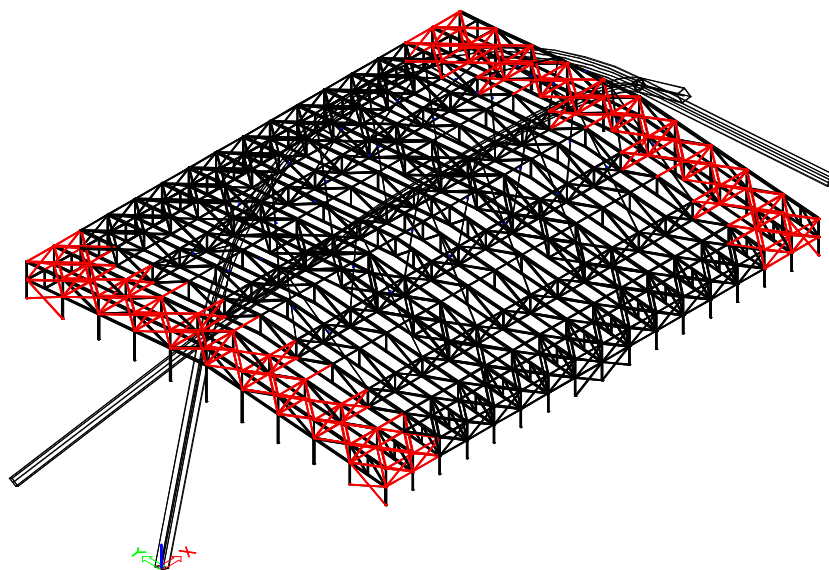
Obrázek 11 – příslušná stůžidla

V další fázi budou umístěny štítové i zbývající vazníky zároveň. Všechny vazníky umístěné v této fázi je potřeba držet jeřábem. Štítové vazníky budou sice podepřeny štítovými sloupy, ale je potřeba zajistit jejich stabilitu, o což se postará právě jeřábový závěs.



Obrázek 12 – krajní a štítové vazníky

V této fázi výstavby budou umístěna poslední ztužidla (včetně štítových) a všechny ocelové nosné prvky tak budou na svém místě.



Obrázek 13 – krajní ztužidla

Po umístění všech ztužujících prvků budou na příhradové vazníky uloženy betonové panely. V dalším kroku je možné přistoupit k vnášení předpětí do konstrukce. Po celou dobu musí být měřena deformace táhel, ze které bude určena jejich normálová, tahová síla. Táhla budou napínána ve skupinách po čtyřech a bude tedy potřeba čtyř

předpínacích jednotek v jednom okamžiku. Vnesení předpětí do táhel je posledním krokem montáže nosné ocelové konstrukce. Předpínací síly v táhlech jsou zobrazeny v příslušné části výkresové dokumentace. Po vnesení napětí dojde k aplikaci zálivky. Opačný postup, tedy aplikace zálivky před předpětím, by mohl vyústit v celkové porušení zálivky či minimálně narušení její celistvosti. Dále dojde k položení dalších vrstev střešního pláště. Na sloupy budou umístěny horizontální konstrukční „C“ profily a sendvičové panely.

7. Protikorozní ochrana

V rámci zastřešení jsou některé prvky ukryté uvnitř, tedy v interiérové části konstrukce. Do této kategorie se dají zahrnout všechny vazníky, sloupy a ztužidla. Druhou kategorií jsou pak vnější, exteriérové prvky, které jsou vystaveny vnějším vlivům. V tomto případě se jedná o táhla a oblouky.

Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

- Předpokládaná životnost: velmi vysoká (VH – very high) přes 25 let.
- Stupeň korozní agresivity: C2 – zvenku atmosféra s nízkou úrovní znečištění a zevnitř nevytápěné prostory, kde může docházet ke kondenzaci
- Příprava povrchu: Sa 2 1/2 (dle ČSN ISO 8501-1) – Velmi důkladné otryskání

Návrh: Ocelové profily budou natřeny dílensky 1–2x základním nátěrem a 2–3x vrchním nátěrem. Svařovaná místa budou dostatečně ošetřena na staveništi.

8. Požární odolnost konstrukce

Návrh a posouzení požární odolnosti konstrukce není součástí zadání diplomové práce. Z tohoto důvodu není požární ochrana nijak řešena.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 – nosné oblouky	7
Obrázek 2 – sloupy	8
Obrázek 3 – střední vazníky	8
Obrázek 4 – mezilehlé střední vazníky	9
Obrázek 5 – střední ztužidla	9
Obrázek 6 – vazníky s táhly	10
Obrázek 7 – vazníky bez táhel.....	10
Obrázek 8 – ztužidla u nových vazníků.....	11
Obrázek 9 – krajní vazníky s táhly	11
Obrázek 10 – další mezilehlé vazníky	12
Obrázek 11 – příslušná ztužidla.....	12
Obrázek 12 – krajní a štítové vazníky	13
Obrázek 13 – krajní ztužidla.....	13

10. Použitá literatura

- [1] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce: normy*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03930-4.
- [2] SOKOL, Zdeněk. *Steel structures 1: tables*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03396-1.
- [3] STUDNIČKA, Jiří, HOLICKÝ, Milan a MARKOVÁ, Jana. *Ocelové konstrukce 2*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05815-2.
- [4] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí I*. 3. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [5] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí II*. V Brně: VUTIUM, 2004. ISBN 978-80-214-3428-8.
- [6] LORENZ, Karel. *Navrhování nosných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87093-87-0.

11. Použité normy

- ČSN EN 1991-1-1
 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3
 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4
 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-1-5
 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
- ČSN EN 1993-1-1
 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8
 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- ČSN EN 1993-1-10
 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou
- ČSN EN 1993-1-11
 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků
- ČSN EN ISO 2553
 - Svařování a příbuzné procesy – Zobrazování na výkresech – Svarové spoje
- ČSN EN ISO 12944-5
 - Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIÓNU V
CHOMUTOVĚ

STATICKÝ VÝPOČET

Bc. ŠIMON POVOLNÝ

PRAHA 2022

Obsah

1. Úvod do problematiky projektu	4
2. Princip statického výpočtu	5
2.1. Popis geometrie konstrukce	5
2.2. Výpočetní model	6
2.2.1. Použité výpočetní metody	9
2.3. Specifikace zatížení modelu	10
2.3.1. Zatěžovací stavy	10
2.3.2. Specifikace zatížení větrem	11
2.3.3. Kombinace zatížení	13
2.4. Schéma postupu při optimalizaci konstrukce	15
2.5. Základní materiálové vlastnosti	16
2.6. Návrh příhradového vazníku na MSU	17
2.6.1. Návrh horního pásu příhrady	17
2.6.2. Návrh dolního pásu příhrady	23
2.6.3. Návrh krátké diagonály příhrady	28
2.6.4. Návrh dlouhé diagonály příhrady	31
2.6.5. Návrh svislice příhrady	33
2.7. Návrh ztužujících dílců na MSU	37
2.7.1. Návrh podélného ztužidla	37
2.7.2. Návrh diagonály vnitřního podélného ztužidla	39
2.7.3. Návrh horního / dolního pásu vnitřního ztužidla	41
2.7.4. Návrh střešního ztužidla	44
2.7.5. Návrh spodního střešního ztužidla	46
2.7.6. Návrh štítového příčného ztužidla	49
2.7.7. Návrh vnitřní ztužující horizontály	51
2.8. Návrh sloupů na MSU	53
2.8.1. Návrh běžného sloupu	53

2.8.2.	Návrh štítového sloupu	58
2.8.3.	Návrh rohového sloupu.....	63
2.9.	Stanovení předpětí a návrh průřezu předpínacích táhel.....	69
2.9.1.	Postup stanovení předpětí a návrhu táhel	69
2.10.	Návrh a posouzení nosných oblouků	80
2.10.1.	Prvotní návrh oblouků.....	80
2.10.2.	Stabilita	81
2.10.3.	Ověření MSU.....	85
2.11.	Posouzení konstrukce na MSP.....	89
2.12.	Návrh a posouzení vybraných spojů	93
2.12.1.	Spoj vazník – sloup.....	93
2.12.2.	Spoj vazník – táhlo – horizontála	97
2.12.3.	Spoj oblouk – táhlo	100
2.12.4.	Vazník – podélné ztužidlo	101
2.12.5.	Styčnický oblouk.....	105
2.12.6.	Patka sloupu + stěnové ztužidlo	106
2.12.7.	Vazník –střešní ztužidlo.....	106
3.	Shrnutí návrhu	107
4.	Seznam použitých zkratk a symbolů	108
5.	Tabulky	110
6.	Použité programy	110
7.	Seznam příloh	110

1. Úvod do problematiky projektu

Konstrukce zastřešení zimního stadionu v Chomutově je navržena jako reálná varianta zastřešení pro existující stavbu. Koncept konstrukce byl pozměněn tak, aby byla zachována funkčnost, proveditelnost a myšlenka nosného oblouku s táhly. Zároveň byl ale návrh upraven, aby se nejednalo jen o prosté přepočítání již provedeného projektu.

Zásadní změnou v konceptu návrhu je přidání druhého nosného oblouku. Oba oblouky jsou skloněny pod stejným úhlem (35°) a vytváří symetrickou konstrukci.

S ohledem na omezený rozsah diplomové práce byly některé části návrhu po dohodě s vedoucím DP vynechány – např. posouzení jednotlivých fází montáže, kmitání lan či požární odolnosti.

Samotná ocelová konstrukce, kromě oblouků, je uložena na existující betonové konstrukci. Ta tvoří zázemí pro uživatele haly, funguje jako tribuna a umožňuje kotvení navazujících ocelových sloupů. Tato betonová konstrukce není v rámci diplomové práce řešena. Ocelové oblouky jsou ukotveny do samostatných betonových patek.

Hlavní myšlenkou je využití nosných oblouků a předepjatých táhel k tomu, aby byl příhradový nosník z horní části držen a bylo tak upraveno jeho statické schéma. Tím se sníží výsledné vnitřní síly a průhyby. Je dokonce možné, že by úplně jiná varianta konstrukce byla efektivnější či méně nákladná. Cílem této práce je však vypracování návrhu konstrukce s předepjatými táhly včetně náročnějších problémů, které návrh tohoto typu konstrukce přináší.

Vzhledem k zahrnutí táhel do výpočtu je nutné, aby výpočty byly provedeny nelineárně. V předepjatých lanech totiž nikdy nesmí dojít k tlaku, protože takový druh zatížení by lano nepřenášelo a výsledky by nedávaly smysl. Jedinou výjimkou jsou stabilitní výpočty. Nejprve jsou spočítány nelineární síly působící na nosný oblouk, ale následný stabilitní výpočet je již proveden lineárně. Veškeré výpočetní postupy jsou detailně popsány v patřičných kapitolách.

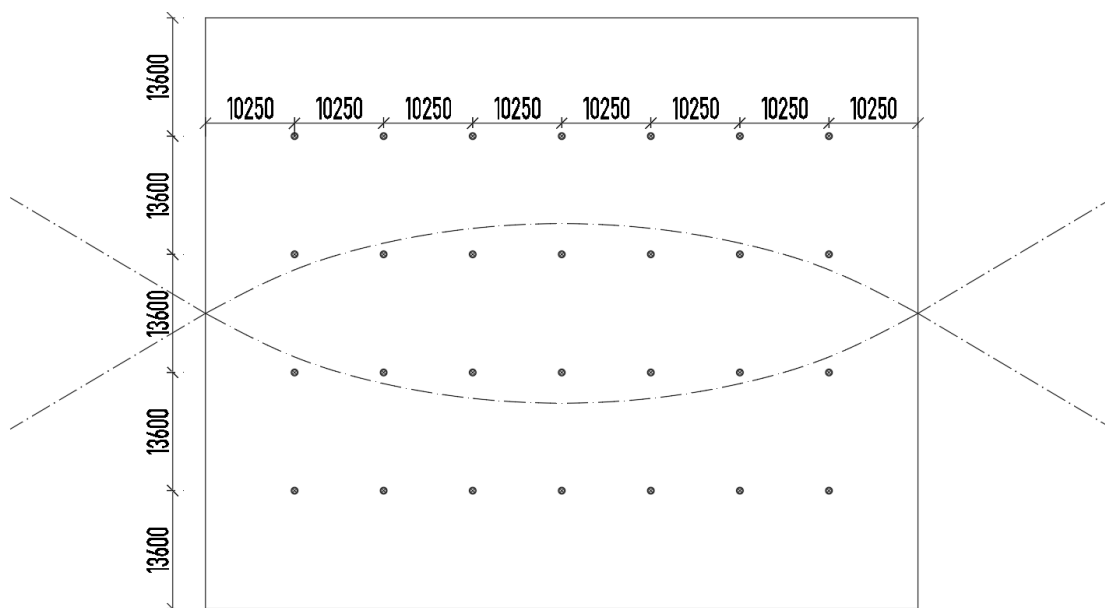
2. Princip statického výpočtu

2.1. Popis geometrie konstrukce

Podkladem pro vytvoření konstrukce byly nejprve pouze vnější rozměry – půdorysné i výškové. Sklon nosných oblouků byl zvolen tak, aby nosná lana byla co nejvíce svislá. V žádné variantě se však nedalo zcela vyvarovat šikmosti táhel, zejména v krajních oblastech. To plyne ze samotného půdorysného tvaru oblouku. Výsledný sklon oblouků je 35° . Dvojice oblouků je dvouose symetrická. Oblouky se protínají nad vrcholy štítových stěn tak, aby nedocházelo k přímému kontaktu oblouků se samotnou střešní konstrukcí. Veškeré spojení těchto dvou kategorií prvků je tak zajištěno pomocí táhel.

Táhla jsou v podélném směru konstrukce umístěna v každé druhé vazbě, tedy ve vzdálenosti 10,25 m. V příčném směru jsou kotevní body vynášecích táhel umístěny v každé druhé „vazbě“, tedy ve vzdálenosti 13,6 m. Konstrukce je v tomto směru rozdělena na 10 úseků o šířce 6,8 metru, přičemž tuto vzdálenost promítají sloupy ve štítové stěně a podélné ztužující prvky v rovině horního pásu příhrady. Táhla jsou vždy napojena na nosný oblouk v rovině rovnoběžné se štítovou (příčnou) stěnou. V konstrukci jsou obecně dva typy táhel – táhla vynášecí, která zachycují konstrukci zastřešení a propojují ji s nosnými oblouky a táhla stabilizující, které spojují oba oblouky tak, aby byla zajištěna jejich prostorová stabilita. Stabilizující táhla jsou vždy vodorovná a vyrovnávají síly, které do oblouků vnáší táhla vynášecí.

Schéma umístění kotevních bodů táhel ve střešní konstrukci:



Sklon střechy je $5,07^\circ$, což na 34 metrech šířky vazníku dělá výškový rozdíl 3 metry. Tento sklon je dostatečný k potřebnému odvodnění střešní. Příhradové vazníky jsou specifikovány v dalších kapitolách statického výpočtu a ve výkresové dokumentaci. Sloupy jsou umístěny v pravidelných rozestupech dle umístění příhradových vazníků a ztužidla doplňují konstrukci tak, aby byla ve všech směrech dostatečně tuhá. I tyto prvky a jejich rozmístění jsou k vidění ve výkresové dokumentaci.

2.2. Výpočetní model

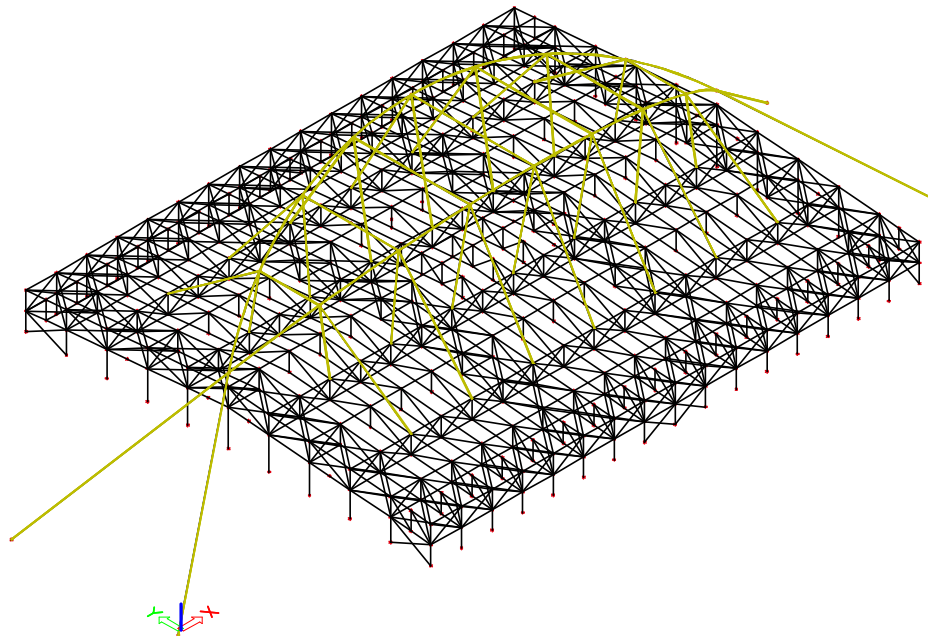
Pro určení všech potřebných vnitřních sil a deformací hlavní nosné konstrukce je vytvořen výpočetní model v softwaru SCIA Engineer 21.1. Tento model byl od začátku upravován a optimalizován tak, aby výsledky byly co nejpřívětivější a profily konstrukce co nejefektivněji rozmístěné a využité. Výsledná geometrie se odvíjela od primárních výsledků tohoto modelu. V modelu není modelovaný střešní ani stěnový plášť. Oba typy pláště jsou v modelu nahrazeny odpovídajícím zatížením a jejich návrh je proveden samostatně. Dále je v modelu aplikováno veškeré stálé i užité zatížení i kombinace potřebné k určení extrémních účinků. Zároveň je v modelu počítáno s předpětím v jednotlivých lanech.

Při práci s modelem je využita funkcionální „modifikátory modelu“, která umožňuje v rámci jednoho modelu aplikovat „absence“ a tímto způsobem zanedbávat různé elementy dle aktuální potřeby konkrétního výpočtu. Tento postup umožňuje výpočet různých potřebných sil a výsledků bez toho, že by bylo nutné pracovat na více modelech zároveň. Úpravy takové „sady modelů“ by pak byly mnohem komplikovanější a mohlo by snadno dojít k chybě při opakovaných úpravách.

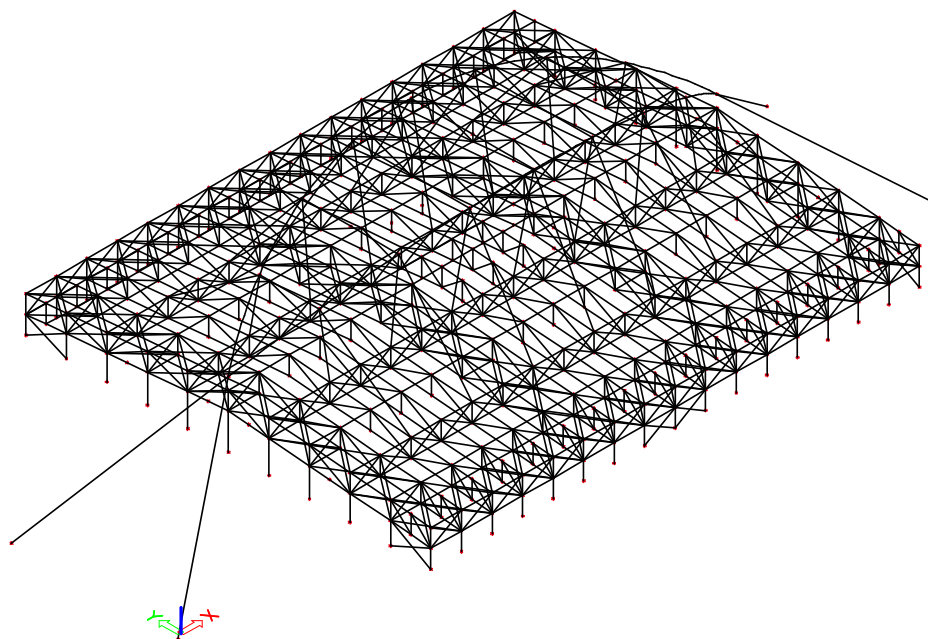
Na následujících stránkách jsou zobrazeny všechny varianty využití modifikátorů modelu v rámci tohoto projektu. Žlutou barvou jsou vždy znázorněny prvky, které se v dané modifikační skupině nevyskytují. Model se tedy při výpočtu chová tak, jako by tam ony zvýrazněné prvky vůbec nebyly.

Celkem jsou využity 4 modifikační skupiny, které umožňují výpočty pro následující případy:

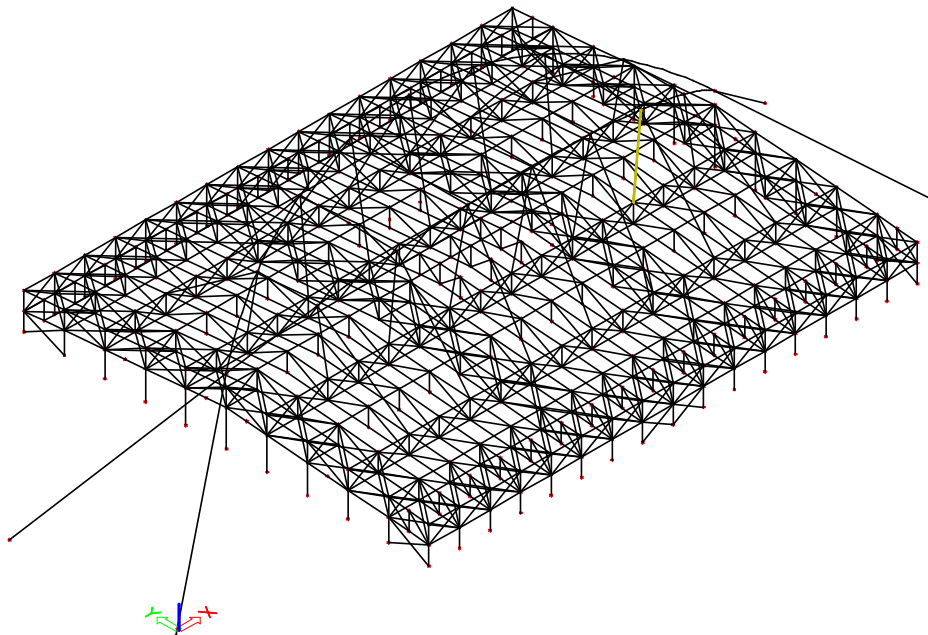
- 1– Nahrazení táhel a oblouků podporami v místech připojení táhel k vazníkům pro zjištění přibližné potřebné počáteční hodnoty předpětí v jednotlivých táhlech – podpory se v jiných modifikačních skupinách nenachází.



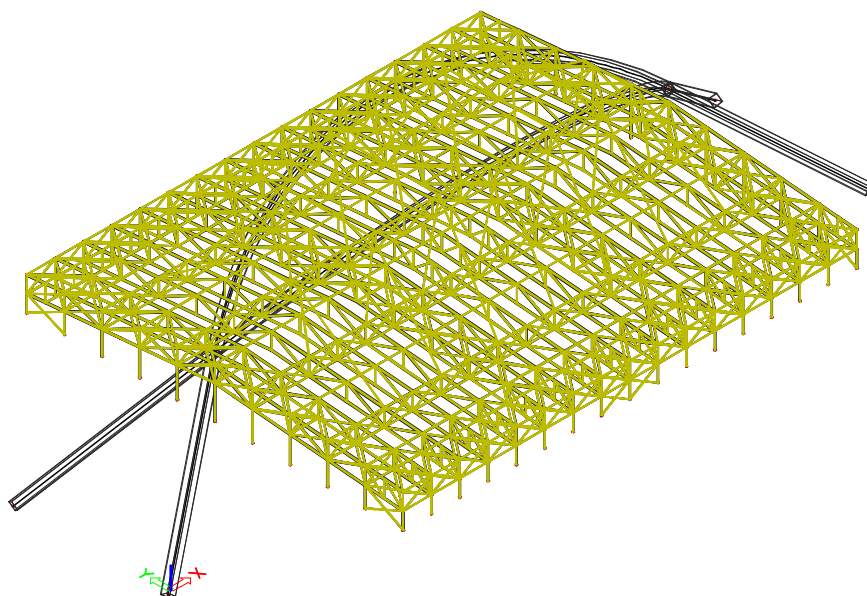
- 2– Výpočtový model celé konstrukce s nelinearitami, včetně táhel a oblouků – hlavní návrhový nástroj, obsahuje vše kromě přidaných podpor z 1. stavu.



- 3– Absence jednoho lana pro simulaci možné opravy či výměny prvku. Je vytvořena varianta jen pro jedno lano, aby byl ověřen vliv absence na změnu vnitřních sil. V praxi by bylo vhodné ověřit postupně všechna jednotlivá chybějící lana.

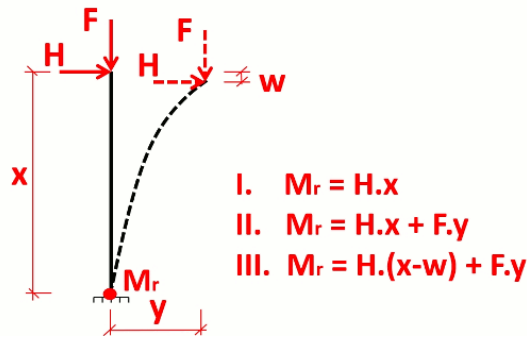


- 4– Výpočet stability hlavních nosných oblouků – táhla jsou nahrazena pouze příslušnými silami, které působí přímo na oblouk. Jak táhla, tak celá konstrukce zastřešení jsou zanedbány pomocí „absencí“ a v modelu se v tomto případě nachází pouze nosné oblouky.



2.2.1. Použité výpočetní metody

Geometrické nelinearity jsou zahrnuty výpočtem pomocí II. řádu s vlivem velkých deformací, viz následující obrázek z manuálu výpočetního softwaru SCIA Engineer (varianta III):

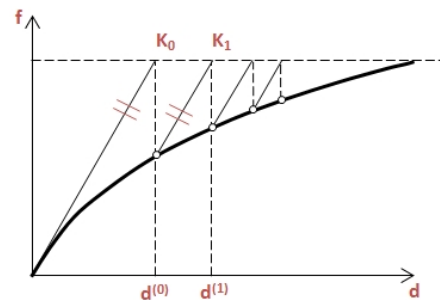


V tomto případě se jedná o iterativní řešení. To tedy znamená, že software počítá, dokud nedosáhne předem požadované přesnosti výsledku. Když je rozdíl výsledku mezi dvěma kroky výpočtu menší, než zadaná hodnota, výpočet je ukončen.

Na nelineární výpočet je aplikovaná „Modifikovaná Newton-Raphsonova metoda“ (MNR), která v rámci výpočtu pracuje se stále stejnou maticí tuhosti konstrukce. Metoda vychází z rovnice, kdy je na levé straně matice tuhosti a na pravé straně derivace působící síly podle deformace.

$$K_T = \frac{\delta f}{\delta d}$$

Následující obrázek opět pochází z manuálu z výpočetního softwaru SCIA Engineer:



Ve zmíněném zápisu to tedy znamená, že levá strana rovnic (matice tuhosti) zůstává nezměněná a mění se pouze výpočty na pravé straně rovnice (deformace a zatížení). Tímto způsobem musí sice software provádět více iterací, ale jednotlivé iterace jsou časově méně náročné, jelikož není potřeba stále znovu sestavovat levou stranu rovnic, tj. matici tuhosti, což je ve výpočtu nejnáročnější krok.

Stabilitní výpočet je proveden pomocí polynomického řešiče pro vlastní čísla.

2.3. Specifikace zatížení modelu

Veškeré zatížení je bráno v potaz dle Eurokódu. Jednotlivé typy zatížení jsou popsány v technické zprávě projektu. Stěnový plášť je tvořen sendvičovými panely a ve výpočetním modelu je jejich hmotnost převedena na náhradní liniové zatížení sloupů, které stěnový plášť vynáší. V závislosti na osově vzdálenosti sloupů se toto zatížení pohybuje od 250 do 300 kg/m (původně bylo zatížení od stěnových panelů uvažováno bezpečně hodnotou 50 kg/m²).

Uprostřed haly je zároveň počítáno s vahou multifunkční kostky, jejíž zatížení je stanoveno na 4 tuny. To by se mohlo změnit dle konkrétního případu provedení, v této práci však nebylo nutné typ této kostky přesně specifikovat. Toto zatížení je rozloženo do šesti kotevních bodů ve střešní konstrukci.

2.3.1. Zatěžovací stavy

V příloze A jsou zobrazena všechna zatížení tak, jak jsou zadávána do výpočetního modelu, aby bylo nezpochybnitelné, jakým způsobem byla uvažována.

Zatěžovací stavy 6a–d reprezentují náhradní užité zatížení, které kombinuje zatížení sněhem a větrem tak, aby byly vyvozeny co nejnepříznivější účinky na stabilitu a únosnost konstrukce.

- ZS1 – Vlastní tíha – netřeba vizualizovat
- ZS2 – Plášť střechy
- ZS3 – Podvěsy
- ZS4 – Sníh
- ZS5a – sání od příčného větru (vnořený ZS5a1 – příčný vítr působící na oblouky – odděleno kvůli výpočtům stability oblouku, jinak působí vždy společně)
- ZS5b – sání od podélného větru
- ZS5c – tlak na střechu od větru
- ZS6a-d – náhradní zadání užitého zatížení
 - ZS6a – poloviční sníh na jedné straně střechy, plný sníh na druhé straně
 - ZS6b – poloviční sníh na jedné straně střechy, sání na druhé straně
 - ZS6c – odstupňované zatížení v 7 pásmech po 0,20 kN/m² – navátý sníh
 - ZS6d – křížné zatížení – nspecifikovaný nepříznivý případ
- ZS7 – Montážní zatížení
- ZS8 – zatížení stěnového pláště
- ZS9a – zatížení vzniklé ochlazením vnější části konstrukce o 30°C
- ZS9b – zatížení vzniklé oteplením vnější části konstrukce o 30°C

2.3.2. Specifikace zatížení větrem

Jelikož zatížení větrem nemusí být ze schémat v příloze úplně zřejmé, je v této kapitole podrobně popsáno, jak bylo zatížení větrem určeno.

Dle mapy oblastí byla stanovena příslušná větrná oblast – konkrétně oblast II se základní rychlostí větru $v_{b,0} = 25$ m/s. Stavbě dále odpovídá kategorie terénu II – oblast s nízkou vegetací a izolovanými překážkami.

Nejprve je uvedeno zatížení větrem na střechu. Referenční výška budovy z_e je 18m, jelikož v této výšce se nachází vrchol příhradových vazníků. Součinitele c_{season} a c_{dir} jsou shodně stanoveny jako rovny jedné. Měrná hmotnost vzduchu je $1,25$ kg/m³ a maximální dynamický tlak $q_p = 1,07$ kN/m².

Pro příčný vítr platí následující návrhová zatížení:

- Oblast F – 1,81 kN/m²
- Oblast G – 1,28 kN/m²
- Oblast H – 0,64 kN/m²
- Oblast I – 0,64 kN/m²
- Oblast J – 0,64 kN/m²

Pro podélný vítr platí následující návrhová zatížení:

- Oblast F – 1,71 kN/m²
- Oblast G – 1,39 kN/m²
- Oblast H – 0,75 kN/m²
- Oblast I – 0,64 kN/m²

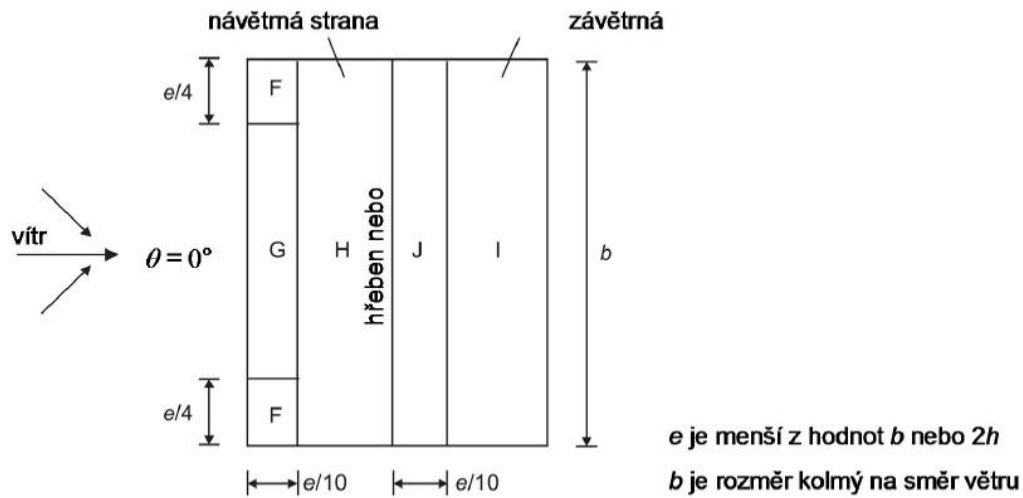
V případě příčného větru může nastat také tlak od větru a v takovém případě je hodnota zatížení v oblasti J rovna 0,21 kN/m².

Dále je také počítáno se zatížením od větru na samotnou konstrukci nosného oblouku. Pomocí plochy a součinitele síly od větru bylo stanoveno liniové zatížení 2 kN/m². Toto zatížení je započítáno pouze u příčného větru, kdy vítr působí kolmo na konstrukci oblouku.

Zatížení větrem do stěn je stanoveno obdobným způsobem, opět je dodržena norma a dle ní je určeno příslušné zatížení v jednotlivých oblastech.

Rozměry a rozložení jednotlivých střešních oblastí jsou jednoznačně patrné z normy.

Příčný vítr:



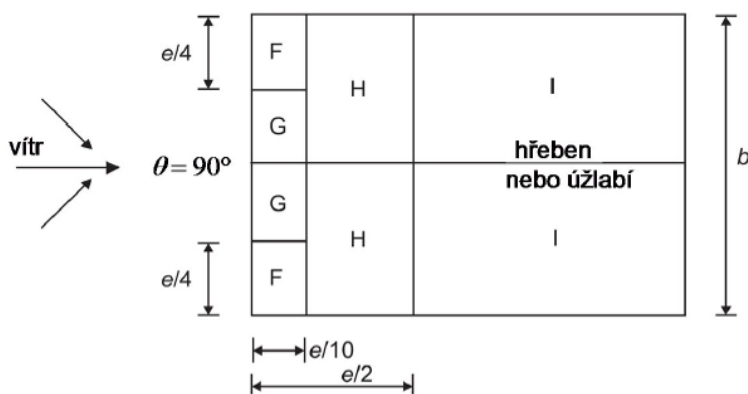
b) Směr větru $\theta = 0^\circ$

$$e = 2h = 36\text{m}$$

$$e/10 = 3,6\text{m}$$

$$e/4 = 9\text{m}$$

Podélný vítr:



c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

$$e = 2h = 36\text{m}$$

$$e/10 = 3,6\text{m}$$

$$e/4 = 9\text{m}$$

$$e/2 = 18\text{m}$$

2.3.3. Kombinace zatížení

Pro získání všech extrémů výsledků, které mohou na konstrukci nastat, je vytvořeno několik nelineárních kombinací, které byly uvažovány a na jejichž výsledky jsou profily navrženy.

Ve výpočetním softwaru je potřeba duplikovat zatěžovací stavy, pokud je zatížení použité při různých modifikačních skupinách. Kombinace zatěžovacích stavů s různými skupinami modifikací nepřichází v úvahu, software by takový postup vyhodnotil jako chybu. Proto jsou například v příloze A, v kapitole týkající se reakcí v podporách, uvedeny zatěžovací stavy 21, 22 a 23, ačkoliv jsou totožné se zatěžovacími stavy 1, 2 a 3. Na principu výpočtu to ale nic nemění a tak pro lepší přehlednost nejsou rozepsány identické zatěžovací stavy se stejným zatížením, ale jinou modifikační skupinou.

Kombinace, zatěžovací stavy a postup pro stabilitní výpočty jsou podrobně vysvětleny v příslušné kapitole.

Pro MSU jsou použity součinitele bezpečnosti $\gamma_G=1,35$ pro stálé zatížení a $\gamma_Q=1,5$ pro proměnné zatížení. Dále jsou použity kombinační součinitele ψ_0 pro vítr (0,6), sních a užité zatížení (0,7).

Kombinace MSU:

- Maximální svislé
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3, ZS8) + 1,5x(ZS4, 0,6xZS5c, 0,7xZS7)$
- Sání 1 – příčný vítr
 - $1x ZS1 + 0,8xZS2 + 1,5xZS5a$
- Sání 2 – podélný vítr
 - $1x ZS1 + 0,8xZS2 + 1,5xZS5b$
- Náhradní proměnné zatížení 1
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS6a$
- Náhradní proměnné zatížení 2
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS6b$
- Náhradní proměnné zatížení 3
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS6c$
- Náhradní proměnné zatížení 4
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS6d$
- Ochlazení
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS9a$

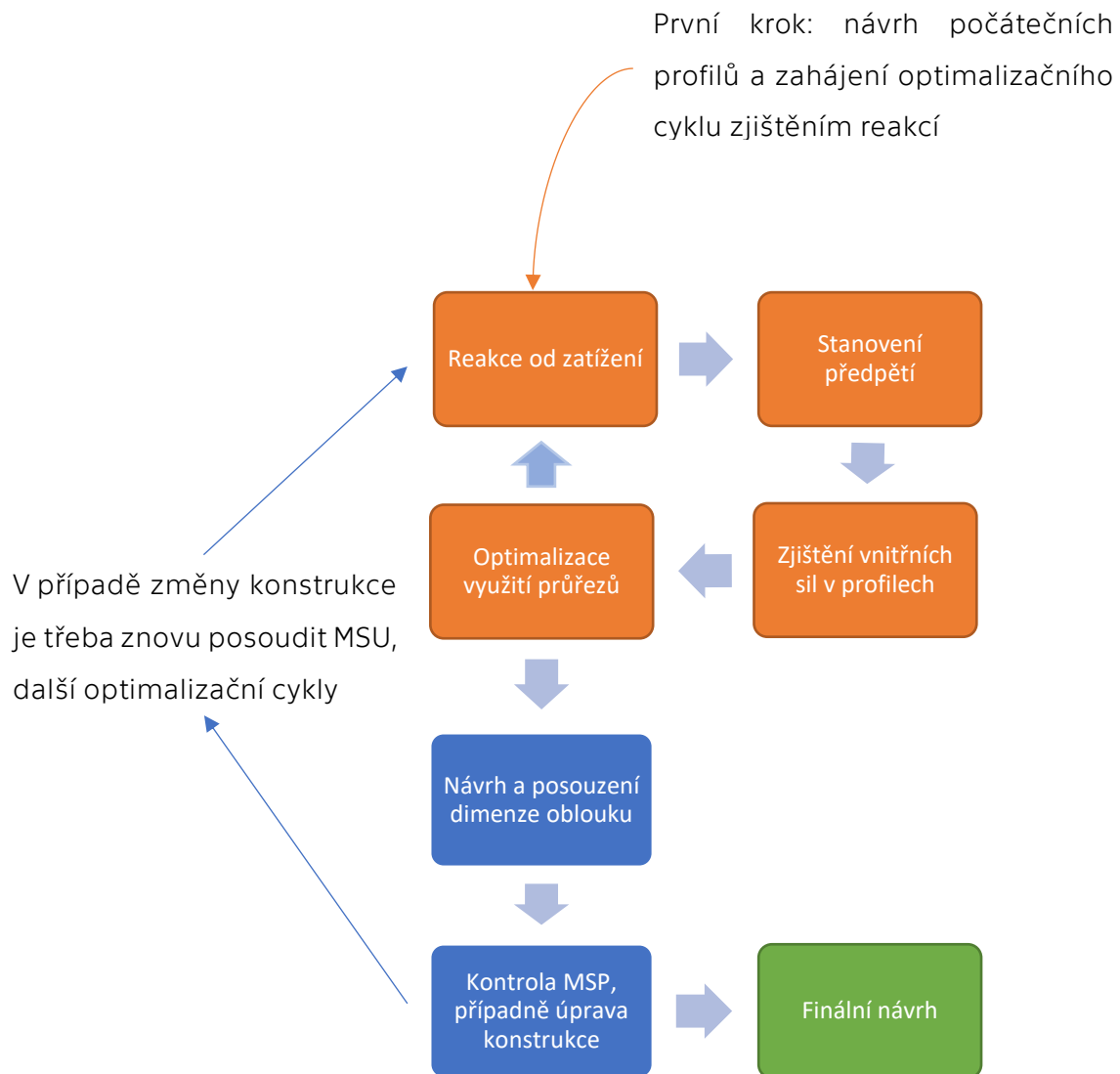
- Oteplení
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS9b$
- Chybějící táhlo L6a
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5xZS7$
- Maximální M+N sloupu 1 – příčný vítr
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5(0,7xZS4 + ZS5a + 0,7xZS7)$
- Maximální M+N sloupu 2 – podélný vítr
 - $1,35x(ZS1, ZS2, ZS3) + 1,5(0,7xZS4 + ZS5b + 0,7xZS7)$

Kombinace MSP:

Stejně, jen násobící součinitele jsou vždy rovny 1.

- Maximální svislé
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS4, ZS5c, ZS7, ZS8
- Sání 1 – podélný vítr
 - ZS1, ZS2, ZS5a
- Sání 2 – příčný vítr
 - ZS1, ZS2, ZS5b
- Náhradní proměnné zatížení 1
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS6a
- Náhradní proměnné zatížení 2
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS6b
- Náhradní proměnné zatížení 3
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS6c
- Náhradní proměnné zatížení 4
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS6d
- Ochlazení
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS9a
- Oteplení
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS9b
- Chybějící táhlo L6a
 - ZS1, ZS2, ZS3, ZS7
- Stanovení předpínacích sil
 - ZS1, ZS2

2.4. Schéma postupu při optimalizaci konstrukce



Od optimalizace průřezů k návrhu oblouku je přistoupeno ve chvíli, kdy jsou všechny profily navrženy, posouzeny a už není možná jejich další optimalizace, případně by přinesla jen nepatrné zlepšení využití profilů. Pokud je v kroku kontroly MSP vše vyhovující, je návrh ukončen.

2.5. Základní materiálové vlastnosti

Veškeré prvky kromě táhel a oblouků jsou provedeny z oceli S355. Pro tyto prvky platí následující materiálové vlastnosti:

Mez kluzu – $f_y=355$ MPa

Modul pružnosti – $E=210$ GPa

Smykový modul pružnosti – $G=81$ GPa

Součinitel materiálu – $\gamma_{M0}=1,0$

Poměrná deformace oceli – $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$

Pro ocel S235 použitou v konstrukci oblouku, která má tloušťku větší než 40 mm platí:

Mez kluzu – $f_y=215$ MPa

Modul pružnosti – $E=210$ GPa

Smykový modul pružnosti – $G=81$ GPa

Poměrná deformace oceli – $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$

Pro táhla pak platí následující vlastnosti:

Mez kluzu – $f_y=520$ MPa

Mez pevnosti – $f_u=660$ MPa

Modul pružnosti – $E=205$ GPa

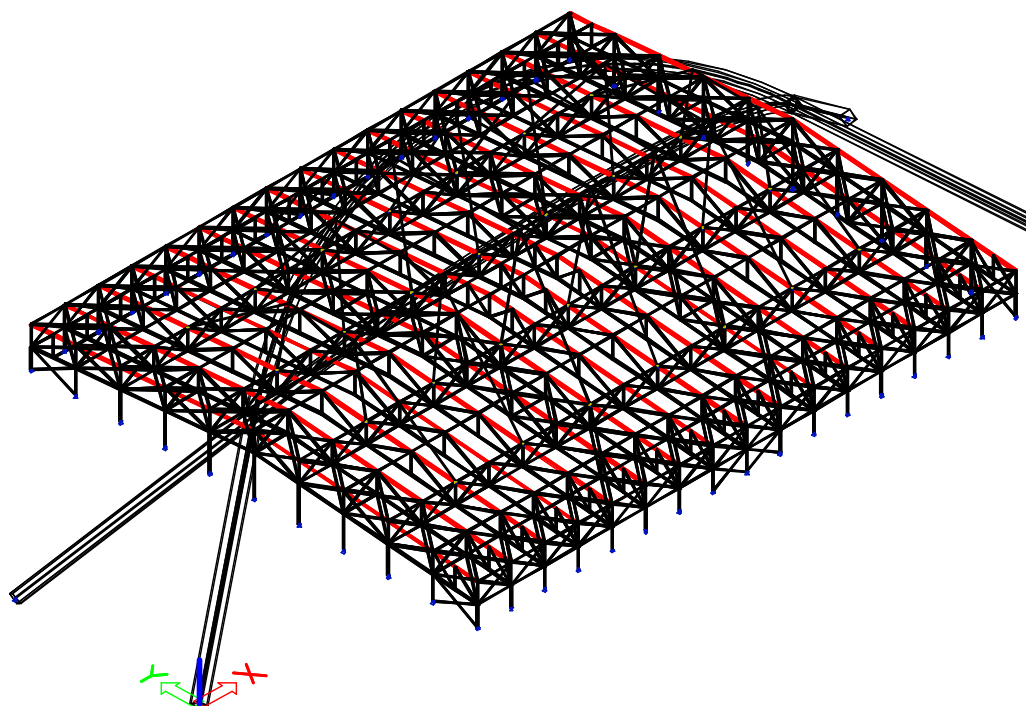
Součinitel materiálu – $\gamma_{M0}=1,0$

2.6. Návrh příhradového vazníku na MSU

2.6.1. Návrh horního pásu příhrady

Prvek je namáhán osovou silou a jednoosým ohybem. Horní pás je z konstrukčních důvodů umístěn tak, že je namáhán ohybem ve směru menší tuhosti, aby bylo možné na horní stranu profilu uložit stropní betonové panely i se zálivkou. K tomu je potřeba dostatečná šířka, kterou tento průřez zajistí právě při uložení pootočeném o 90° oproti běžnému použití. Z tohoto důvodu jsou v následujícím výpočtu zaměněny běžné tabulkové hodnoty, například pro I_y a I_z . Tato záměna je provedena proto, aby byla zachována běžná konvence, podle níž působí ohybový moment M_y vertikálně a moment M_z v horizontální rovině. Stejně tak jsou vzájemně proměněny hodnoty momentů získané z výpočetního softwaru, aby byly přiřazovány správným průřezovým charakteristikám, jelikož výpočetní model v tomto případě určuje ohybové momenty podle lokálních os (právě proto, aby odpovídali příslušným průřezovým charakteristikám).

Umístění v konstrukci:



Navržený profil: HTR 200/300/10

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 9257 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y – $i_y = 81 \text{ mm}$

Poloměr setrvačnosti k ose z – $i_z = 111 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y – $I_y = 6,0577 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Moment setrvačnosti k ose z – $I_z = 1,1313 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul k ose y – $W_{pl,y} = 6,9808 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Plastický průřezový modul k ose z – $W_{pl,z} = 9,2091 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$N_{Rk} = A \cdot f_y = 9,257 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 = 3286,24 \text{ kN}$

$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 6,9808 \cdot 10^{-4} \cdot 355000 = 247,82 \text{ kNm}$

Působící kombinace sil:

Tabulka kombinací

kombinace	N_{ED} [kN]	M_{yEd} [kNm]
1 – maximální tah	275	11
2 – maximální tlak	858	95
3 – maximální moment + tlak	228	119

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,257 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 3286,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{275}{3286,24} = 0,0835 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 8,35\%}$$

Interakce tahu a ohybu:

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{Rd,t}} + \frac{M_{Ed}}{(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} = \frac{275}{3286,24} + \frac{11}{247,82} = 0,127 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 12,7\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y je dominantní (horší vzpěr a zároveň působící moment)

$l_{cr,y} = 6,83$ m (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{6830}{81} = 83,321$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{83,321}{76,399} = 1,104$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,104 - 0,2) + 1,104^2) = 1,33$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,104 + \sqrt{1,33^2 - 1,104^2}} = 0,482$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 9,257 * 10^{-3} * 355000 * 0,482 = 1585 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 1585 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed,c}}{N_{B;Rd}} = \frac{858}{1585} = 0,5409 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 54,09\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 6,0577 * 10^{-5}}{6,83^2} = 2691,44 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Interakce tlaku a ohybu

Základní rovnice pro posouzení interakce:

$\chi_{LT} = 1$ – uzavřené duté průřezy neklopí

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

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Vybočení ve směru osy z

$l_{cr,z} = 4,74$ m (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6830}{111} = 61,532$$

$$\lambda_{1z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1z}} = \frac{61,532}{76,399} = 0,805$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2)$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,805 - 0,2) + 0,805^2) = 0,973$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,973 + \sqrt{0,973^2 - 0,805^2}} = 0,659$$

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 2:

$$N_{Ed} = 858 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = 95 \text{ kNm}$$

$$M_h = -94,79 \text{ kNm}$$

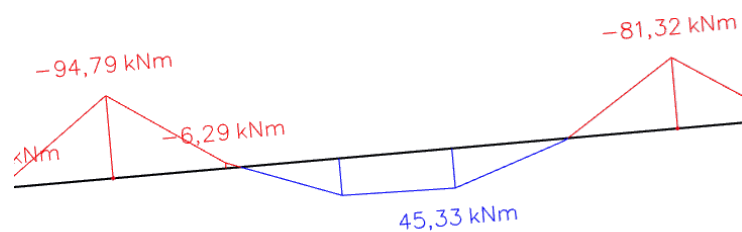
$$M_s = 45,33 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = -81,32 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{81,32}{94,79} = 0,858$$

$$\alpha_s = \frac{45,33}{-94,79} = -0,478$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,482$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,482 * \left(1 + (1,104 - 0,2) * \frac{858}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} \right) \\ 0,482 * \left(1 + 0,8 * \frac{858}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,718; 0,691) = 0,691$$

$$k_{zy} = 0,6 * 0,691 = 0,415$$

$$\frac{858}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} + 0,691 * \frac{95}{\frac{1 * 247,82}{1,0}} = 0,806 \rightarrow 80,6\%$$

$$\frac{858}{\frac{0,659 * 3286,24}{1,0}} + 0,415 * \frac{95}{\frac{1 * 247,82}{1,0}} = 0,555 \rightarrow 55,5\%$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 2 je splněna.

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 3:

$$N_{Ed} = 228 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = 119 \text{ kNm}$$

$$M_h = -118,39 \text{ kNm}$$

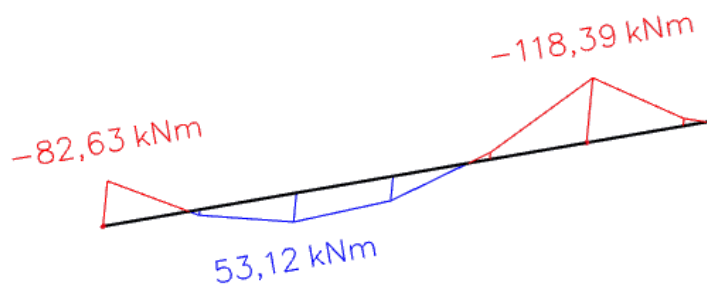
$$M_s = 53,12 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = -82,63 \text{ kNm}$$

$$\psi > 0$$

$$\alpha_s = \frac{53,12}{-118,39} = -0,491$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,492$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,492 * \left(1 + (1,104 - 0,2) * \frac{228}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} \right) \\ 0,492 * \left(1 + 0,8 * \frac{228}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,556; 0,549) = 0,549$$

$$k_{zy} = 0,6 * 0,549 = 0,329$$

$$\frac{228}{\frac{0,482 * 3286,24}{1,0}} + 0,549 * \frac{119}{\frac{1 * 247,82}{1,0}} = 0,408 \rightarrow 40,8\%$$

$$\frac{228}{\frac{0,659 * 3286,24}{1,0}} + 0,329 * \frac{119}{\frac{1 * 247,82}{1,0}} = 0,263 \rightarrow 26,3\%$$

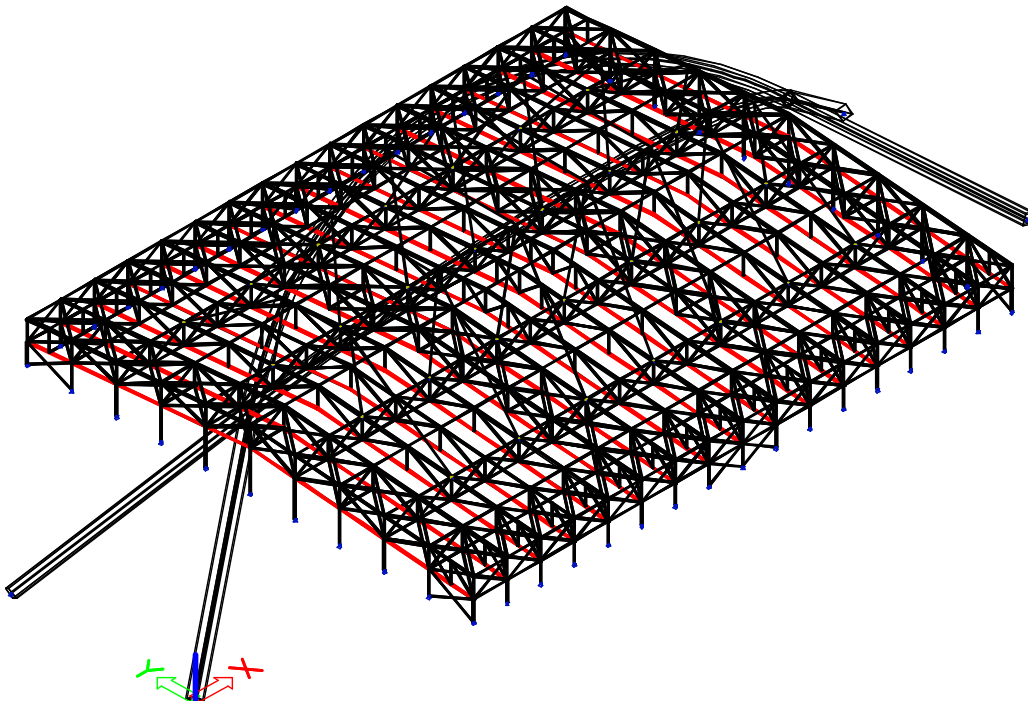
Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 3 je splněna.

Průřez HTR 200/300/10 jako „horní pás příhrady“ VYHOVUJE.

2.6.2. Návrh dolního pásu příhrady

Dolní pás je taktéž namáhán osovou silou a jednoosým ohybem. Ohyb spodního pásu je zdatně menší, než u pásu horního. Na spodním pásu je počítáno se zatížením od podvėsů (těmi jsou myšlena například světla, technologie a další elektrotechnické či jiné vedení). Toto zatížení je stanoveno na 15 kg/m². Spodní pás je navržen ze symetrického profilu a jeho ohybová tuhost k oběma osám je tedy stejná.

Umístění v konstrukci:



Navržený profil: HTR 200/200/10

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 7257 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 77 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 4,2511 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul k ose y a z – $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 5,0808 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 7,257 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 = 2576,24 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 5,0808 \cdot 10^{-4} \cdot 355000 = 180,37 \text{ kNm}$$

Působící kombinace sil:

Tabulka kombinací

kombinace	N_{ED} [kN]	M_{yEd} [kNm]
1 – maximální tah	757	9
2 – maximální tlak	355	10
3 – maximální moment + tah	448	14

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,257 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 2576,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T,Rd}} = \frac{757}{2576,24} = 0,2936 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 29,36\%}$$

Interakce tahu a ohybu:

Kombinace 1:

$$\frac{N_{Ed,t}}{\frac{N_{Rd,t}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} = \frac{757}{2576,24} + \frac{9}{180,37} = 0,343 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 34,3\%}$$

Kombinace 3:

$$\frac{N_{Ed,t}}{\frac{N_{Rd,t}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} = \frac{448}{2576,24} + \frac{14}{180,37} = 0,2515 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 25,15\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y

$l_{cr,y} = 6,83 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{6830}{77} = 88,701$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{88,701}{76,399} = 1,161$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,161 - 0,2) + 1,161^2) = 1,409$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,409 + \sqrt{1,409^2 - 1,161^2}} = 0,453$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 7,257 * 10^{-3} * 355000 * 0,456 = 1166 \text{ kN}$$

Vybočení ve směru osy z

$$l_{cr,z} = 4,74 \text{ m (kloubové uložení na obou koncích)}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{13660}{77} = 177,403$$

$$\lambda_{1z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1z}} = \frac{177,406}{76,399} = 2,322$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2)$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (2,322 - 0,2) + 2,322^2) = 3,716$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,716 + \sqrt{3,716^2 - 2,322^2}} = 0,151$$

$$N_{B;Rd;z} = A * f_y * \chi_z = 7,257 * 10^{-3} * 355000 * 0,151 = 390 \text{ kN}$$

$$\text{tlaková únosnost prvku} - N_{B;Rd} = \min(N_{B;Rd;y}; N_{B;Ed;z}) = 390 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{355}{390} = 0,9098 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 90,98\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iz}}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 4,2511 * 10^{-5}}{13,36^2} = 472,19 \text{ kN}$$

$$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow \text{Kritické síly není dosaženo}$$

Interakce tlaku a ohybu

Základní rovnice pro posouzení interakce:

$\chi_{LT} = 1$ – uzavřené duté průřezy neklopí

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right); c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 2:

$$N_{Ed} = 355 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = 10 \text{ kNm}$$

$$M_h = -9,85 \text{ kNm}$$

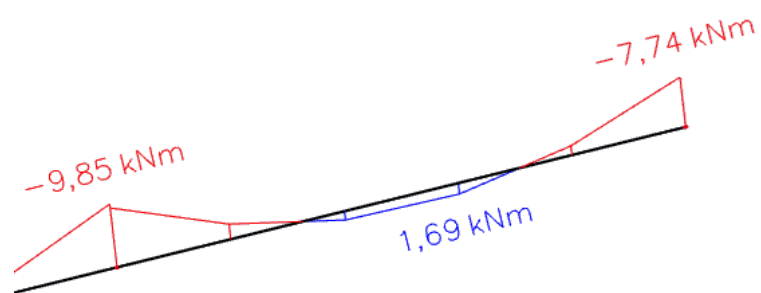
$$M_s = 1,69 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = -7,74 \text{ kNm}$$

$$\psi > 0$$

$$\alpha_s = \frac{1,69}{-9,85} = -0,172$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,237; c_{my} \geq 0,4 \rightarrow c_{my} = 0,4$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,4 * \left(1 + (1,161 - 0,2) * \frac{355}{\frac{0,453 * 2576,24}{1,0}} \right) \\ 0,4 * \left(1 + 0,8 * \frac{355}{\frac{0,453 * 2576,24}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,518; 0,497) = 0,497$$

$$k_{zy} = 0,6 * 0,497 = 0,298$$

$$\frac{355}{\frac{0,453 * 2576,24}{1,0}} + 0,497 * \frac{10}{\frac{1 * 180,37}{1,0}} = 0,344 \rightarrow 34,4\%$$

$$\frac{355}{\frac{0,151 * 2576,24}{1,0}} + 0,298 * \frac{10}{\frac{1 * 180,37}{1,0}} = 0,9291 \rightarrow 92,91\%$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 2 je splněna.

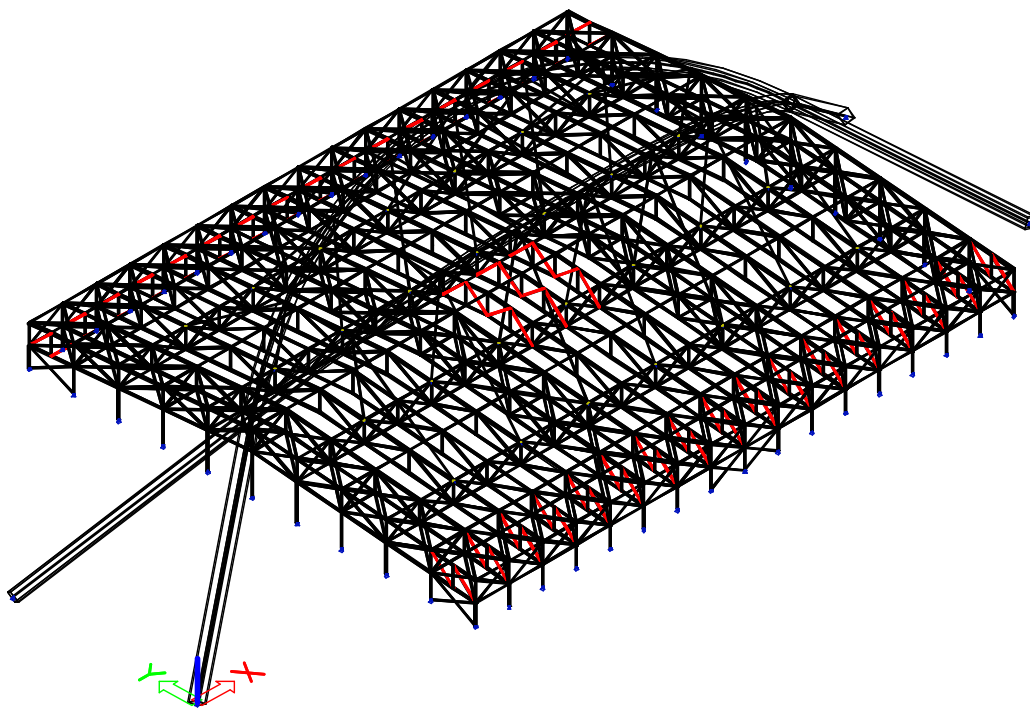
Průřez HTR 200/200/10 jako „dolní pás příhrady“ VYHOVUJE.

2.6.3. Návrh krátké diagonály příhrady

Prvek je namáhán pouze osovou silou. Od vlastní tíhy vzniká také minimální ohybový moment, ale jeho hodnota je v porovnání s normálovou silou tak malá, že bude ohybový moment zcela zanedbán. Podle vzoru tohoto výpočtu budou posouzeny i další prvky, které jsou namáhány pouze osovou silou.

Krátká diagonála je v konstrukci využita ve dvou polích u podélných okrajů konstrukce a dále v půdorysném středu konstrukce v místech, kde bude zavěšena multifunkční kostka. V krajních polích je krátká diagonála navržena proto, že dlouhá diagonála by v tomto případě byla významně tlakově namáhána a bylo by nutné navrhnout mnohem větší průřez. Ve střední části jsou kratší diagonály zvoleny proto, aby v místě závěsů kostky mohly být umístěny svislice a v dolním pásu příhrady tak nevznikal nestandardně velký ohybový moment.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed,t} = 143,15 \text{ kN}$

Osová síla tlaková – $N_{Ed,c} = 511,49 \text{ kN}$

Délka prvku – $l = 4,74 \text{ m}$

Navržený profil: HTR 140/140/8

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 4004 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y – $i_y = 53 \text{ mm}$

Poloměr setrvačnosti k ose z – $i_z = 53 \text{ mm}$

→ profil je symetrický

Moment setrvačnosti k ose y – $I_y = I_z = 1,1268 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,004 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1421,42 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{143,15}{1421,42} = 0,1007 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 10,07\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y

$l_{cr,y} = 4,74 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{4740}{53} = 89,434$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{89,434}{76,399} = 1,171$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,171 - 0,2) + 1,171^2) = 1,423$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,423 + \sqrt{1,423^2 - 1,171^2}} = 0,448$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 4,004 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,448 = 636,8 \text{ kN}$$

Vybočení ve směru osy z

$l_{cr,z} = 4,74 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{4740}{53} = 89,434$$

$$\lambda_{1z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1z}} = \frac{89,434}{76,399} = 1,171$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2)$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,171 - 0,2) + 1,171^2) = 1,423$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,423 + \sqrt{1,423^2 - 1,171^2}} = 0,448$$

$$N_{B;Rd;z} = A * f_y * \chi_z = 4,004 * 10^{-3} * 355000 * 0,448 = 636,8 \text{ kN}$$

Profil je symetrický, proto musí vyjít vzpěrná únosnost k oběma osám stejně. Z tohoto důvodu pro další prvky bude počítáno jen s jednou osou a zde je výpočet rozepsán pro demonstraci pravdivosti tohoto tvrzení.

$$\text{tlaková únosnost prvku} - N_{B;Rd} = \min(N_{B;Rd;y}; N_{B;Rd;z}) = 636,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{511,49}{636,8} = 0,8032 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 80,32\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 1,1268 * 10^{-5}}{4,74^2} = 1039,49 \text{ kN}$$

$$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow \text{Kritické síly není dosaženo}$$

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 10,07\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

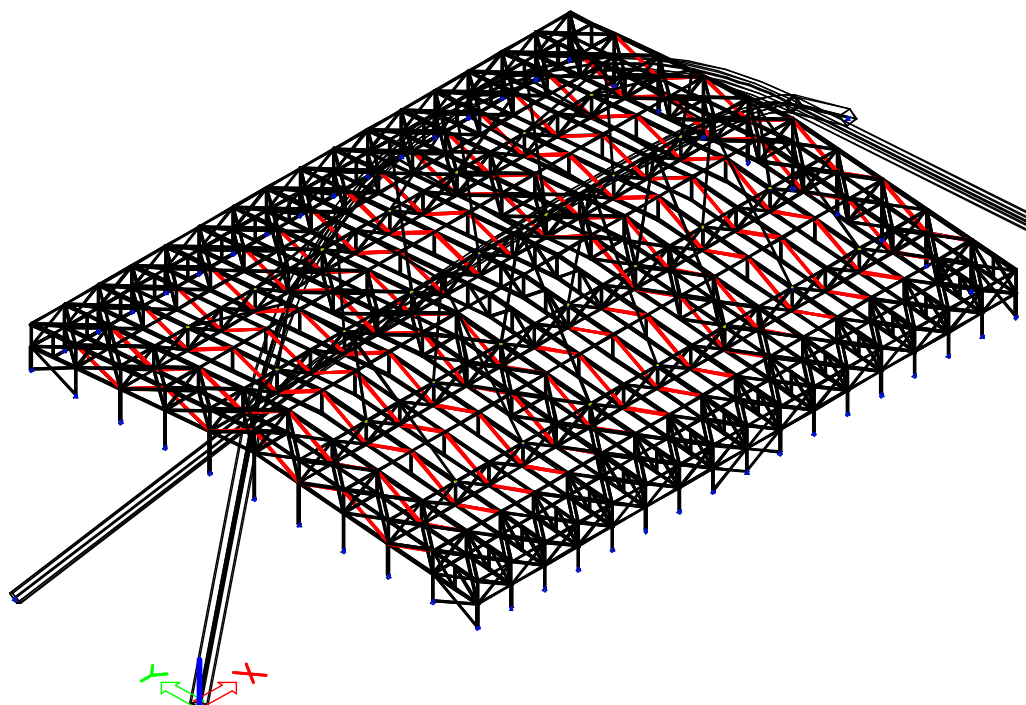
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 80,32\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez HTR 140/140/8 jako „krátká diagonála příhrady“ VYHOVUJE.

2.6.4. Návrh dlouhé diagonály příhrady

Dlouhá diagonála je největším primárně osově namáhaným prvkem v příhradovém vazníku. Tento profil se v konstrukci nachází ve dvou různých délkách v závislosti na tom, jestli konkrétní prvek jde ve směru sklonu či proti směru sklonu střechy. Rozdíl v délkách těchto dvou typů prvků však není velký, proto je návrh všech dlouhých diagonál sjednocen. Namáhání dlouhé diagonály může být tahové i tlakové, ale jiné vnitřní síly na prvek nepůsobí. Výjimkou je moment od vlastní tíhy, který je však v poměru k normálovému namáhání tak malý, že je možné jej zanedbat.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed,t} = 257,81$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed,c} = 515,29$ kN

Maximální délka prvku – $l = 7,7$ m

Navržený profil: HTR 180/180/8

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 5284$ mm²

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 69 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 2,5459 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,284 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1875,82 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{257,81}{1875,82} = 0,1374 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 13,74\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 7,7 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{7700}{69} = 111,594$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{111,594}{76,399} = 1,461$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,461 - 0,2) + 1,61^2) = 1,876$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,876 + \sqrt{1,876^2 - 1,461^2}} = 0,328$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 5,284 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,328 = 614,55 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 614,55 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed,c}}{N_{B;Rd}} = \frac{515,29}{614,55} = 0,8385 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 83,85\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,5459 \cdot 10^{-5}}{7,7^2} = 889,98$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 13,74\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

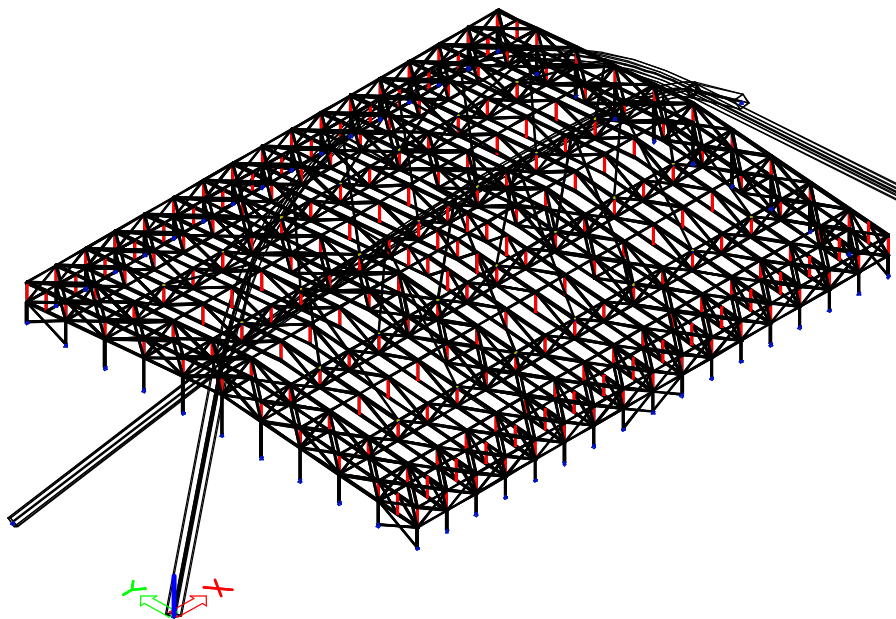
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 83,85\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez HTR 180/180/8 jako „dlouhá diagonála příhrady“ VYHOVUJE.

2.6.5. Návrh svislice příhrady

Svislice doplňuje příhradový vazník, aby byla konstrukce dostatečně tuhá a správně roznášela vnitřní síly. Svislice je namáhána osovou silou, tahem i tlakem. Krajní svislice je pak namáhána i ohybovým momentem.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 555,61$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 129,3$ kN

Maximální délka prvku – $l = 3$ m

Navržený profil: HTR 120/120/4

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 1815 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 47 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 4,0228 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul k ose y a z – $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 7,833 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

$$N_{Rk} = A * f_y = 1,815 * 10^{-3} * 355000 = 644,33 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} * f_y = 7,833 * 10^{-5} * 355000 = 27,8 \text{ kNm}$$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,815 * 10^{-3} * 355000}{1} = 644,33 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{555,61}{644,33} = 0,8623 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 86,23\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 3 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{47} = 63,83$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{63,83}{76,399} = 0,835$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,835 - 0,2) + 0,835^2) = 1,005$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,005 + \sqrt{1,005^2 - 0,835^2}} = 0,64$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 1,815 * 10^{-3} * 355000 * 0,64 = 412,30 \text{ kN}$$

$$\text{tlaková únosnost prvku} - N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 412,30 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{129,3}{412,3} = 0,3136 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 31,36\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 4,0228 * 10^{-6}}{3^2} = 926,41 \text{ kN}$$

$$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow \text{Kritické síly není dosaženo}$$

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 86,23\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 31,36\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce tlaku a ohybu

Platí jen pro krajní svislíci

Základní rovnice pro posouzení interakce:

$$\chi_{LT} = 1 - \text{uzavřené duté průřezy neklopí}$$

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

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 1:

$$N_{Ed} = 20,45 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = 10,56 \text{ kNm}$$

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

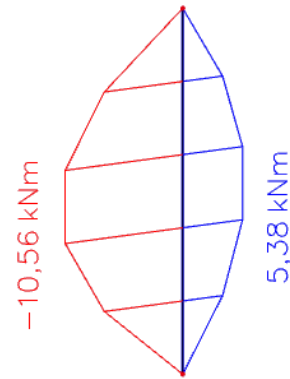
$$M_s = 10,56 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = 0$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,95$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + (0,835 - 0,2) * \frac{20,45}{\frac{0,64 * 644,33}{1,0}} \right) \\ 0,95 * \left(1 + 0,8 * \frac{20,45}{\frac{0,64 * 644,33}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,979; 0,987) = 0,979$$

$$k_{zy} = 0,6 * 0,979 = 0,587$$

$$\frac{20,45}{\frac{0,64 * 644,33}{1,0}} + 0,979 * \frac{10,56}{\frac{1 * 27,8}{1,0}} = 0,4215 \rightarrow 42,15\%$$

$$\frac{355}{\frac{0,151 * 2576,24}{1,0}} + 0,587 * \frac{10,56}{\frac{1 * 27,8}{1,0}} = 0,2726 \rightarrow 27,26\%$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 1 je splněna.

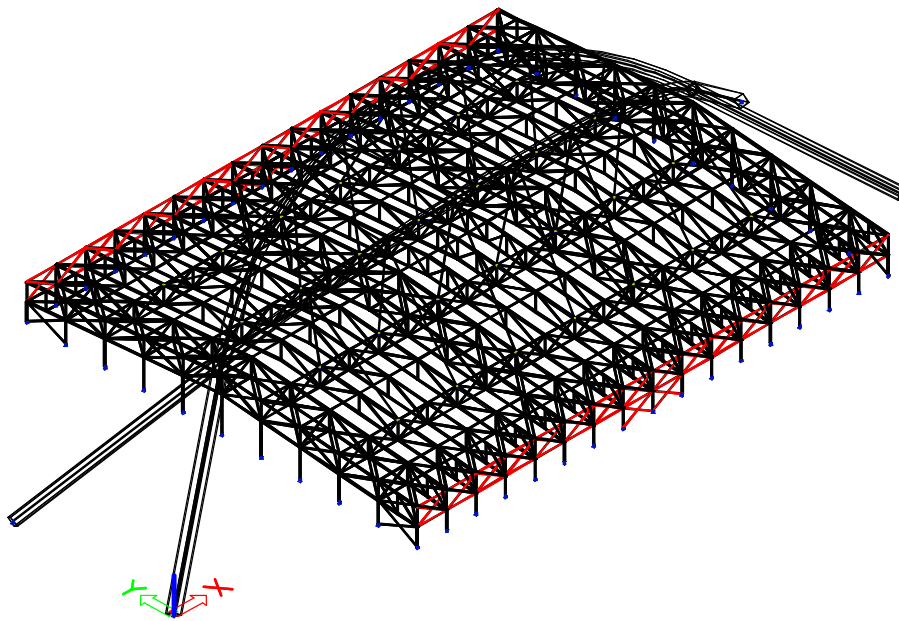
Průřez HTR 120/120/4 jako „svislice příhrady“ VYHOVUJE.

2.7. Návrh ztužujících dílců na MSU

2.7.1. Návrh podélného ztužidla

Podélná ztužidla se nachází v podélných stěnách konstrukce. V úrovni krajní svislice příhrady propojují všechny vazníky a v prostředních dvou polích pak přenáší zachycené síly do betonového podkladu.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed,t} = 73,78$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed,c} = 96,4$ kN

Maximální délka prvku – $l = 5,94$ m

Navržený profil: TR 127/4

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 1546$ mm²

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 44$ mm

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 2,9261 \cdot 10^{-6}$ m⁴

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,546 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 548,83 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{73,78}{548,83} = 0,1344 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 13,44\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 5,94$ m (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5940}{44} = 135,00$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{135}{76,399} = 1,767$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,767 - 0,2) + 1,767^2) = 2,445$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,445 + \sqrt{2,445^2 - 1,767^2}} = 0,242$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 1,546 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,242 = 132,72 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 132,72 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed,c}}{N_{B;Rd}} = \frac{96,4}{132,72} = 0,7263 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 72,63\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,9261 \cdot 10^{-6}}{5,94^2} = 171,88 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 13,44\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

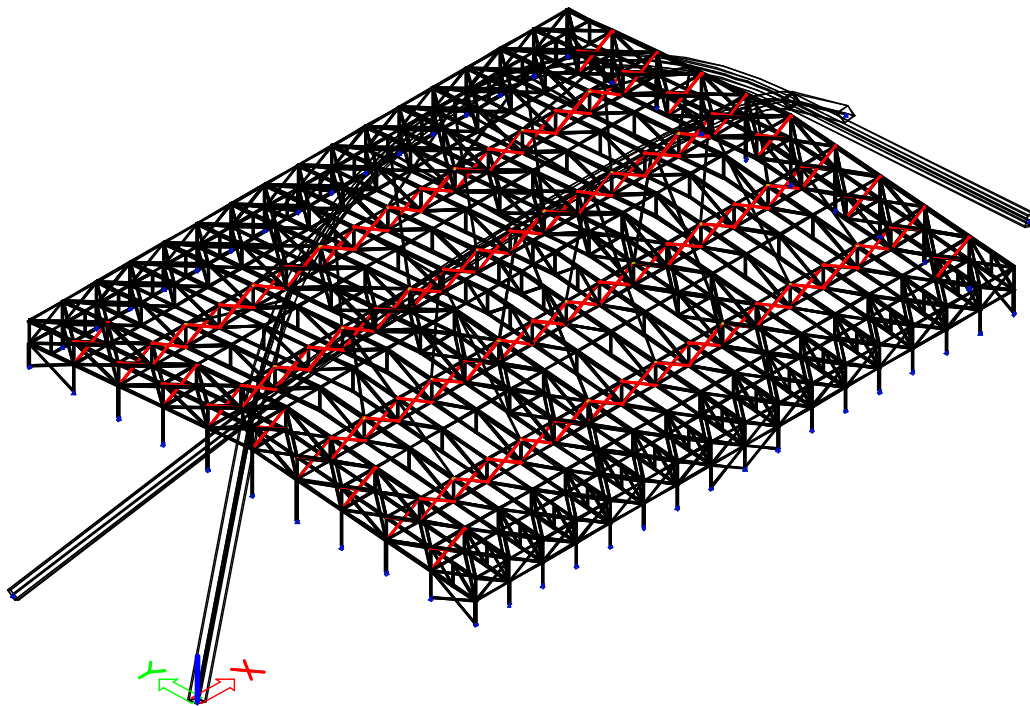
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 72,63\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 127/4 jako „podélné ztužidlo“ VYHOVUJE.

2.7.2. Návrh diagonály vnitřního podélného ztužidla

Vnitřní podélné ztužidlo je tvořeno dvěma prvky: diagonálou a pásem, který je navržen v kapitole 2.7.3. Toto ztužidlo slouží především k vynesení mezilehlých vazníků. To je zajištěno jejich propojením s vazníky v hlavních vazbách, které jsou zachyceny předepjatými táhly. V podstatě tak vzniká příhradový rošt, ačkoliv podélné vazby jsou od sebe významně vzdálenější, než vazby příčné. Ve štítové stěně pak vnitřní podélná ztužidla zamezují přílišné deformaci štítových sloupů a proto jsou u štítových stěn tato ztužidla umístěna v každé vazbě.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 430,05$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 296,71$ kN

Maximální délka prvku – $l = 5,94$ m

Navržený profil: TR 159/6

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 2884$ mm²

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 54$ mm

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 8,4519 \cdot 10^{-6}$ m⁴

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,884 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1023,82 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{430,05}{1023,82} = 0,420 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 42\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 5,94$ m (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5940}{54} = 110,00$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{110}{76,399} = 1,44$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,44 - 0,2) + 1,44^2) = 1,84$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,84 + \sqrt{1,84^2 - 1,44^2}} = 0,335$$

$$N_{B,Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 2,884 * 10^{-3} * 355000 * 0,335 = 342,83 \text{ kN}$$

Plaková únosnost prvku – $N_{B,Rd} = N_{B,Rd;y} = 342,83 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = \frac{296,71}{342,83} = 0,8655 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 86,55\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 8,4519 * 10^{-6}}{5,94^2} = 496,48 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T,Rd}} = 42\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

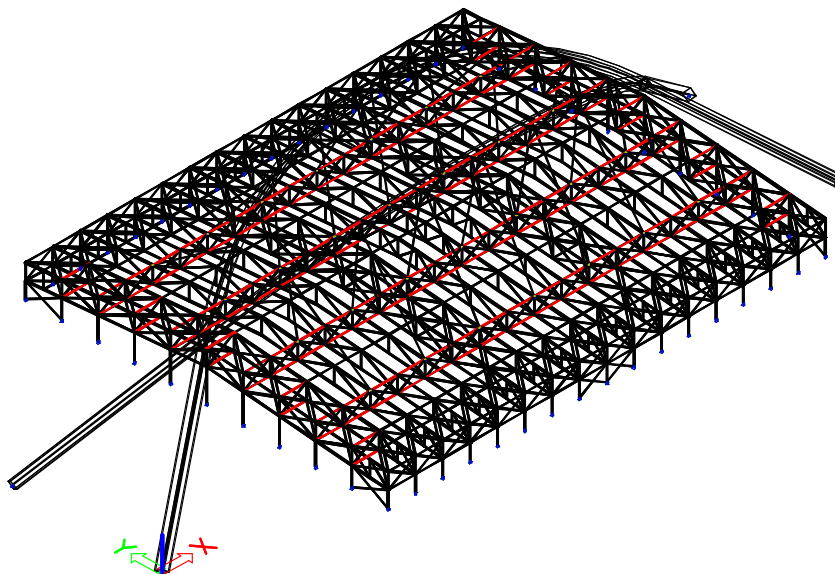
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = 86,55\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 159/6 jako „diagonála vnitřního podélného ztužidla“ VYHOVUJE.

2.7.3. Návrh horního / dolního pásu vnitřního ztužidla

Popis využití vnitřního podélného ztužidla je podrobně popsán v předchozí kapitole. Z důvodu optimalizace návrhu byla vnitřní podélná ztužidla rozdělena na diagonály a pásy (horizontální prvky), aby bylo pro oba typy prvku dosaženo co nejlepšího návrhu.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 365,55 \text{ kN}$

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 442,6 \text{ kN}$

Maximální délka prvku – $l = 5,125 \text{ m}$

Navržený profil: TR 168,3/6

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 3059 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 57 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 1,0087 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,059 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1085,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{365,55}{1085,95} = 0,3366 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 33,66\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 5,125 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5125}{57} = 89,912$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{89,912}{76,399} = 1,177$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,177 - 0,2) + 1,177^2) = 1,432$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,432 + \sqrt{1,432^2 - 1,177^2}} = 0,445$$

$$N_{B,Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 3,059 * 10^{-3} * 355000 * 0,455 = 483,19 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B,Rd} = N_{B,Rd;y} = 483,19 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = \frac{442,6}{483,19} = 0,9160 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 91,6\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 1,0087 * 10^{-5}}{5,125^2} = 795,95 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T,Rd}} = 33,66\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

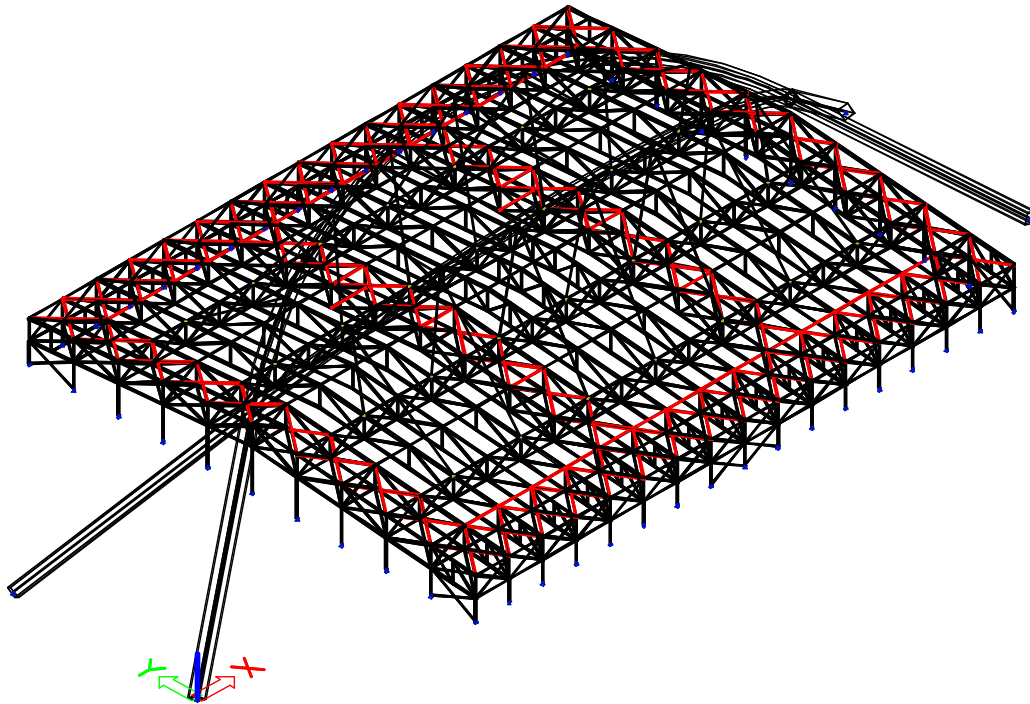
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = 91,6\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 168,6/6 jako „horní / dolní pás vnitřního ztužidla“ VYHOVUJE.

2.7.4. Návrh střešního ztužidla

Střešní ztužidla zajišťují celkovou tuhost střešní konstrukce při horním okraji ocelové části tak, aby byly minimalizovány deformace a nedocházelo například k poškození střešního opláštění. Kromě ztužení po obvodu byly navrženy ještě dva pruhy uvnitř konstrukce tak, aby byla splněna podmínka maximální podélné vzdálenosti ztužidel < 36 m.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed,t} = 111,35 \text{ kN}$

Osová síla tlaková – $N_{Ed,c} = 266,7 \text{ kN}$

Maximální délka prvku – $l = 8,536 \text{ m}$

Navržený profil: TR 193,7/6

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 3538 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 66 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 1,5597 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,538 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1255,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{111,35}{1255,99} = 0,0887 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 8,87\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 8,536 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{8536}{66} = 129,33$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{129,33}{76,399} = 1,693$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,693 - 0,2) + 1,693^2) = 2,299$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,299 + \sqrt{2,299^2 - 1,693^2}} = 0,259$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 3,538 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,259 = 325,92 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 325,92 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed,c}}{N_{B;Rd}} = \frac{266,7}{325,92} = 0,8183 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 81,83\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,5597 \cdot 10^{-6}}{8,536^2} = 443,66 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 8,87\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

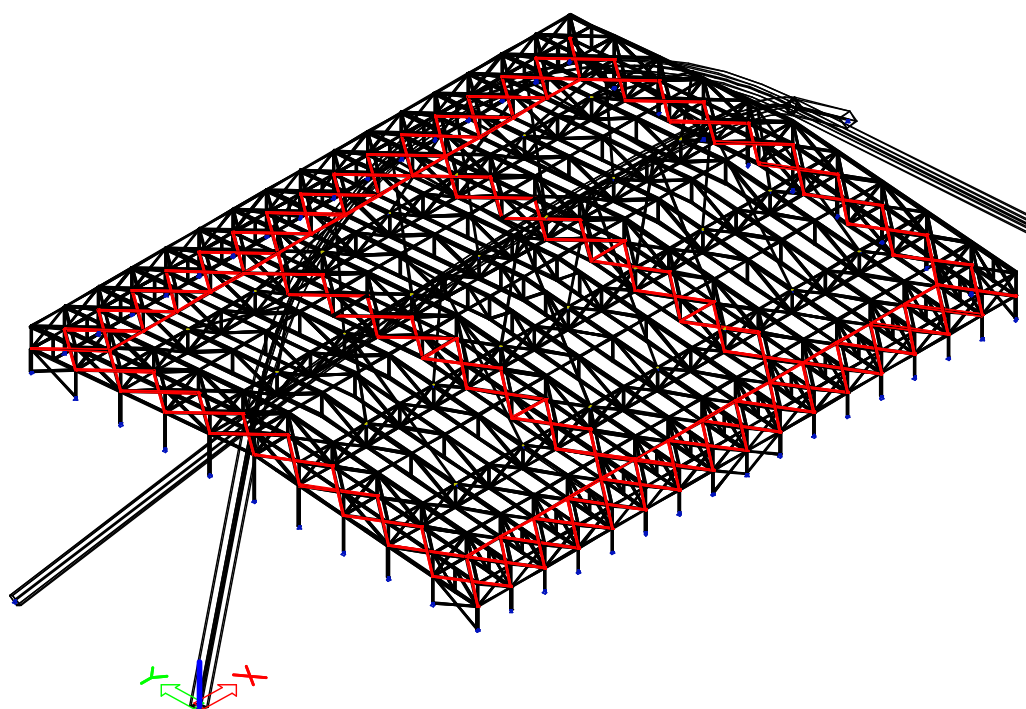
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 81,83\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 193,7/6 jako „střešní ztužidlo“ VYHOVUJE.

2.7.5. Návrh spodního střešního ztužidla

Spodní střešní ztužidla jsou půdorysně rozmístěna stejně jako vrchní střešní ztužidla. Hlavní funkcí spodních střešních ztužidel je dostatečné ztužení konstrukce v rovině spodního pásu příhradového vazníku. Tato ztužidla zamezí nadměrné deformaci sloupů a to jak v příčném, tak v podélném směru. Původně nebyla spodní ztužidla součástí návrhu, nicméně stěnové sloupy měly v takové konstrukci příliš velkou vodorovnou deformaci. Použití spodních střešních ztužidel zajistí, že je tato hodnota v normě. Nepřekročení limitní vodorovné deformace sloupu je důležité například pro správnou funkčnost a napojení stěnového opláštění.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 293,12$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 166,33$ kN

Maximální délka prvku – $l = 8,536$ m

Navržený profil: TR 168,3/5

Třída průřezu: 2

Plocha – $A = 2565$ mm²

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 58$ mm

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 8,5585 \cdot 10^{-6}$ m⁴

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,565 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 910,58 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{293,12}{910,58} = 0,3219 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 32,19\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 8,536$ m (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{8536}{58} = 147,172$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{147,172}{76,399} = 1,926$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,926 - 0,2) + 1,926^2) = 2,778$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,778 + \sqrt{2,778^2 - 1,926^2}} = 0,209$$

$$N_{B,Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 2,565 * 10^{-3} * 355000 * 0,209 = 190,46 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B,Rd} = N_{B,Rd;y} = 190,47 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = \frac{166,33}{190,47} = 0,8732 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 87,32\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 8,5585 * 10^{-6}}{8,536^2} = 243,45 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T,Rd}} = 32,19\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

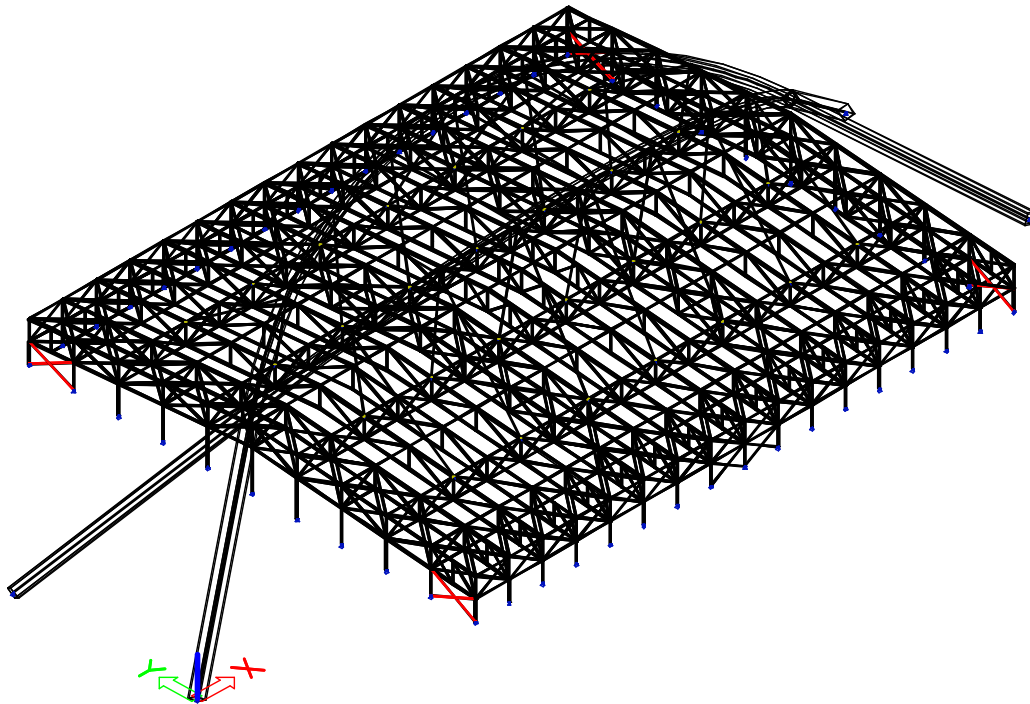
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B,Rd}} = 87,32\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 168,3/5 jako „spodní střešní ztužidlo“ VYHOVUJE.

2.7.6. Návrh štítového příčného ztužidla

Příčná ztužidla se nachází jen v krajních polích štítových stěn. Tato ztužidla přenášejí příčné síly do podkladního betonu. Samotná konstrukce zastřešení je díky příhradovým vazníkům a jejich diagonálám v příčném směru tuhá, ale bez příčných ztužidel by nedošlo k přenosu sil do podkladu.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 71,39$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 72,18$ kN

Maximální délka prvku – $l = 7,7$ m

Navržený profil: TR 101,6/3,6

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 929$ mm²

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 35$ mm

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 1,1304 \cdot 10^{-6}$ m⁴

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,929 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 329,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{71,39}{329,8} = 0,2165 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 21,65\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 0,6 \cdot 7,7 = 4,62 \text{ m}$ (Vzhledem k opačným silám podobné velikosti se trubky stabilizují, ale neprotínají se přímo uprostřed a proto je použit násobek 0,6)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{4620}{35} = 132,00$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{132}{76,399} = 1,728$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,728 - 0,2) + 1,728^2) = 2,367$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,367 + \sqrt{2,367^2 - 1,728^2}} = 0,251$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 0,929 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,251 = 82,77 \text{ kN}$$

$$\text{Tlaková únosnost prvku } -N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 82,77 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{72,18}{82,77} = 0,8721 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 87,21\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,1304 \cdot 10^{-6}}{4,62^2} = 109,77 \text{ kN}$$

$$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow \text{Kritické síly není dosaženo}$$

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 21,65\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

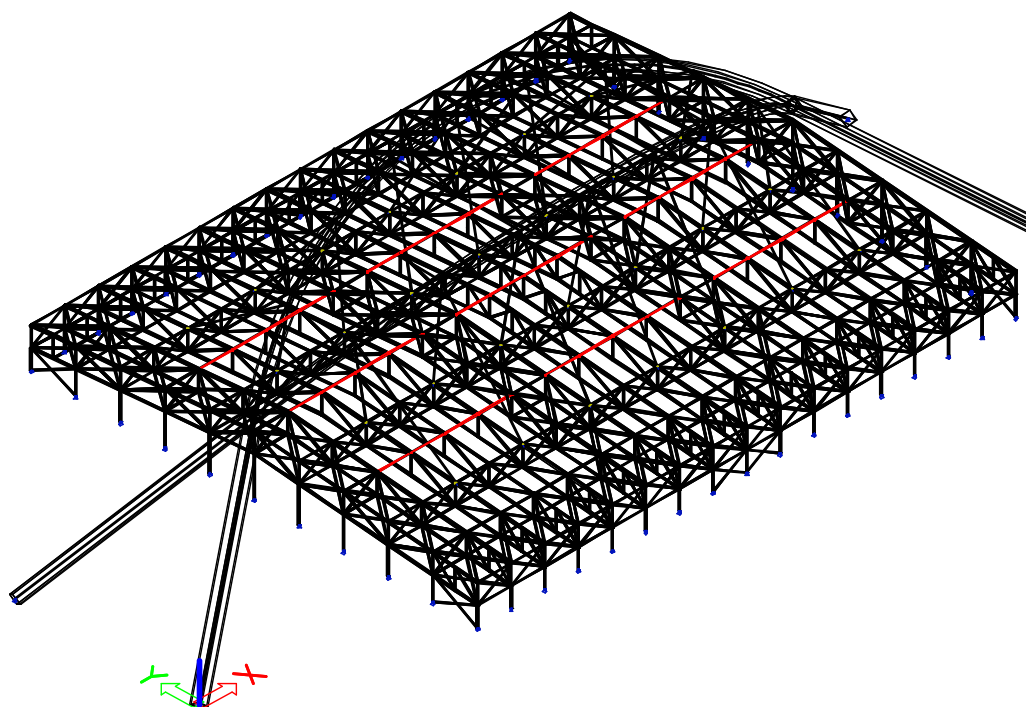
$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 87,21\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez TR 101,6/3,6 jako „štítové příčné ztužidlo“ VYHOVUJE.

2.7.7. Návrh vnitřní ztužující horizontály

Vnitřní ztužující horizontála slouží ke zkrácení vzpěrné délky horního pásu příhradového vazníku. Ve vazníku jsou vysoké tlakové síly a kdyby nebyl horní pás zajištěn proti vybočení ztužidly navrženými v této kapitole, byl by potřeba větší průřez na to, aby zmíněné tlakové namáhání přenesl.

Umístění v konstrukci:



Základní vlastnosti prvku:

Osová síla tahová – $N_{Ed;t} = 84,66$ kN

Osová síla tlaková – $N_{Ed;c} = 221,89$ kN

Maximální délka prvku – $l = 5,125 \text{ m}$

Navržený profil: TR 133/5

Třída průřezu: 1

Plocha – $A = 2011 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 45 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y a z – $I_y = I_z = 4,124 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,011 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 713,91 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{84,66}{713,91} = 0,1186 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 11,86\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y a z je symetrické

$l_{cr,y} = 5,125 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5125}{45} = 113,889$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{113,889}{76,399} = 1,491$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,491 - 0,2) + 1,491^2) = 1,927$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,927 + \sqrt{1,927^2 - 1,491^2}} = 0,318$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 2,011 * 10^{-3} * 355000 * 0,318 = 226,71 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = N_{B;Rd;y} = 226,71 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{221,89}{226,71} = 0,9787 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 97,87\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iy}}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 4,124 * 10^{-6}}{5,125^2} = 325,42 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Shrnutí posouzení

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = 11,86\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = 97,87\% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

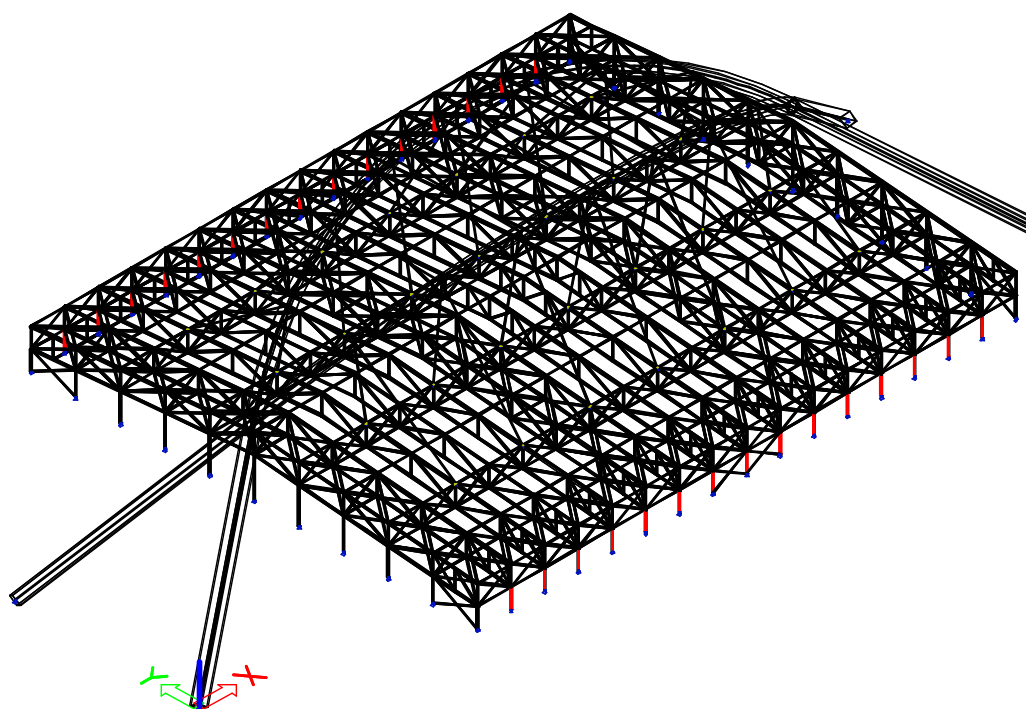
Průřez TR 133/5 jako „vnitřní ztužující horizontála“ VYHOVUJE.

2.8. Návrh sloupů na MSU

2.8.1. Návrh běžného sloupu

Sloupy ve stěnách o výšce 3 metry jsou základním prvkem, který propojí konstrukci zastřešení s betonovým podkladem a přenáší převážně svislé, tlakové síly.

Umístění v konstrukci:



Navržený profil: HEA 140

Třída průřezu: 2

Plocha – $A = 3140 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y – $i_y = 57 \text{ mm}$

Poloměr setrvačnosti k ose z – $i_z = 35 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y – $I_y = 1,03 \cdot 10^5 \text{ m}^4$

Moment setrvačnosti k ose z – $I_z = 3,89 \cdot 10^6 \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul k ose y – $W_{pl,y} = 1,7333 \cdot 10^4 \text{ m}^3$

Plastický průřezový modul k ose z – $W_{pl,z} = 8,5 \cdot 10^5 \text{ m}^3$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 = 1114,7 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,7333 \cdot 10^{-4} \cdot 355000 = 61,53 \text{ kNm}$$

Působící kombinace sil:

Tabulka kombinací

kombinace	N_{ED} [kN]	M_{yEd} [kNm]
1 – maximální tah	15	11
2 – maximální tlak	387	0
3 – maximální moment a tlak	89	11

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1114,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{15}{1114,7} = 0,019 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 1,9\%}$$

Interakce tahu a ohybu:

$$\frac{N_{Ed,t}}{\frac{N_{Rd,t}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} = \frac{15}{1114,7} + \frac{11}{61,53} = 0,192 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 19,2\%}$$

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y

$l_{cr,y} = 3 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{57} = 52,632$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{52,632}{76,399} = 0,689$$

křivka vzpěrnosti – b

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,689 - 0,2) + 0,689^2) = 0,82$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,82 + \sqrt{0,82^2 - 0,689^2}} = 0,79$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 3,14 * 10^{-3} * 355000 * 0,79 = 880,54 \text{ kN}$$

Vybočení ve směru osy z

$l_{cr,z} = 3 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3000}{35} = 85,714$$

$$\lambda_{1,z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1,z}} = \frac{85,714}{76,399} = 1,122$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,122 - 0,2) + 1,122^2) = 1,355$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,355 + \sqrt{1,355^2 - 1,122^2}} = 0,473$$

$$N_{B;Rd;z} = A * f_y * \chi_z = 3,14 * 10^{-3} * 355000 * 0,473 = 526,93 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = \min(N_{B;Rd;y}; N_{B;Rd;z}) = 526,93 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed,c}}{N_{B;Rd}} = \frac{387}{526,93} = 0,6644 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 66,44\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iz}}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 3,89 * 10^{-6}}{3^2} = 895,83 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Interakce tlaku a ohybu

Hodnoty pro zohlednění klopení průřezu:

$M_{cr} = 80,49 \text{ kNm}$ (viz LTBeamN)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{pl,y} * f_y / M_{cr}} = \sqrt{\frac{1,7333 * 10^{-4} * 355000}{80,49}} = 0,847$$

křivka vzpěrnosti – a (válcovaný I průřez, $h/b < 2$)

$\alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,21 * (0,847 - 0,2) + 0,847^2) = 0,927$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,927 + \sqrt{0,927^2 - 0,478^2}} = 0,768$$

Základní rovnice pro posouzení interakce:

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

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 2:

$$N_{Ed} = 89 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = 11 \text{ kNm}$$

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

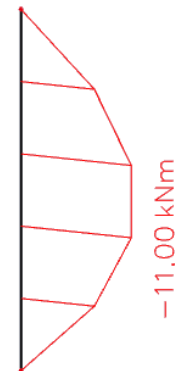
$$M_s = 11,0 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = 0$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,95$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + (0,689 - 0,2) * \frac{89}{\frac{0,79 * 1114,7}{1,0}} \right) \\ 0,95 * \left(1 + 0,8 * \frac{89}{\frac{0,79 * 1114,7}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,997; 1,026) = 0,997$$

$$k_{zy} = 0,6 * 0,997 = 0,598$$

$$\frac{89}{\frac{0,79 * 1114,7}{1,0}} + 0,997 * \frac{11}{\frac{0,768 * 61,53}{1,0}} = 0,3331 \rightarrow 33,31\%$$

$$\frac{89}{\frac{0,473 * 1114,7}{1,0}} + 0,598 * \frac{11}{\frac{0,768 * 61,53}{1,0}} = 0,308 \rightarrow 30,8\%$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 2 je splněna.

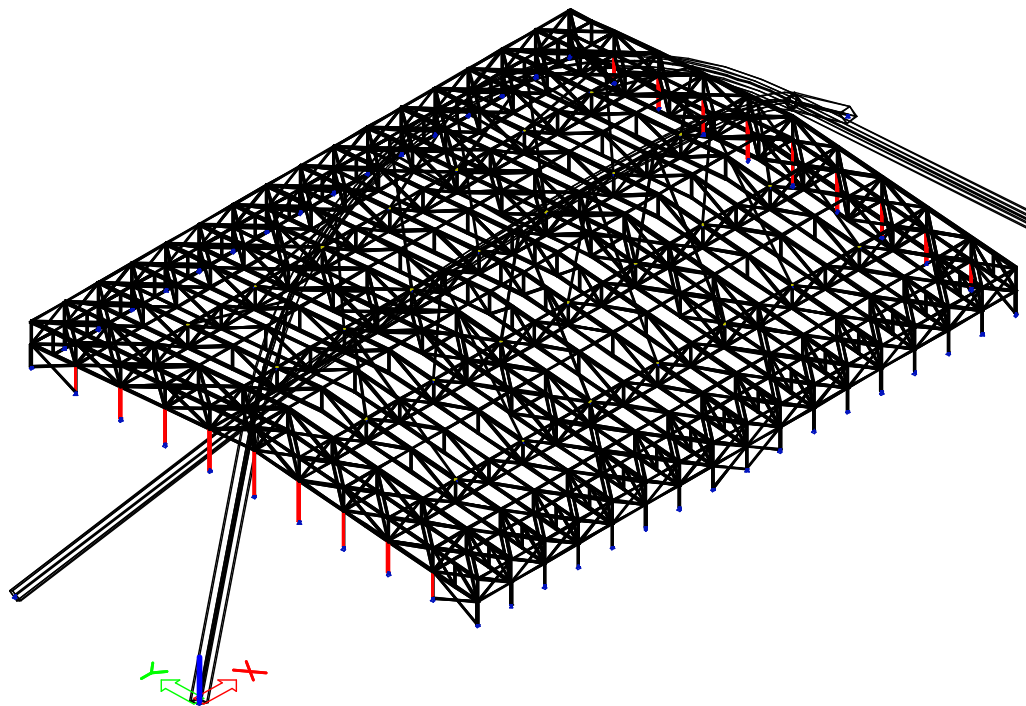
Z hlediska posouzení by vyhovoval i menší profil, ale z konstrukčních důvodů je potřeba zvolit minimálně profil HEA 140.

Průřez HEA140 jako „běžný sloup“ VYHOVUJE.

2.8.2. Návrh štítového sloupu

Štítové sloupy přenášejí primárně svislé zatížení od krajních polí do betonového podkladu.

Umístění v konstrukci:



Navržený profil: HEA 180

Třída průřezu: 3

Plocha – $A = 4530 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y – $i_y = 74 \text{ mm}$

Poloměr setrvačnosti k ose z – $i_z = 45 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y – $I_y = 2,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Moment setrvačnosti k ose z – $I_z = 9,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Elastický průřezový modul k ose y – $W_{el,y} = 2,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Elastický průřezový modul k ose z – $W_{el,z} = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 = 1608,15 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{el,y} \cdot f_y = 2,94 \cdot 10^{-4} \cdot 355000 = 104,37 \text{ kNm}$$

Působící kombinace sil:

Tabulka kombinací

kombinace	N_{ED} [kN]	M_{yEd} [kNm]
1 – maximální tah	18	0
2 – maximální tlak	275	0
3 – maximální moment a tlak	90	41

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1608,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed;t}}{N_{T;Rd}} = \frac{18}{1608,15} = 0,015 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 1,5\%}$$

Interakce tahu a ohybu:

Nenastává.

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y

 $l_{cr,y} = 6 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{6000}{74} = 81,081$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{81,081}{76,399} = 1,061$$

křivka vzpěrnosti – b

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (1,061 - 0,2) + 1,061^2) = 1,21$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,061^2}} = 0,559$$

$$N_{B;Rd;y} = A \cdot f_y \cdot \chi_y = 4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 \cdot 0,559 = 898,46 \text{ kN}$$

Vybočení ve směru osy z

$l_{cr,z} = 6 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6000}{45} = 133,333$$

$$\lambda_{1z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1z}} = \frac{133,333}{76,399} = 1,754$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2)$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,754 - 0,2) + 1,754^2) = 2,402$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,402 + \sqrt{2,402^2 - 1,754^2}} = 0,247$$

$$N_{B;Rd;z} = A * f_y * \chi_z = 4,53 * 10^{-3} * 355000 * 0,247 = 396,96 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = \min(N_{B;Rd;y}; N_{B;Ed;z}) = 396,96 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{275}{396,96} = 0,6887 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 68,87\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iz}}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 9,25 * 10^{-6}}{6^2} = 532,55 \text{ kN}$$

$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow$ Kritické síly není dosaženo

Interakce tlaku a ohybu

Hodnoty pro zohlednění klopení průřezu:

$M_{cr} = 81,06 \text{ kNm}$ (viz LTBeamN)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{el,y} * f_y / M_{cr}} = \sqrt{\frac{2,94 * 10^{-4} * 355000}{81,06}} = 1,135$$

křivka vzpěrnosti – a (válcovaný I průřez, $h/b < 2$)

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,21 * (1,135 - 0,2) + 1,135^2) = 1,242$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,242 + \sqrt{1,242^2 - 1,135^2}} = 0,572$$

Základní rovnice pro posouzení interakce:

Průřez třídy 3 – pružnostní návrh

$$k_{yy} = \min \left(C_{my} * \left(1 + 0,6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,6 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 2:

$$N_{Ed} = 90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 40,5 \text{ kNm}$$

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

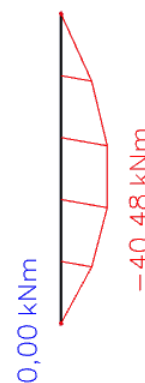
$$M_s = 40,48 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = 0$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,95$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + 0,6 * 1,061 * \frac{90}{\frac{0,559 * 1608,15}{1,0}} \right) \\ 0,65 * \left(1 + 0,6 * \frac{90}{\frac{0,559 * 1608,15}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(1,01; 1,007) = 1,007$$

$$k_{zy} = 0,8 * 1,007 = 0,806$$

$$\frac{90}{\frac{0,559 * 1608,15}{1,0}} + 1,007 * \frac{40,5}{\frac{0,572 * 104,37}{1,0}} = 0,7833 \rightarrow 78,33\%$$

$$\frac{90}{\frac{0,247 * 1608,15}{1,0}} + 0,806 * \frac{40,5}{\frac{0,572 * 104,37}{1,0}} = 0,7734 \rightarrow 77,34\%$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 2 je splněna.

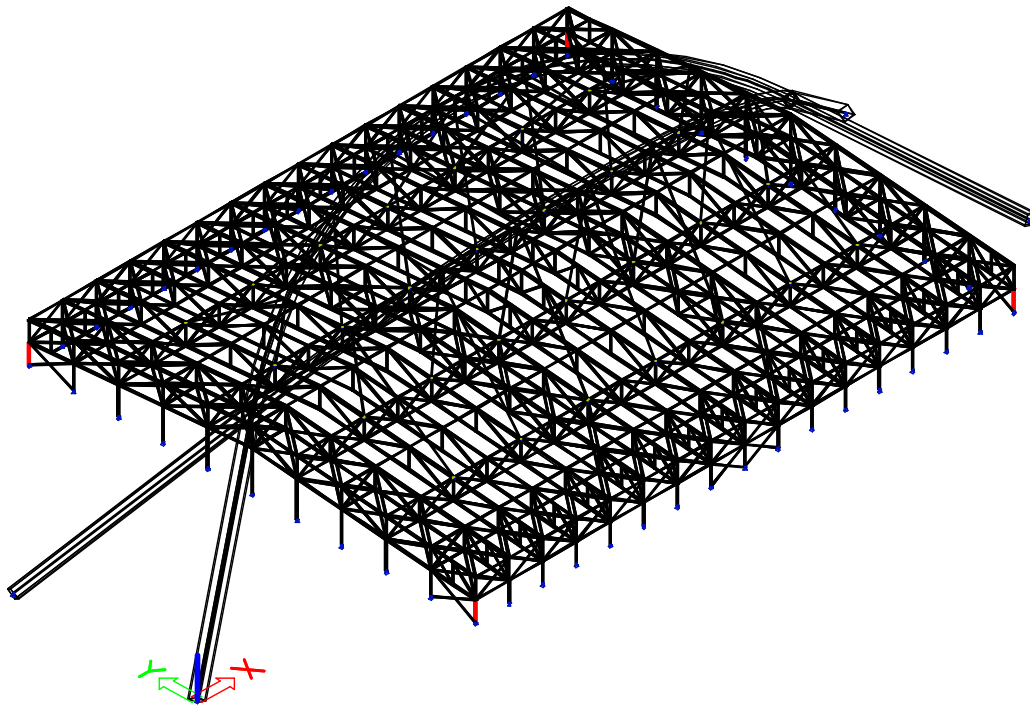
Průřez HEA180 jako „štitový sloup“ VYHOVUJE.

2.8.3. Návrh rohového sloupu

Navržený profil: HEA 180

Rohové sloupy jsou dimenzí a orientací sjednoceny se štítovými sloupy.

Umístění v konstrukci:



Třída průřezu: 3

Plocha – $A = 4530 \text{ mm}^2$

Poloměr setrvačnosti k ose y – $i_y = 74 \text{ mm}$

Poloměr setrvačnosti k ose z – $i_z = 45 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y – $I_y = 2,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Moment setrvačnosti k ose z – $I_z = 9,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Elastický průřezový modul k ose y – $W_{el,y} = 2,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Elastický průřezový modul k ose z – $W_{el,z} = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355000 = 1608,15 \text{ kN}$

$M_{Rk,y} = W_{el,y} \cdot f_y = 2,94 \cdot 10^{-4} \cdot 355000 = 104,37 \text{ kNm}$

Působící kombinace sil:

Tabulka kombinací

kombinace	N_{ED} [kN]	M_{yEd} [kNm]	M_{zEd} [kNm]
1 – maximální tah	59	0	0
2 – maximální tlak	59	0	0
3 – maximální moment a tlak	15	5,5	5
4 – maximální M_y + tlak	15	5,5	2,5
5 – maximální M_z + tah	24	2,7	5

Poznámka: v kombinaci 3 jsou sloučeny maximální vlivy od ohybových momentů. Pokud vyhoví tato kombinace, musí jistě vyhovět i kombinace 4 a 5, které udávají reálné vnitřní síly.

Posouzení tahového namáhání:

$$\text{Tahová únosnost prvku } -N_{T;Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355000}{1} = 1608,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,t}}{N_{T;Rd}} = \frac{59}{1608,15} = 0,0367 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 3,67\%}$$

Interakce tahu a ohybu:

$$\frac{N_{Ed,t}}{\frac{N_{Rd,t}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed,y}}{(W_{el,y} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed,z}}{(W_{el,z} \cdot f_y) / \gamma_{M1}} = \frac{24}{1608,15} + \frac{2,7}{104,37} + \frac{5}{36,57} = 0,176 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující,}$$

využití je 17,6%

Posouzení tlakového namáhání se vzpěrem:

Vybočení ve směru osy y

 $l_{cr,y} = 6 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{74} = 40,541$$

$$\lambda_{1,y} = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{1,y}} = \frac{40,541}{76,399} = 0,531$$

křivka vzpěrnosti – b

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,531 - 0,2) + 0,531^2) = 0,697$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,697 + \sqrt{0,697^2 - 0,531^2}} = 0,870$$

$$N_{B;Rd;y} = A * f_y * \chi_y = 4,53 * 10^{-3} * 355000 * 0,870 = 1399,71 \text{ kN}$$

Vybočení ve směru osy z

$l_{cr,z} = 6 \text{ m}$ (kloubové uložení na obou koncích)

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3000}{45} = 66,667$$

$$\lambda_{1z} = 93,9 * \varepsilon = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1z}} = \frac{66,667}{76,399} = 0,873$$

křivka vzpěrnosti – c

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2)$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,873 - 0,2) + 0,873^2) = 1,046$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,046 + \sqrt{1,046^2 - 0,873^2}} = 0,617$$

$$N_{B;Rd;z} = A * f_y * \chi_z = 4,53 * 10^{-3} * 355000 * 0,617 = 991,82 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost prvku – $N_{B;Rd} = \min(N_{B;Rd;y}; N_{B;Rd;z}) = 991,82 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed;c}}{N_{B;Rd}} = \frac{59}{991,82} = 0,0595 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 5,95\%}$$

Ověření kritické síly prvku

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 * E_{Iz}}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 9,25 * 10^{-6}}{3^2} = 2130,19 \text{ kN}$$

$$F_{cr} > N_{Ed,c} \rightarrow \text{Kritické síly není dosaženo}$$

Interakce tlaku a ohybu

Hodnoty pro zohlednění klopení průřezu:

$$M_{cr} = 81,06 \text{ kNm (viz LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{el,y} * f_y / M_{cr}} = \sqrt{\frac{2,94 * 10^{-4} * 355000}{186,49}} = 0,748$$

křivka vzpěrnosti – a (válcovaný I průřez, $h/b < 2$)

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,21 * (0,748 - 0,2) + 0,748^2) = 0,837$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,837 + \sqrt{0,837^2 - 0,748^2}} = 0,824$$

Průřez třídy 3 – pružnostní návrh

Interakce tlaku a ohybu – kombinace 3:

$$N_{Ed} = 15 \text{ kN}$$

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

$$M_{z;Ed} = 5 \text{ kNm}$$

Ohyb v ose y:

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

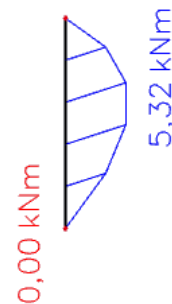
$$M_s = 5,32 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = 0$$

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,95$$



Ohyb v ose z:

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_s = 5,32 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = 0$$

$$c_{mz} = 0,95$$



$$k_{yy} = \min \left(C_{my} * \left(1 + 0,6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,6 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \right)$$

$$= \min \left(0,95 \left(1 + 0,6 * 0,531 * \frac{15}{0,87 * 1608,15} \right); 0,95 \left(1 + 0,6 * \frac{15}{0,87 * 1608,15} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,953; 0,956) = 0,953$$

$$k_{zy} = \max \left(\left(1 - \frac{0,05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right); \left(1 - \frac{0,05}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right) \right) =$$

$$\max \left(1 - \frac{0,05 * 0,873}{0,95 - 0,25} * \frac{15}{0,617 * 1608,15}; 1 - \frac{0,05 * 0,873}{0,95 - 0,25} * \frac{15}{0,617 * 1608,15} \right) = \max(0,999; 0,999) = 0,999$$

$$k_{zz} = \min \left(C_{mz} * \left(1 + 0,6 * \bar{\lambda}_z * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right); C_{mz} * \left(1 + 0,6 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right) \right) =$$

$$\min \left(0,95 \left(1 + 0,6 * 0,873 * \frac{15}{0,617 * 1608,15} \right); 0,95 \left(1 + 0,6 * \frac{15}{0,617 * 1608,15} \right) \right) = \min(0,956; 0,959) = 0,956$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,956$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zy} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \\ & \frac{15}{0,87 * 1608,15} + 0,953 * \frac{5,5}{0,824 * 104,37} + 0,999 * \frac{5}{36,57} \\ & = 0,2080 \rightarrow 20,8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{yz} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \\ & \frac{15}{0,617 * 1608,15} + 0,956 * \frac{5,5}{0,824 * 104,37} + 0,956 * \frac{5}{36,57} \\ & = 0,2069 \rightarrow 20,69\% \end{aligned}$$

Posouzení obou rovnic vyhovuje, podmínka únosnosti pro kombinaci 3 je splněna.

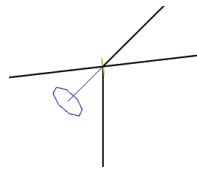
Tento sloup by mohl být proveden i z úspornějšího profilu, ale vzhledem k počtu a délce rohových sloupů v konstrukci byl tento sloup průřezem sjednocen se štítovým sloupem. Ekonomická ztráta bude v tomto případě vzhledem k ceně celé konstrukce naprosto zanedbatelná. Díky tomu bude zjednodušena montáž, návrh a provedení detailů.

Průřez HEA180 jako „rohový sloup“ VYHOVUJE.

2.9. Stanovení předpětí a návrh průřezu předpínacích táhel

2.9.1. Postup stanovení předpětí a návrhu táhel

Předpětí je stanoveno pomocí několika kroků. Cílem předpětí je vyrovnání zatížení od vlastní tíhy konstrukce, střešního pláště a podvěsů (ZS1, ZS2, ZS3). V první řadě je stanovena hodnota reakcí v místě uchycení táhel k příhradovým vazníkům. Tyto podpory se vyskytují jen v jedné z modifikací modelu, v dalších výpočtech je pak software zanedbává. Podpory zamezí pouze posunu v ose táhla, čímž je přímo získána hodnota teoretického počátečního vnášeného napětí. Velikost reakce z takovéto podpory je tedy následně vnesena do lana jako teoretické předpětí.



Detail podpory v ose táhla:

(dále zobrazen horní pás a svislice příhrady)

Reakce jsou počítány pro podporu, která se chová ve směru osy táhla jako naprosto tuhá. Poddajnost podpory táhla je v tomto kroku zanedbána. Hodnota reakce se následně zadá jako předpětí do modelu, model se zatíží a až následně jsou odečteny hodnoty skutečného předpětí. Síly vnášené do táhla působí na konstrukci na obou koncích táhla. Proto není reálné vnést čistě danou sílu do táhla a následně například táhlo umístit do modelu konstrukce.

Lana jsou rozdělena do skupin s využitím geometrické souměrnosti konstrukce tak, aby lana stejné délky a stejného úhlu uložení měla shodné číselné označení (například tedy L1a, L1b, L1c, L1d). Tato skupina symetricky umístěných lan je pak předepnuta stejnou silou. Obdobně je postupováno i u dalších skupin (L2..., L3..., L5..., L6..., L7...).

Jen skupiny L4... a L8... mají pouze 2 táhla místo čtyř, protože se nachází v ose konstrukce. Přesné rozmístění předpínacích lan (táhel) je zjevné z výkresu předpětí.

Síly, na které budou lana předpínána, jsou tedy stanoveny následujícím postupem: do modelu je vneseno teoretické předpětí dle jednotlivých reakcí, model je dále zatížen zatěžovacími stavy ZS1 – vlastní tíha a ZS2 – zatížení střešním pláštěm. Toto zatížení odpovídá situaci, ve které budou táhla skutečně předpínána. Pro zmíněnou kombinaci zatížení budou nelineárním výpočtem zjištěny vnitřní síly v jednotlivých táhlech, resp. skupinách táhel, a tato hodnota je pak využita jako skutečná předpínací síla.

Během výstavby konstrukce je potřeba po celou dobu pečlivě sledovat vnitřní síly v táhlech. Při začátku napínání už v táhlech bude nějaká síla od původního zatížení a táhla je potřeba jen dopnout na stanovenou hodnotu.

Měření vnitřní síly může být provedeno například pomocí měření protažení lana. Pro zjištění síly v lanu stačí využít součinu tuhosti a přetvoření. Tuhost je vypočtena jako poměr součinu modulu pružnosti s plochou ku délce táhla.

$$F = K * \Delta L = \frac{EA}{L} * \Delta L$$

$$F[kN] = \frac{\text{modul pružnosti}[kPa] * \text{plocha průřezu}[m^2]}{\text{délka měřeného úseku}[m]} * \text{protažení měřeného úseku}[m]$$

Lze tedy použít například tenzometry, které fungují na stejném principu. Touto cestou je možné aplikovat předpětí do všech táhel tak, aby odpovídalo výpočetnímu modelu.

Pro přesnější výpočet by ještě měla být vytvořena matice tuhostí jednotlivých táhel s tím, že by se dalo dopočítat, jak předpínání jednoho táhla ovlivňuje ostatní. Při předepnutí jednoho táhla totiž lehce poklesne předpínací síla v okolních táhlech a tak není reálně možné jen každé táhlo předepnout na jeho požadovanou sílu a ostatními táhly se v tu chvíli nezabývat. Nicméně tento postup není v rámci této práce detailně rozpracován.

Na dalších stránkách jsou zobrazeny tabulky, jejichž pomocí je stanoveno předpětí v táhlech. Dále jsou tabulky a jejich funkce podrobně vysvětleny.

Tabulka 1 - Tabulka základní geometrie a předpětí lan:

Jméno	Poč. uzel	X [m]	Y [m]	Z [m]	Konc. uzel	X [m]	Y [m]	Z [m]	Délka [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]	tg	rad	deg	F
L1a	N241	93,074	-7,096	16,2	N99	93,074	8,29	27,161	18,891	15,386	10,961	0,71	0,62	35,47	500,0
L1b	N257	31,574	-7,096	16,2	N121	31,574	8,29	27,161	18,891	15,386	10,961	0,71	0,62	35,47	500,0
L1c	N263	31,574	33,704	16,2	N120	31,574	18,318	27,161	18,891	15,386	10,961	0,71	0,62	35,47	500,0
L1d	N249	93,074	33,704	16,2	N98	93,074	18,318	27,161	18,891	15,386	10,961	0,71	0,62	35,47	500,0
L2a	N242	82,824	-7,096	16,2	N103	82,824	5,222	31,542	19,675	12,318	15,342	1,25	0,89	51,24	470,0
L2b	N258	41,824	-7,096	16,2	N117	41,824	5,222	31,542	19,675	12,318	15,342	1,25	0,89	51,24	470,0
...

Vysvětlivky: uzel – číslo uzlu ve výpočetním modelu; X,Y,Z – souřadnice; Δ – rozdíl souřadnic; tg – tangens úhlu (poměr rozdílů souřadnic); rad – úhel v radiánech; deg – úhel ve stupních; F – předpínací síla (reakce z modelu, kde jsou táhla nahrazeny podporami)

Tabulka 2 – Tabulka pro návrh jednotlivých táhel:

Jméno	Délka [m]	Teoretické předpětí P2 [kN]	maximální síly z táhel F2 [kN]		d	A	A	F	F1	F2
					mm	mm ²	m ²	kN	kN	kN
L1a	18,891	500,0	605,7		52	2123,72	0,00212	605,7	1104,3	1030
L1b	18,891	500,0	617,3		52	2123,72	0,00212	617,3	1104,3	1030
L1c	18,891	500,0	617,5		52	2123,72	0,00212	617,5	1104,3	1030
L1d	18,891	500,0	606,8		52	2123,72	0,00212	606,8	1104,3	1030
L2a	19,675	470,0	427,7		52	2123,72	0,00212	427,7	1104,3	1030
L2b	19,675	470,0	415,4		52	2123,72	0,00212	415,4	1104,3	1030
...

Vysvětlivky: P – zadaná hodnota předpětí (zaokrouhloeno na 5); F – maximální síla v táhle; d – průměr v mm; A – plocha; v mm² i v m²; F – znovu max. síla pro snadnější vizuální porovnání; F1 – maximální dovolená síla dle výpočtu; F2 – maximální dovolená síla dle technického listu výrobce

Tabulka 3 – Tabulka výsledného předpětí lan:

Skupina lan	Délka [m]	Teoretické předpětí		Reálné předpětí		d mm	A mm ²	F kN	F1 kN	F2 kN
		P3 [kN]	F3 [kN]							
L1	18,9	500,0	505,0			52	2123,72	505,0	1104,3	1030
L2	19,7	470,0	350,0			52	2123,72	350,0	1104,3	1030
L3	20,7	420,0	215,0			52	2123,72	215,0	1104,3	1030
L4	21,1	400,0	170,0			52	2123,72	170,0	1104,3	1030
L5	9,9	370,0	470,0			52	2123,72	470,0	1104,3	1030
L6	14,2	330,0	330,0			52	2123,72	330,0	1104,3	1030
L7	16,8	340,0	315,0			52	2123,72	315,0	1104,3	1030
L8	17,7	340,0	320,0			52	2123,72	320,0	1104,3	1030
LH1	10,0	950,0	1255,0			72	4071,50	1255,0	2117,2	1985
LH2	16,2	520,0	735,0			52	2123,72	735,0	1104,3	1030
LH3	19,6	310,0	535,0			52	2123,72	535,0	1104,3	1030
LH4	20,6	240,0	465,0			52	2123,72	465,0	1104,3	1030

Vysvětlivky: P – teoretická hodnota počátečního předpětí (zaokrouhleno na 5); F – síla, která je reálně v táhle při předpínání (taktéž zaokrouhleno na 5); d – průměr v mm; A – plocha; v mm²; F – znovu vnášená síla pro snadnější vizuální porovnání; F1 – maximální dovolená síla dle výpočtu; F2 – maximální dovolená síla dle technického listu výrobce

Poznámka: Síly jsou vypsány jen pro táhla „a“, ale platí stejně tak i pro táhla „b“, „c“ a „d“.

Komentář k tabulce 1:

Větší část hodnot v tabulce 1 je pouze výstupem z modelu a jedná se o geometrická data. Přes zadané souřadnice počátečních a koncových uzlů je možné vypočítat úhel sklopení lana vůči vodorovné rovině a tento úhel je využit při modelování podpor tak, aby podpora působila přímo v ose táhla. Zároveň je v této tabulce uvedena předpínací síla, která je aplikována na táhla ve výpočetním modelu. Tato síla odpovídá hodnotě reakce v příslušné podpoře a je zaokrouhlena na 5 kN. Zároveň je ve všech tabulkách uvedena délka lan.

Komentář k tabulce 2:

Tabulka 2 slouží pro rychlý návrh a posouzení průřezů lan. V této tabulce je zanesena primární hodnota předpětí jednotlivých táhel (sloupec P2) a také maximální síla v táhlech pro všechny zatěžovací stavy a kombinace (sloupec F2). Následně je pomocí výpočtů zjištěna maximální síla v táhla a je porovnána s únosností táhla (jak vypočtenou, tak získanou z technického listu výrobce). Vypočtená únosnost je stanovena prostým součinem plochy průřezu a meze kluzu použité oceli. Směrodatná je však únosnost udávaná výrobcem, vypočítaná únosnost slouží hlavně ke kontrole.

Z tabulky 2 (v plné variantě) jsou tedy navrženy průřezy táhel. Všechna táhla, kromě Lh1, byla sjednocena na průměru 52 mm. V táhlech Lh1 jsou však příliš velké síly a tak jsou pro tuto dvojici využita táhla průměru 72 mm.

Komentář k tabulce 3:

Třetí tabulka slouží k rychlému porovnání původního, teoretického předpětí, zadaného do modelu, a reálného předpětí, které bude v táhlech po předpínání. Zde je zároveň možné okamžitě porovnávat, kde je předpínací síla (sloupec F3) větší v porovnání s původním zadáním (sloupec P3) a kde naopak menší. Právě v případech, kdy je reálná předpínací síla menší než původní hodnota teoretického předpětí, by nebylo reálně možné konstrukci dostatečně předeprnout na primárně zadávanou předpínací sílu, protože síly se roznesou do přilehlých částí konstrukce.

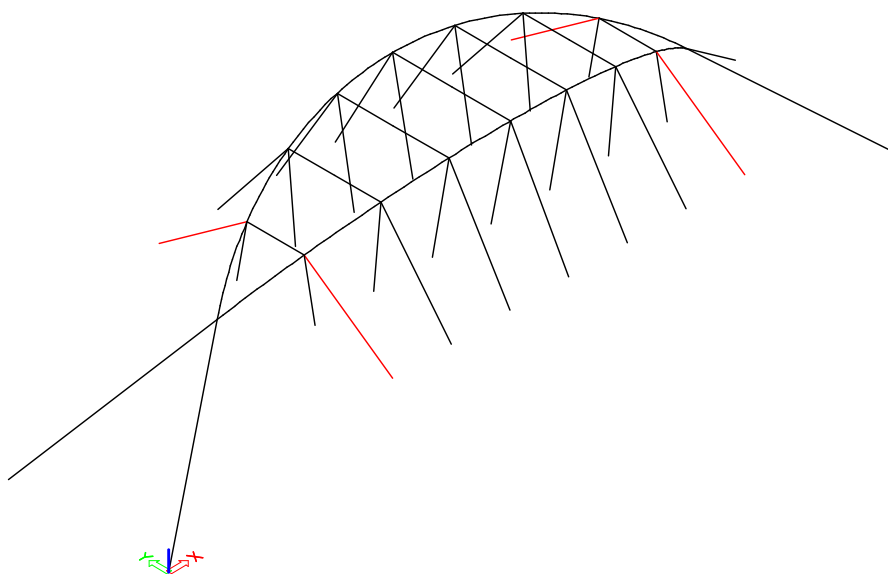
Hlavním výstupem tabulky 3 je tedy sloupec F3 –zde jsou vypsány síly, které budou skutečně vnášeny do konstrukce jako předpětí.

Zobrazení jednotlivých skupin táhel

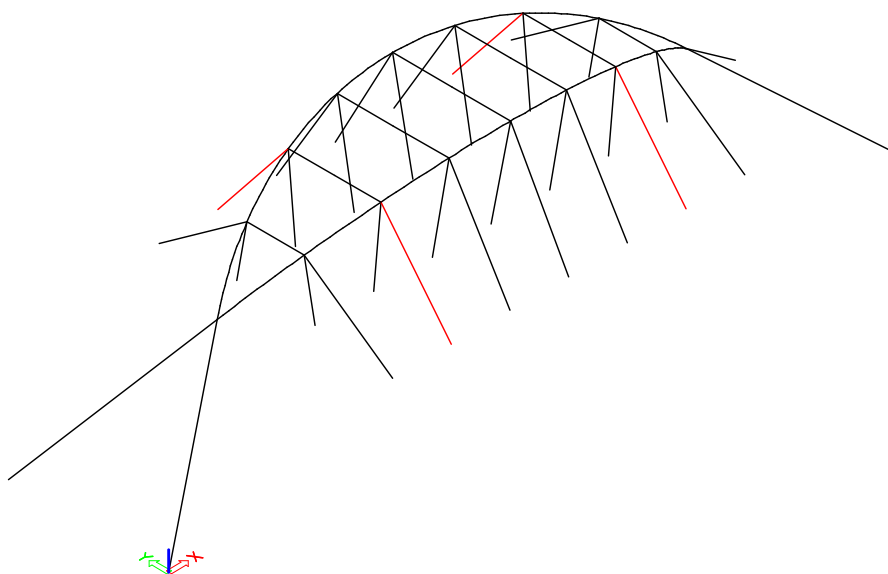
Pro větší přehlednost je zobrazeno jen schéma lan a oblouků, zbytek konstrukce je skryt.

Do každého lana je vnesena určitá síla, která musí být od počátku provádění konstrukce monitorována. Každá skupina lan pak má určenou sílu, na kterou má být předepnuta.

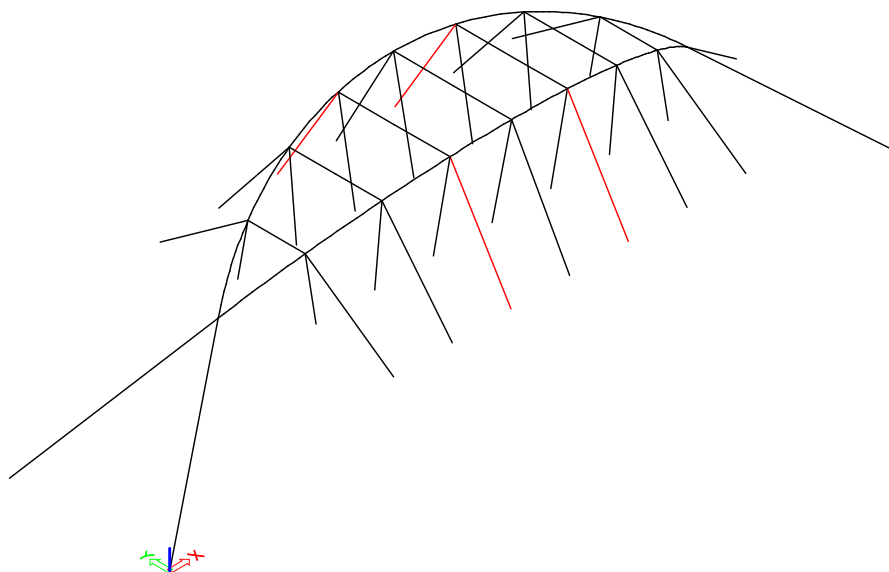
Lana skupiny L1 – délka = 18,9 m; výsledná předpínací síla = 505 kN, průměr 52 mm



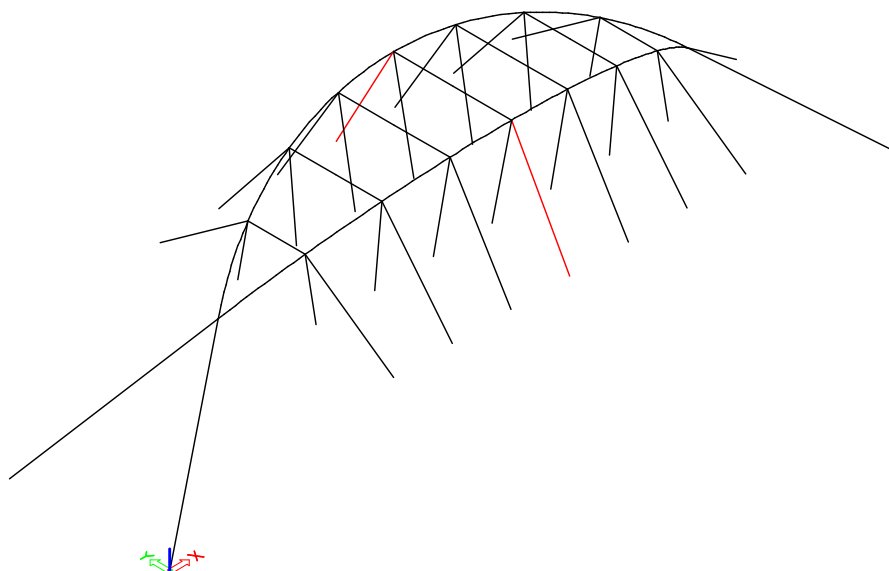
Lana skupiny L2 – délka = 19,7 m; výsledná předpínací síla = 350 kN, průměr 52 mm



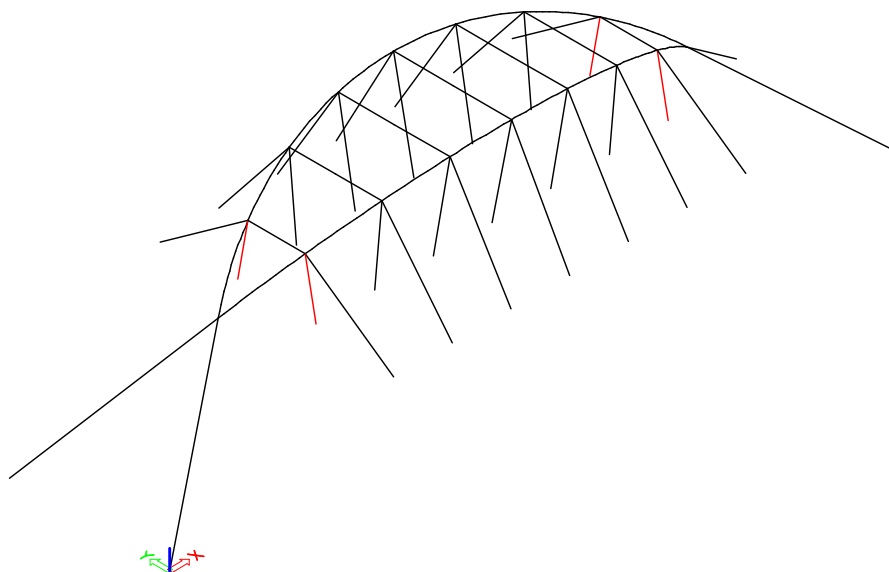
Lana skupiny L3 – délka = 20,7 m; výsledná předpínací síla = 215 kN, průměr 52 mm



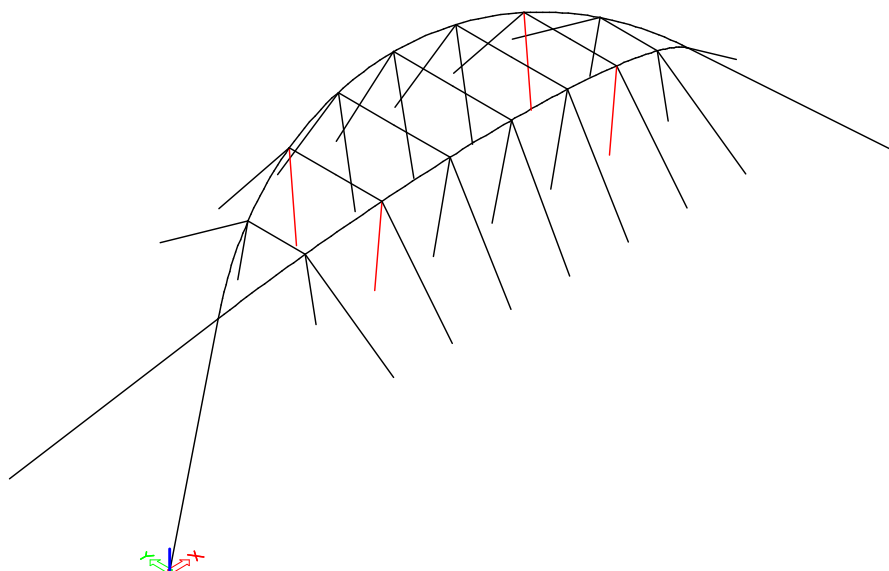
Lana skupiny L4 – délka = 21,1 m; výsledná předpínací síla = 170 kN, průměr 52 mm



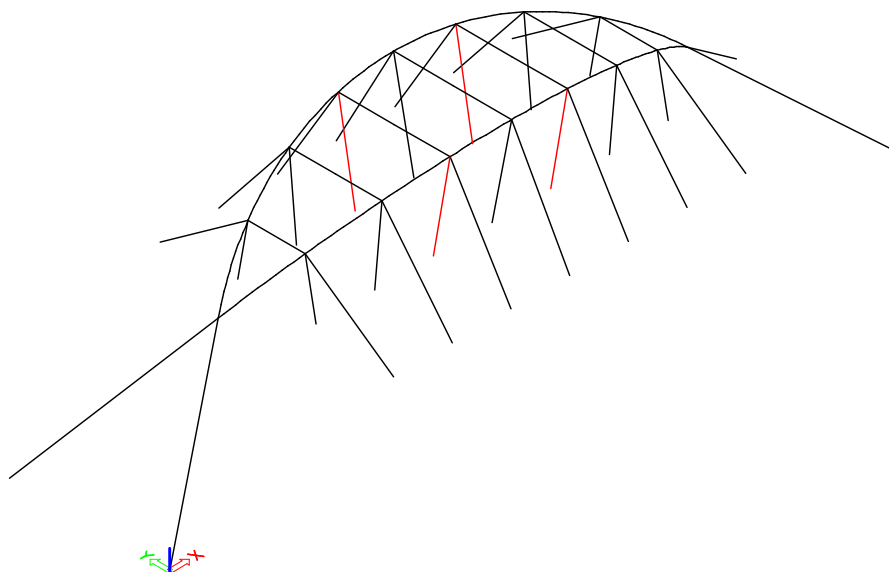
Lana skupiny L5 – délka = 9,9 m; výsledná předpínací síla = 470 kN, průměr 52 mm



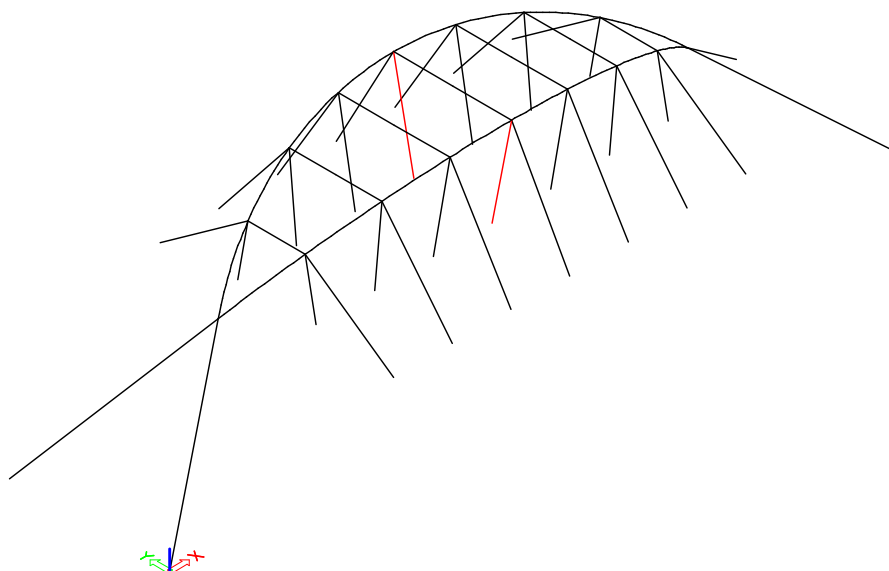
Lana skupiny L6 – délka = 14,2 m; výsledná předpínací síla = 330 kN, průměr 52 mm



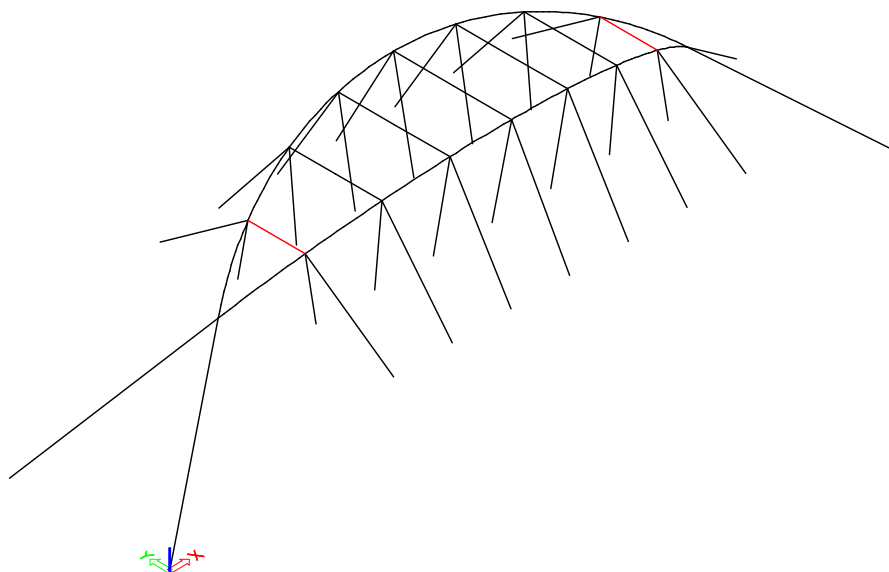
Lana skupiny L7 – délka = 16,8 m; výsledná předpínací síla = 315 kN, průměr 52 mm



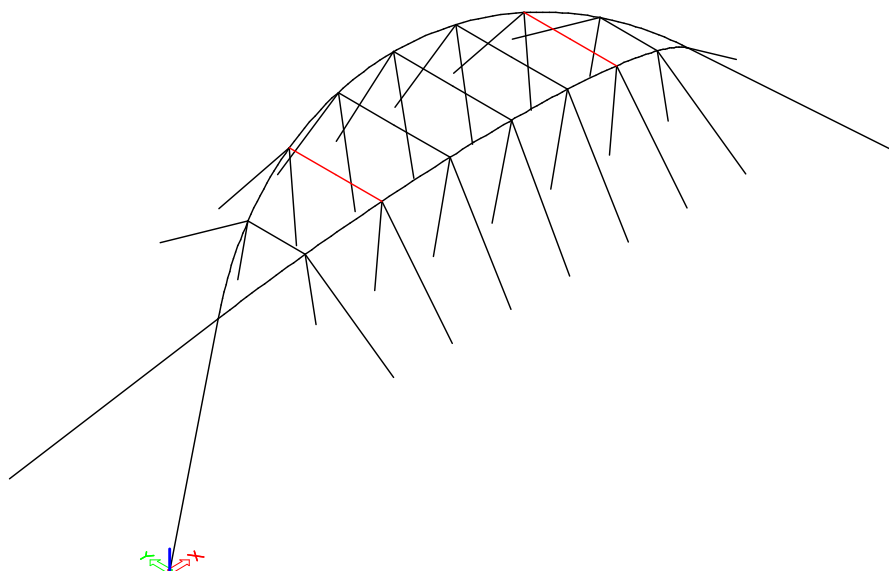
Lana skupiny L8 – délka = 17,7 m; výsledná předpínací síla = 320 kN, průměr 52 mm



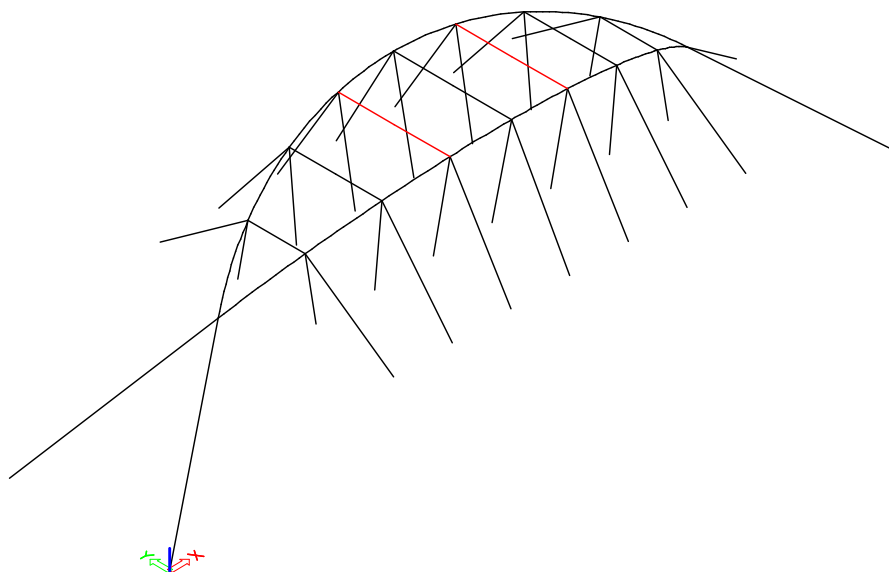
Lana skupiny Lh1 – délka = 10 m; výsledná předpínací síla = 1255 kN, průměr 72 mm



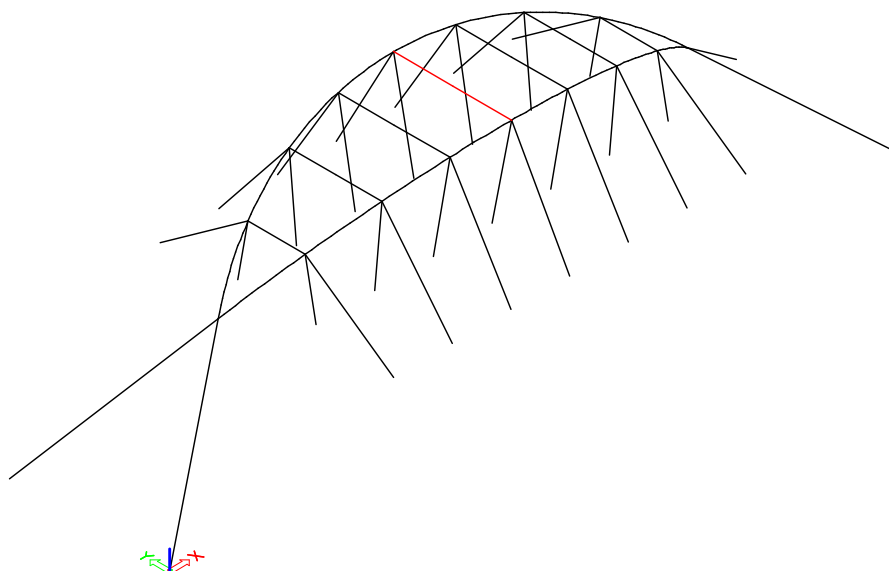
Lana skupiny Lh2 – délka = 16,2 m; výsledná předpínací síla = 735 kN, průměr 52 mm



Lano skupiny Lh3 – délka = 19,6 m; výsledná předpínací síla = 535 kN, průměr 52 mm



Lano skupiny Lh4 – délka = 20,6 m; výsledná předpínací síla = 465 kN, průměr 52 mm

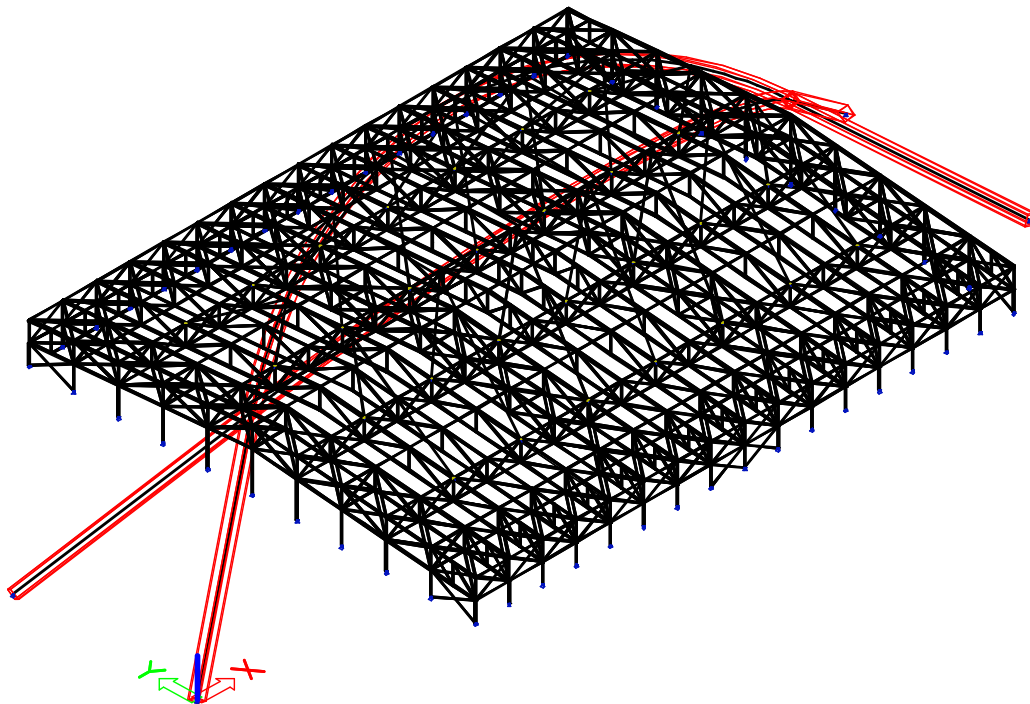


2.10. Návrh a posouzení nosných oblouků

2.10.1. Prvotní návrh oblouků

Nejprve byl odhadnut profil 1200/1200/40, se kterým bylo zpočátku v modelu počítáno. Proměnné zatížení je určeno a nijak se během návrhu nemění. Následně, po navržení jednotlivých dílců střešní konstrukce, je stanoveno zatížení oblouku od vlastní tíhy dalších prvků. Pro tento stav je oblouk posouzen a na základě výsledku posouzení je také oblouk náležitě upraven. Dále jsou ještě přepočítány vnitřní síly v dalších prvcích konstrukce, jelikož z důvodu použití nelineárního výpočtu se tyto hodnoty se změnou průřezu oblouku taktéž změní. Prvky konstrukce jsou upraveny tak, aby jejich návrh reflektoval tyto nově získané výsledky. Dalším krokem je opětovné ověření návrhu oblouku a MSP a touto cestou je určen výsledný profil 1400/1400/60.

Zobrazení nosných oblouků v konstrukci:



2.10.2. Stabilita

Při návrhu nosných oblouků hraje velkou roli stabilita oblouku. Stabilitu je vhodné počítat lineárně, ale pro lana je potřeba využít nelineární výpočet. Z tohoto důvodu je zvolen následující postup:

1. Z každé kombinace pro MSP jsou získány vnitřní síly v táhlech
2. Pro každou kombinaci pro MSP je vytvořen jeden zatěžovací stav. Tento zatěžovací stav je využit s modifikací modelu, při které v konstrukci zdánlivě existují pouze nosné oblouky a zbytek konstrukce jako by neexistoval. Viz popis absencí v kapitole 2.2.
3. Jsou vytvořeny stabilitní kombinace, které počtem odpovídají počtu kombinací pro MSP. Každá stabilitní kombinace obsahuje první zatěžovací stav, který je přiřazen dané kombinaci MSP a druhý zatěžovací stav, kterým je vlastní tíha oblouku.

Výjimku tvoří zatěžovací stav příčného větru. Zde je vytvořena speciální kombinace pro MSP bez působení síly od větru na oblouk, z níž jsou získány síly v táhlech. Samotné působení větru na oblouk je pak aplikováno ve stabilitní kombinaci společně s vlastní tíhou oblouku a zatěžovacím stavem od MSP kombinace.

4. Vnitřní síly z táhel (viz krok 1) se pomocí tabulky v MS excel vloží zpět do SCIA Engineer jako bodové zatížení v místě působení táhla.
5. Jednotlivé stabilitní kombinace jsou vypočítány a posouzeny. Dále je odečten nejnižší součinitel α_{cr} , ze kterého je možné následně vypočítat například kritickou sílu oblouku.

Tento postup tedy kombinuje lineární a nelineární výpočet. Z nelineárního výpočtu jsou využity pouze síly v táhlech, které jsou následně aplikovány na oblouky a touto cestou je vypočítána lineární stabilita oblouků. Je pravdou, že vlastní tíha je započítána i v kombinacích pro zjištění sil v táhlech, ale vzhledem k povaze vlivu vlastní tíhy na síly v táhlech se dá tento vliv zanedbat. Jiné by to bylo v případě, kdy by místo táhel byly v konstrukci ohybově tuhé prvky, které by přenášely tlak. Taková situace ale v navrhované konstrukci nenastává a tak není třeba se tím zabývat.

Na dalších stránkách je ukázka použitých tabulek, aby mohl být pochopen princip jejich použití.

Komentář k tabulce 4:

V levé části tabulky jsou síly, které budou zpětně zadávány jako zatížení. V pravé části jsou výsledky ze softwaru. Síla je vždy zvolena jako větší ze dvou hodnot výsledků, protože v rámci exportu je v tabulce zachyceno maximum a minimum. Zároveň je síla pojmenována podle lana, jež nahrazuje, a také podle zatěžovacího stavu (stabilitní kombinace), aby nedocházelo k duplikování vkládaných názvů.

Odsud jsou data převedena do tabulky 5.

Komentář k tabulce 5:

Tabulka 5 je naformátována tak, aby její uspořádání přesně odpovídalo tabulkovému vstupu ve výpočetním softwaru. Označení síly je převzato z tabulky 4, typ a směr se nemění. Uzel a úhel jsou převzaty z tabulky předepnutých lan, viz kapitola 2.9. Hodnota síly je převzata z tabulky 4. Název zatěžovacího stavu musí přesně odpovídat zatěžovacímu stavu, který byl předem připraven ve výpočetním softwaru. Systém je neměnný.

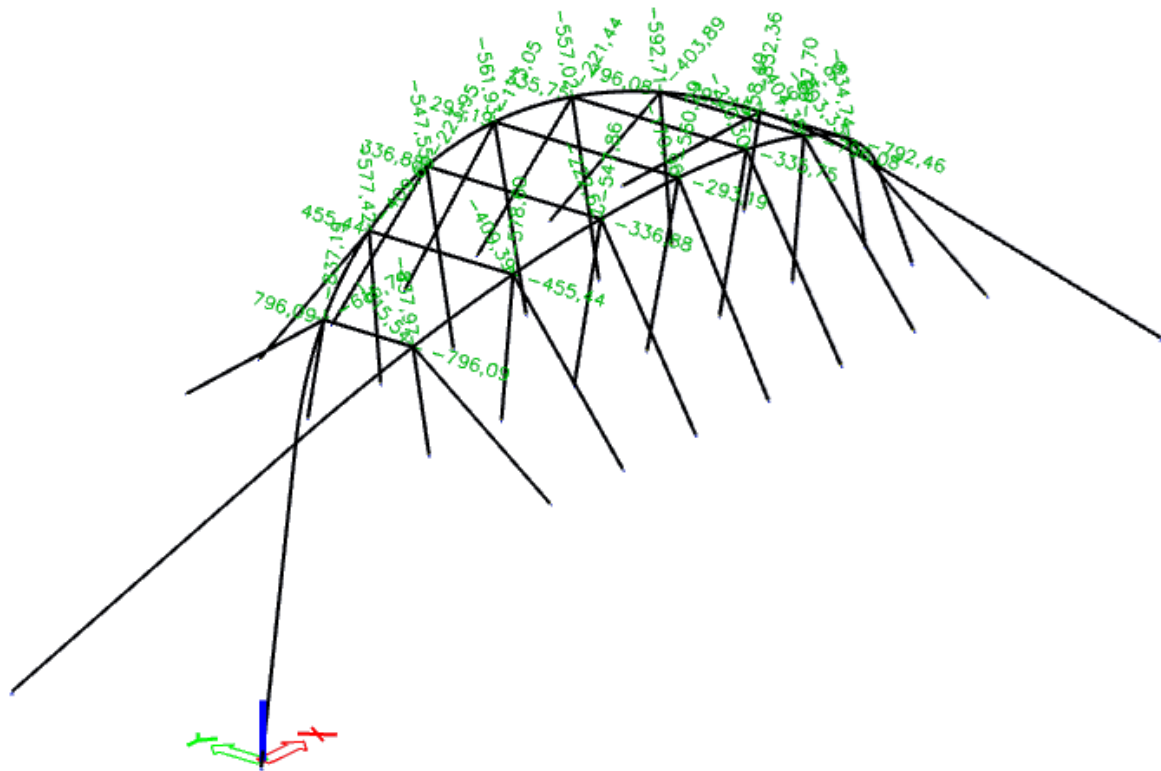
Takto vytvořená tabulka je vložena zpět do výpočetního softwaru, konkrétně do tabulkového editoru zadání. Tímto způsobem jsou rychle a efektivně zanesena všechna potřebná zatížení, která mají správnou velikost, směr i zatěžovací stav. Výsledné zatížení je zobrazeno na další stránce.

Zatěžovací stavy pro stabilitní výpočty

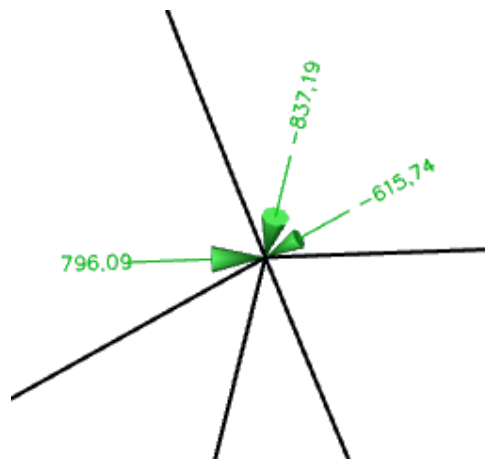
- ZS31 – Maximální svislé
- ZS32 – Sání 1 – podélný vítr
- ZS33 – Sání 2 – příčný vítr
- ZS34 – Náhradní proměnné zatížení 1
- ZS35 – Náhradní proměnné zatížení 2
- ZS36 – Náhradní proměnné zatížení 3
- ZS37 – Náhradní proměnné zatížení 4
- ZS38 – Chybějící táhlo L6a
- ZS39a – Ochlazení
- ZS39b – Oteplení

Stejný postup byl proveden pro všechny stabilitní kombinace. K vidění je ukázka jednoho zatěžovacího stavu pro jednoznačné pochopení provedení výpočtu.

Zobrazení zadání sil pro stabilitní výpočty na celé konstrukci – ZS31 – Maximální svislé :



Zobrazení zadání sil – detail zadání sil v uzlu s táhlem L1c (aby bylo možno sílu porovnat s tabulkou):



Na tomto detailu je dobře vidět, že síly působí v ose táhla, které nahrazují. Touto cestou jsou tedy všechna táhla nahrazena a pak už nic nebrání provedení lineárního stabilitního výpočtu.

Po provedení výpočtu všech stabilitních kombinací vychází jako první kritický stav „Maximální svislé zatížení, které má kritický součinitel $\alpha_{cr} = 5,77$. To je dostatečně bezpečná hodnota. Pomocí tohoto součinitele bude dále určena kritická síla.

2.10.3. Ověření MSU

Profil jakožto pravoúhlý dutý průřez neklopí a tak je součinitel $\chi_{LT} = 1$. Taktéž materiálový součinitel $\gamma_{M1} = 1$.

Navržený profil: 1400/1400/60

Charakteristika průřezu:

Plocha – $A = 0,2976\text{m}^2$

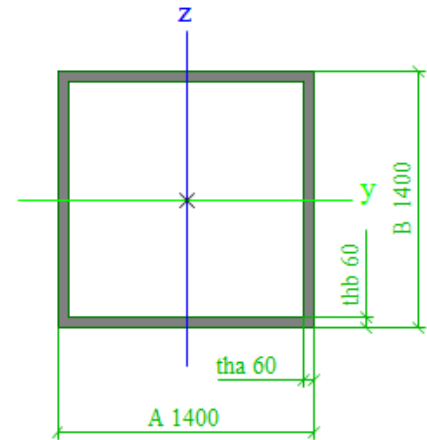
Poloměry setrvačnosti k ose y a z – $i_y = i_z = 548\text{ mm}$

→ profil je symetrický

Plastický průřezový modul k ose y a z – $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 0,14\text{m}^3$

$N_{Rk} = A * f_y = 0,3126 * 215000 = 69144\text{ kN}$

$M_{Rk,y} = M_{Rk,z} = W_{pl} * f_y = 0,1617 * 215000 = 34765,5\text{ kNm}$



Výpočet na základě výsledku z výpočetního modelu:

Stabilitní součinitel $\alpha_{cr} = 5,77$

Stanovující normálová síla – $N_{Ed,MSP} = 5477,35\text{ kN}$

Kritická síla – $N_{cr} = \alpha_{cr} * N_{Ed,MSP} = 5,77 * 5477,35 = 31604,31\text{ kN}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{0,3126 * 215000}{31604,31} = 1,479$$

křivka vzpěrnosti – d

$\alpha = 0,76$

$\phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$

$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,76 * (1,479 - 0,2) + 1,479^2) = 2,08$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,08 + \sqrt{2,08^2 - 1,479^2}} = 0,2823$$

Základní rovnice pro posouzení průřezu:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zy} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{yz} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

Tabulka pro určení součinitelů k_{yy} apod... – jedná se o průřez, který neklopí

Součinitele c_{my} , c_{mz} jsou konzervativně stanoveny jako rovné 1, jelikož průběh momentů je nejasný a složitě přiřaditelný tabulkovým průběhům. Obecně by bylo možné součinitele zmenšit maximálně na 0,95, což není příliš velký rozdíl. Pokud by posudek těsně nevyšel, bylo by možné tyto součinitele počítat podrobněji.

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right); c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$$

$$k_{zz} = \min \left(c_{mz} * \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right); c_{mz} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz}$$

Tabulka kombinací

kombinace	N_{Ed} [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
1 – maximální N_{Ed}	11139	0	0
2 – maximální M_y	9981	7494	3950
3 – maximální M_z	9937	4232	7095

Kombinace č. 1:

Prostý vzpěr

$$N_{Ed} = 11139 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \times A \times f_y = 0,282 \times 0,3216 \times 215000 = 19519,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{11139}{19519,43} = 0,5707 \rightarrow \text{Posouzení je vyhovující, využití je 57,07 \%}$$

Kombinace č. 2:

Tlak a dvouosý ohyb

$$N_{Ed} = 9981 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 7494 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 3950 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left(1 * \left(1 + (1,479 - 0,2) * \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} \right); 1 * \left(1 + 0,8 * \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(1,654; 1,409) = 1,409$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,6 * 1,409 = 0,845$$

$$k_{zz} = \min \left(1 * \left(1 + (1,479 - 0,2) * \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} \right); 1 * \left(1 + 0,8 * \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} \right) \right)$$

$$k_{zz} = \min(1,654; 1,409) = 1,409$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 1,409 = 0,845$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zy} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \\ & \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} + 1,409 * \frac{7494}{\frac{1 * 34765,5}{1}} + 0,845 * \frac{3950}{\frac{1 * 34765,5}{1}} = 0,911 \end{aligned}$$

0,911 = 91,1% → Posouzení první rovnice je vyhovující.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{yz} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} =$$

$$= \frac{9981}{\frac{0,282 * 69144}{1}} + 0,845 * \frac{7494}{\frac{1 * 34765,5}{1}} + 1,409 * \frac{3950}{\frac{1 * 34765,5}{1}} = 0,854$$

0,854 = 85,4% → Posouzení druhé rovnice je vyhovující.

Kombinace č. 3:

Tlak a dvouosý ohyb

$$N_{Ed} = 9937 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4232 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 7095 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left(1 * \left(1 + (1,479 - 0,2) * \frac{9937}{\frac{0,2823 * 69144}{1}} \right); 1 * \left(1 + 0,8 * \frac{9937}{\frac{0,2823 * 69144}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(1,651; 1,407) = 1,407$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,6 * 1,407 = 0,844$$

$$k_{zz} = \min \left(1 * \left(1 + (1,479 - 0,2) * \frac{9937}{\frac{0,2823 * 69144}{1}} \right); 1 * \left(1 + 0,8 * \frac{9937}{\frac{0,2823 * 69144}{1}} \right) \right)$$

$$k_{zz} = \min(1,651; 1,407) = 1,407$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 1,407 = 0,844$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zy} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} =$$

$$= \frac{9937}{\frac{0,2823 * 69144}{1}} + 1,407 * \frac{4232}{\frac{1 * 34765,5}{1}} + 0,844 * \frac{7095}{\frac{1 * 34765,5}{1}} = 0,852$$

0,852 = 85,2% → Posouzení první rovnice je vyhovující.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{yz} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} =$$

$$= \frac{9937}{0,2823 * 69144} + 0,844 * \frac{4232}{1 * 34765,5} + 1,407 * \frac{7095}{1 * 34765,5} = 0,899$$

0,899 = 89,9% → Posouzení druhé rovnice je vyhovující.

Shrnutí návrhu:

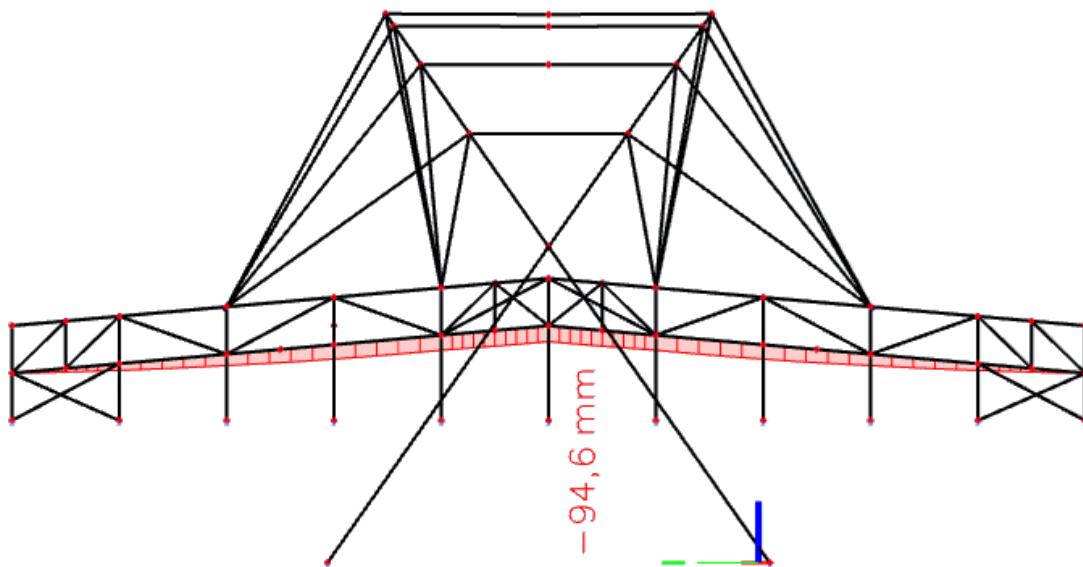
Průřez 1400/1400/60 jako nosný oblouk je vyhovující na MSU. Maximální využití je 91,1 %.

2.11. Posouzení konstrukce na MSP

Posouzení MSP je důležité hlavně u průhybu střechy jako celku a také pro vodorovný posun horního konce sloupů. Lokální relativní deformace nejsou pro návrh zásadní a zároveň ve většině případu mají zanedbatelnou hodnotu.

Posouzení svislé deformace spodního příhradového vazníku:

(důležité pro podvěsy a vizuální kontrolu konstrukce)



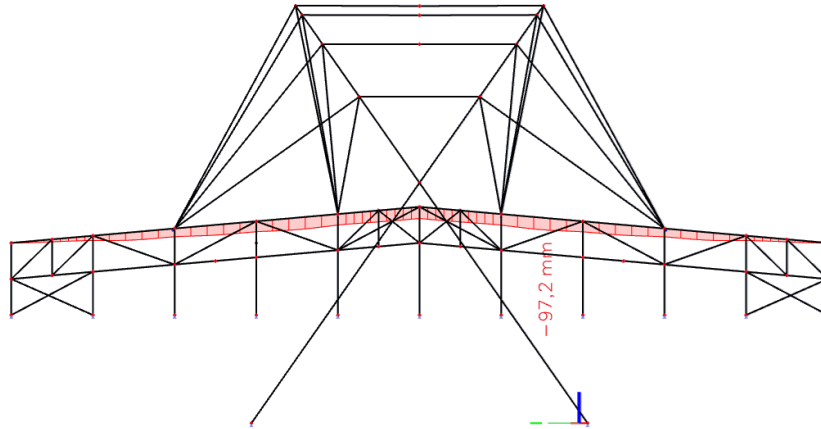
$$\delta = 94,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{68000}{250} = 272 \text{ mm}$$

$\delta = 94,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 272 \text{ mm}$ → posouzení celkové deformace dolního pásu příhradového vazníku je vyhovující.

Posouzení svislé deformace horního pásu příhradového vazníku:

(důležité pro střešní plášť)

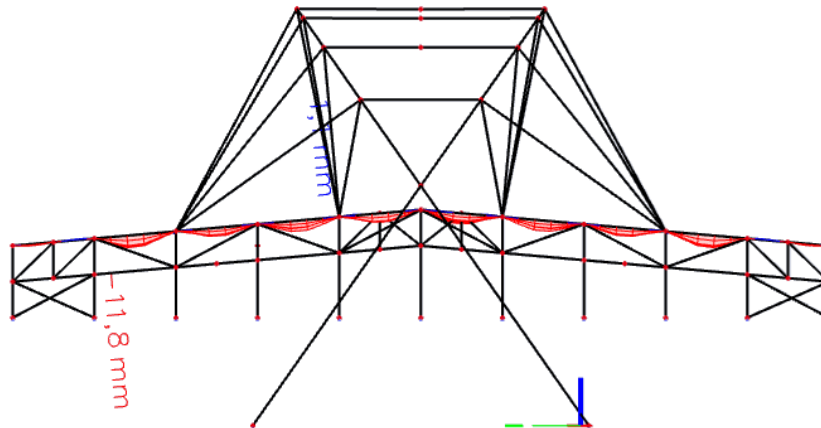


$$\delta = 97,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{68000}{250} = 272 \text{ mm}$$

$\delta = 97,2 \text{ mm} < \delta_{lim} = 272 \text{ mm} \rightarrow$ posouzení celkové deformace horního pásu příhradového vazníku je vyhovující.

Ověření lokálních deformací u horního pásu příhrady:



$$\delta = 11,8 \text{ mm}$$

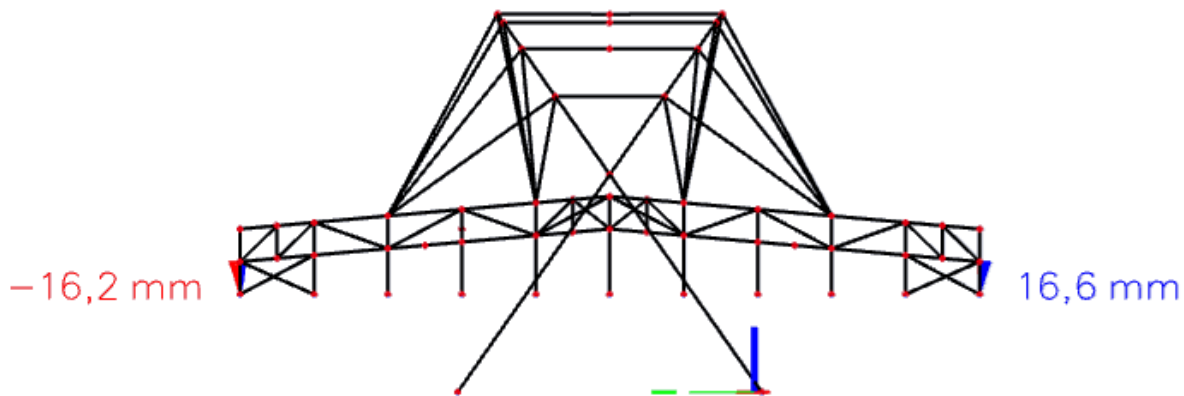
$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6825}{250} = 27,2 \text{ mm}$$

$\delta = 11,8 \text{ mm} < \delta_{lim} = 27,3 \text{ mm} \rightarrow$ posouzení lokální deformace horního pásu příhradového vazníku je vyhovující.

Dolní pás má lokální deformaci menší a další prvky mají lokální deformaci zanedbatelnou.

Následující posouzení se týká vodorovné deformace sloupů. Ta je důležitá například z hlediska zachování celistvosti stěnového pláště.

Posouzení vodorovné deformace běžného sloupu:

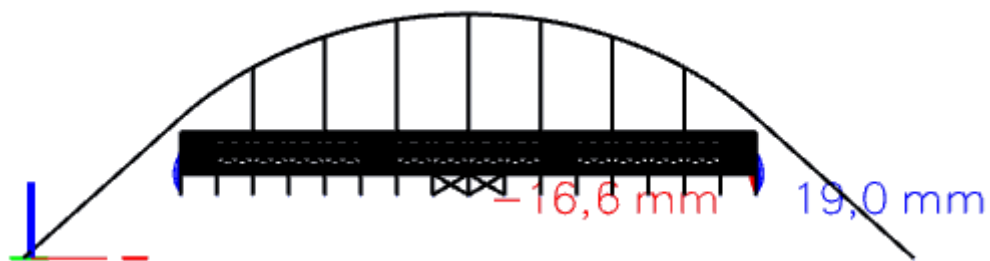


$$\delta = 16,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{H}{150} = \frac{3000}{150} = 20 \text{ mm}$$

$\delta = 16,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 20 \text{ mm} \rightarrow$ posouzení celkové deformace běžného sloupu je vyhovující.

Posouzení vodorovné deformace štítového sloupu:



$$\delta = 19 \text{ mm}$$

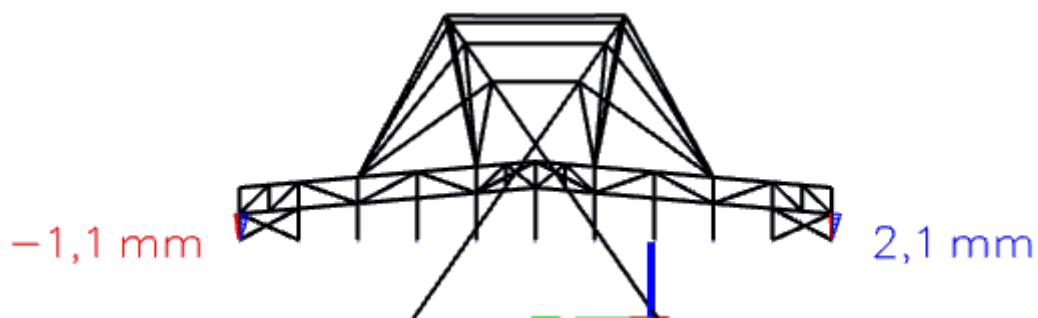
$$\delta_{lim} = \frac{H}{150} = \frac{6000}{150} = 40 \text{ mm}$$

$\delta = 19 \text{ mm} < \delta_{lim} = 40 \text{ mm} \rightarrow$ posouzení celkové deformace štítového sloupu je vyhovující.

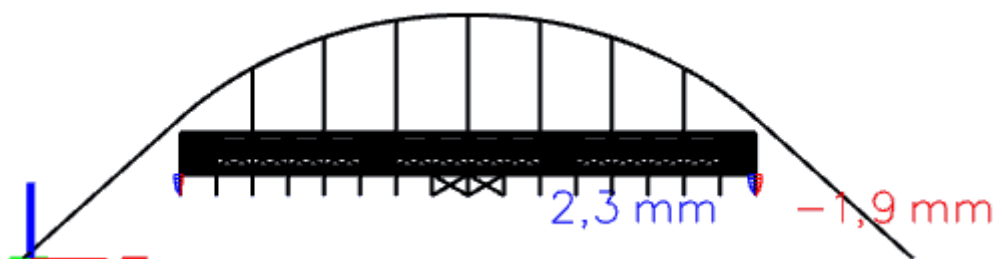
Poznámka: Největší deformace se vyskytuje na nejvyšším sloupu, nižší sloupy mají deformaci menší a taktéž vyhoví na posouzení deformace.

Posouzení vodorovné deformace rohového sloupu:

Deformace v příčném směru:



Deformace v podélném směru



$$\delta = 2,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{H}{150} = \frac{3000}{150} = 20 \text{ mm}$$

$\delta = 2,3 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 20 \text{ mm} \rightarrow$ posouzení celkové deformace rohového sloupu je vyhovující.

Shrnutí: Všechna posouzení deformací v rámci mezního stavu použitelnosti jsou vyhovující.

2.12. Návrh a posouzení vybraných spojů

Třída šroubů použitých v konstrukci: 8.8

$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$ (mez kluzu)

$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$ (mez pevnosti)

Připojovaný materiál – Ocel S355

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$f_u = 510 \text{ MPa}$

2.12.1. Spoj vazník – sloup

Napojení vazníku na sloup je provedeno tak, aby bylo zajištěno kloubové fungování spoje.

Tlak je v tomto případě přenášen kontaktem.

Tah je přenášen svary a šrouby.

Vodorovná reakce je taktéž přenášena svary a šrouby.

Smyková síla ve spoji:

$$V_{Ed} = 14,69 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla:

$$F_{T;Ed} = 15,07 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů:

Návrh: 2x Šroub M12

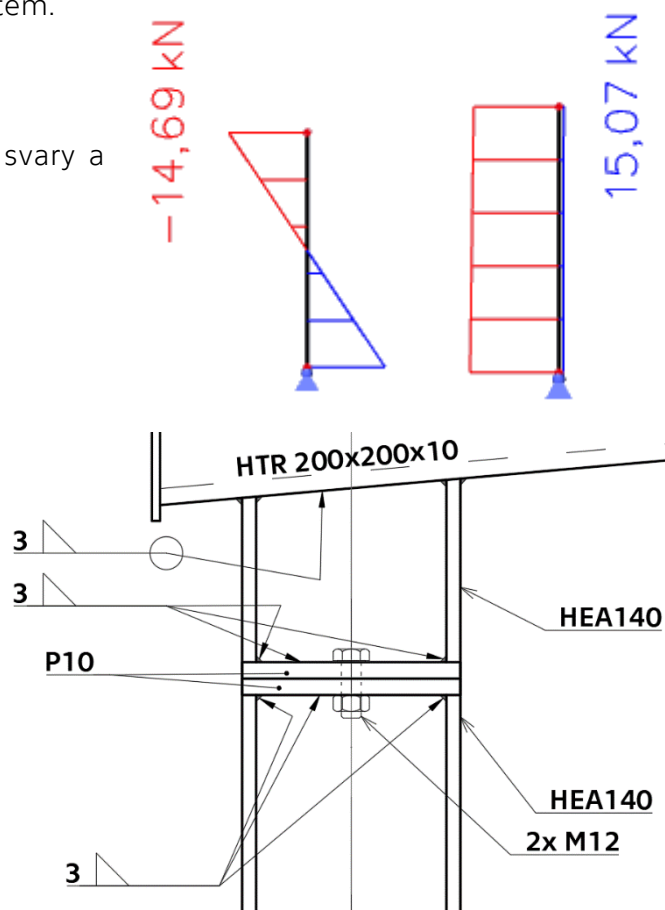
$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$$

Tahová únosnost šroubů:

Únosnost jednoho šroubu:

$$F_{T;Rd;1} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 84,3 * 10^{-6} * 800\,000}{1,25} = 48,6 \text{ kN}$$

$$F_{T;Rd} = n * F_{T;Rd} = 2 * 48,6 = 97,12 \text{ kN}$$



Posouzení:

$$F_{T;Rd} = 97,12 > F_{T;Ed} = 15,07 \text{ kN} \rightarrow \text{tahová únosnost šroubů vyhovuje.}$$

Únosnost šroubů na stříh a otláčení

Stříh:

$$F_{V;Rd;1} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 84,3 * 10^{-6} * 800\,000}{1,25} = 32,4 \text{ kN}$$

$$F_{V;Rd} = n * F_{V;Rd;1} = 2 * 32,4 = 64,8 \text{ kN}$$

$$F_{V;Rd} = 64,8 > V_{Ed} = 14,69 \text{ kN} \rightarrow \text{únosnost šroubů na stříh vyhovuje.}$$

Otláčení:

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

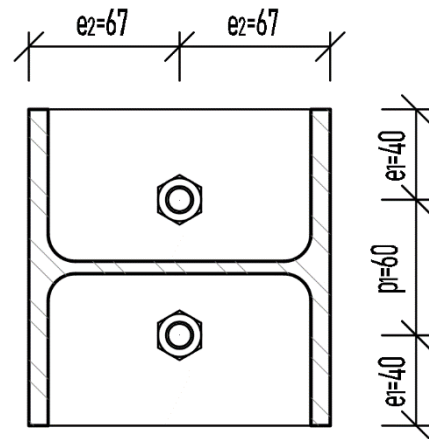
$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 67 \text{ mm}$$

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$

$d = 12 \text{ mm}$ – průměr šroubu

$d_0 = 13 \text{ mm}$ – průměr otvoru



$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{67}{13} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 * 13}; \frac{60}{3 * 13} - \frac{1}{4}; \frac{800}{510}; 1,0\right) = 1,0$$

$t = 10 \text{ mm}$ – tloušťka připojovaného plechu

$$F_{B;Rd;1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 0,012 * 0,01 * 510\,000}{1,25} = 122,4 \text{ kN}$$

$$F_{B;Rd} = n * F_{B;Rd;1} = 2 * 122,4 = 244,8 \text{ kN}$$

$$F_{B;Rd} = 244,8 > V_{Ed} = 14,69 \text{ kN} \rightarrow \text{únosnost šroubů na otláčení vyhovuje.}$$

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd}} + \frac{F_{t;Ed}}{1,4 * F_{t;Rd}} = \frac{14,69}{64,8} + \frac{15,07}{1,4 * 97,12} = 0,337 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost svarů:

Namáhání tahem ve sloupu

$$F_{T;Ed} = 15,07 \text{ kN}$$

Celková délka svaru sloupu a čelní desky

$$l_w = 4 * 55 + 2 * 92 = 404 \text{ mm}$$

Navrhovaná mocnost svaru $a_w = 3 \text{ mm}$

Výpočet napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{15,07 * 10^{-3}}{\sqrt{2} * 0,003 * 0,404} = 8,79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \sigma_{\perp} = 8,79 \text{ MPa}$$

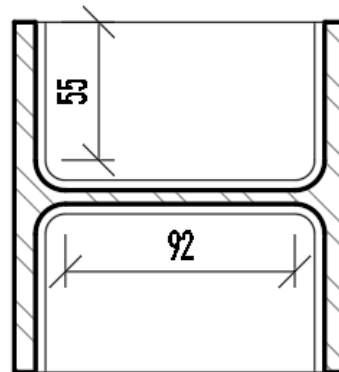
Posouzení napětí ve svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$\beta_w = 0,9$ – korelační součinitel pro ocel S355

$$\sqrt{8,79^2 + 3 * (8,79^2 + 0)} = 17,58 \text{ MPa} \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru sloupu a čelní desky na tahové namáhání vyhovuje.



Namáhání posouvající silou ve sloupu

$$V_{Ed} = 14,69 \text{ kN}$$

Délka svaru namáhaného podélně

$$l_{w1} = 2 * 92 = 184 \text{ mm}$$

Délka svaru namáhaného příčně

$$l_{w2} = 4 * 55 = 220 \text{ mm}$$

Namáhání bude mezi svary rozděleno v poměru délek svarů:

$$\frac{l_{w1}}{l_{w1} + l_{w2}} = \frac{184}{404} = 0,45 ; \quad \frac{l_{w2}}{l_{w1} + l_{w2}} = \frac{220}{404} = 0,55$$

Síla přenášená tahem namáhaným podélně:

$$V_{Ed1} = V_{Ed} * \frac{l_{w1}}{l_{w1} + l_{w2}} = 14,69 * 0,45 = 6,61 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w * l_w} = \frac{6,61 * 10^{-3}}{0,003 * 0,184} = 11,97 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 11,97^2)} = 20,73 \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa} \rightarrow \text{Podélně namáhaný svar je vyhovující.}$$

Síla přenášená svarem namáhaným příčně:

$$2 = V_{Ed} * \frac{2}{l_{w1} + l_{w2}} = 14,69 * 0,55 = 8,08 \text{ kN}$$

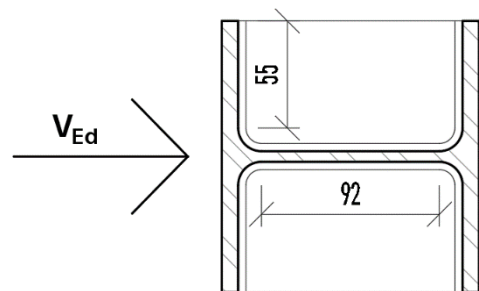
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{8,08 * 10^{-3}}{\sqrt{2} * 0,003 * 0,220} = 8,66 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{8,66^2 + 3 * (8,66^2 + 0)} = 17,31 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa} \rightarrow \text{Příčně namáhaný svar je vyhovující.}$$

Posouzení svaru sloupu a čelní desky na smykové namáhání vyhovuje.

Vzhledem k tomu, že svarový přípoj úpalku HEA140 a spodního pásu má větší plochu, než právě posouzený svar HEA140 a čelní desky, a je namáhan stejnými silami, bude i napojení úpalku na spodní pás jistě vyhovující.

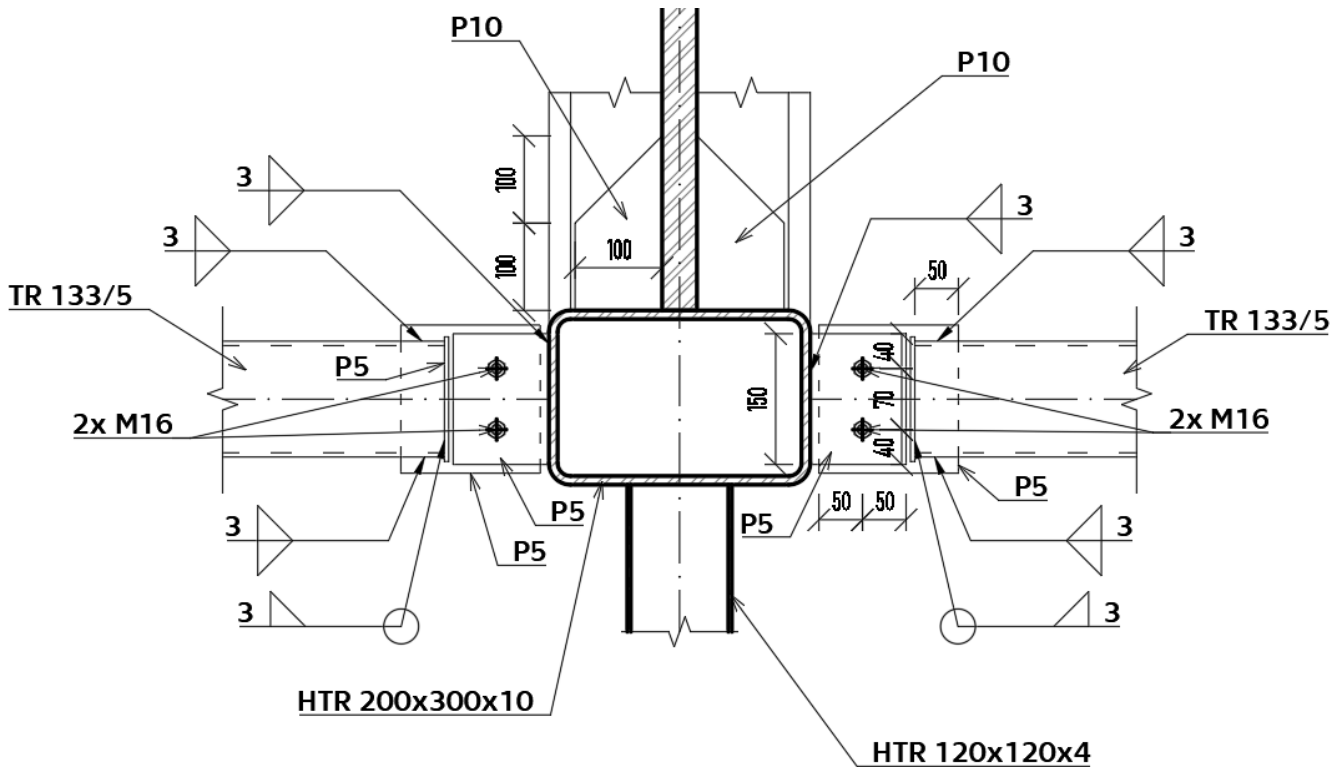
Přípoj vazníku na sloup vyhovuje.



2.12.2. Spoj vazník – táhlo – horizontála

Typově je zde proveden návrh pro připojení táhla L5. Připoje ostatních táhel budou pravděpodobně v reálné konstrukci lehce odlišné, zejména z důvodu odlišného úhlu připojení, ale jejich návrh může být proveden podle stejného principu.

Připojení horizontály:



$$F_{Ed} = 86,44 \text{ kN}$$

Návrh: 2x Šroub M16

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Únosnost šroubů na stříh a otláčení:

Otláčení:

$$F_{V;Rd;1} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800\,000}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$F_{V;Rd} = n * F_{V;Rd;1} = 2 * 60,29 = 120,6 \text{ kN}$$

$F_{V;Rd} = 120,6 > F_{Ed} = 86,44 \text{ kN} \rightarrow$ únosnost šroubů na stříh vyhovuje.

Střih:

$$e_1 = 50 \text{ mm}$$

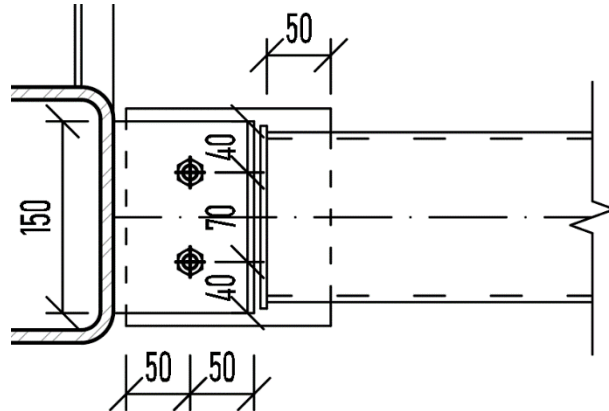
$$p_1 = 0 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm}$$

$d = 16 \text{ mm}$ – průměr šroubu

$d_0 = 18 \text{ mm}$ – průměr otvoru



$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{40}{18} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 * 18}; \frac{800}{510}; 1,0\right) = 0,926$$

$t = 5 \text{ mm}$ – tloušťka připojovaného plechu

$$F_{B,Rd;1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,926 * 0,012 * 0,005 * 510\,000}{1,25} = 75,56 \text{ kN}$$

$$F_{B,Rd} = n * F_{B,Rd;1} = 2 * 75,56 = 151,11 \text{ kN}$$

$F_{B,Rd} = 151,11 > F_{Ed} = 86,44 \text{ kN}$ → únosnost šroubů na otláčení vyhovuje.

Návrh a posouzení svarů:

Připojení žiletkového plechu k hornímu pásu příhrady

$$F_{Ed} = 86,44 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 2 * 150 = 300 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{86,44 * 10^{-3}}{\sqrt{2} * 0,003 * 0,3} = 67,91 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{67,91^2 + 3 * (67,91^2 + 0)} = 135,83 \text{ MPa} \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

Připojení plechu k hornímu pásu příhrady vyhovuje.

Připojení styčného plechu k trubce horizontály

$$F_{Ed} = 86,44 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w * l_w} = \frac{96,44 * 10^{-3}}{0,003 * 0,2} = 144,07 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 144,07^2)} = 249,53 \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

Připojení styčného plechu k trubce horizontály vyhovuje.

Přípoj horizontály k hornímu pásu příhrady vyhovuje.

Připojení táhla:

Maximální tahová síla v táhle $F_{T;Ed} = 840 \text{ kN}$

Úhel svíraný osou síly a rovinou svaru = 75°

$$F_{T;\parallel} = 840 * \cos 75^\circ = 217,4 \text{ kN}$$

$$F_{T;\perp} = 840 * \sin 75^\circ = 811,4 \text{ kN}$$

$$a_w = 4 \text{ mm} ; l_w = 2 * 400 = 800 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{T;\parallel}}{a_w * l_w} = \frac{217,4 * 10^{-3}}{0,004 * 0,8} = 67,94 \text{ MPa}$$

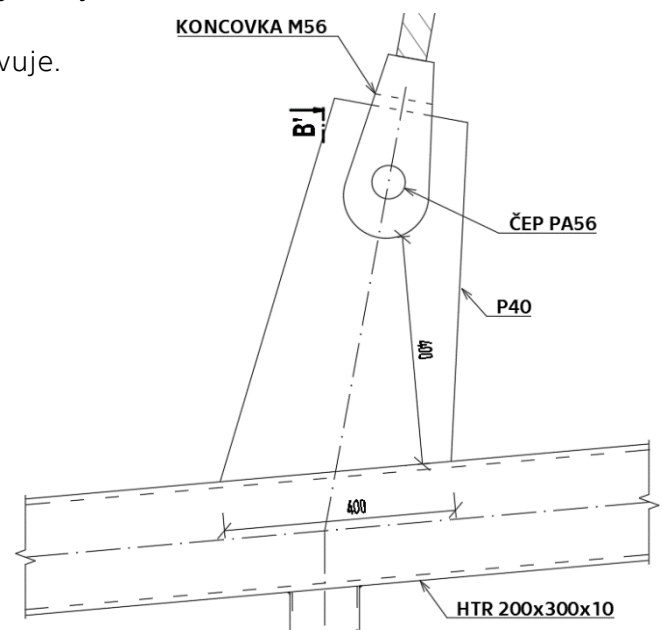
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{T;\perp}}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{811,4 * 10^{-3}}{\sqrt{2} * 0,004 * 0,8} = 179,29 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{179,29^2 + 3 * (179,29^2 + 67,94^2)} = 377,4 \text{ MPa} \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

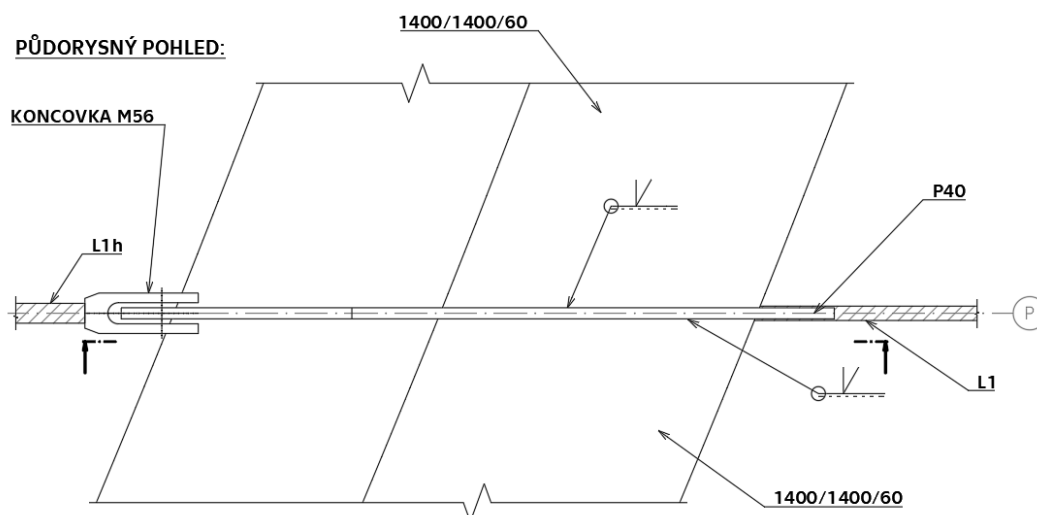
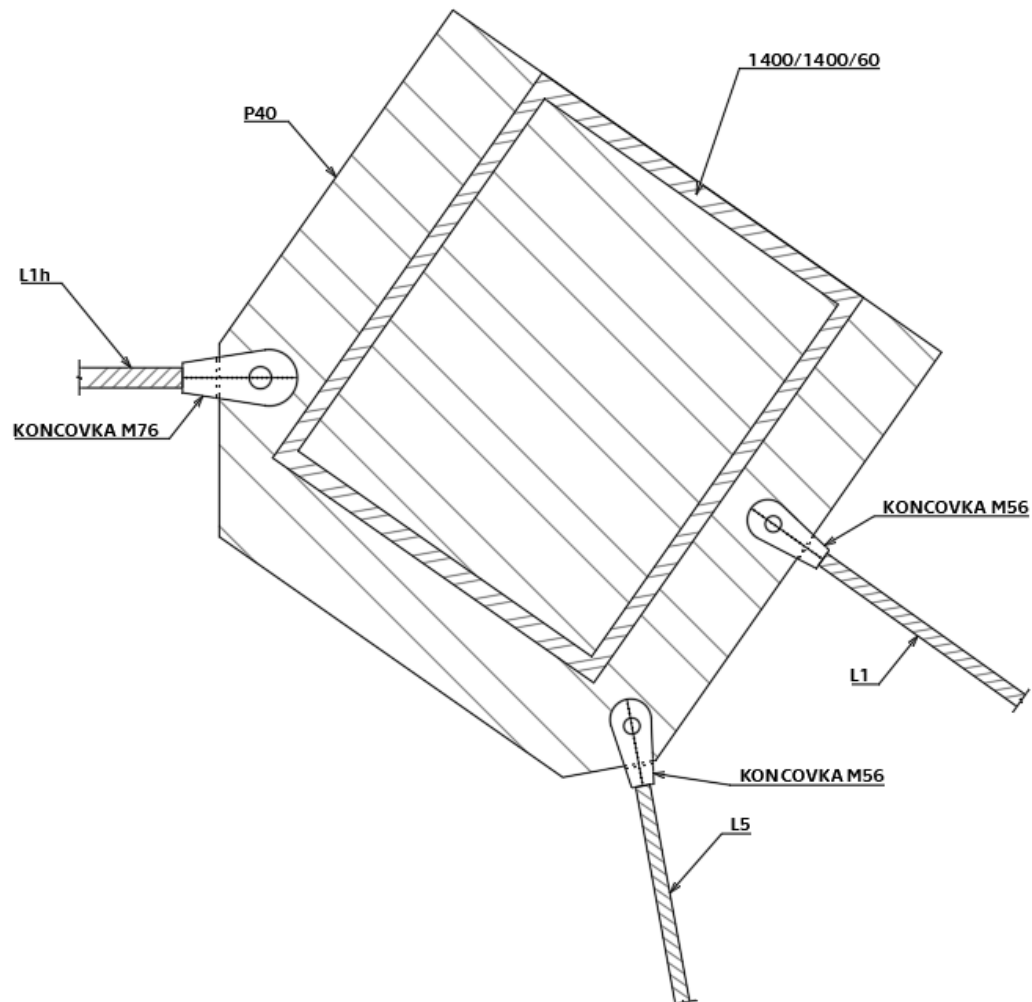
Svarový přípoj táhla k hornímu pásu příhrady vyhovuje.

Poznámka: z konstrukčních důvodů je vhodné využít delší svar a výztuhy pro zabránění prolomení horního pásu (viz výkresová dokumentace), nicméně zde uvedené rozměry svaru jsou při posouzení vyhovující. Stejně tak svar na plech tloušťky 40 mm musí mít alespoň 6 mm. Výška 400 mm od horního pasu je důležitá pro skladbu střechy.



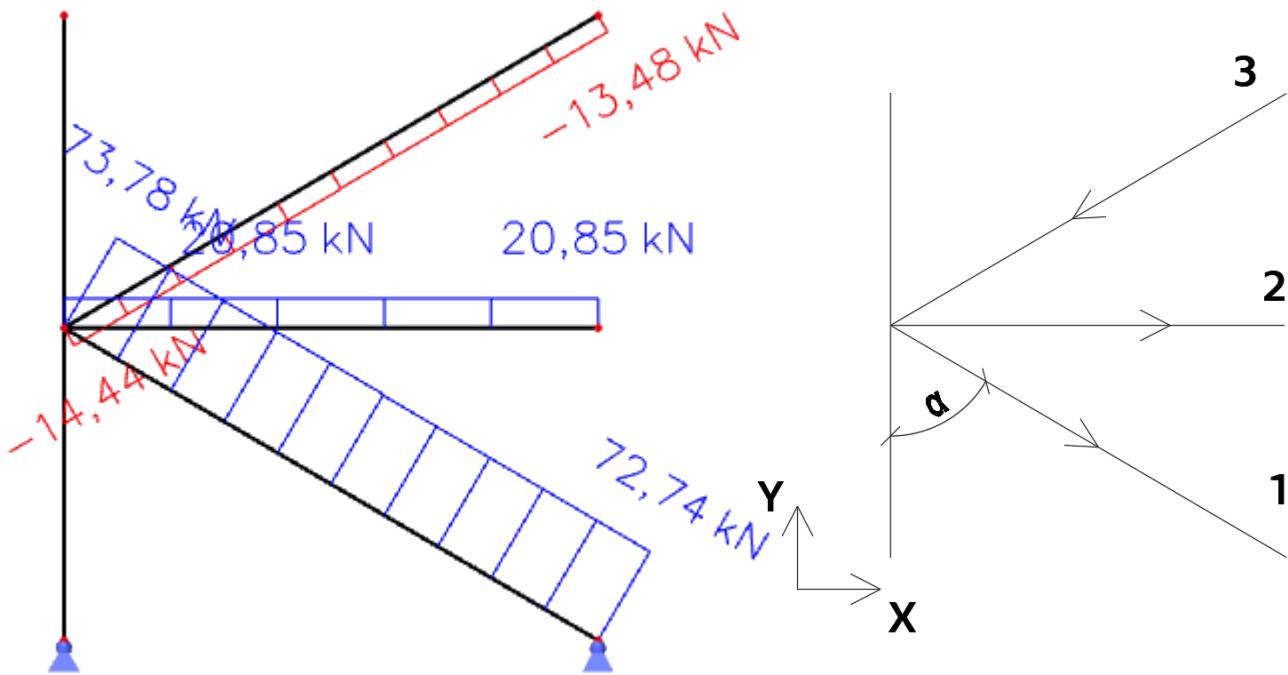
2.12.3. Spoj oblouk – táhlo

Spoj táhel a oblouku je jiný pro každou vazbu z důvodu rozdílného sklonu oblouku a také rozdílného úhlu připojovaných táhel. Všechny detail jsou rozkresleny ve výkresové dokumentaci. Typový detail pro připojení táhel L1, L5 a Lh1:



2.12.4. Vazník – podélné ztužidlo

Podélná ztužidla se nachází v obvodových stěnách a v podélných vazbách. Popsán je návrh a posouzení spoje pro obvodová ztužidla. Na obrázku jsou zobrazeny síly z nejnepříznivější kombinace.



Jednotlivé síly rozdělené do složek:

F_1 [kN]	73,78	F_2 [kN]	20,85	F_3 [kN]	-14,44
α_1 [deg]	60	α_2 [deg]	90	α_3 [deg]	120
α_1 [rad]	1,05	α_2 [rad]	1,57	α_3 [rad]	2,09
F_{1x} [kN]	63,89	F_{2x} [kN]	20,85	F_{3x} [kN]	-12,50
F_{1y} [kN]	-36,89	F_{2y} [kN]	0	F_{3y} [kN]	-7,22

Složky výslednice sil:

F_x [kN]	72,24
F_y [kN]	-44,11

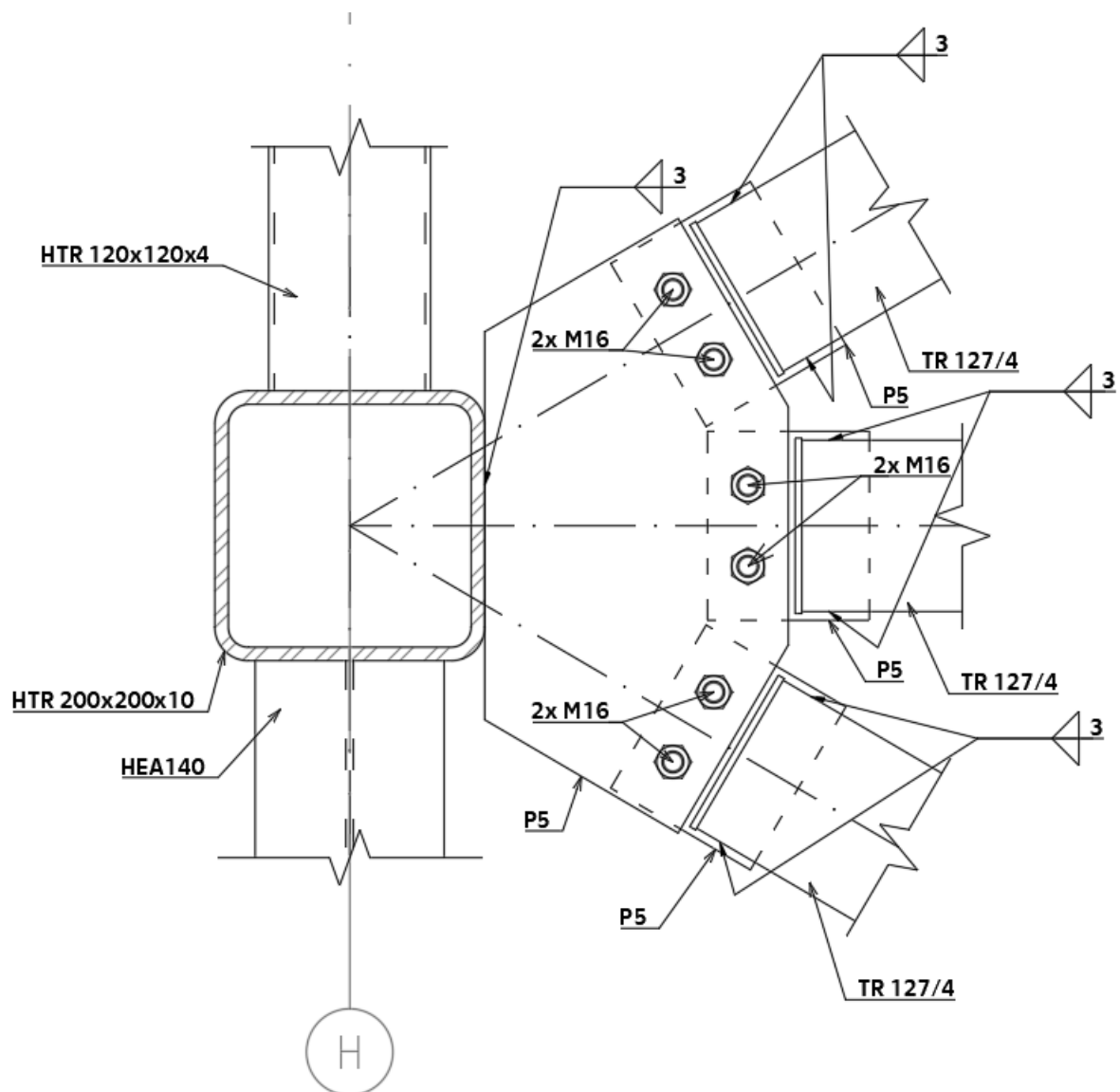
Pro posouzení přípojů jsou potřeba ještě maximální tahové síly ve ztužidlech.

$$F_{t;1;max} = 73,78 \text{ kN}$$

$$F_{t;2;max} = 58,22 \text{ kN}$$

$$F_{t;3;max} = 31,55 \text{ kN}$$

Skica přípojení podélného ztužidla na vazník:



V levé straně skicy bude jistě ještě další ztužidlo. To však pro výpočet tohoto přípoje není zásadní. Všechny 3 připojované prvky jsou připojeny stejným způsobem – přes styčný plech, pomocí šroubů M16, se stejnými roztečemi a stejnými svary.

Další přípoje podélných ztužidel nejsou detailně navrhovány. Provedeny mohou být (včetně návrhu) podobně, jako zde navržený přípoj.

Únosnost šroubů:

Návrh: 2x Šroub M16 pro každý připojovaný profil

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Únosnost šroubů na stříh a otláčení:

Otláčení:

$$F_{V,Rd;1} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800\,000}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = n * F_{V,Rd;1} = 2 * 60,29 = 120,6 \text{ kN}$$

 $F_{V,Rd} = 120,6 > F_{T,max} = 73,78 \text{ kN} \rightarrow$ únosnost šroubů na stříh vyhovuje.

Stříh:

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 0 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_2 = 60 \text{ mm}$$

 $d = 16 \text{ mm}$ – průměr šroubu

 $d_0 = 18 \text{ mm}$ – průměr otvoru

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

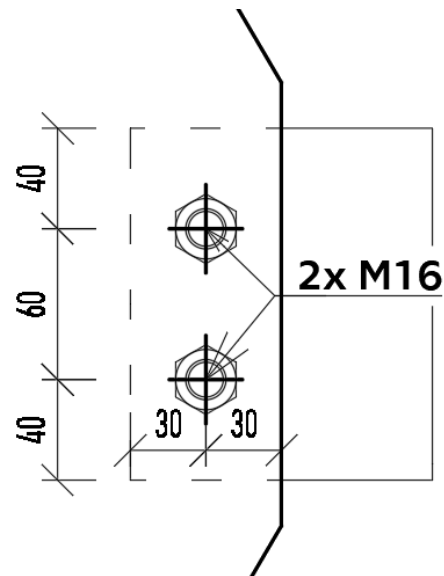
$$= \min\left(2,8 * \frac{40}{18} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{30}{3 * 18}; \frac{800}{510}; 1,0\right) = 0,55556$$

 $t = 5 \text{ mm}$ – tloušťka připojovaného plechu

$$F_{B,Rd;1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,55556 * 0,012 * 0,005 * 510\,000}{1,25} = 45,33 \text{ kN}$$

$$F_{B,Rd} = n * F_{B,Rd;1} = 2 * 45,33 = 90,66 \text{ kN}$$

 $F_{B,Rd} = 90,66 > F_{T,max} = 73,78 \text{ kN} \rightarrow$ únosnost šroubů na otláčení vyhovuje.


Únosnost svaru:

Přípoj žiletkového plechu k dolnímu pásu příhrady:

$$F_{T;\parallel} = F_y = 44,11 \text{ kN}$$

$$F_{T;\perp} = F_x = 72,24 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 2 * 150 = 300 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{T;\parallel}}{a_w * l_w} = \frac{44,11 * 10^{-3}}{0,003 * 0,3} = 49,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{T;\perp}}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{72,24 * 10^{-3}}{\sqrt{2} * 0,003 * 0,3} = 56,76 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{56,76^2 + 3 * (56,76^2 + 49,01^2)} = 141,75 \text{ MPa} \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

Přípoj styčného plechu k trubce ztužidla:

$$F_{T,max} = 73,78 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w * l_w} = \frac{73,78 * 10^{-3}}{0,003 * 0,2} = 122,97 \text{ MPa}$$

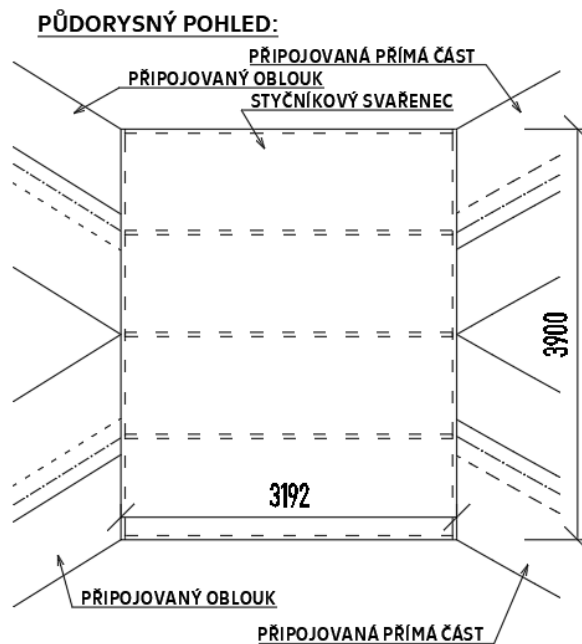
$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 122,97^2)} = 212,98 \leq \frac{510}{0,9 * 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

Přípoj podélných táhel k dolnímu pásu příhrady vyhovuje.

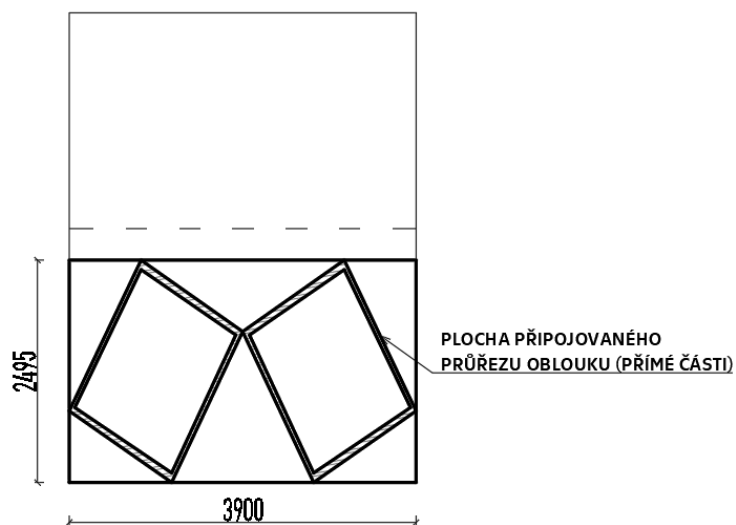
2.12.5. Styčnický oblouků

Provedení styčnicku oblouku je vykresleno ve výkresové dokumentaci. Vzhledem ke složitosti spoje je celý styčnický řešený předem připraveným svařencem.

Z důvodu dvojitého zakřivení oblouku v řezu (samotné zakřivené oblouku a sklopení oblouku o 35°) vychází spoj geometricky velmi složitě a proto je styčnický nahrazen ocelovým šestistěnným s lichoběžníkovými bočnicemi. Čelní, vrchní a spodní stěny mají tvar obdélníků. Uvnitř šestistěnu jsou umístěna žebra a výztuhy. Hlavní části šestistěnného svařence jsou provedeny z oceli S235J2, tloušťky 40 mm.

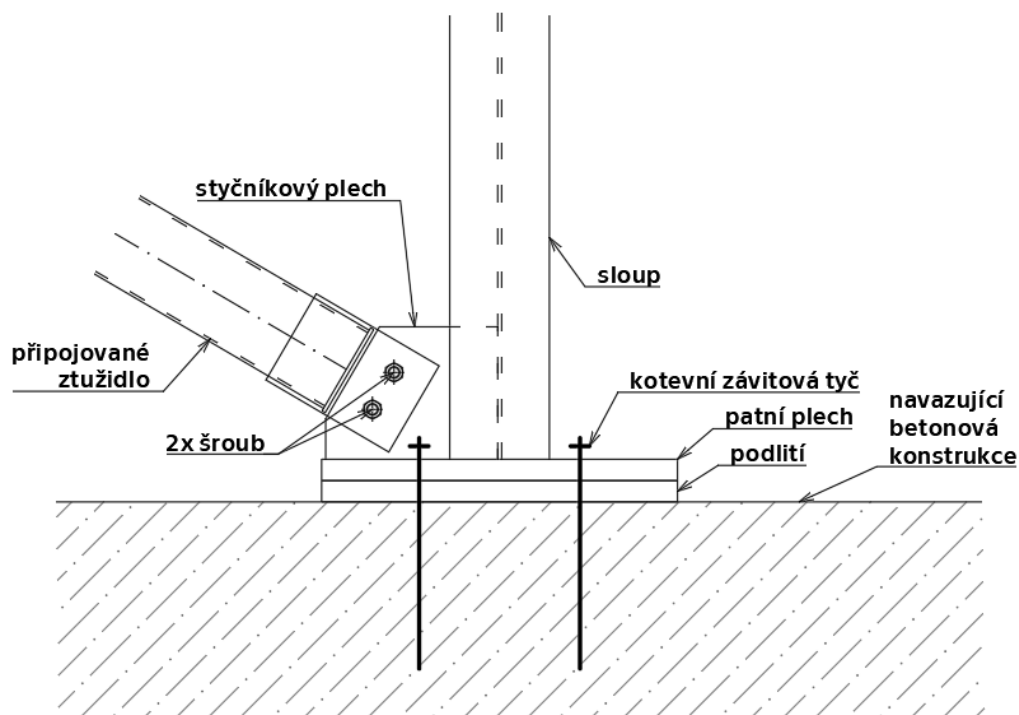


VNĚJŠÍ POHLED NA SVAŘENEC SMĚREM DO KONSTRUKCE:



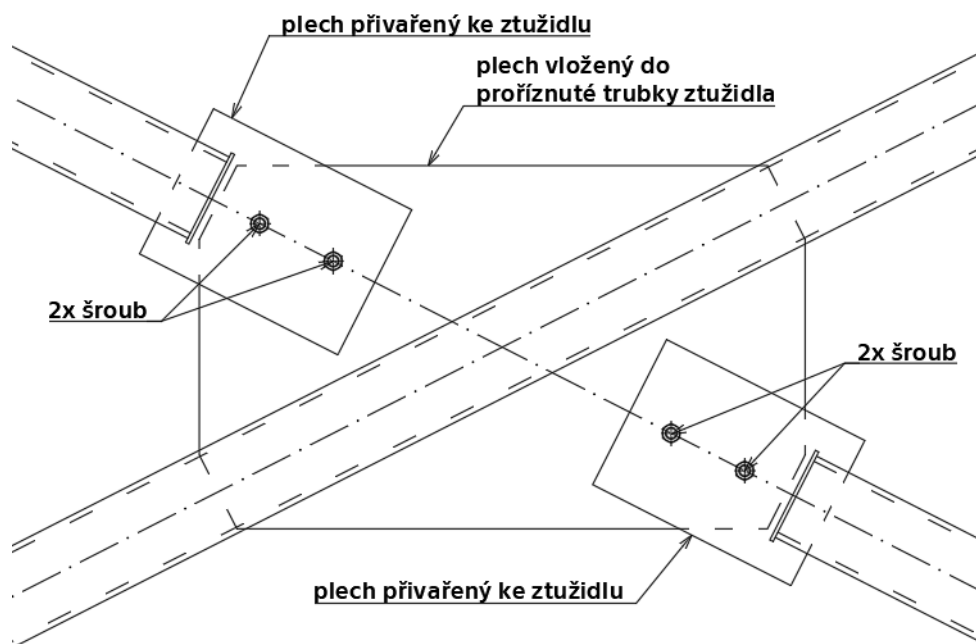
2.12.6. Patka sloupu + stěnové ztužidlo

Tento spoj není posuzován, je vykreslena pouze skica vhodného řešení.



2.12.7. Vazník – střešní ztužidlo

Tento spoj není posuzován, je vykreslena pouze skica vhodného řešení.



3. Shrnutí návrhu

Pro konstrukci jsou z uvedených materiálů navrženy tyto profily:

Ocel S355J0:

- Horní pás příhradového vazníku – HTR 200/300/10
 - Dolní pás příhradového vazníku – HTR 200/200/10
 - Krátká diagonála příhradového vazníku –HTR 140/140/8
 - Dlouhá diagonála příhradového vazníku –HTR 180/180/8
 - Svislice příhradového vazníku –HTR 120/120/4
-
- Podélné ztužidlo – TR 127/4
 - Diagonála vnitřního podélného ztužidla –TR 159/6
 - Horní a dolní pás vnitřního podélného ztužidla –TR 168,3/6
 - Horní střešní ztužidlo – TR 193,7/6
 - Spodní střešní ztužidlo –TR 168,3/5
 - Štítové příčné ztužidlo – TR 101,6/3
 - Vnitřní ztužující horizontála – TR 133/5
-
- Běžný sloup – HEA 140
 - Štítový a rohový sloup –HEA180

Ocel výrobce Macalloy s mezí kluzu 520 MPa:

- Předepnutá táhla o průměru 52 a 72 mm

Ocel S235J2:

- Nosný oblouk 1400 /1400/60

4. Seznam použitých zkratek a symbolů

ZS – zatěžovací stav

$V_{b,0}$ – základní rychlost větru

C_{season} – součinitel ročního období

C_{dir} – součinitel směru větru

γ – součinitel bezpečnosti

ψ – kombinační součinitel

MSU – mezní stav únosnosti

MSP – mezní stav použitelnosti

M – ohybový moment [kNm]

N – normálová síla [kN]

f_y – mez kluzu oceli

E – modul pružnosti

G – smykový modul pružnosti

γ_{M0} – součinitel materiálu

ϵ – poměrná deformace oceli

l – délka prvku

A – plocha [m²]

i_y – poloměr setrvačnosti k ose y [m]

i_z – poloměr setrvačnosti k ose z [m]

I_y – moment setrvačnosti k ose y [m⁴]

I_z – moment setrvačnosti k ose z [m⁴]

W_{pl} – plastický průřezový modul [m³]

W_{el} – elastický průřezový modul [m³]

M_{Rk} – neredukovaná momentová únosnost [kNm]

N_{Rk} – neredukovaná normálová únosnost [kN]

$N_{T,Rd}$ – tahová únosnost prvku [kN]

L_{cr} – kritická (vzpěrná) délka [m]

λ – štíhlost prutu

λ_1 – relativní štíhlost

λ' – poměrná štíhlost

α – křivka vzpěrnosti

φ – pomocný součinitel křivky vzpěru

χ – součinitel vzpěrnosti

$N_{B,Rd}$ – vzpěrná únosnost [kN]

F_{cr} – kritická síla [kN]

X_{LT} – součinitel klopení

$k_{yy}, k_{yz...}$ – součinitel interakce

C_{my}, C_{mz}, C_{mLT} – součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$N_{Ed;c}$ – působící tlaková síla [kN]

$N_{Ed;t}$ – působící tahová síla [kN]

M_{Ed} – působící ohybový moment [kNm]

HTR – hranatá trubka – hranatý dutý profil

TR – kulatá trubka – kruhový dutý profil

M_{cr} – kritický moment [kNm]

α_{cr} – součinitel kritické síly

δ – skutečná deformace [mm]

δ_{lim} – maximální normou povolená deformace [mm]

f_u – mez pevnosti oceli [MPa]

f_{yb} – mez kluzu šroubů [MPa]

f_{ub} – mez pevnosti šroubů [MPa]

A_s – plocha šroubu v závitu [mm²]

$F_{T,Rd}$ – tahová únosnost šroubu [kN]

$F_{V,Rd}$ – únosnost šroubu ve stříhu [kN]

$F_{B,Rd}$ – únosnost šroubu v otláčení [kN]

d – průměr šroubu [mm]

d_0 – průměr otvoru [mm]

e_1, p_1, e_2, p_2 – rozteče šroubů [mm]

t – tloušťka připojovaného materiálu [mm]

β_w – korelační součinitel

$\tau_{||}$ – smykové namáhání rovnoběžně s rovinou svaru [MPa]

τ_{\perp} – smykové namáhání kolmo na rovinu svaru [MPa]

σ_{\perp} – normálové namáhání kolmo na rovinu svaru [MPa]

a_w – mocnost svaru [mm]

l_w – délka svaru [mm]

$F_{T,||}$ – složka síly působící rovnoběžně s rovinou svaru [kN]

$F_{T,\perp}$ – složka síly působící kolmo na osu svaru [kN]

F_x – složka síly působící ve směru osy x [kN]

F_y – složka síly působící ve směru osy y [kN]

5. Tabulky

Tabulka 1 - Tabulka základní geometrie a předpětí lan: _____	71
Tabulka 2 – Tabulka pro návrh jednotlivých táhel: _____	71
Tabulka 3 – Tabulka výsledného předpětí lan: _____	72
Tabulka 4 – Tabulka „výstupů“ ze softwaru – vnitřní síly v jednotlivých táhlech: ____	82
Tabulka 5 – Tabulka „vstupů“ – síly zadávané do modelu jako jednotlivá zatížení __	82

6. Použité programy

- MS Word (office 365)
- MS Excel (office 365)
- SCIA Engineer v21.1
- Autodesk AutoCAD 2022
- LTBeamN v1.0.3

7. Seznam příloh

Příloha A – Engineering report ze SCIA Engineer

Příloha B – výstupy ze softwaru LTBeamN

Příloha C – Technický list táhel Macalloy

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIÓNU V
CHOMUTOVĚ

PŘÍLOHA A

ENGINEERING REPORT ZE SCIA ENGINEER

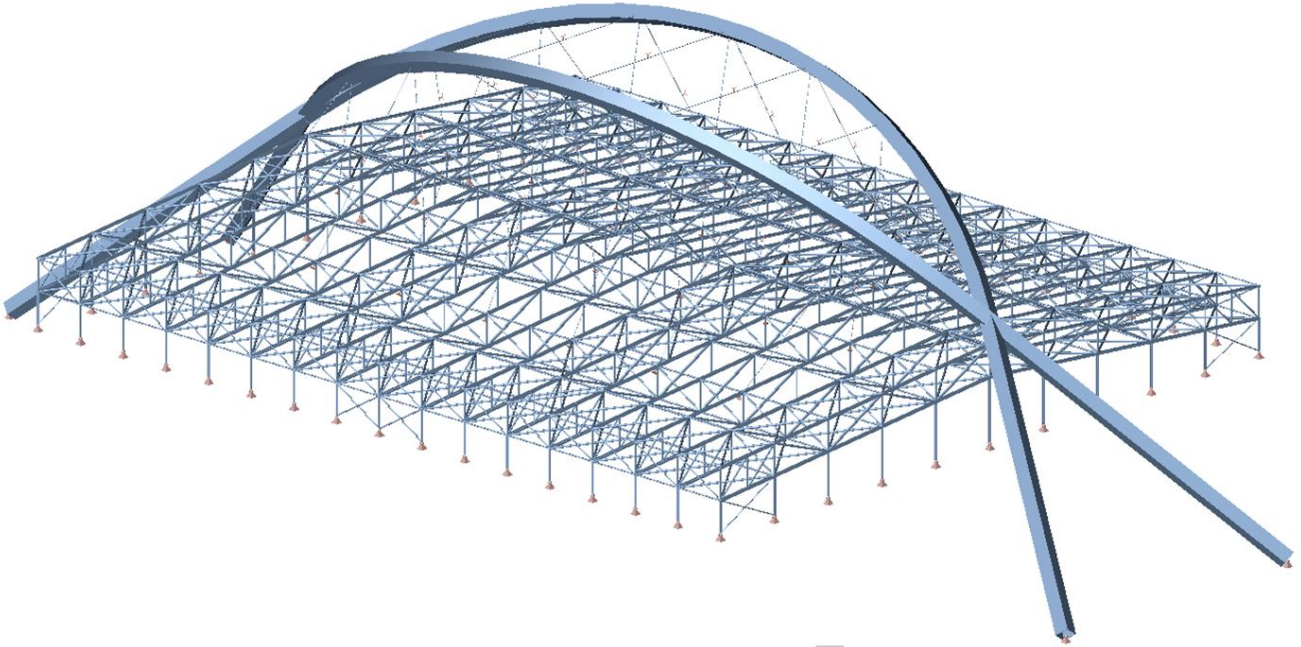
Bc. ŠIMON POVOLNÝ

PRAHA 2022

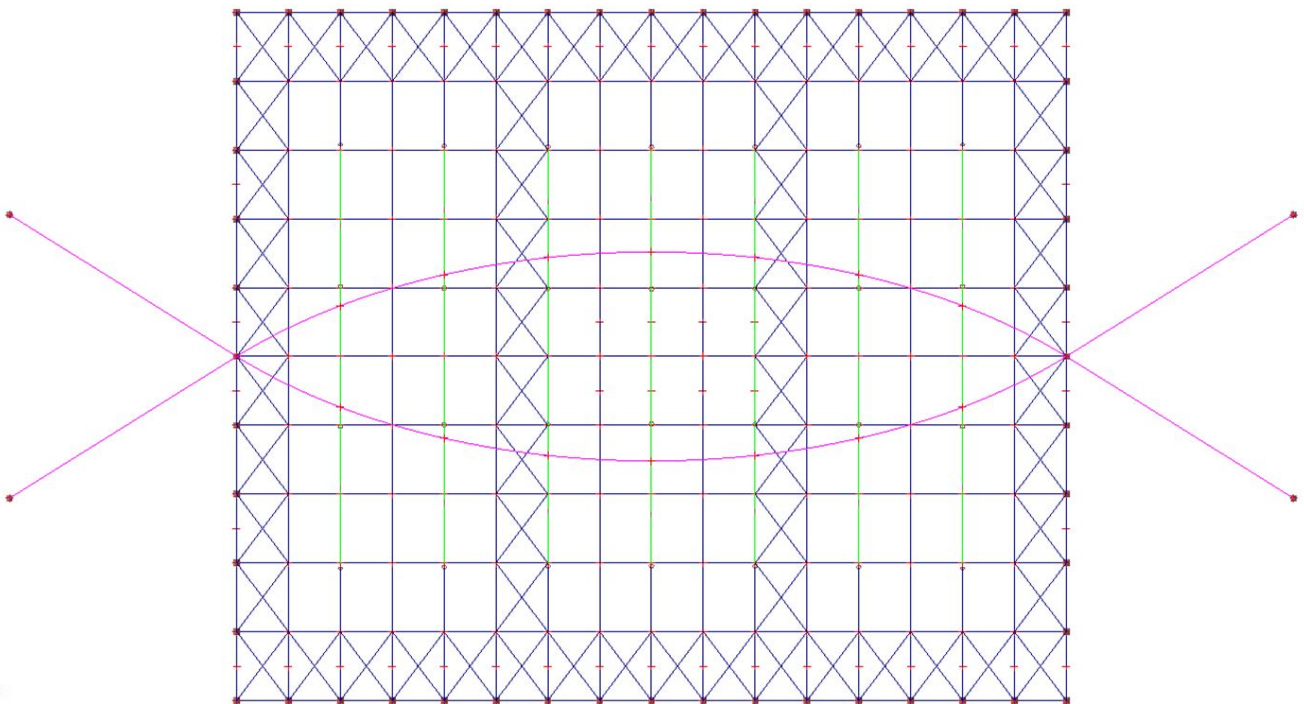
1. Obsah

1. Obsah	1
2. 3D schéma konstrukce	2
3. Půdorys - bravy dle materiálů	2
4. Boční pohled podélný	3
5. Boční pohled příčný	3
6. Zatížení	4
6.1. ZS2 / střešní plášť	4
6.2. ZS3 / podvěsy	4
6.3. ZS3 / zatížení od mediální kostky	5
6.4. ZS4 / sníh	5
6.5. ZS5a / příčné sání větru	6
6.6. ZS5a / příčné sání větru	6
6.7. ZS5a1 / příčný vítr působící na oblouky	7
6.8. ZS5b / podélné sání větru	7
6.9. ZS5b / podélné sání větru	8
6.10. ZS5c / tlak od větru	8
6.11. ZS6a / náhradní proměnné zatížení	9
6.12. ZS6b / náhradní proměnné zatížení	9
6.13. ZS6c / náhradní proměnné zatížení	10
6.14. ZS6d / náhradní proměnné zatížení	10
6.15. ZS7 / montážní zatížení	11
6.16. ZS8 / stěnový plášť	11
6.17. ZS9 / Ochlazení	12
6.18. ZS10 / Oteplení	12
6.19. ZS31 / síly pro stabilitní výpočet	13
6.20. ZS31 / síly pro stabilitní výpočet	13
7. MSU	14
7.1. Příhradový vazník	14
7.1.1. Síly v horním pásu příhrady	14
7.1.2. Síly v dolním pásu	15
7.1.3. Síly v krátké diagonále	16
7.1.4. Síly v dlouhé diagonále	17
7.1.5. Síly ve svislicích	18
7.1.6. síly v krajních svislicích	18
7.2. Ztužující dílce	19
7.2.1. Síly v podélném ztužidle	19
7.2.2. Síly v diagonále vnitřního podélného ztužidla	20
7.2.3. Síly v pásech vnitřního podélného ztužení	21
7.2.4. Síly ve střešním ztužidle	22
7.2.5. Síly ve spodních ztužidlech	23
7.2.6. Síly v příčném ztužidle	24
7.2.7. Síly ve ztužujících horizontálách	25
7.3. Sloupy	26
7.3.1. Síly v běžném sloupu	26
7.3.2. Síly ve štítovém sloupu	27
7.3.3. Síly v rohovém sloupu	28
8. Reakce pro určení předpětí	29
9. MSP	30
9.1. Maximální deformace dolního pásu	30
9.2. Maximální deformace horního pásu	31
9.3. Maximální deformace běžného sloupu	32
9.4. Maximální deformace štítového sloupu	33
9.5. Maximální deformace rohového sloupu	34
9.6. Maximální deformace oblouku	35
10. Stabilitní součinitele alfa_cr	36
10.1. 3D přemístění; U_total	37
10.2. 3D přemístění; U_total	37
10.3. 3D přemístění; U_total	38
11. Síly v oblouku	39
11.1. Vnitřní síly v oblouku - stabilita	39
11.2. MSU normálová síla v oblouku	40
11.3. MSU moment My v oblouku	41
11.4. MSU moment MZ v oblouku	41

2. 3D schéma konstrukce

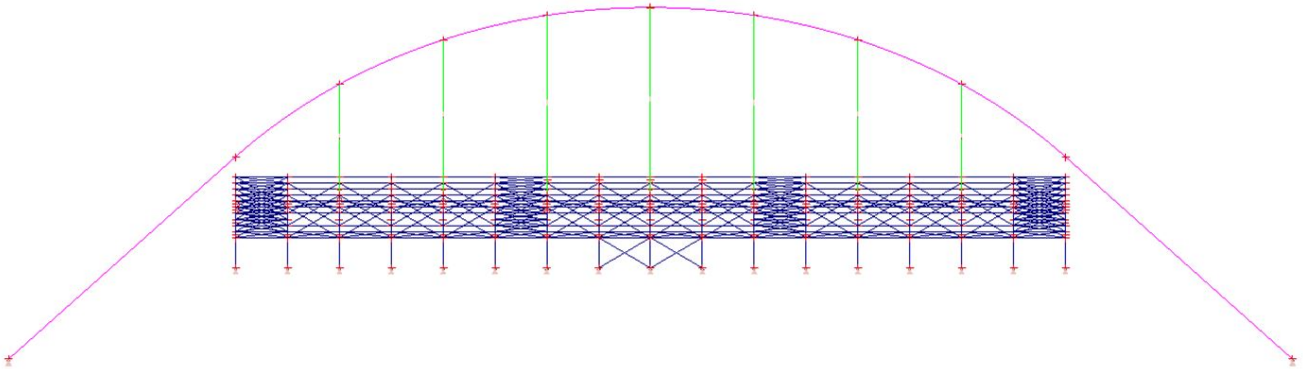


3. Půdorys - bravy dle materiálů

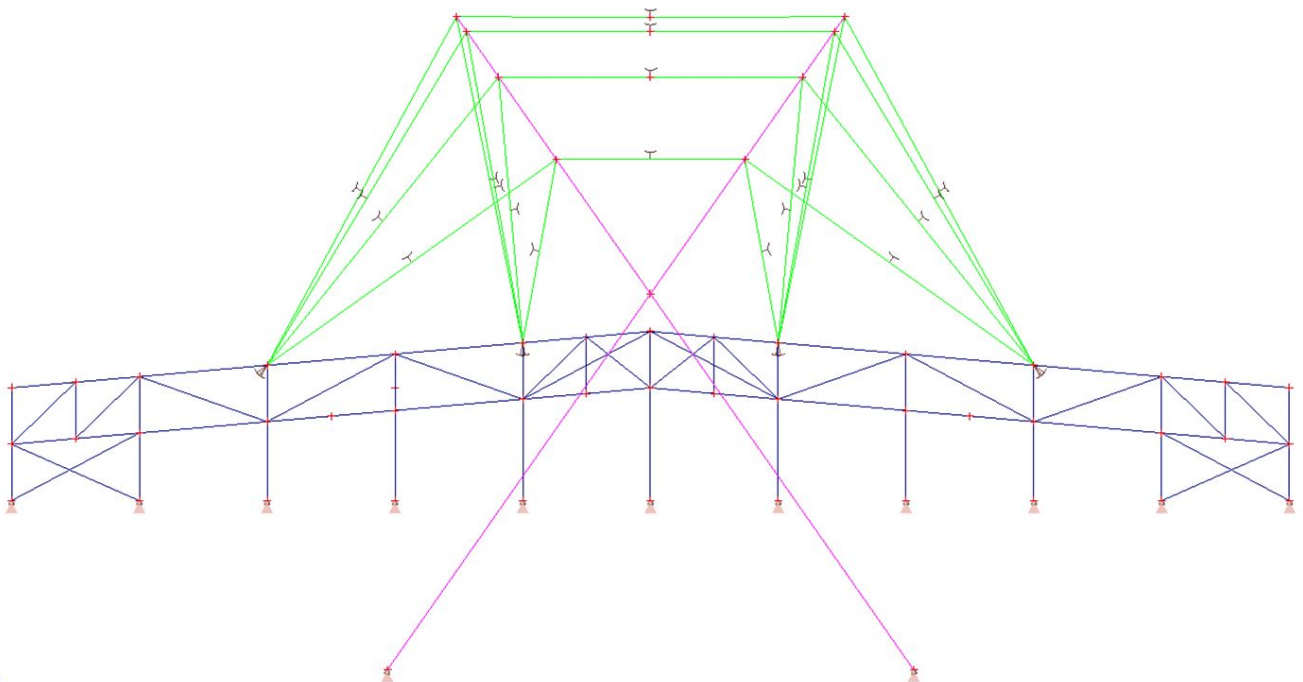


Studentská verze

4. Boční pohled podélný



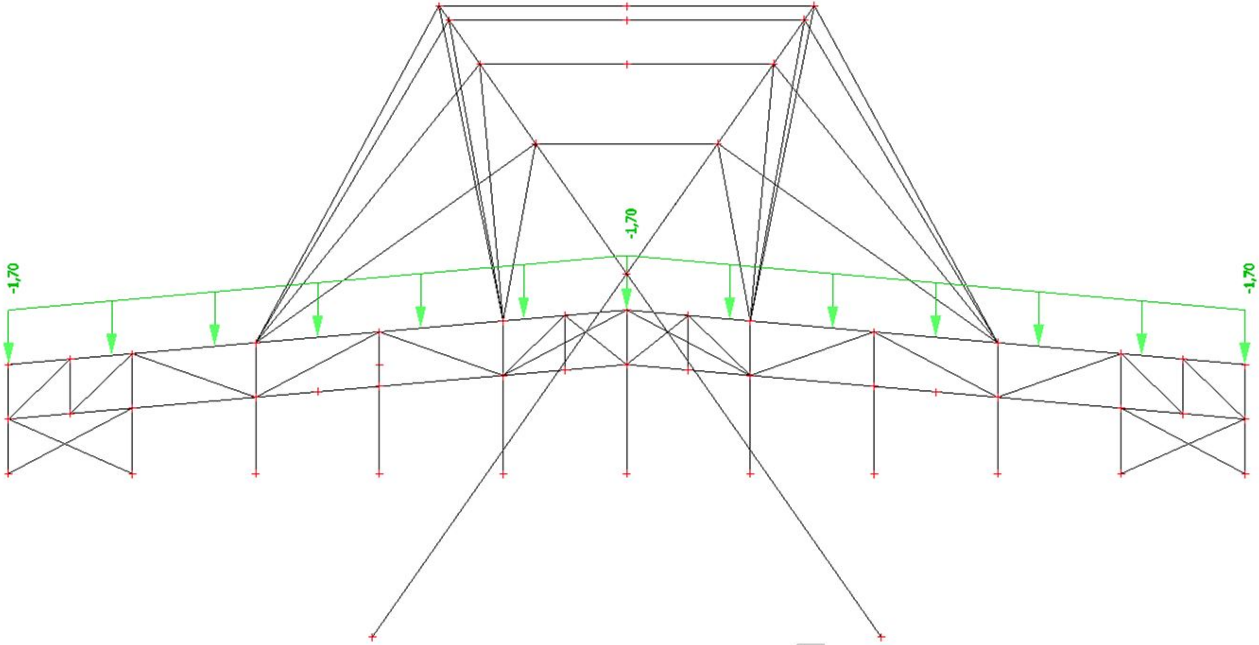
5. Boční pohled příčný



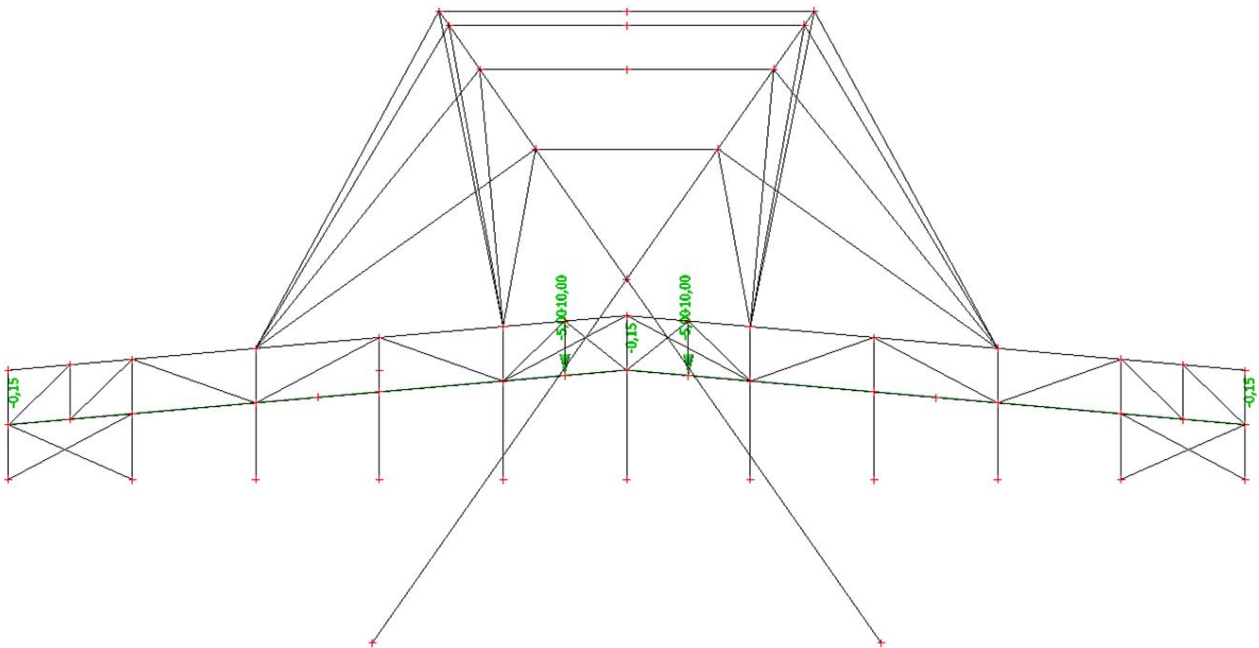
Studentská verze

6. Zatížení

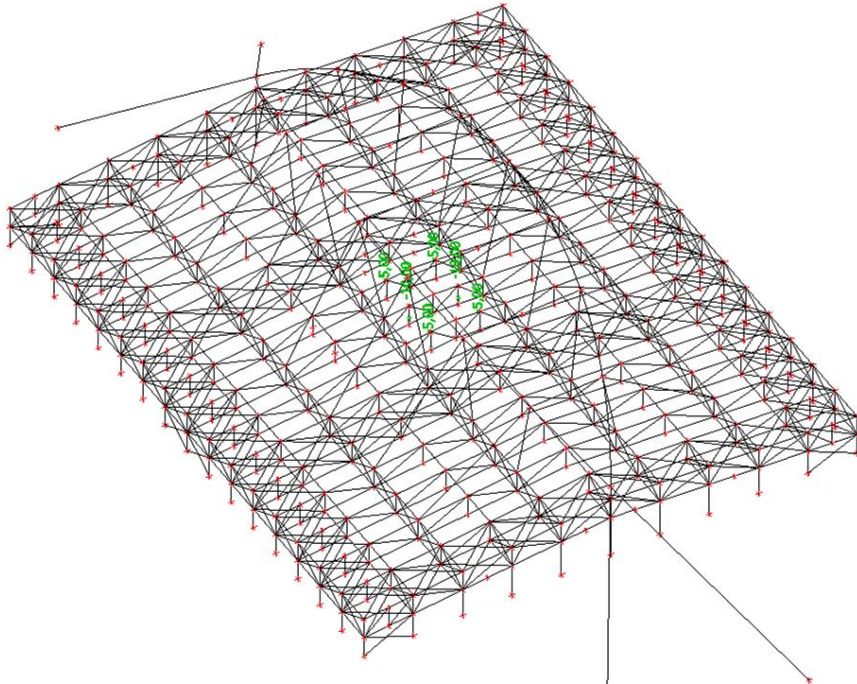
6.1. ZS2 / střešní plášť



6.2. ZS3 / podvěsy

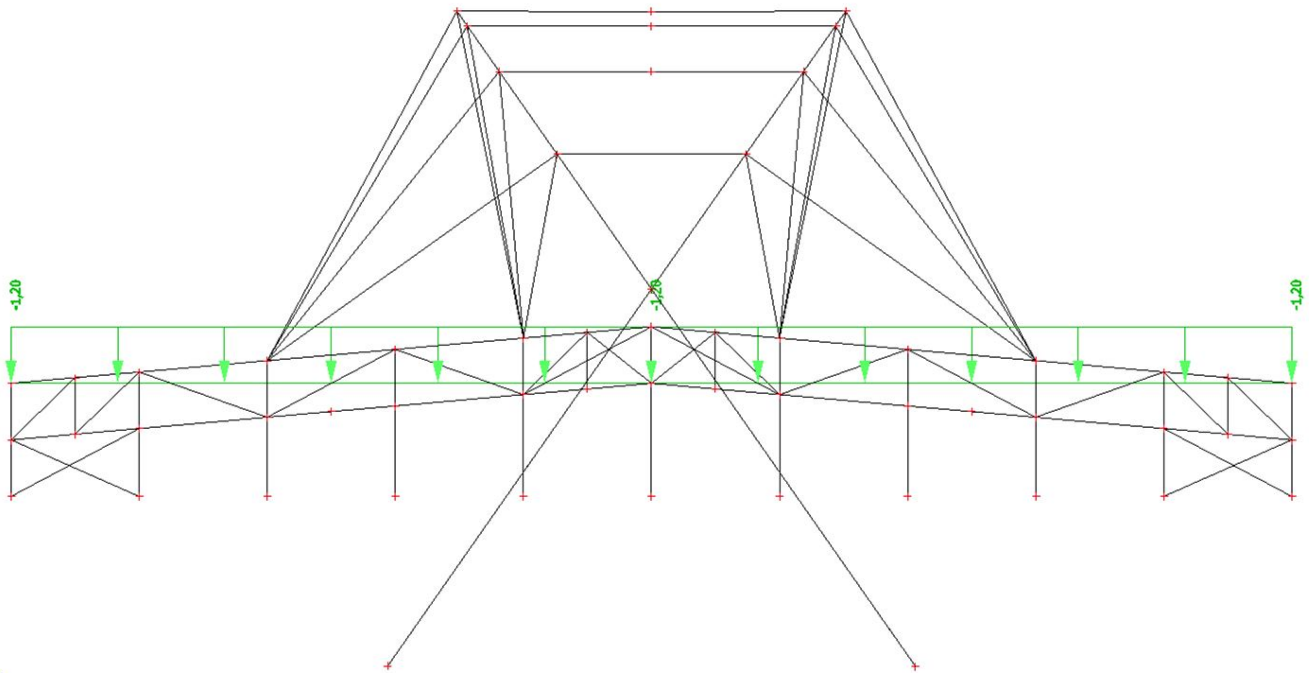


6.3. ZS3 / zatížení od mediální kostky



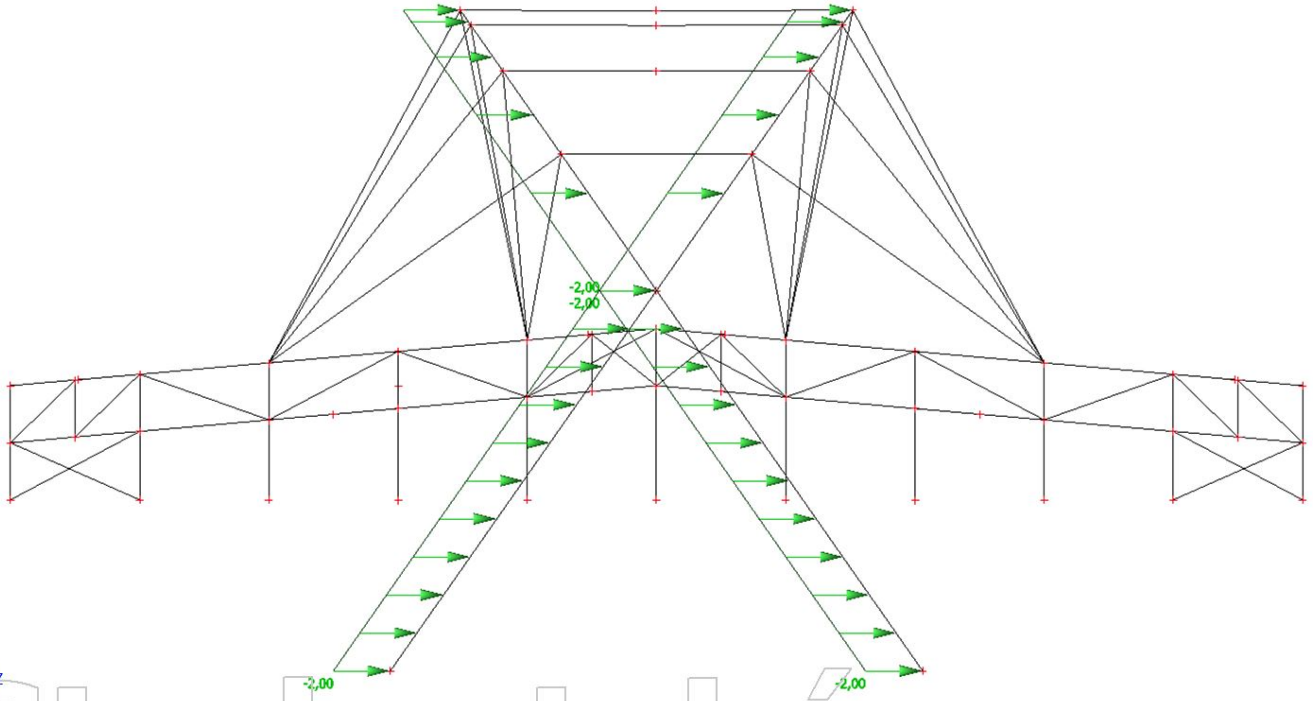
Studentská verze

6.4. ZS4 / sníh

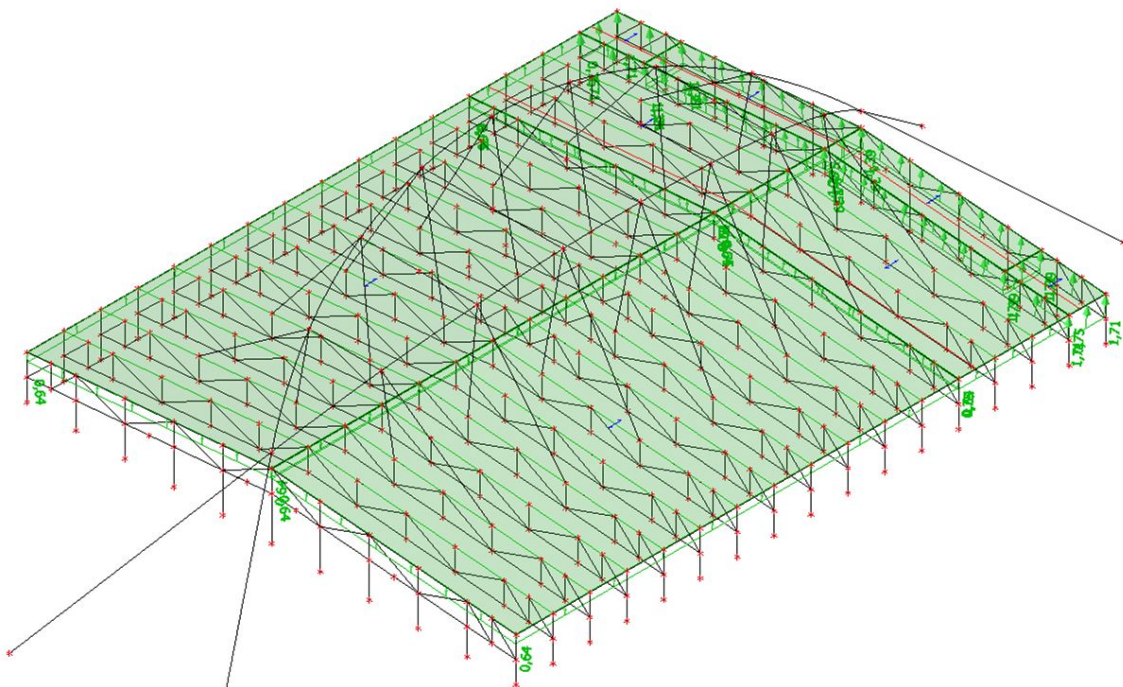


Studentská verze

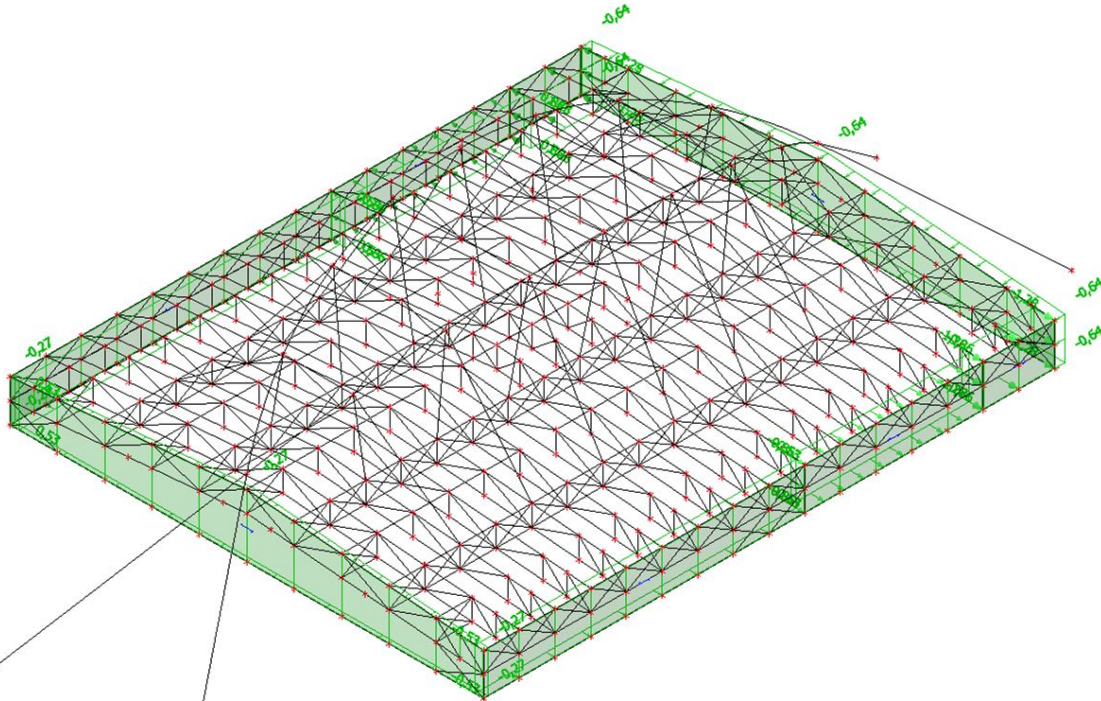
6.7. ZS5a1 / příčný vítr působící na oblouky



6.8. ZS5b / podélné sání větru

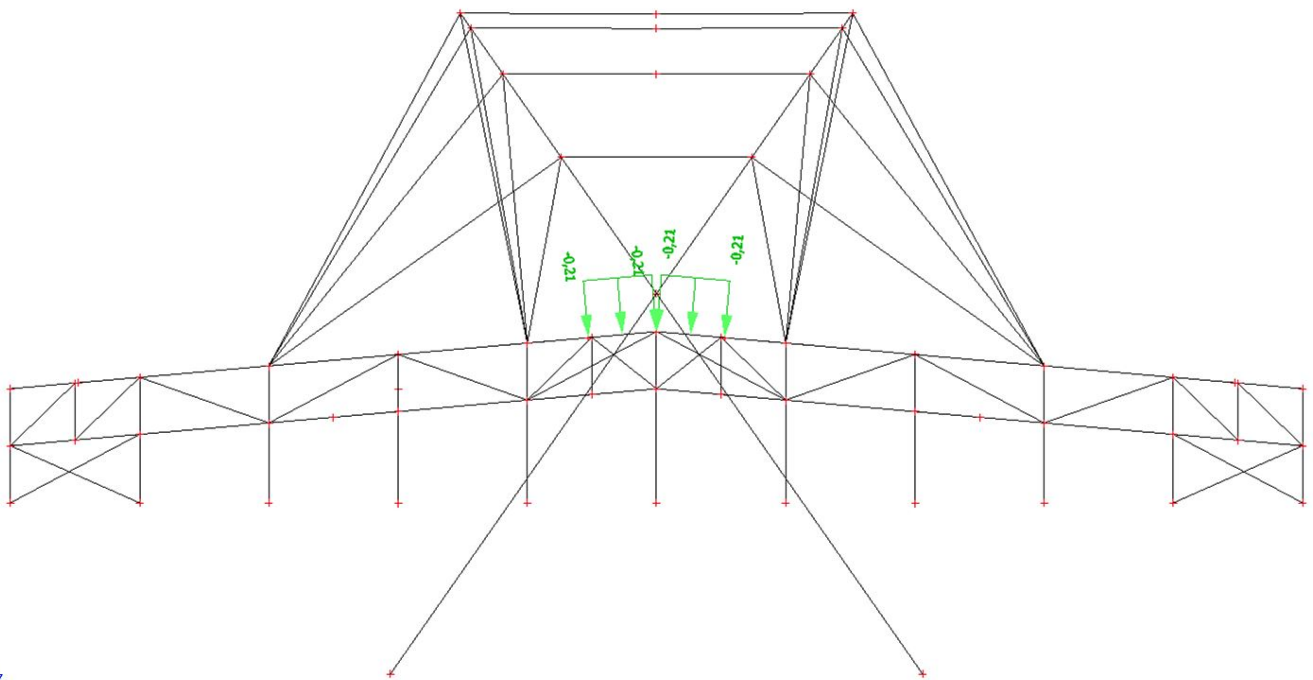


6.9. ZS5b / podélné sání větru



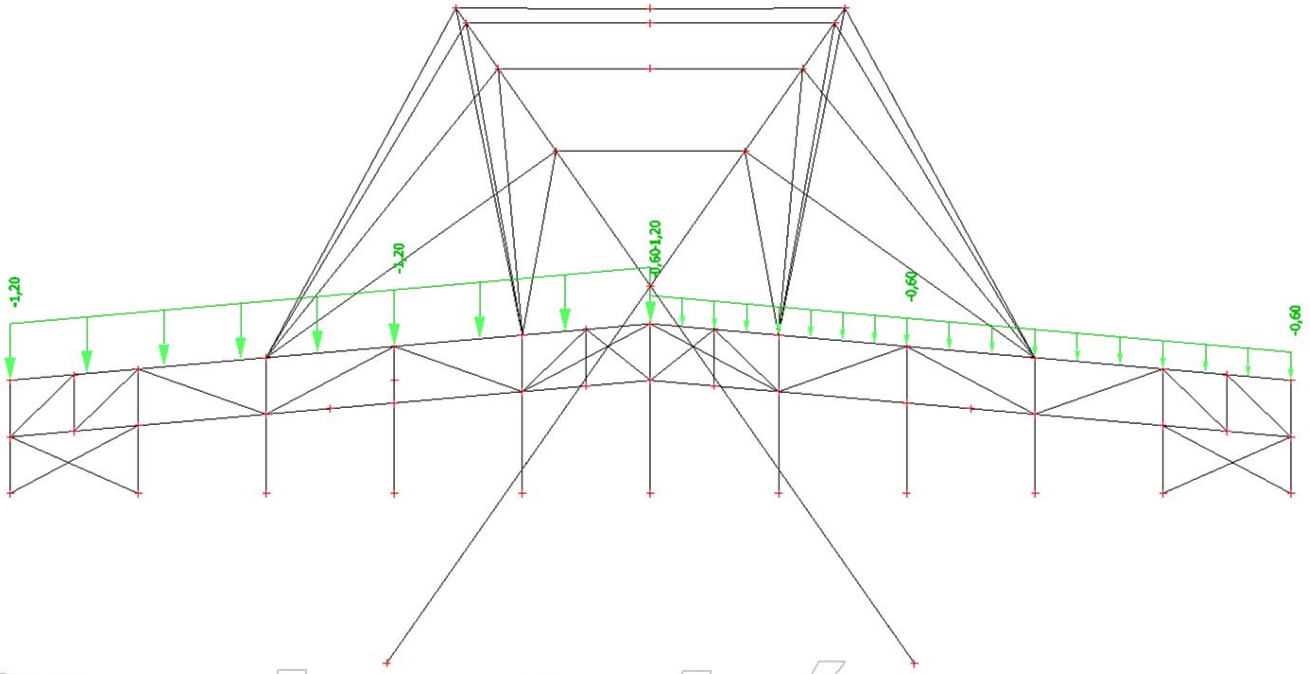
Studentská verze

6.10. ZS5c / tlak od větru



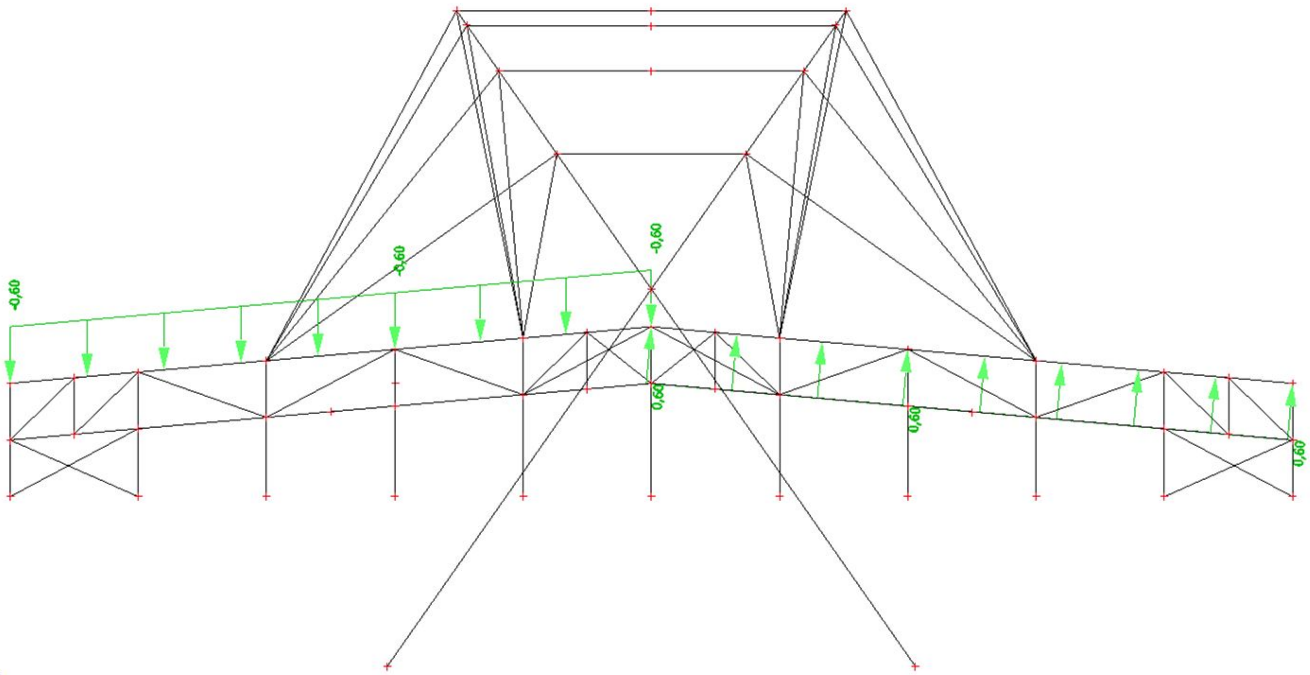
Studentská verze

6.11. ZS6a / náhradní proměnné zatížení



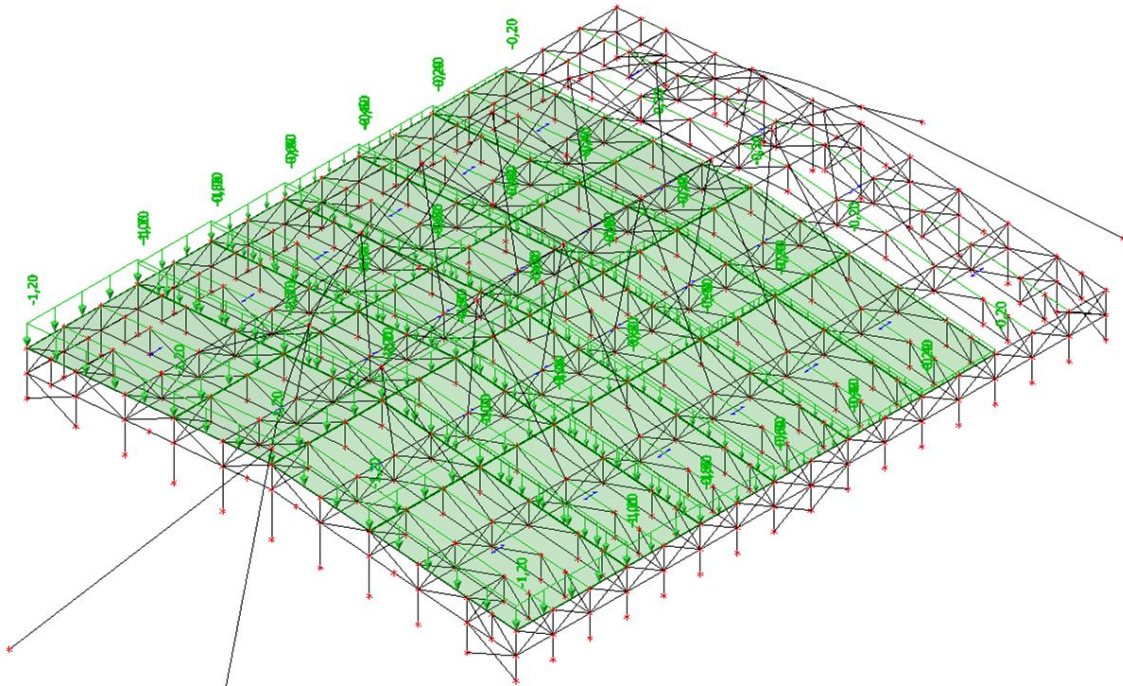
Studentská verze

6.12. ZS6b / náhradní proměnné zatížení



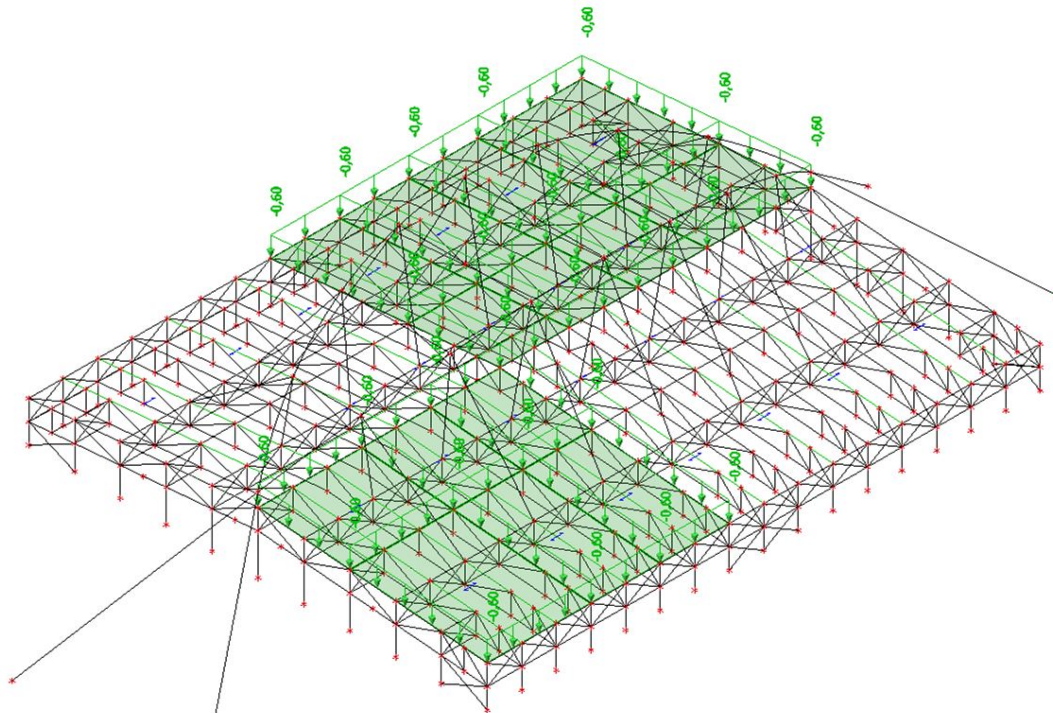
Studentská verze

6.13. ZS6c / náhradní proměnné zatížení



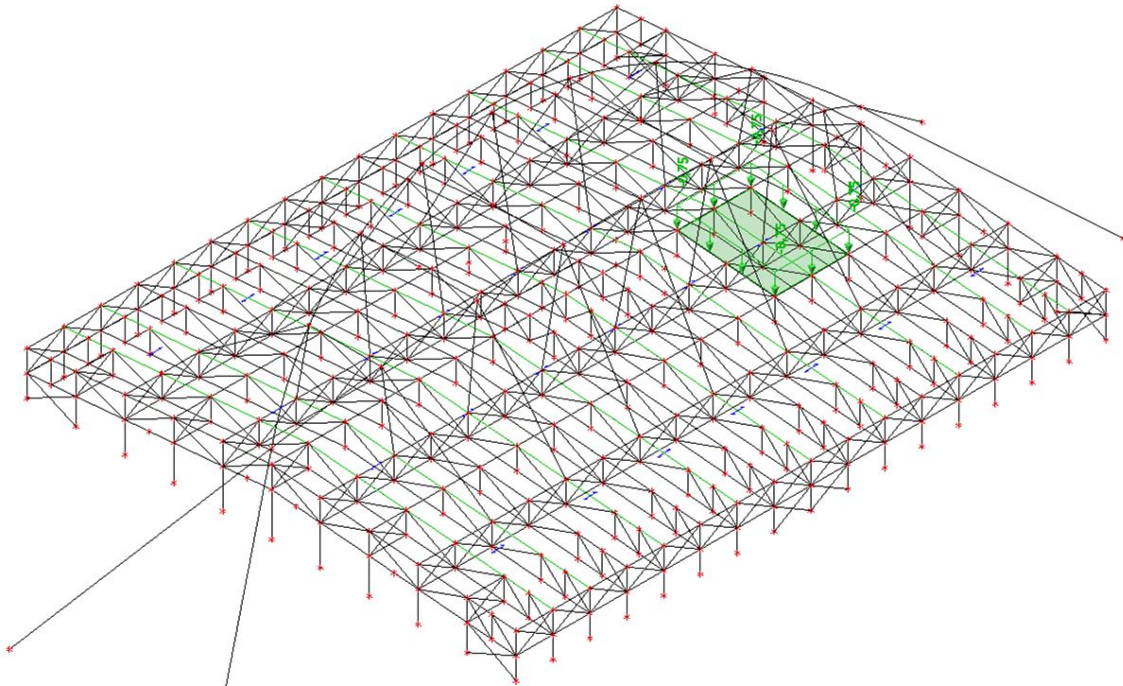
Studentská verze

6.14. ZS6d / náhradní proměnné zatížení

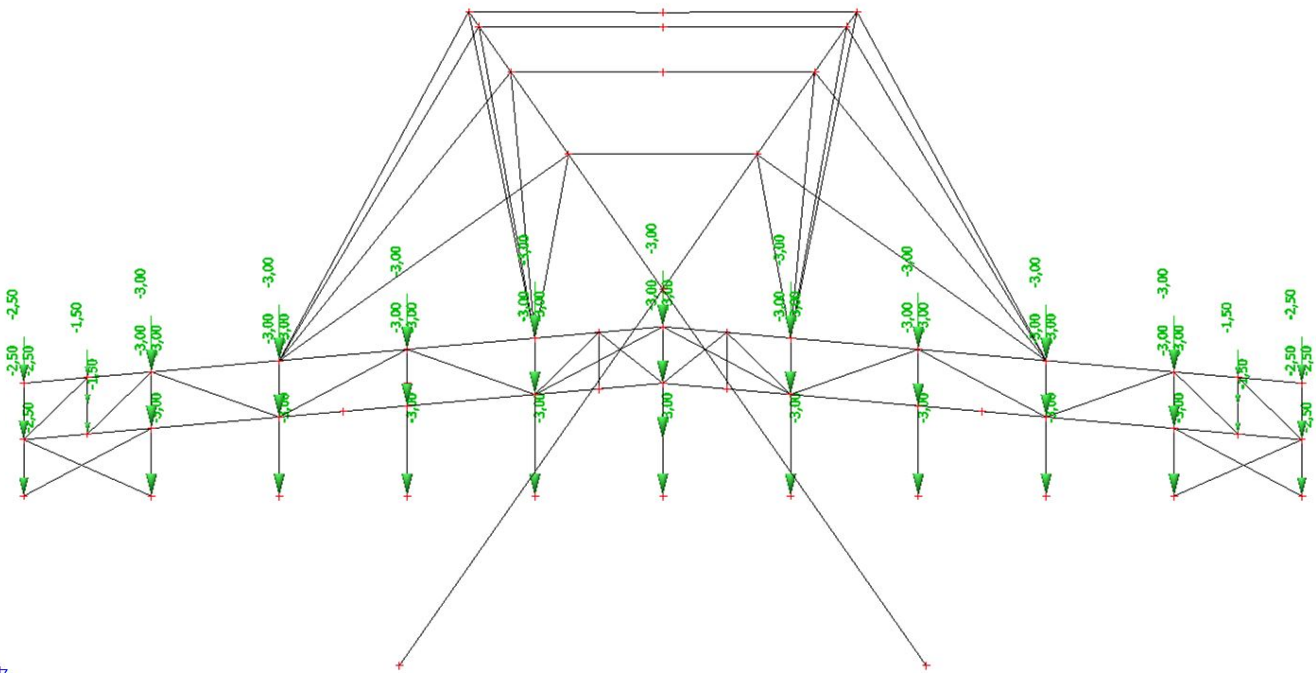


Studentská verze

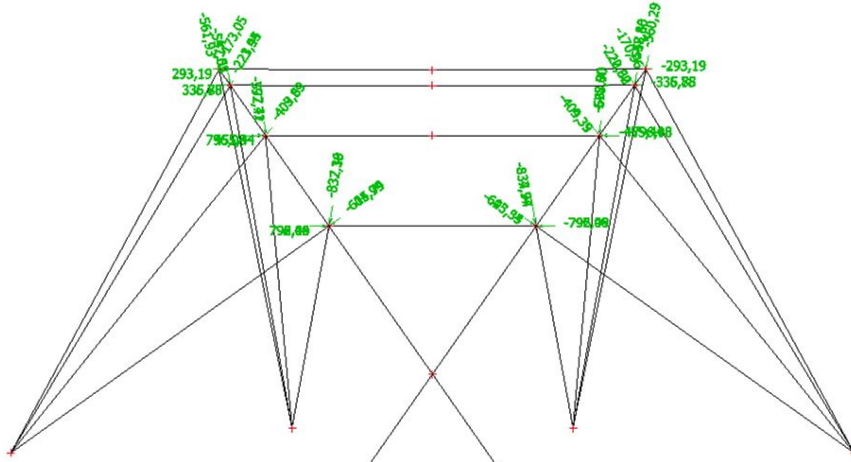
6.15. ZS7 / montážní zatížení



6.16. ZS8 / stěnový plášť

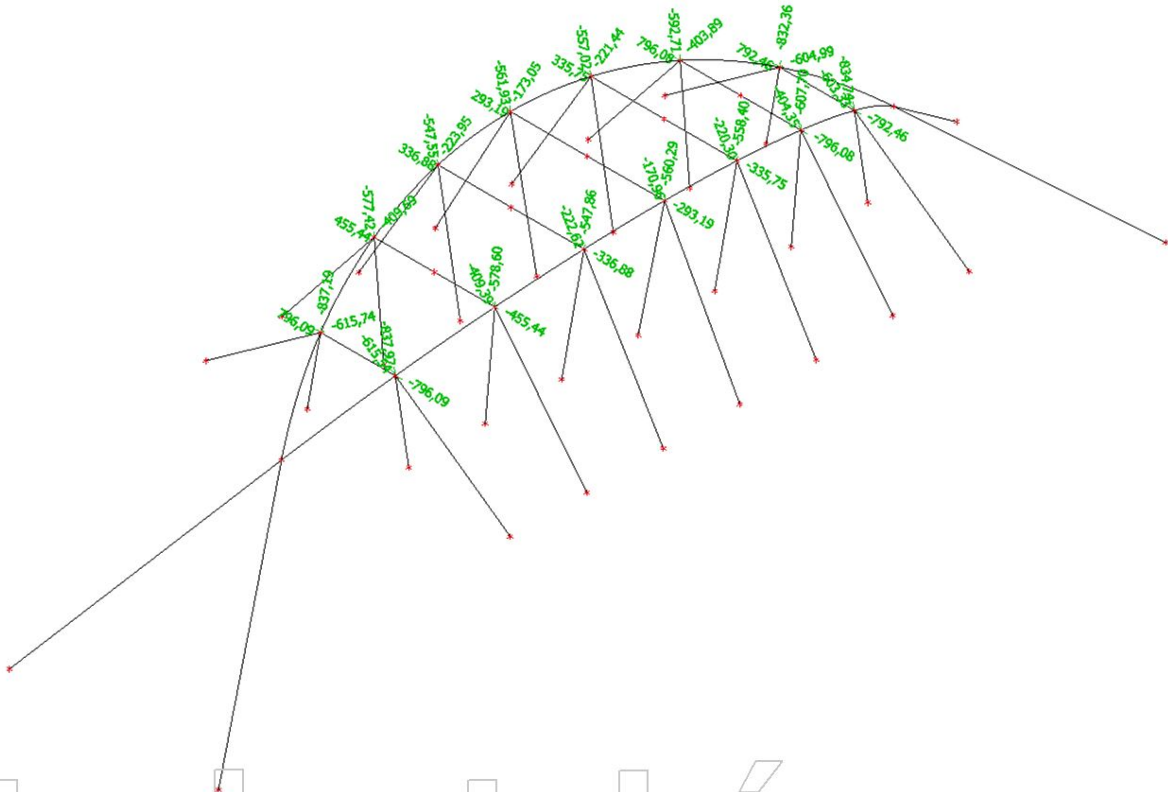


6.19. ZS31 / síly pro stabilitní výpočet



Studentská verze

6.20. ZS31 / síly pro stabilitní výpočet



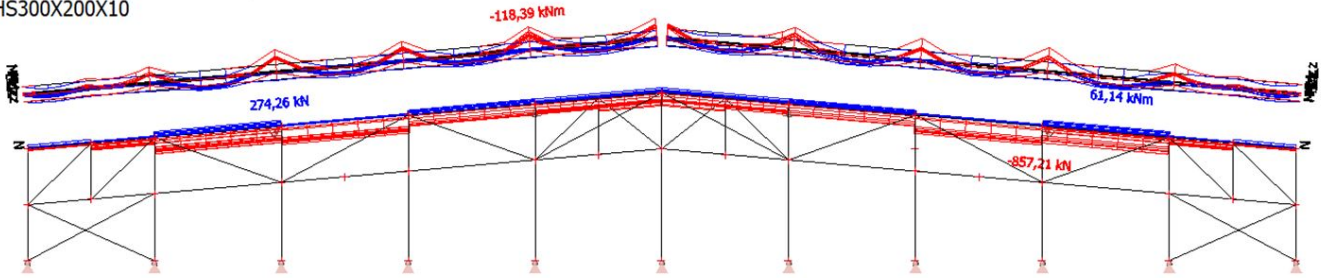
Studentská verze

7. MSU

7.1. Příhradový vazník

7.1.1. Síly v horním pásu příhrady

Hodnoty: **N, M_z**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Příhrada- horní pás -
 CFRHS300X200X10



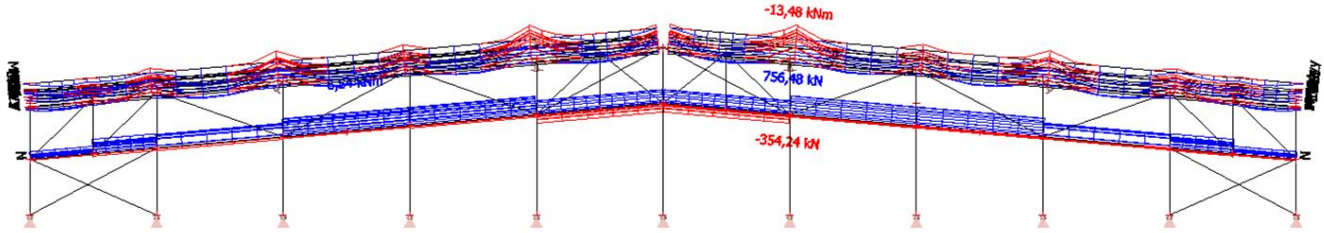
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]	M _z [kNm]
B215	13,653+	Náhradní proměnné zatížení - MSU 1	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	-857,21	-94,58
B206	13,653-	Vítr podélný - sání	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	274,26	-11,17
B204	27,306-	Maximální svislé	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	-227,62	-118,39
B215	9,557-	Náhradní proměnné zatížení - MSU 1	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	-768,19	61,14

7.1.2. Síly v dolním pásu

Hodnoty: **N, My**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Příhrada- dolní pás -
 CFRHS200X200X10



Studentská verze

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]	My [kNm]
B367	27,306+	S Ochlazením MSU	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	-354,24	-9,23
B625	27,306-	Náhradní proměnné zatížení - MSU 1	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	756,48	-8,78
B496	27,306+	Maximální svislé	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	488,09	-13,48
B626	17,749-	Maximální svislé	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	736,60	6,54

Studentská verze

7.1.3. Síly v krátké diagonále

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

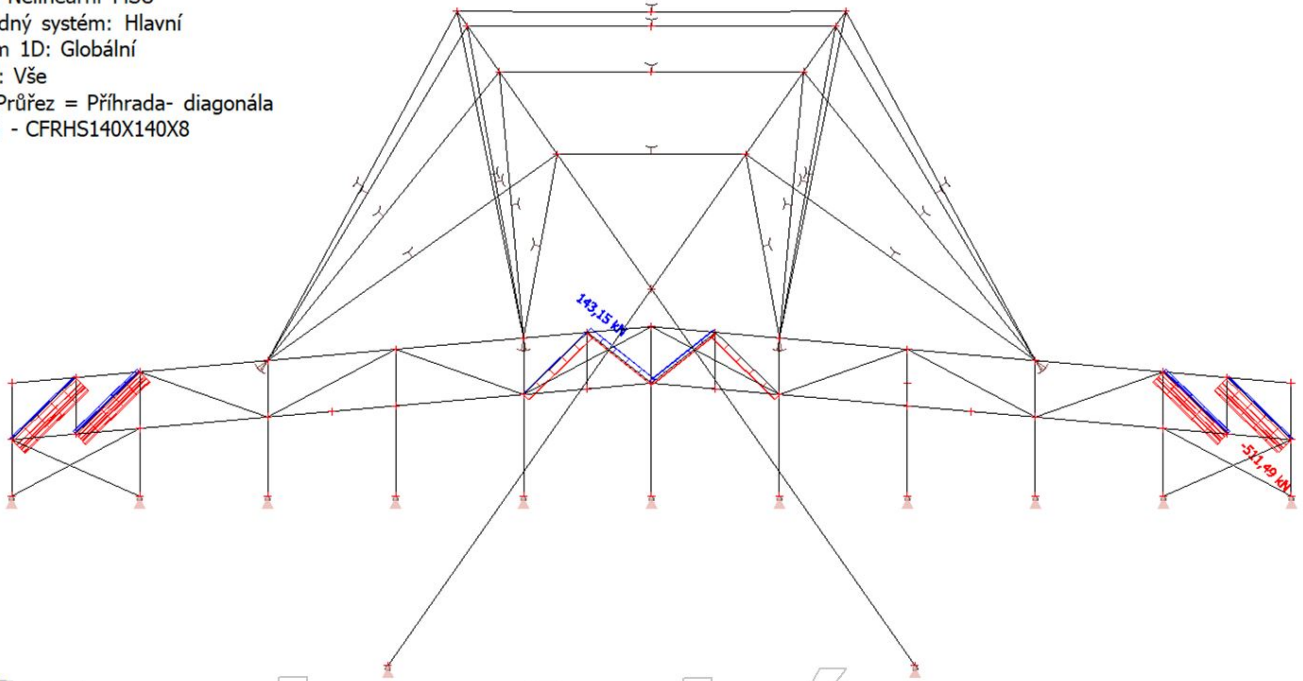
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Příhrada- diagonála

krátká - CFRHS140X140X8



Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Příhrada- diagonála krátká - CFRHS140X140X8

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1506	4,738	Náhradní proměnné zatížení - MSU 1	Příhrada- diagonála krátká - CFRHS140X140X8	-511,49
B2026	0,000	Náhradní proměnné zatížení - MSU 2	Příhrada- diagonála krátká - CFRHS140X140X8	143,15

7.1.4. Síly v dlouhé diagonále

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

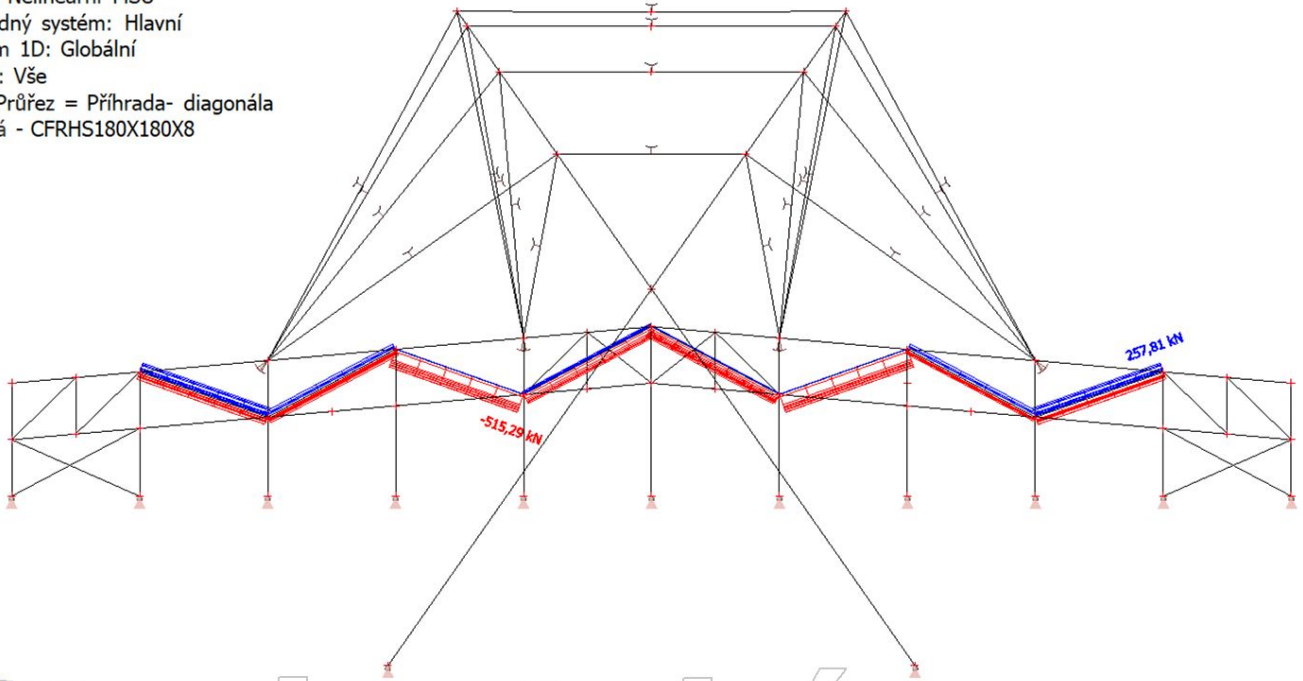
Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Příhrada- diagonála
dlouhá - CFRHS180X180X8



Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

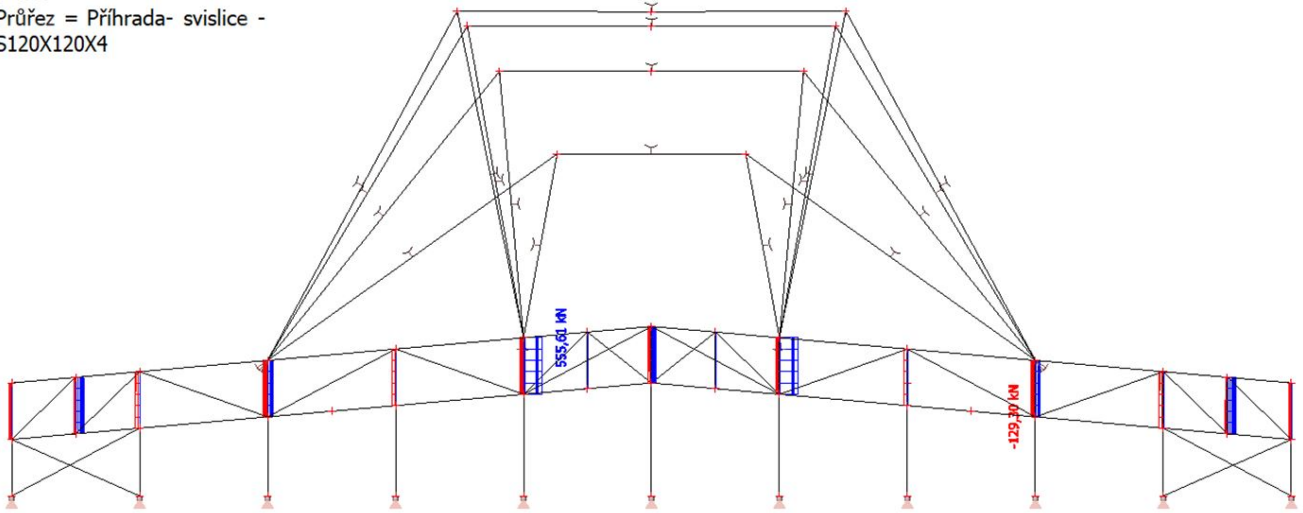
Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Příhrada- diagonála dlouhá - CFRHS180X180X8

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1320	7,211	Maximální svislé	Příhrada- diagonála dlouhá - CFRHS180X180X8	-515,29
B1365	7,211	S Oteplením MSU	Příhrada- diagonála dlouhá - CFRHS180X180X8	257,81

7.1.5. Síly ve svislicích

Hodnoty: **N**
Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4



Studentská verze

Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B993	0,000	Náhradní proměnné zatížení - MSU 3	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	-129,30
B892	3,000	Maximální svislé	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	555,61

7.1.6. síly v krajních svislicích

Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: B265, B267, B321, B323, B364, B366, B407, B409, B450, B452, B493, B495, B536, B538, B579, B581, B622, B624, B665, B667, B708, B710, B751, B753, B794, B796, B837, B839, B880, B882, B923, B925, B966, B968
Filtr: Průřez = Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]	Mz [kNm]
B622	0,000	Maximální svislé	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	-78,60	0,00
B267	3,000	S Oteplením MSU	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	20,48	0,00
B323	1,200-	Vítr podélný - sání	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	5,64	-10,56
B321	1,200-	Vítr podélný - sání	Příhrada- svislice - CFRHS120X120X4	5,64	10,56

Studentská verze

7.2. Ztužující dílce

7.2.1. Síly v podélném ztužidle

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

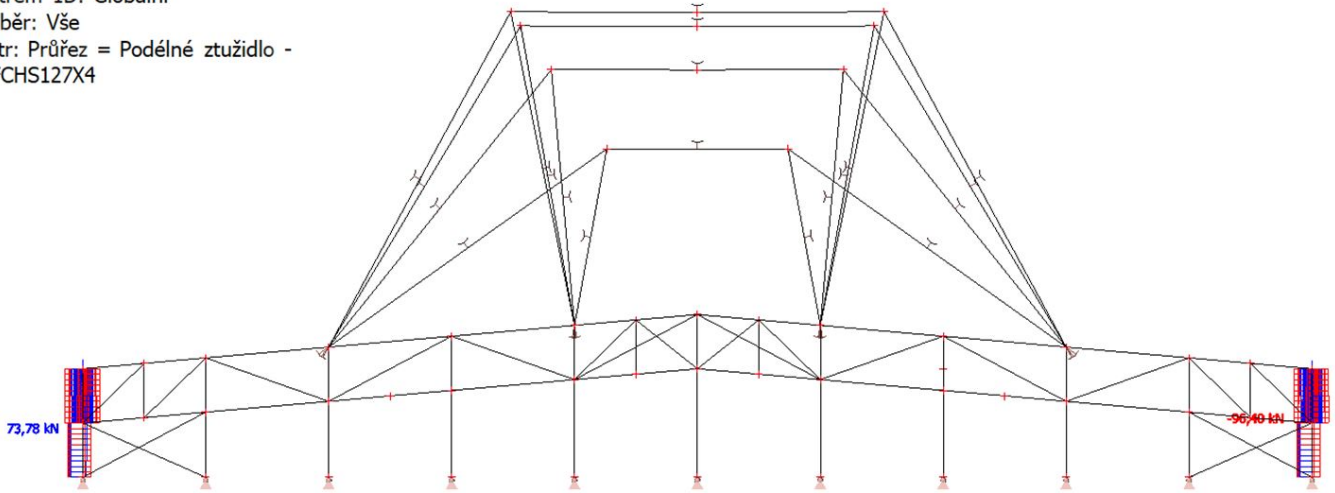
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Podélné ztužidlo -

CFCHS127X4



Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

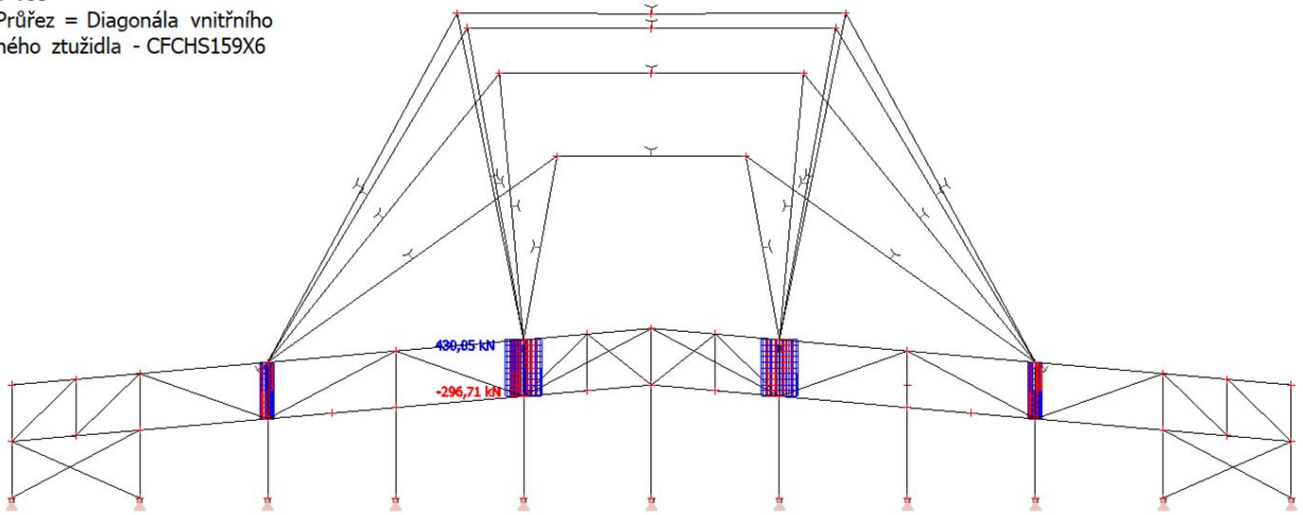
Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Podélné ztužidlo - CFCHS127X4

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1131	5,938	Náhradní proměnné zatížení - MSU 3	Podélné ztužidlo - CFCHS127X4	-96,40
B1240	5,938	Vítr podélný - sání	Podélné ztužidlo - CFCHS127X4	73,78

7.2.2. Síly v diagonále vnitřního podélného ztužidla

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Diagonála vnitřního podélného ztužidla - CFCHS159X6



Studentská verze

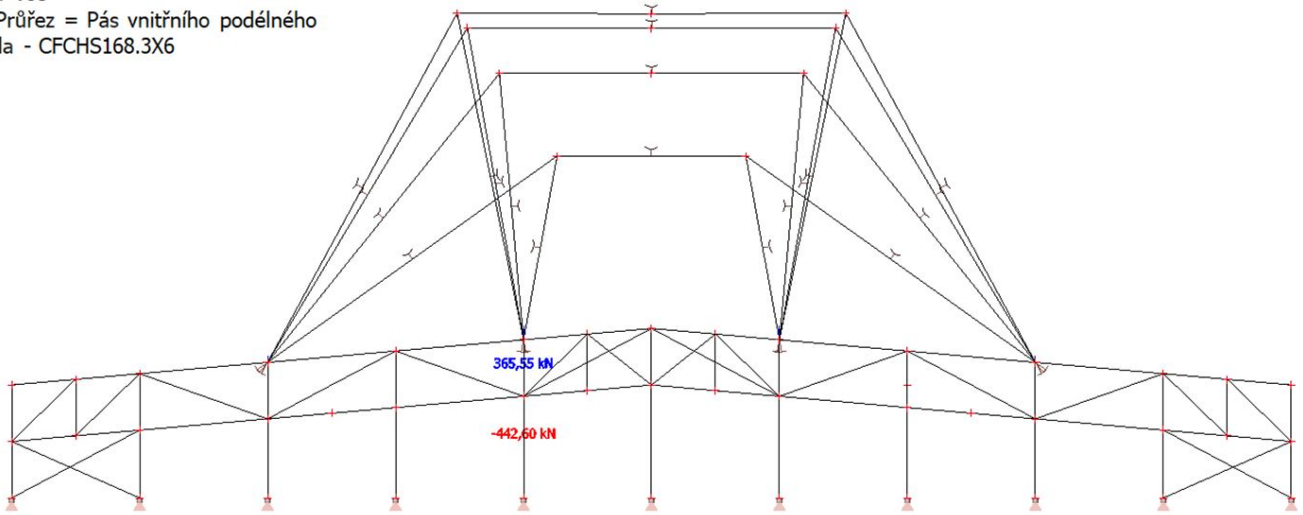
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Diagonála vnitřního podélného ztužidla - CFCHS159X6

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1933	5,938	Chybějící táhlo MSU	Diagonála vnitřního podélného ztužidla - CFCHS159X6	-296,71
B1892	0,000	Maximální svislé	Diagonála vnitřního podélného ztužidla - CFCHS159X6	430,05

Studentská verze

7.2.3. Síly v pásech vnitřního podélného ztužení

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filt: Průřez = Pás vnitřního podélného ztužení - CFCHS168.3X6



z
x
y
 Studentská verze

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filt: Průřez = Pás vnitřního podélného ztužení - CFCHS168.3X6

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1850	1,025-	Náhradní proměnné zatížení - MSU 3	Pás vnitřního podélného ztužení - CFCHS168.3X6	-442,60
B1834	5,125	Chybějící táhlo MSU	Pás vnitřního podélného ztužení - CFCHS168.3X6	365,55

Studentská verze

7.2.4. Síly ve střešním ztužidle

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

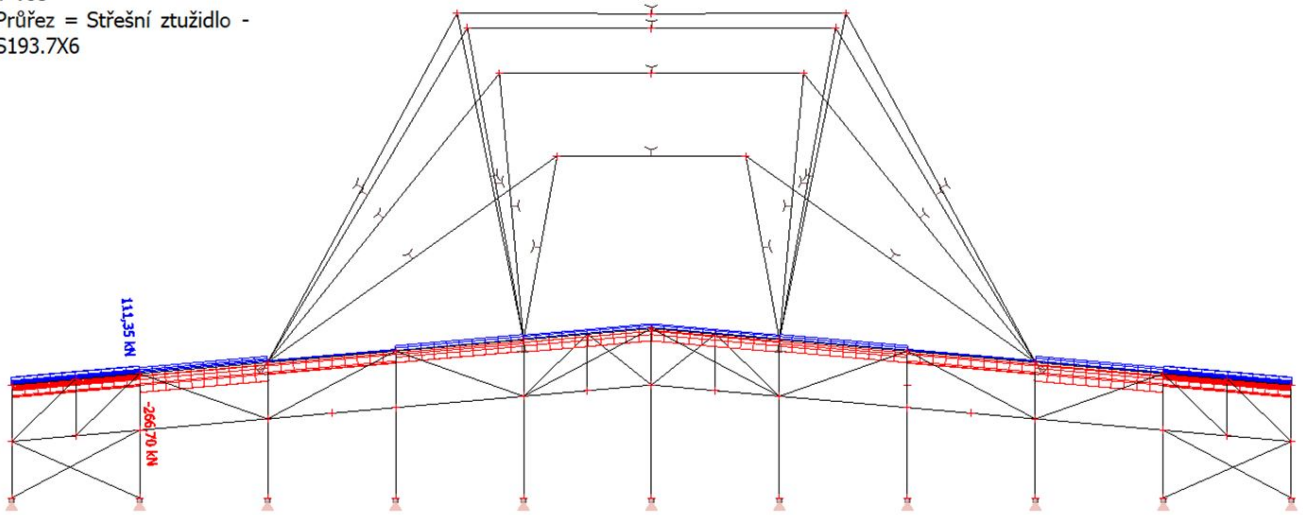
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Střešní ztužidlo -

CFCHS193.7X6



Studentská verze

Nelineární výpočet

Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

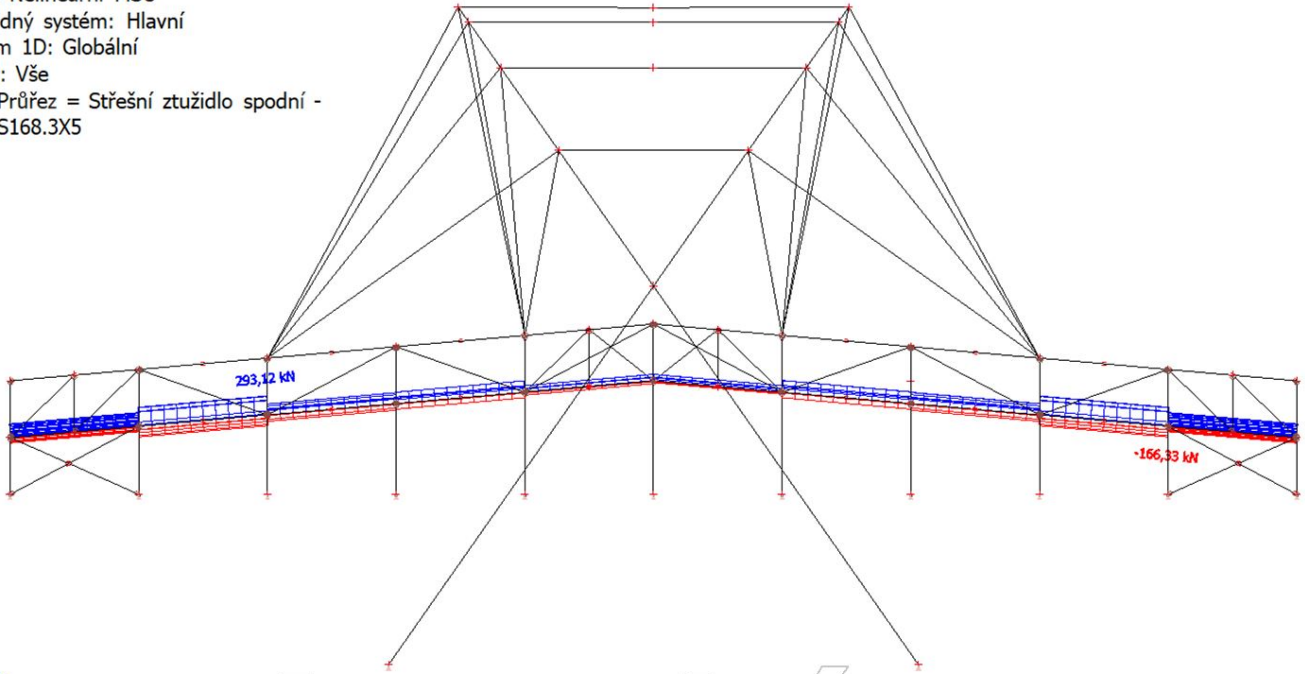
Filtr: Průřez = Střešní ztužidlo - CFCHS193.7X6

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1730	0,000	Maximální svislé	Střešní ztužidlo - CFCHS193.7X6	-266,70
B1645	8,536	Maximální svislé	Střešní ztužidlo - CFCHS193.7X6	111,35

Studentská verze

7.2.5. Síly ve spodních ztužidlech

Hodnoty: **N**
Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Střešní ztužidlo spodní - CFCHS168.3X5

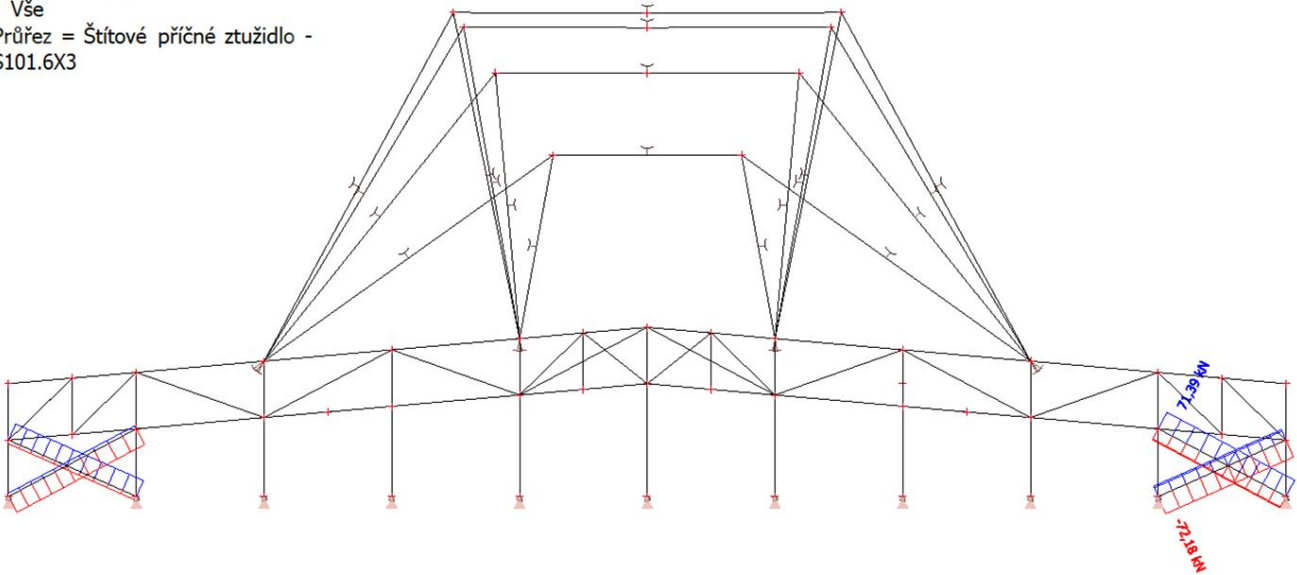


Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Střešní ztužidlo spodní - CFCHS168.3X5

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B2264	0,000	Náhradní proměnné zatížení - MSU 3	Střešní ztužidlo spodní - CFCHS168.3X5	-166,33
B2291	8,536	Maximální svislé	Střešní ztužidlo spodní - CFCHS168.3X5	293,12

7.2.6. Síly v příčném ztužidle

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filt: Průřez = Štítové příčné ztužidlo - CFCHS101.6X3



Studentská verze

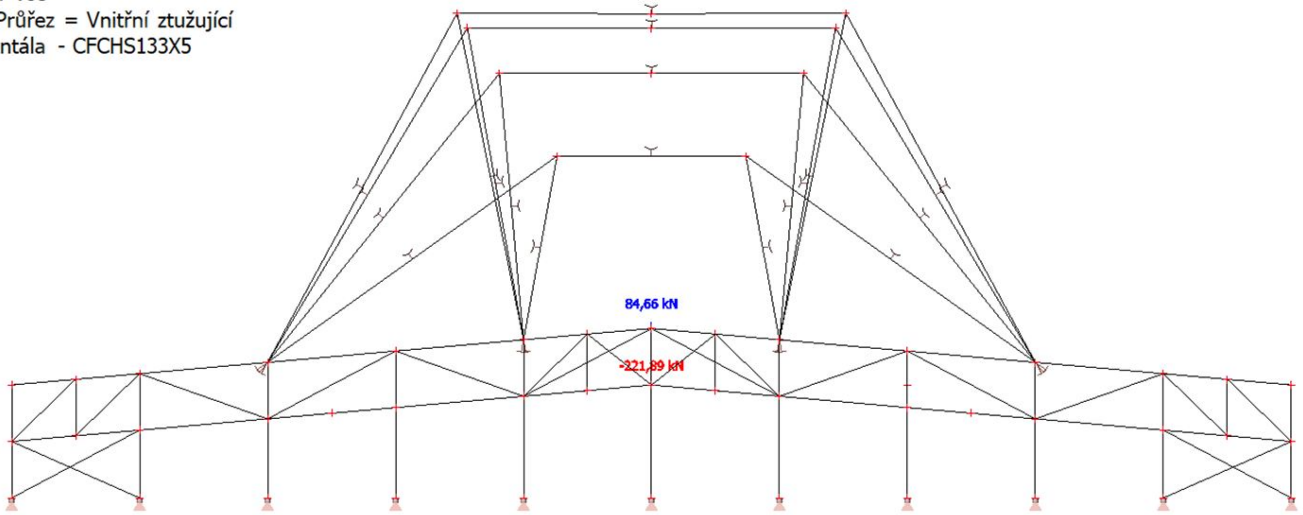
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filt: Průřez = Štítové příčné ztužidlo - CFCHS101.6X3

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B2071	0,000	Vítr příčný - sání	Štítové příčné ztužidlo - CFCHS101.6X3	-72,18
B2070	7,694	Vítr příčný - sání	Štítové příčné ztužidlo - CFCHS101.6X3	71,39

Studentská verze

7.2.7. Síly ve ztužujících horizontálách

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Vnitřní ztužující horizontála - CFCHS133X5



Studentská verze

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Vnitřní ztužující horizontála - CFCHS133X5

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B2089	2,050-	Maximální svislé	Vnitřní ztužující horizontála - CFCHS133X5	-221,89
B2033	5,125	S Ochlazením MSU	Vnitřní ztužující horizontála - CFCHS133X5	84,66

Studentská verze

7.3. Sloupy

7.3.1. Síly v běžném sloupu

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

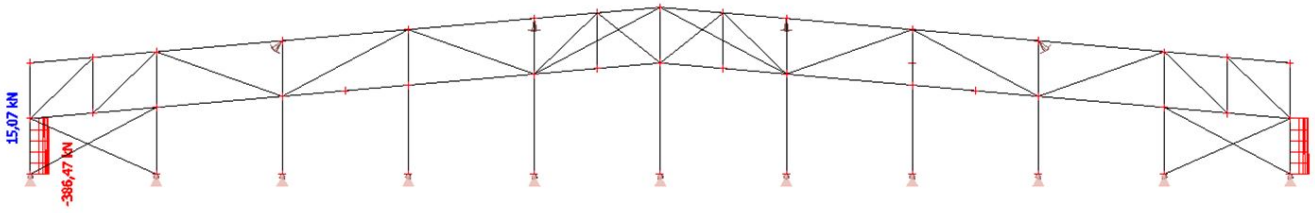
Třída: Nelineární MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Běžný sloup - HEA140

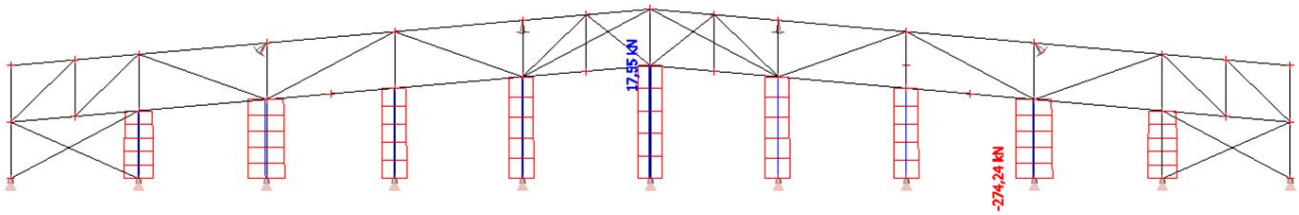


Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSU
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Běžný sloup - HEA140

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1216	0,000	Maximální svislé	Běžný sloup - HEA140	-386,47
B1208	3,000	Vítr podélný - sání	Běžný sloup - HEA140	15,07

7.3.2. Síly ve štítovém sloupu

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Štítový sloup - HEA180



Studentská verze

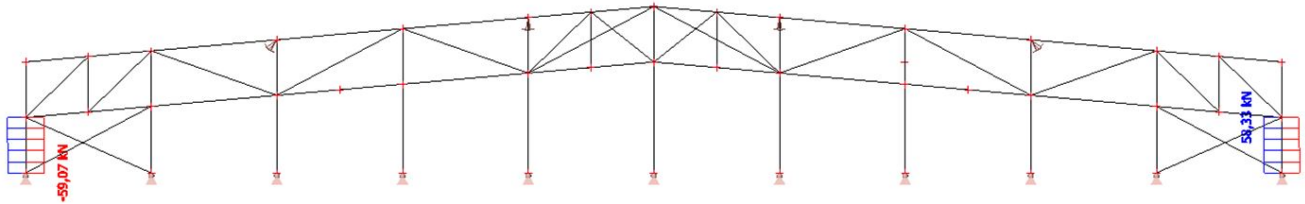
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Štítový sloup - HEA180

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B1284	0,000	Náhradní proměnné zatížení - MSU 3	Štítový sloup - HEA180	-274,24
B1746	6,000	Vítr podélný - sání	Štítový sloup - HEA180	17,55

Studentská verze

7.3.3. Síly v rohovém sloupu

Hodnoty: **N**
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Rohový sloup - HEA180



Studentská verze

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Rohový sloup - HEA180

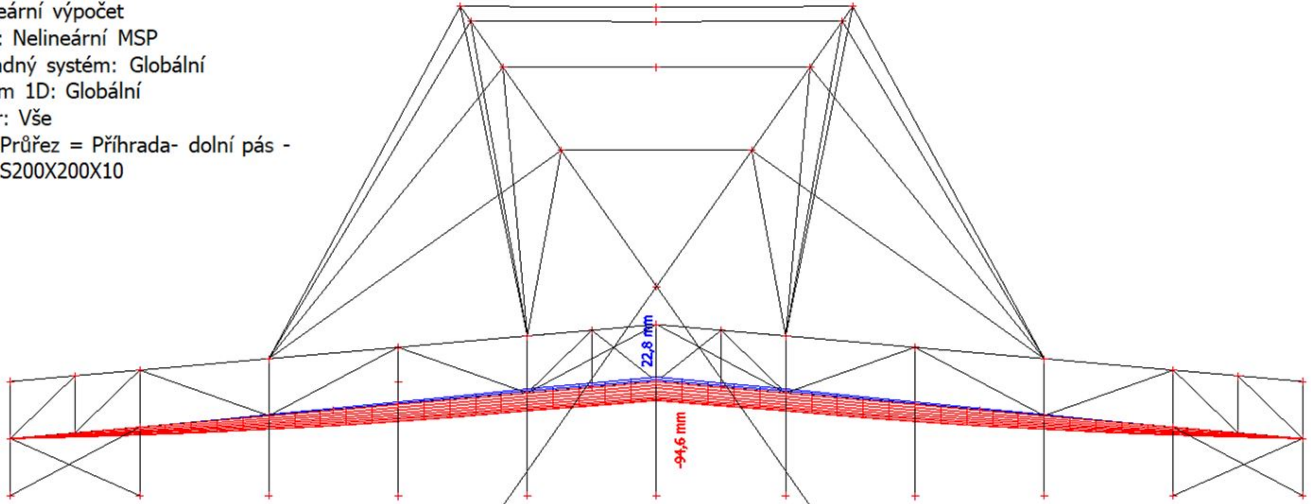
Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B1236	0,000	Vítr příčný - sání	Rohový sloup - HEA180	-59,07	0,00	0,00
B1274	3,000	S Oteplením MSU	Rohový sloup - HEA180	58,33	0,00	0,00
B1204	1,800-	Vítr podélný - sání	Rohový sloup - HEA180	-14,18	-5,32	-2,35
B1242	1,800-	Vítr podélný - sání	Rohový sloup - HEA180	-14,18	5,32	-2,35
B1274	1,200-	Vítr příčný - sání	Rohový sloup - HEA180	23,94	-2,66	-4,81
B1242	1,200-	Vítr příčný - sání	Rohový sloup - HEA180	23,94	-2,66	4,81

Studentská verze

9. MSP

9.1. Maximální deformace dolního pásu

Hodnoty: u_z
Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSP
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10



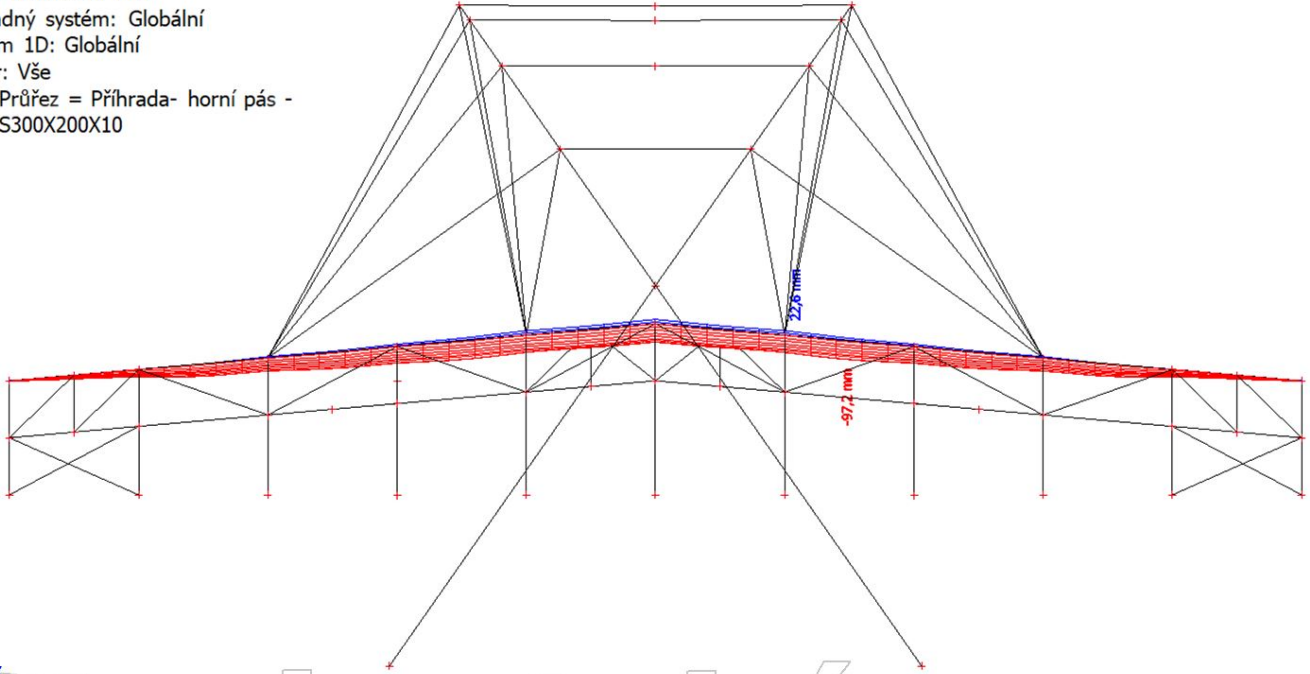
Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSP
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10

Deformace

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_z [mm]	U_{total} [mm]
B626	33,449-	Maximální svislé MSP	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	-94,6	94,6
B367	34,132	S Ochlazením MSP	Příhrada- dolní pás - CFRHS200X200X10	22,8	22,8

9.2. Maximální deformace horního pásu

Hodnoty: u_z
Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSP
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10

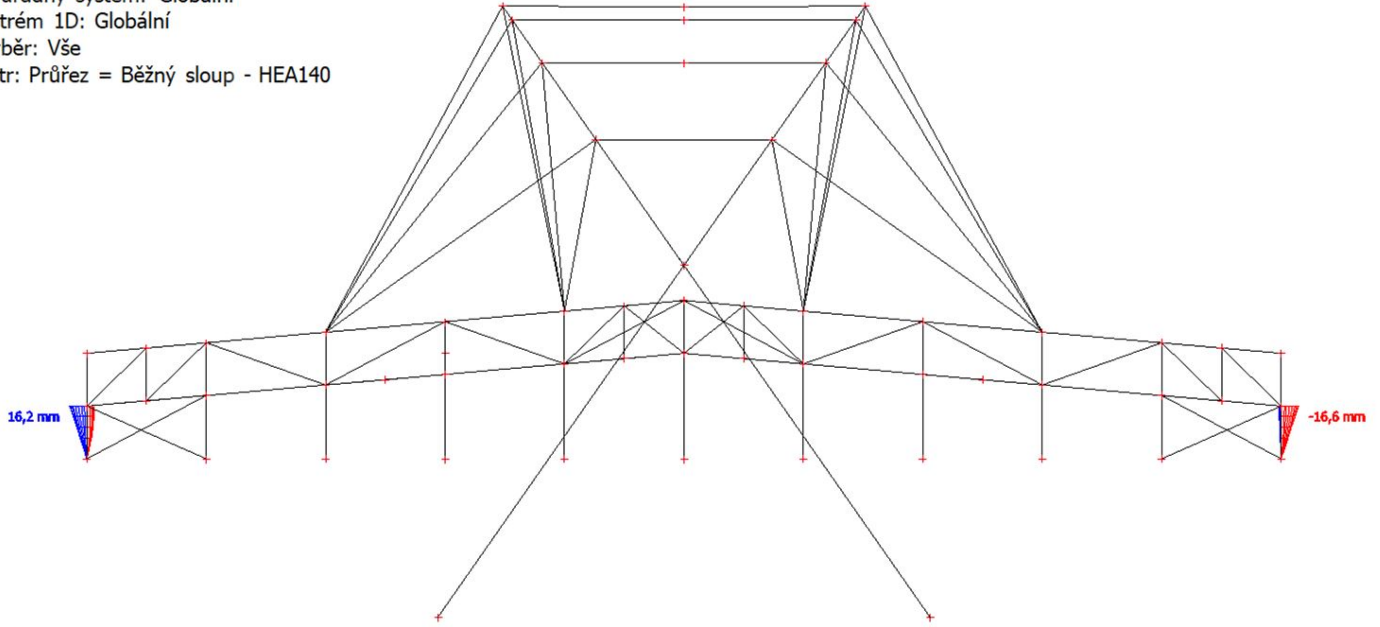


Nelineární výpočet
Třída: Nelineární MSP
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10
Deformace

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_z [mm]	U_{total} [mm]
B201	24,575-	Maximální svislé MSP	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	-97,2	97,2
B206	27,306-	S Ochlazením MSP	Příhrada- horní pás - CFRHS300X200X10	22,6	22,6

9.3. Maximální deformace běžného sloupu

Hodnoty: u_y
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Běžný sloup - HEA140

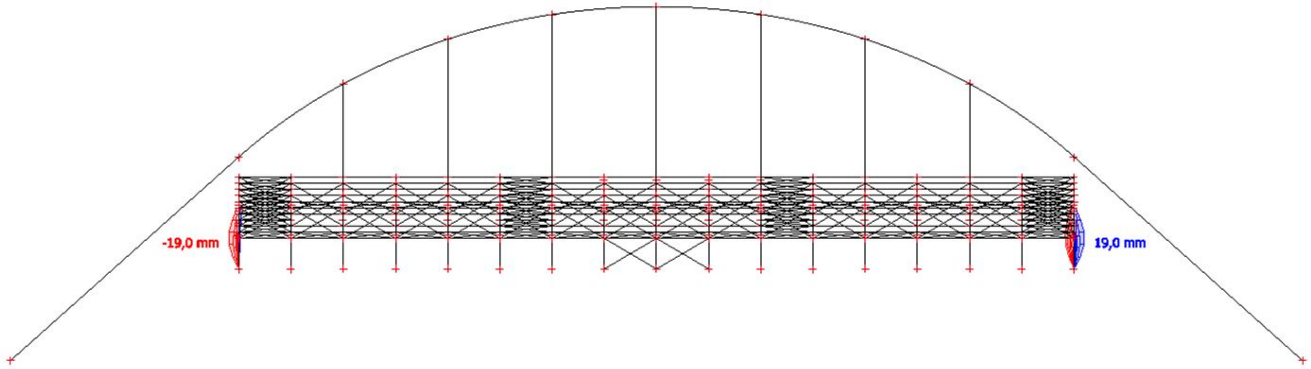


Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Běžný sloup - HEA140
Deformace

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_y [mm]	U_{total} [mm]
B1220	3,000	Maximální svislé MSP	Běžný sloup - HEA140	-16,6	16,7
B1258	3,000	Maximální svislé MSP	Běžný sloup - HEA140	16,2	16,3

9.4. Maximální deformace štítového sloupu

Hodnoty: u_x
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Štítový sloup - HEA180



Studentská verze

Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Štítový sloup - HEA180

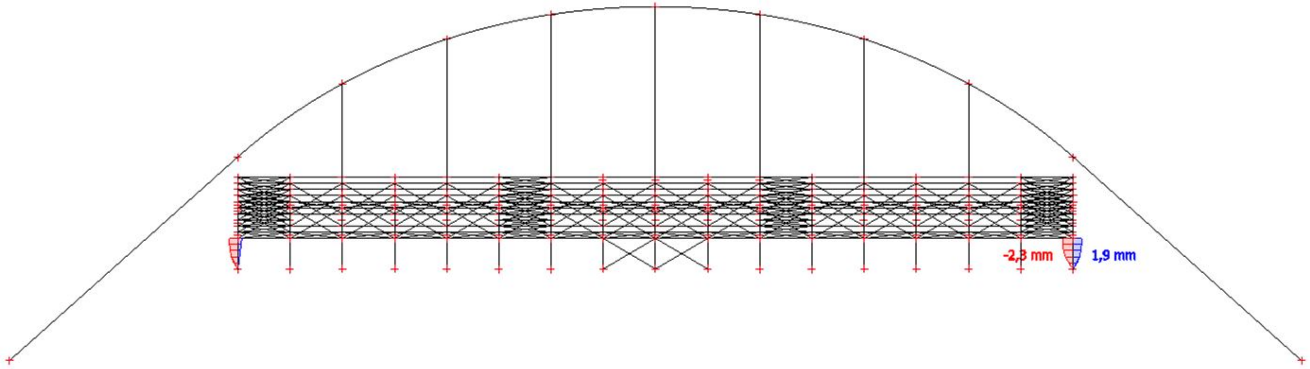
Deformace

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_x [mm]	U_{total} [mm]
B1743	3,600-	Vítr příčný - sání MSP	Štítový sloup - HEA180	-19,0	19,0
B1746	3,600-	Vítr příčný - sání MSP s větrem na oblouk	Štítový sloup - HEA180	19,0	19,1

Studentská verze

9.5. Maximální deformace rohového sloupu

Hodnoty: u_x
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Rohový sloup - HEA180



Studentská verze

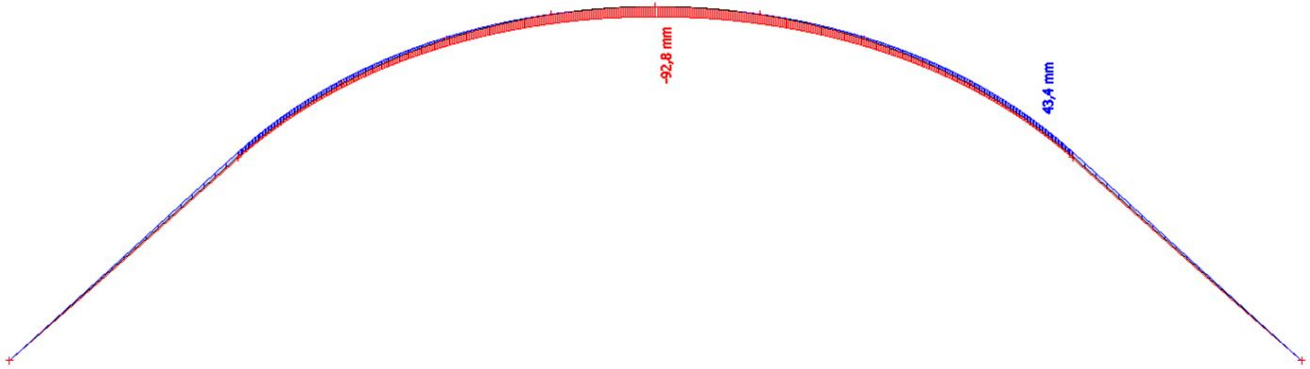
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Rohový sloup - HEA180
Deformace

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_x [mm]	u_y [mm]	U_{total} [mm]
B1242	2,400-	Vítr podélný - sání MSP	Rohový sloup - HEA180	-2,3	0,4	2,3
B1204	2,400-	Vítr příčný - sání MSP s větrem na oblouk	Rohový sloup - HEA180	1,9	-1,7	2,6
B1204	3,000	Vítr příčný - sání MSP s větrem na oblouk	Rohový sloup - HEA180	1,9	-2,1	2,8
B1242	3,000	Chybějící táhlo MSP	Rohový sloup - HEA180	1,5	1,1	1,9

Studentská verze

9.6. Maximální deformace oblouku

Hodnoty: u_z
 Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O
 (1400; 60; 1400; 60)



Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)
Deformace

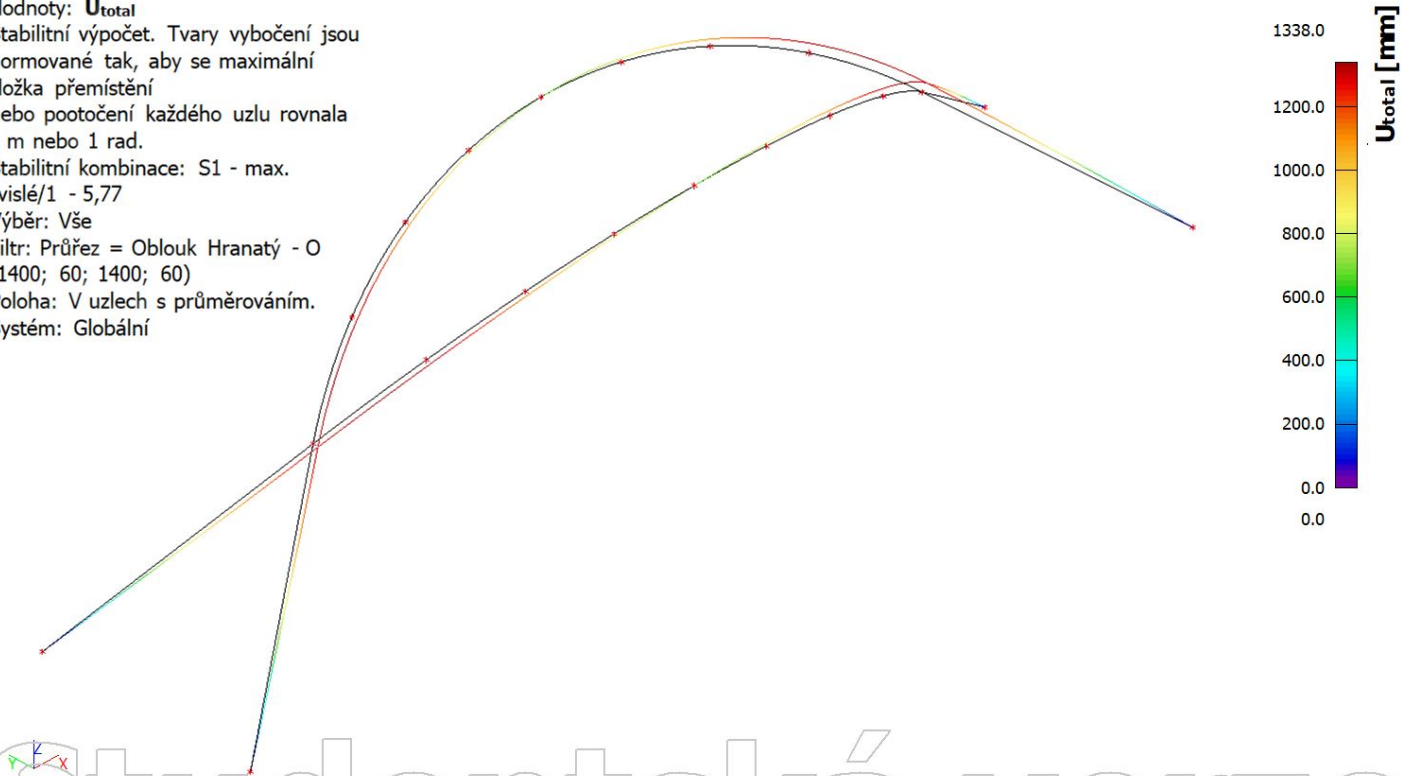
Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]	U_{total} [mm]
B4	91,366-	Maximální svislé MSP	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-32,9	0,0	30,1	44,6
B4	3,376-	Náhradní proměnné zatížení - MSP3	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	35,9	-0,5	33,5	49,1
B4	45,287-	Vítr příčný - sání MSP s větrem na oblouk	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	0,0	-15,4	-34,0	37,3
B1	48,063-	Náhradní proměnné zatížení - MSP2	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	0,1	14,8	-53,6	55,7
B4	46,080-	S Oteplením MSP	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	0,0	-1,4	-92,8	92,8
B4	4,766-	S Ochlazením MSP	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	25,1	-1,6	43,4	50,2

10. Stabílné součinitele alfa_cr

Jméno	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
S1 - max. svislé	ZS31 - stab - max svislé	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S2 - sání 1	ZS32 - stab - sání 1	1,00
	ZS32a - Vítr sání - vliv na oblouky	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S3 - sání 2	ZS33 - stab - sání 2	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S4 - šachy 1	ZS34 - stab - šachy 1	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S5 - šachy 2	ZS35 - stab - šachy 2	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S6 - šachy 3	ZS36 - stab - šachy 3	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S7 - šachy 4	ZS37 - stab - šachy 4	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S8 - bez táhla	ZS38 - stab - bez táhla	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S9a - ochlazení	ZS39a - stab - ochlazení	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S9b - oteplení	ZS39b - stab - oteplení	1,00
	ZS30 - stab - vlastní tíha	1,00
S1 - max. svislé/1 - 5,77		
S1 - max. svislé/2 - 9,05		
S2 - sání 1/1 - 8,30		
S2 - sání 1/2 - 13,09		
S3 - sání 2/1 - 8,17		
S3 - sání 2/2 - 12,99		
S4 - šachy 1/1 - 6,16		
S4 - šachy 1/2 - 9,71		
S5 - šachy 2/1 - 7,14		
S5 - šachy 2/2 - 11,29		
S6 - šachy 3/1 - 6,33		
S6 - šachy 3/2 - 9,96		
S7 - šachy 4/1 - 6,78		
S7 - šachy 4/2 - 10,71		
S8 - bez táhla/1 - 7,08		
S8 - bez táhla/2 - 11,21		
S9a - ochlazení/1 - 6,60		
S9a - ochlazení/2 - 10,43		
S9b - oteplení/1 - 7,73		
S9b - oteplení/2 - 12,27		

10.1. 3D přemístění; U_{total}

Hodnoty: U_{total}
Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění nebo pootočení každého uzlu rovnala 1 m nebo 1 rad.
Stabilitní kombinace: S1 - max. svislé/1 - 5,77
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)
Poloha: V uzlech s průměrováním.
Systém: Globální



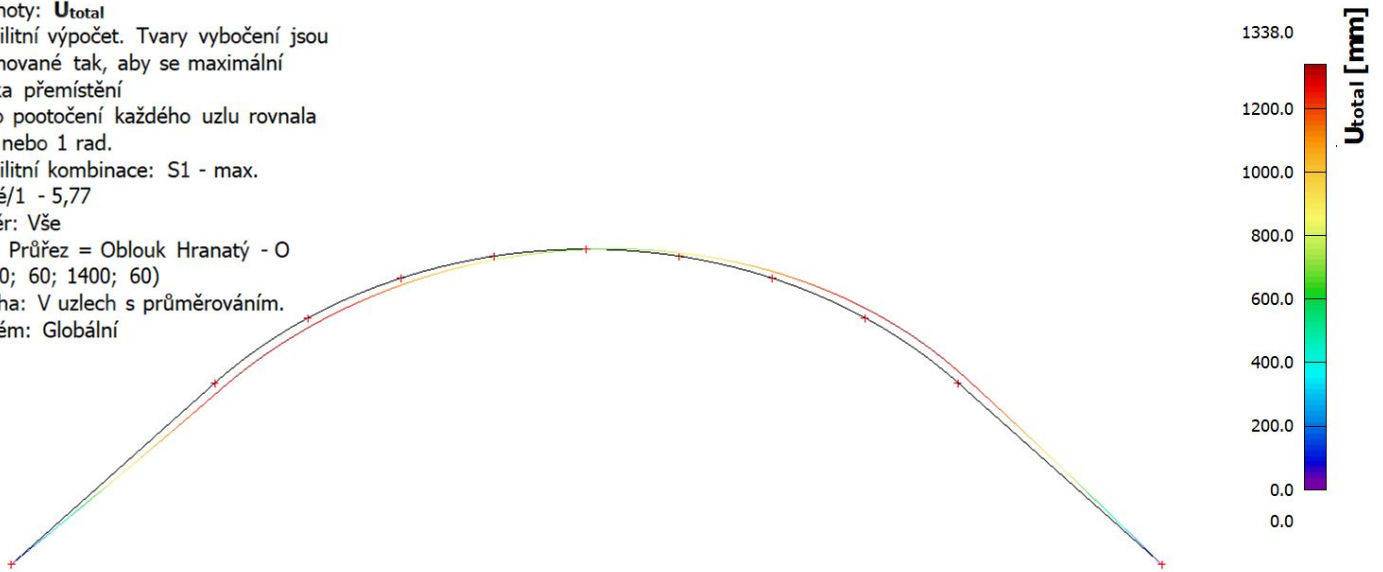
10.2. 3D přemístění; U_{total}

Hodnoty: U_{total}
Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění nebo pootočení každého uzlu rovnala 1 m nebo 1 rad.
Stabilitní kombinace: S1 - max. svislé/1 - 5,77
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)
Poloha: V uzlech s průměrováním.
Systém: Globální



10.3. 3D přemístění; U_{total}

Hodnoty: U_{total}
Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění nebo pootočení každého uzlu rovnala 1 m nebo 1 rad.
Stabilitní kombinace: S1 - max. svislé/1 - 5,77
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)
Poloha: V uzlech s průměrováním.
Systém: Globální

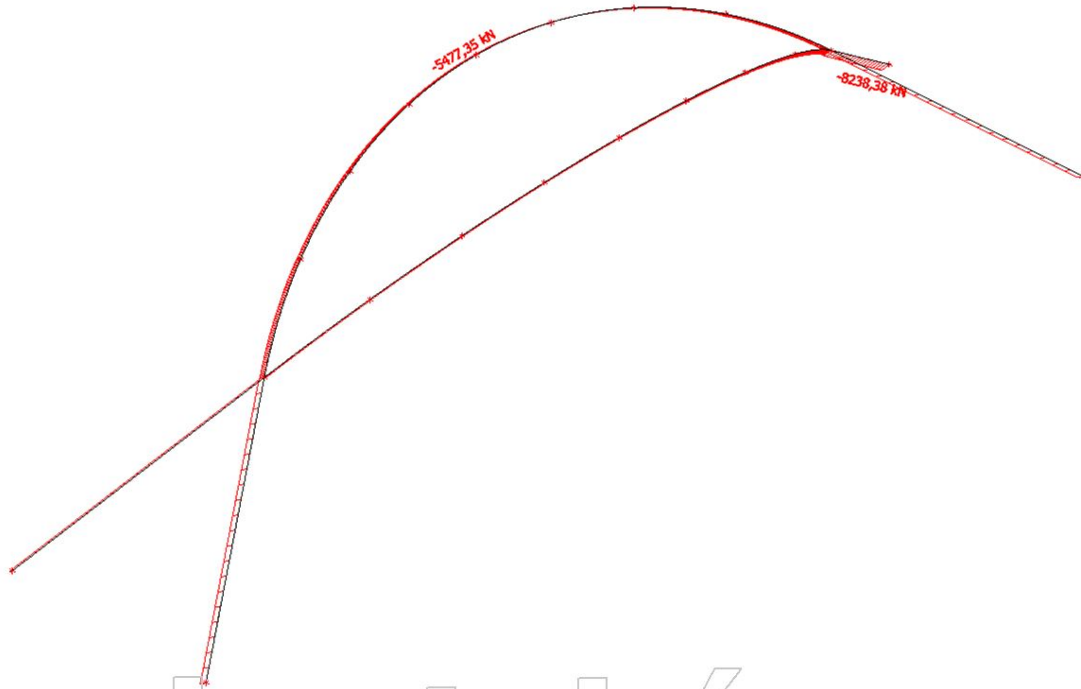


Studentská verze

Studentská verze

11. Síly v oblouku

11.1. Vnitřní síly v oblouku - stabilita



Lineární výpočet

Kombinace: S1

Souřadný systém: Hlavní

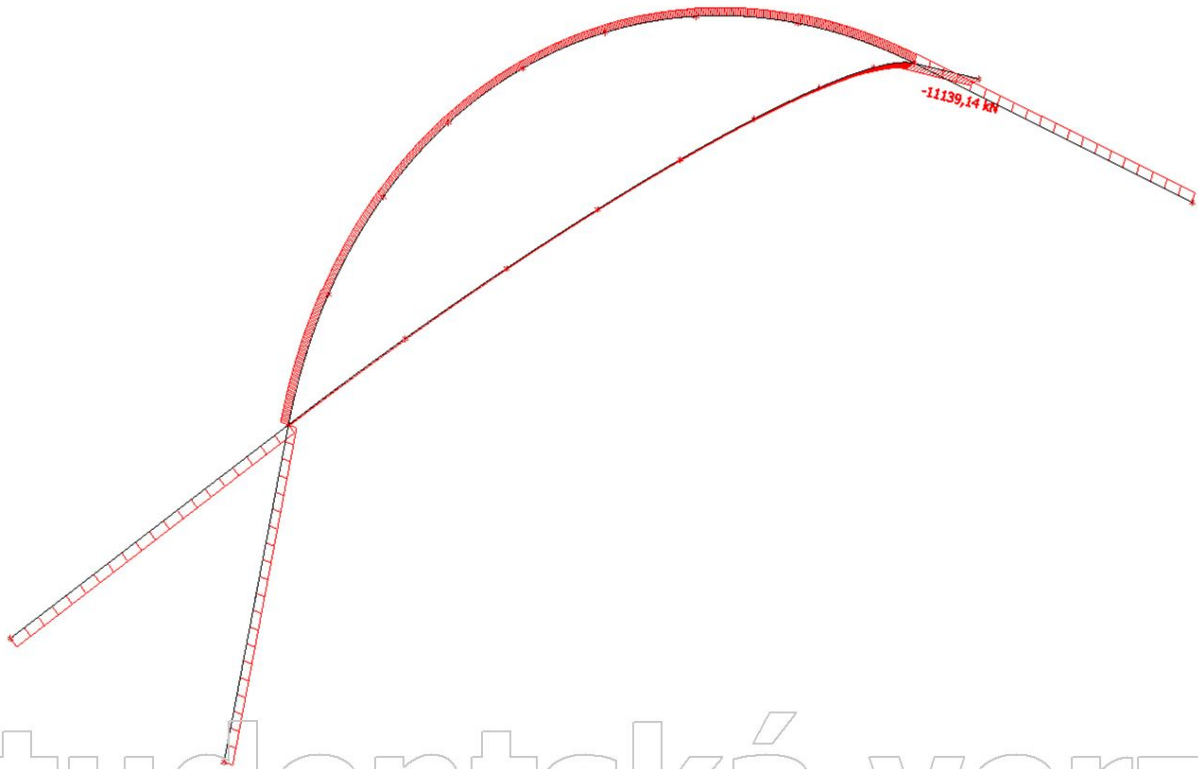
Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]
B5	0,000	S1/1	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-8238,38
B1	46,080-	S1/1	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-5477,35

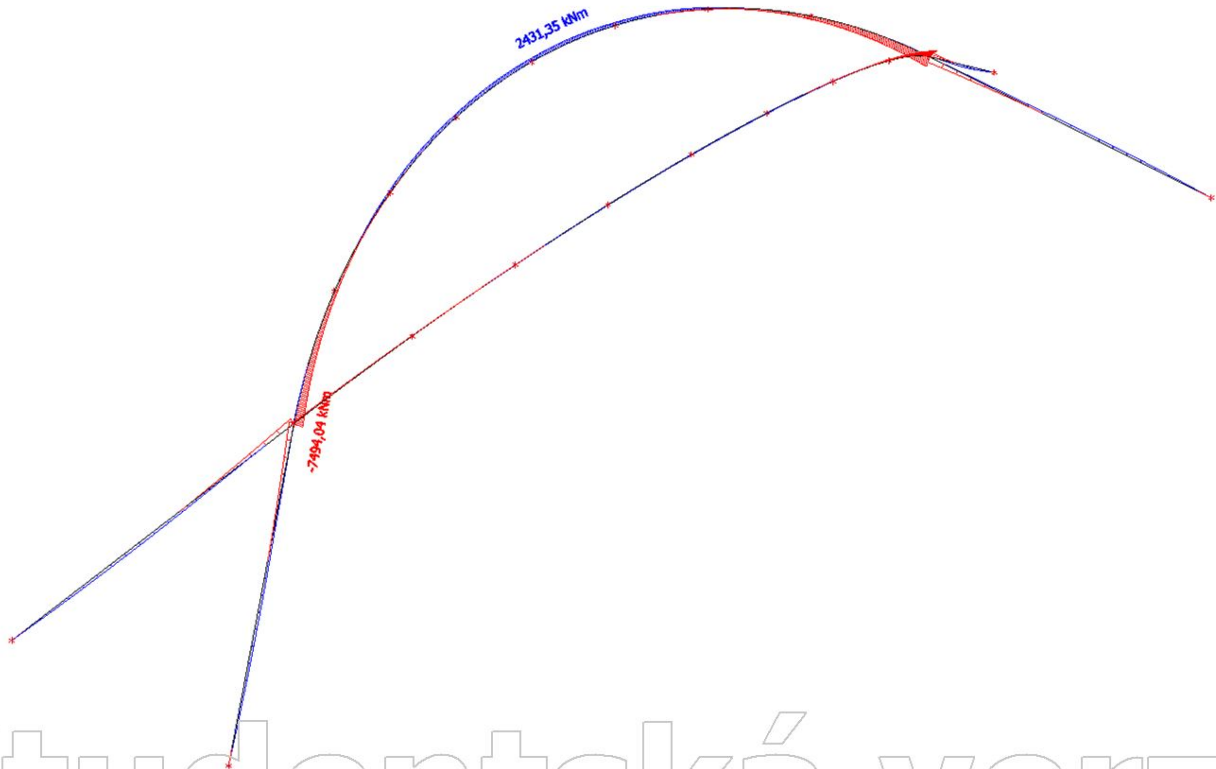
11.2. MSU normálová síla v oblouku



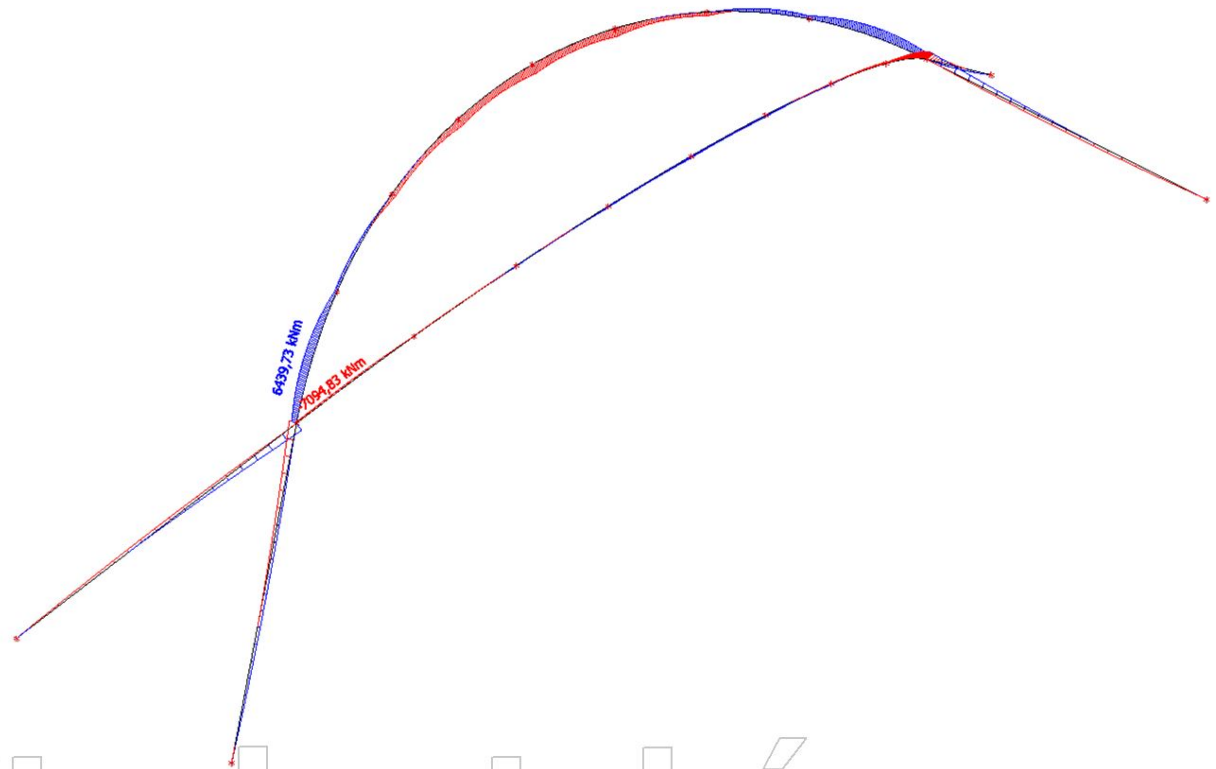
Nelineární výpočet
 Třída: Nelineární MSU
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtř: Průřez = Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)

Jméno	dx [m]	Stav	Průřez	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B5	0,000	Maximální svislé	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-11139,14	0,00	0,00
B4	46,080-	Vítr příčný - sání	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-2562,38	574,69	502,00
B1	92,161	Maximální svislé	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-9981,22	-7494,04	3950,25
B1	42,512-	Maximální svislé	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-7459,81	2431,35	-4765,53
B4	87,196-	Maximální svislé	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-9937,31	-4231,98	-7094,83
B1	86,600-	Maximální svislé	Oblouk Hranatý - O (1400; 60; 1400; 60)	-9919,58	-4974,06	6439,73

11.3. MSU moment M_y v oblouku



11.4. MSU moment M_z v oblouku



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIÓNU V
CHOMUTOVĚ

PŘÍLOHA B

VÝSTUPY ZE SOFTWARE LTBeamN

Bc. ŠIMON POVOLNÝ

PRAHA 2022

I - LTB CALCULATION

I.1 - LTB modes

Table 1 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	7,376	80,49	1,5	0	1,5

I.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 2 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	7,376	80,49	1,5	0	1,5

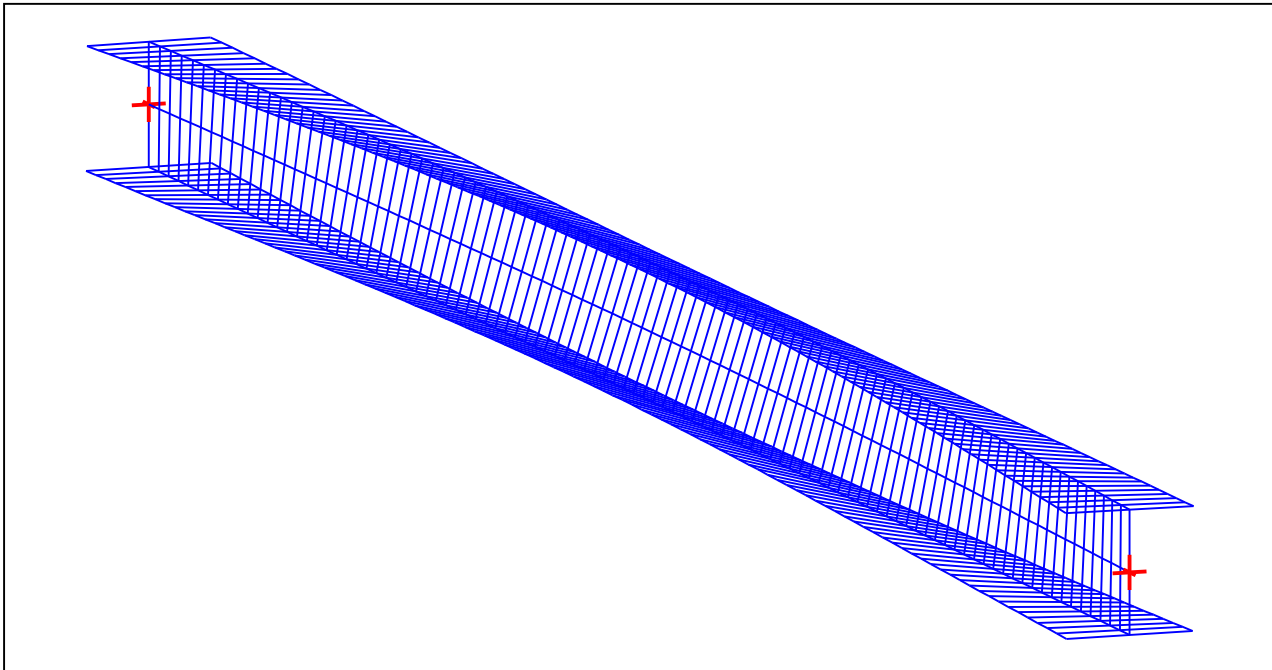


Figure 1 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - LTB CALCULATION

I.1 - LTB modes

Table 1 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,001	81,06	3	0	3

I.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 2 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,001	81,06	3	0	3

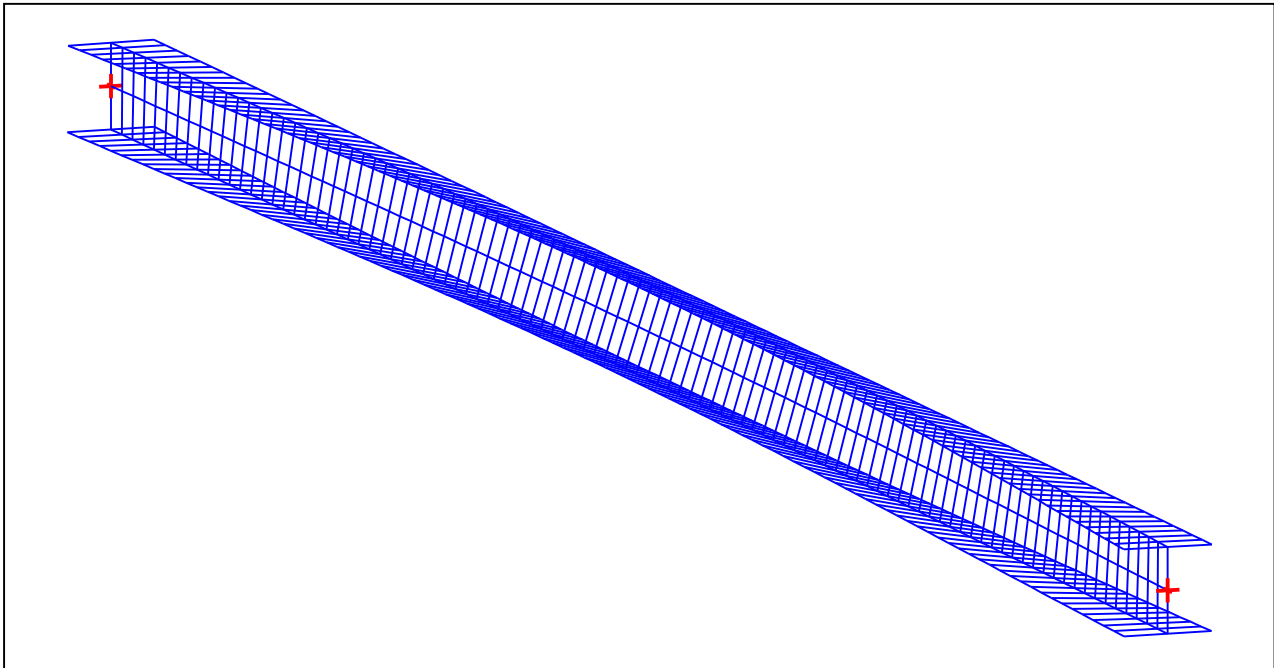


Figure 1 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - LTB CALCULATION

I.1 - LTB modes

Table 1 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	33,83	186,49	1,5	0	1,5

I.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 2 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	33,83	186,49	1,5	0	1,5

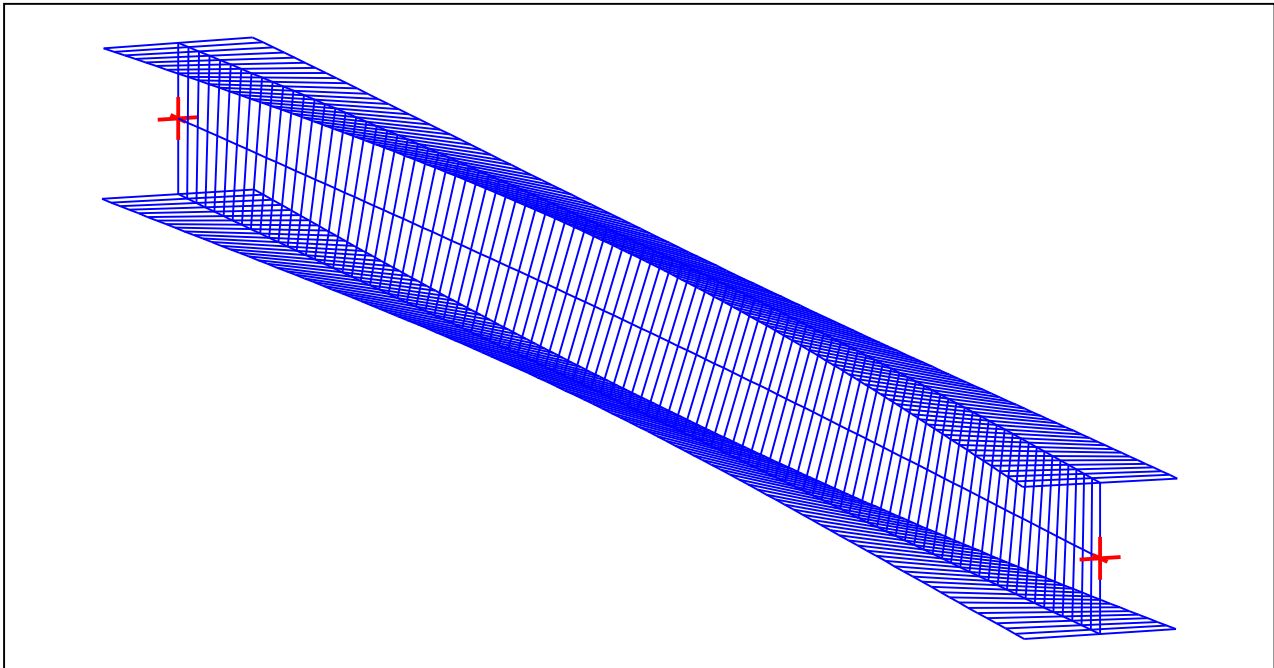


Figure 1 : Mode shape in 3D (Mode 1).

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIÓNU V
CHOMUTOVĚ

PŘÍLOHA C

TECHNICKÝ LIST TÁHEL MACALLOY

Bc. ŠIMON POVOLNÝ

PRAHA 2022

Systémy konstrukčních táhel Macalloy 520

Novinka

Od 40. let minulého století patří společnost Macalloy mezi přední firmy v oblasti návrhu, výroby a dodávek systémů táhel se závitů. Svým zákazníkům z různých oblastí trhu přináší zkušenosti, inovace a kvalitu.

Společnost Macalloy opět přichází s novinkou v podobě nového systému konstrukčních táhel s označením Macalloy 520. Jedná se o rozšíření stávajícího systému Macalloy 460 a nová táhla jsou k dispozici ve verzi z uhlíkaté oceli v rozměrech M10 až M100.

Koncovky byly zkonstruovány tak, aby odpovídaly zvýšené kapacitě systému umožňující přenesení přibližně o 13% vyšší zátěže při stejném průměru v porovnání se systémem Macalloy 460 a o 45% vyšší zátěže v porovnání s běžnější ocelí třídy S355.

Mechanické vlastnosti

Táhla Macalloy 520 se vyznačují následujícími mechanickými vlastnostmi:

mez kluzu	520 N/mm ²
mez pevnosti	660 N/mm ²
minimální tažnost	19%
min. hodnota vrub. houževnatosti	27J @-20°C
modul pružnosti	205 k N/mm ²

Schválení

Systém Macalloy 520 by měl být obecně používán v souladu s místními předpisy pro návrh ocelových konstrukcí. Systém byl rovněž prověřen zkouškami na univerzitě v německém Karlsruhe. Společnost Macalloy očekává, že německá i evropská homologace bude k dispozici v průběhu roku 2007.

Ochrana proti korozi

Podobně jako v případě systému Macalloy 460 je ochrana proti korozi zajištěna žárovou galvanizací podle BS EN ISO 1461:1999. Pokud je vyžadováno estetické řešení, je společnost Macalloy schopna zajistit také nátěrovou ochranu. Více informací je možno nalézt v brožuře Systém konstrukčních táhel Macalloy.

Napínání

Napínání může být stále prováděno za použití zařízení Macalloy TechnoTensioner. Veškeré detaily jsou opět k dispozici v brožuře Systém konstrukčních táhel Macalloy.



Metro Střížkov, Praha

Závit	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
Min. mez kluzu	kN	28	41	77	122	176	284	411	566	746	1030	1360	1985	2531	2862	3585
Min. mez pevnosti	kN	35	52	98	155	223	360	522	719	946	1308	1727	2520	3212	3633	4551
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

ZKUŠENOSTI

INOVACE

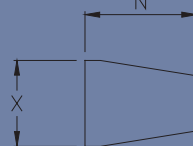
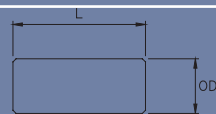
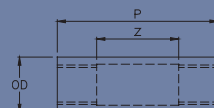
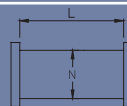
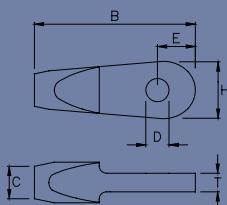
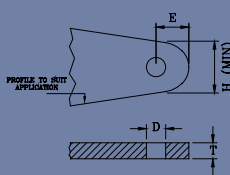
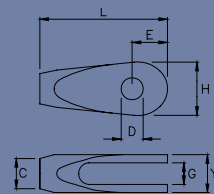
KVALITA


Systemy konstrukčních táhel Macalloy 520

Novinka

Rozměrové parametry systému táhel Macalloy 520

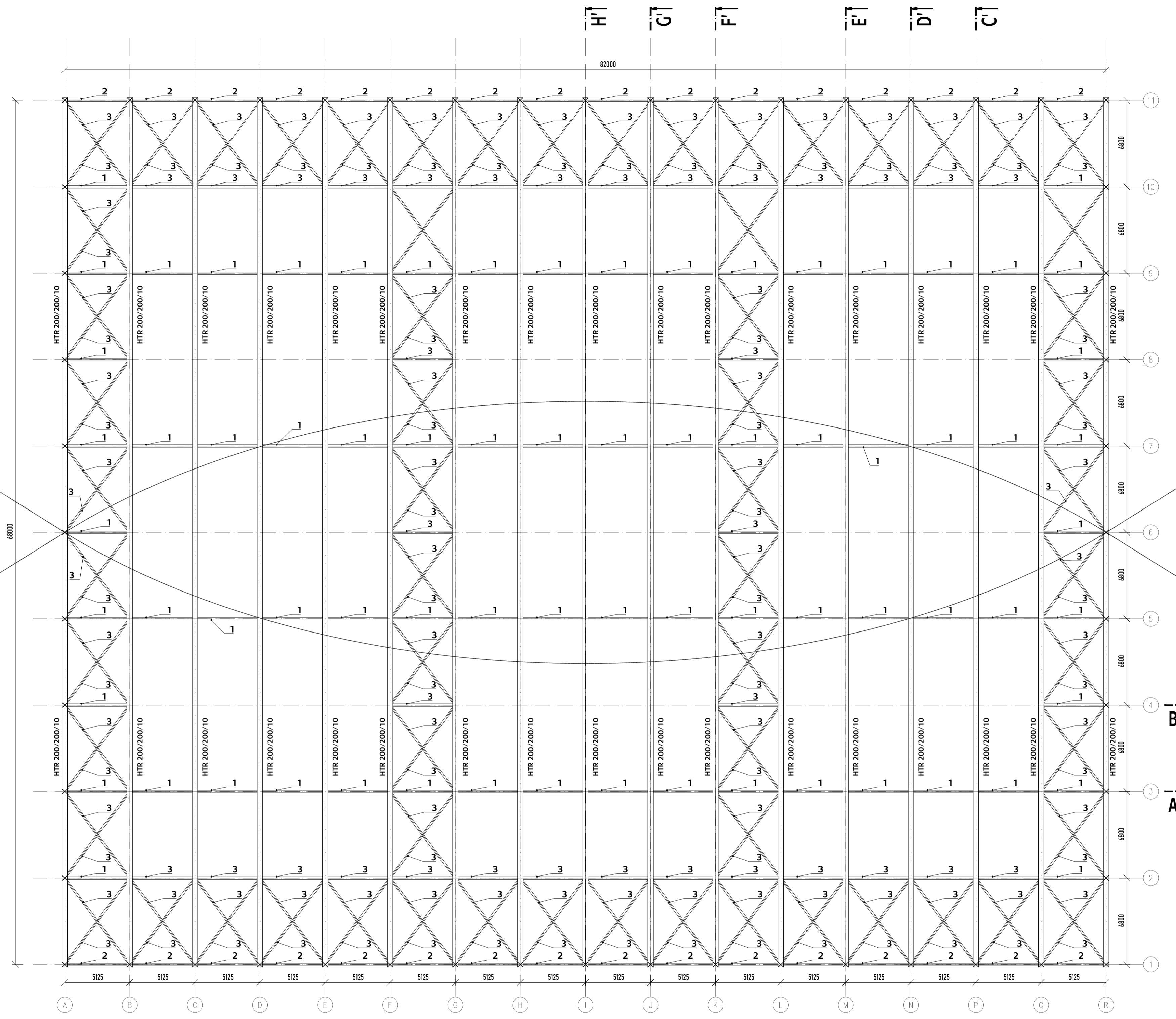
Závit	Jednotky	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Koncovka	Ref.	FA10	FA12	FA16	FA20	FA24	FA30	FA36	FA42	FA48	FA56	FA64	FA76	FA85	FA90	FA100
L	mm	63	75	99	122	148	178	204	232	266	314	348	410	459	489	555
G (min.)	mm	11	12	15	19	24	26	34	39	44	49	59	76	78	86	91
C Dia.	mm	17	19	25	29	35	44	52	60	69	80	91	108	121	129	143
D Dia.	mm	11.5	13	17	21.4	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	29	34	42	53	61	70	81	97	111	132	153	162	188
Y	mm	20	22	28	37	44	50	64	75	87	97	115	146	154	169	174
H	mm	30	34	45	53	64	81	94	109	123	147	169	201	236	248	289
Styčníkový plech *	GPA10	GPA12	GPA16	GPA20	GPA24	GPA30	GPA36	GPA42	GPA48	GPA56	GPA64	GPA76	GPA85	GPA90	GPA100	
T (tl. mat.)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	29	34	42	53	62	71	81	97	111	132	153	162	189
H (min)	mm	30	34	45	53	63	81	95	109	123	147	169	201	236	248	289
* Standardní plech S355 nebo ekvivalent																
Koncovka	SA10	SA12	SA16	SA20	SA24	SA30	SA36	SA42	SA48	SA56	SA64	SA76	SA85	SA90	SA100	
B	mm	78	92	118	147	174	213	249	284	321	364	408	471	524	555	625
T (min.)	mm	8	9	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	72	80	85
C Dia.	mm	17	19	25	29	35	43	52	60	68	80	91	108	121	129	143
D Dia.	mm	11.5	13	17.5	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	29	34	42	53	62	71	81	97	111	132	153	162	189
H	mm	30	34	45	53	63	81	95	109	123	147	169	201	236	248	289
Čep	PA10	PA12	PA16	PA20	PA24	PA30	PA36	PA42	PA48	PA56	PA64	PA76	PA85	PA90	PA100	
P Dia.	mm	10.5	12	16	20	24	29	35	41	47	55	63	76	90	93	108
M	mm	22	24	30	39	46	52	66	78	91	100	120	151	155	175	180
Napínák	TA10	TA12	TA16	TA20	TA24	TA30	TA36	TA42	TA48	TA56	TA64	TA76	TA85	TA90	TA100	
O/D	mm	17	19	25	29	35	43	52	60	68	80	91	108	121	129	143
Z	mm	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P	mm	74	78	86	90	98	160	172	184	196	212	228	252	270	280	300
Spojka	CA10	CA12	CA16	CA20	CA24	CA30	CA36	CA42	CA48	CA56	CA64	CA76	CA85	CA90	CA100	
O/D	mm	17	19	25	29	35	43	52	60	68	80	91	108	121	129	143
L	mm	25	29	37	45	53	65	77	89	101	117	133	157	175	185	205
Nerezová krytka	LC10	LC12	LC16	LC20	LC24	LC30	LC36	LC42	LC48	LC56	LC64	LC76	LC85	LC90	LC100	
X Dia.	mm	16	18	24	28	34	42	51	59	67	79	90	107	120	128	142
N	mm	29	31	37	43	74	105	111	117	123	136	144	156	165	170	180



OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE							
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný								
VEDOUcí PRÁCE	ROČNÍK									
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.									
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE			<table border="1"> <tr> <td>FORMÁT VÝKRESŮ</td> <td>A1, A3</td> </tr> <tr> <td>DATUM</td> <td>01/2022</td> </tr> <tr> <td>AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE</td> <td>POČET VÝKRESŮ</td> <td>17</td> </tr> </table>	FORMÁT VÝKRESŮ	A1, A3	DATUM	01/2022	AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE	POČET VÝKRESŮ	17
FORMÁT VÝKRESŮ	A1, A3									
DATUM	01/2022									
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE	POČET VÝKRESŮ	17								

SEZNAM VÝKRESŮ:

- 1.01 - vykreslení prvků v úrovni spodního pásu
- 1.02 - vykreslení prvků v úrovni horního pásu
- 1.03 - výkres předepnutých táhel a předpínacích sil
- 1.04 - řezy A-A', B-B'
- 1.05 - řez C-C'
- 1.06 - řez D-D'
- 1.07 - řez E-E'
- 1.08 - řez F-F'
- 1.09 - řez G-G'
- 1.10 - řez H-H'
- 1.11 - pohled J - podélný pohled
- 1.12 - pohled K - čelní pohled
- 1.13 - detail 1
- 1.14 - detail 2
- 1.15 - detail 3
- 1.16 - stavebně technický detail 1
- 1.17 - stavebně technický detail 2



- LEGENDA PROFILŮ:**
- 1- VNITŘNÍ PÁS ZTUŽIDLA - TR168,3/8 - S355
 - 2- PODÉLNÉ ZTUŽIDLO - TR127/4 - S355
 - 3- SPODNÍ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO - TR 168,3/5 - S355

- MATERIÁLY PŘÍMO POPSANÝCH PROFILŮ:**
- HTR 200/200/10 - S355
 - SVAŘOVANÝ PROFIL 1400/1400/60 - S235

POZNÁMKY K ŘEZŮM:

KONSTRUKCE JE SYMETRICKÁ, PROTO JSOU ČASTO DVĚ VAZBY V KONSTRUKCI STEJNÉ. VAZBY BEZ PŘIPOJENÝCH TAHEL JSOU STEJNÉ VŠECHNY KROMĚ PROSTŘEDNÍCH DVOU, KTERÉ JSOU ZHUŠTĚNÉ KVŮLI ZAVĚŠENÍ MULTIMEDIÁLNÍ KOSTKY.

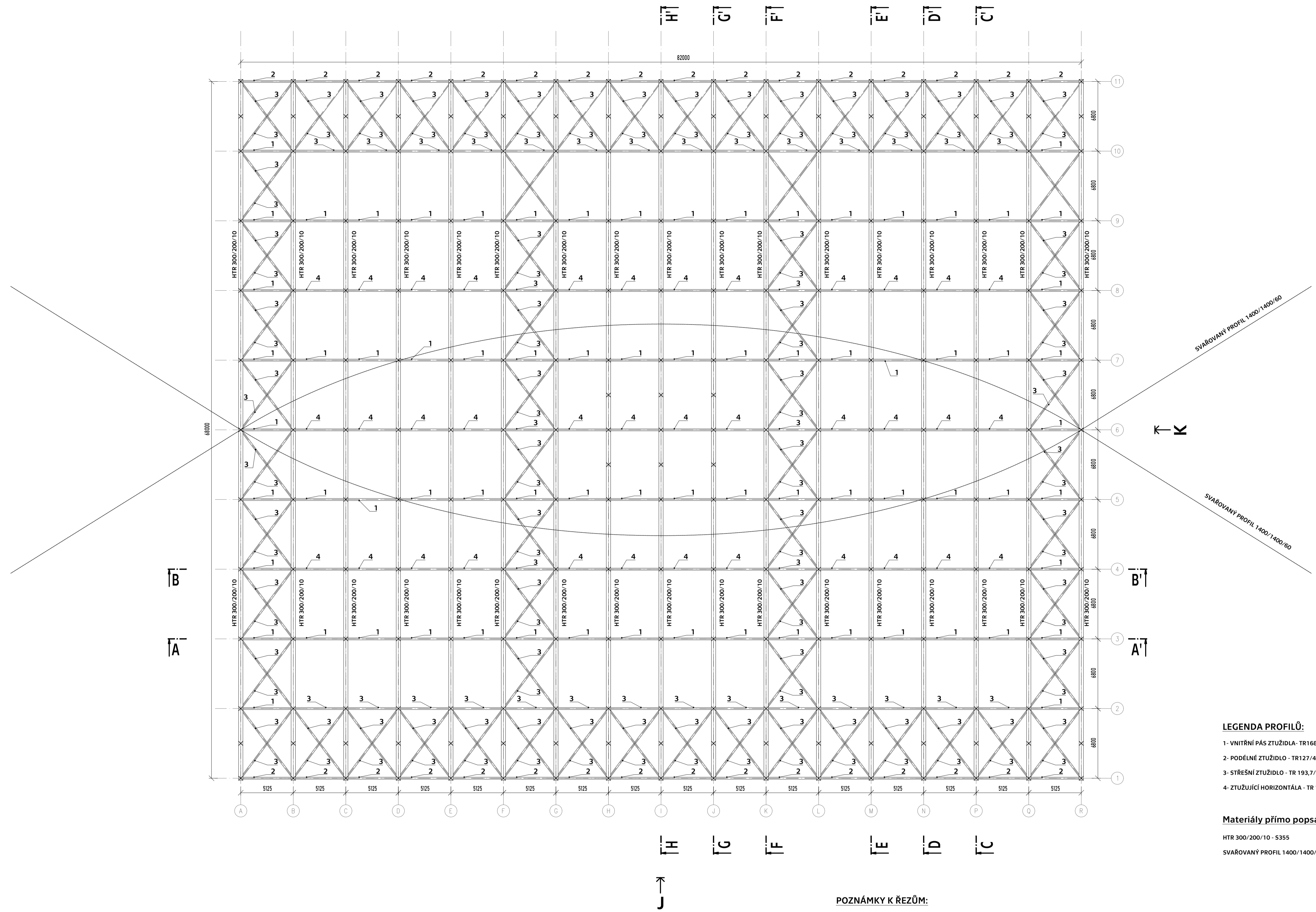
SHODNÉ OSY A KDE JSOU ZOBRAZENY:

- OSY A & R - POHLED K
- OSY B, D, F, L, N & Q - ŘEZ D-D'
- OSY C & P - ŘEZ C-C'
- OSY E & M - ŘEZ E-E'
- OSY G & K - ŘEZ F-F'
- OSY H & J - ŘEZ G-G'
- OSA I - PROSTŘEDNÍ, NEMÁ SYMETRICKOU DVOJICI - ŘEZ H-H'

Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	2.
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE		
NÁZEV VÝKRESU		
VYKRESLENÍ PRVKŮ V ÚROVNI SPODNÍHO PÁSU		
FORMÁT	A1	
MĚŘÍTKO	1:200	
DATUM	01/2022	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.01





LEGENDA PROFILŮ:

- 1- VNITŘNÍ PÁS ZTUŽIDLA - TR168,3/8 - S355
- 2- PODÉLNÉ ZTUŽIDLO - TR127/4 - S355
- 3- STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO - TR 193,7/6 - S355
- 4- ZTUŽUJÍCÍ HORIZONTÁLA - TR 133/5 - S355

Materiály přímo popsaných profilů:

- HTR 300/200/10 - S355
- SVAŘOVANÝ PROFIL 1400/1400/60 - S235

POZNÁMKY K ŘEZŮM:

KONSTRUKCE JE SYMETRICKÁ, PROTO JSOU ČASTO DVĚ VAZBY V KONSTRUKCI STEJNĚ. VAZBY BEZ PŘIPOJENÝCH TÁHEL JSOU STEJNĚ VŠECHNY KROMĚ PROSTŘEDNÍCH DVŮ, KTERÉ JSOU ZHUŠTĚNÉ KVŮLI ZAVĚŠENÍ MULTIMEDIÁLNÍ KOSTKY.

SHODNÉ OSY A KDE JSOU ZOBRAZENY:

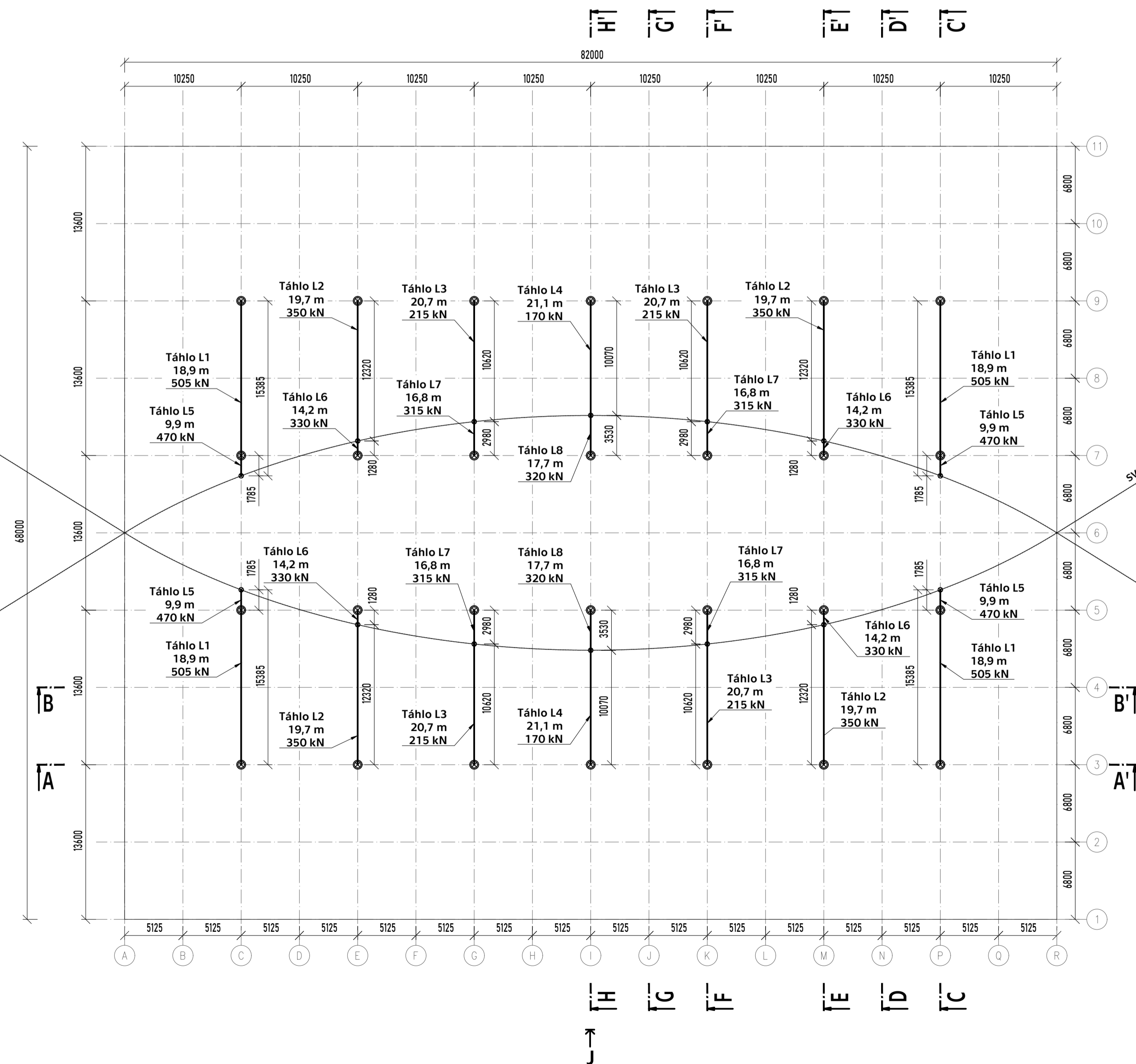
- OSY A & R - POHLED K
- OSY B, D, F, L, N & Q - ŘEZ D-D'
- OSY C & P - ŘEZ C-C'
- OSY E & M - ŘEZ E-E'
- OSY G & K - ŘEZ F-F'
- OSY H & J - ŘEZ G-G'
- OSA I - PROSTŘEDNÍ, NEMÁ SYMETRICKOU DVOJICI - ŘEZ H-H'

Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

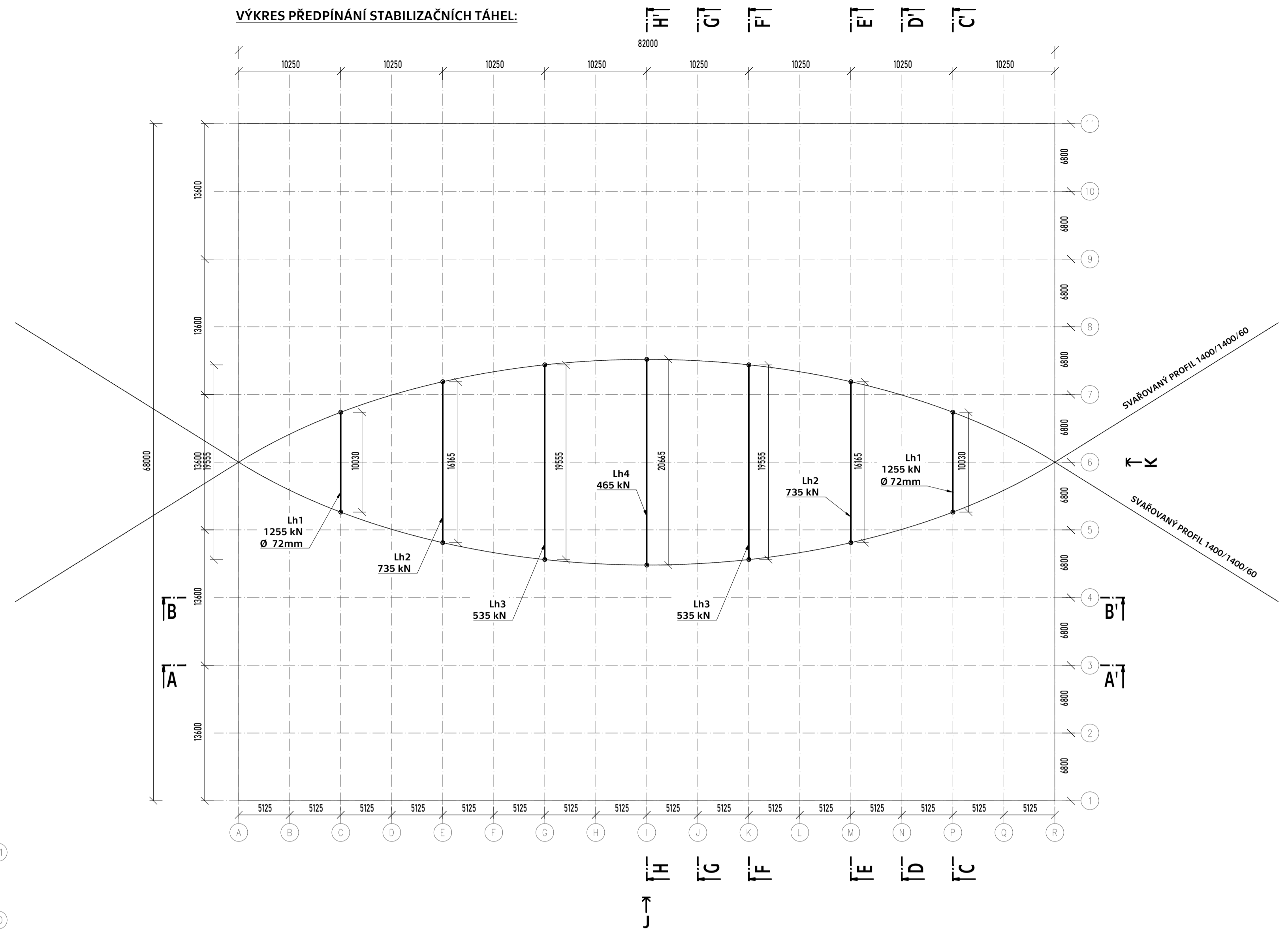
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	2.
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE		
NÁZEV VÝKRESU		
VYKRESLENÍ PRVKŮ V ÚROVNI HORNÍHO PÁSU		
FORMÁT	A1	
MĚŘÍTKO	1:200	
DATUM	01/2022	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.02



VÝKRES PŘEDPÍNÁNÍ VYNÁŠECÍCH TÁHEL:



VÝKRES PŘEDPÍNÁNÍ STABILIZAČNÍCH TÁHEL:



LEGENDA SYMBOLŮ:

- MÍSTO UCHYCENÍ LAN K NOSNÉMU OBLUKU
- ⊗ MÍSTO UCHYCENÍ LAN K PŘÍHRADOVÝM VAZNÍKŮM

OZNAČENÍ TÁHLA

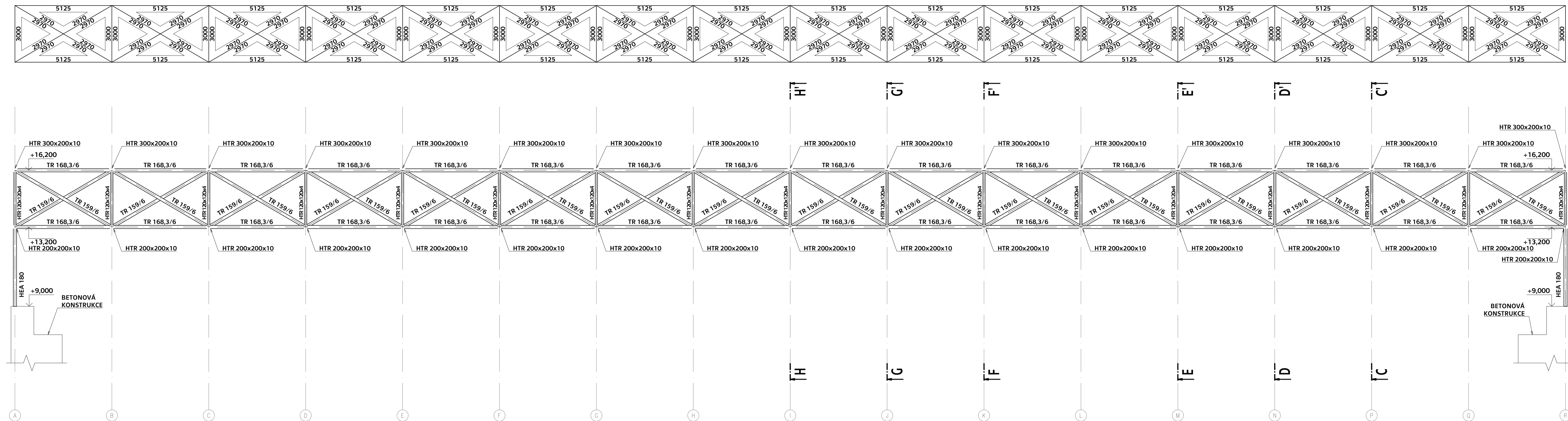
POZNÁMKY:

- VŠECHNA LANA MAJÍ PRŮMĚR 52 mm, POKUD NENÍ UVEDENO JINAK
- LANA JSOU PROVEDENA Z OCELI S MEZÍ KLIZU 520 MPa
- LANA JSOU DETAILNĚJI POPSÁNA V KATALOGU VÝROBCE Macalloy

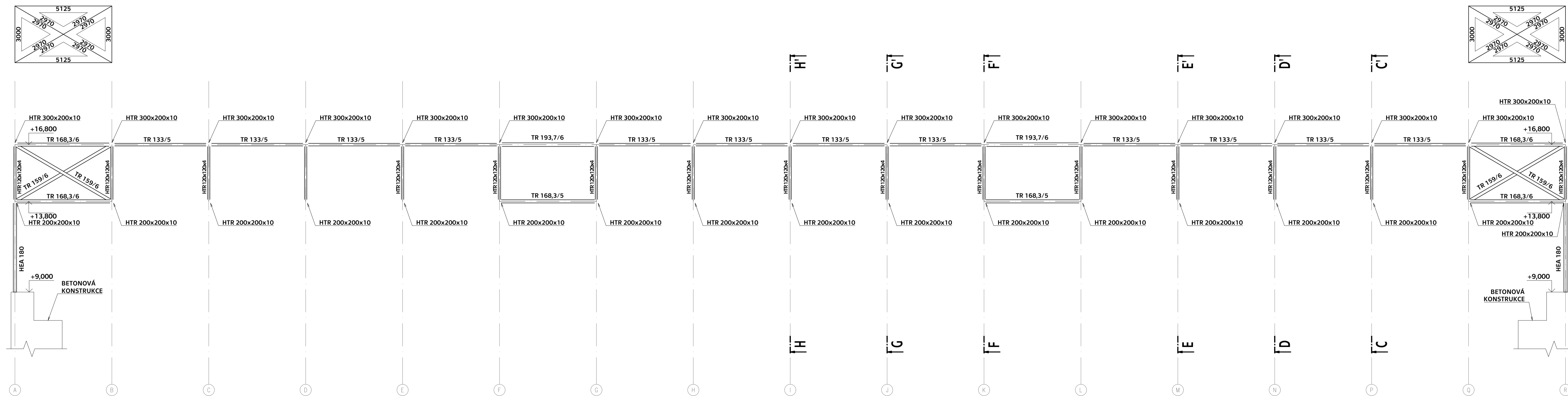
Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluzu 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

OBOR Konstrukce pozemních staveb	KATEDRA K134	JMÉNO STUDENTA Bc. Šimon Povolný	
VEDOUČÍ PRÁCE doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	ROČNÍK 2.		
NÁZEV VÝKRESU VÝKRES PŘEDEPNUTÝCH TÁHEL A PŘEDPÍNACÍCH SIL			FORMÁT A1
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE			MĚŘÍTKO 1:300
			DATUM 01/2022
			ČÍSLO VÝKRESU 1.03

ŘEZ A-A' - osa 3
M 1:100



ŘEZ B-B' - osa 4
M 1:100



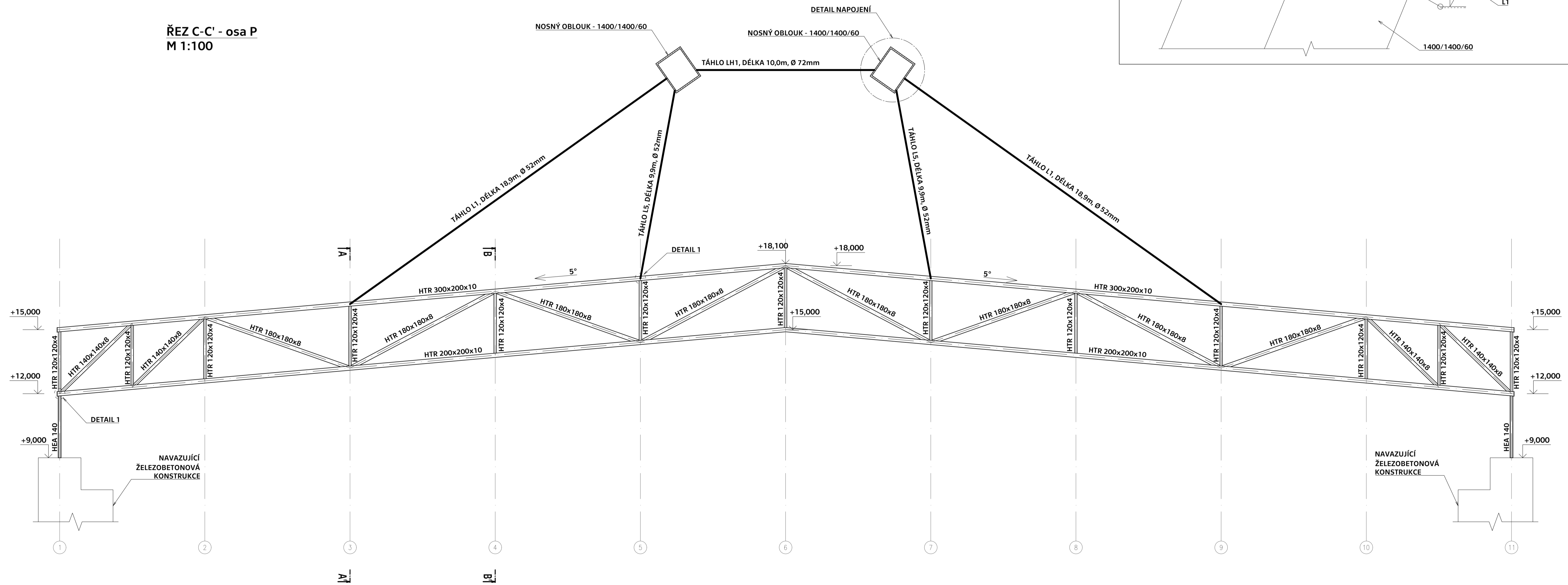
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	2.
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE		
NÁZEV VÝKRESU	ŘEZY A-A', B-B'	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.04

Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

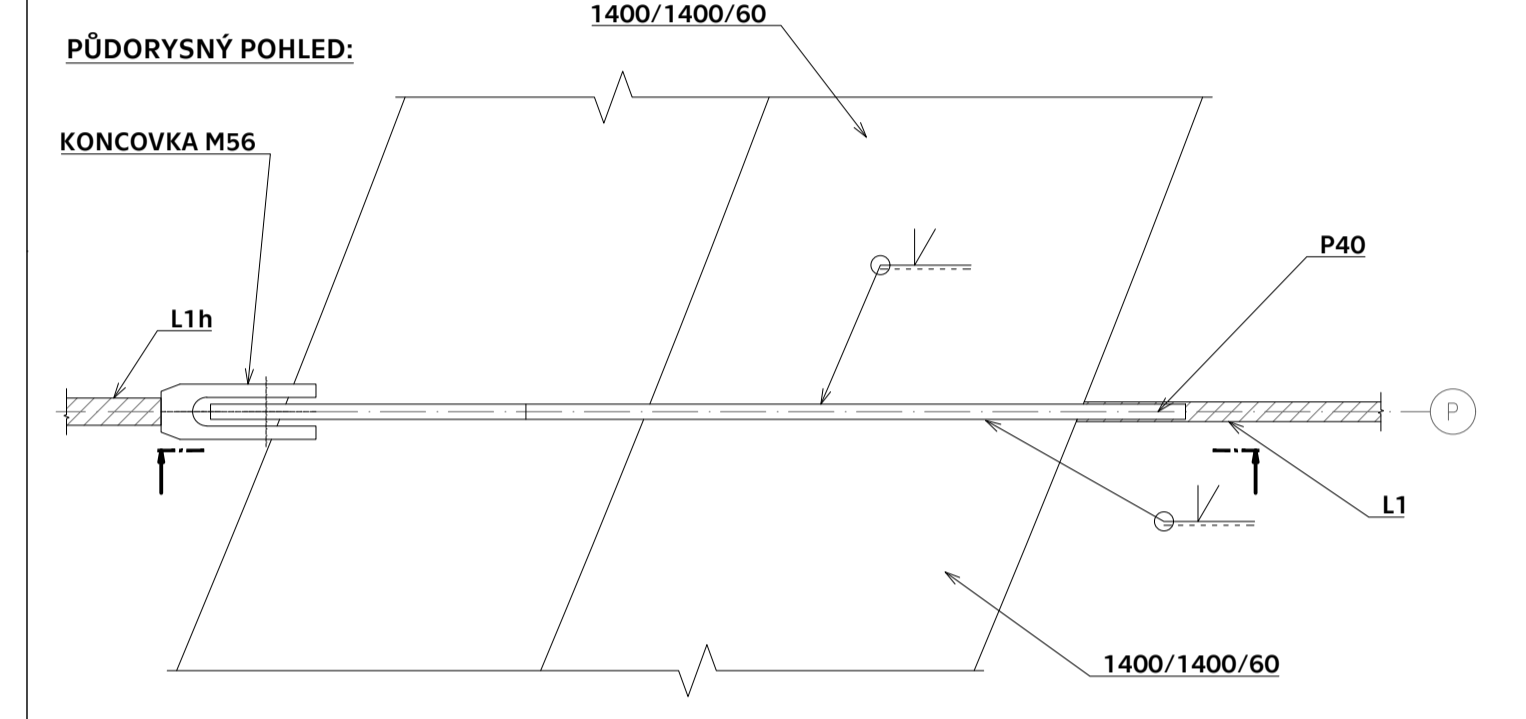
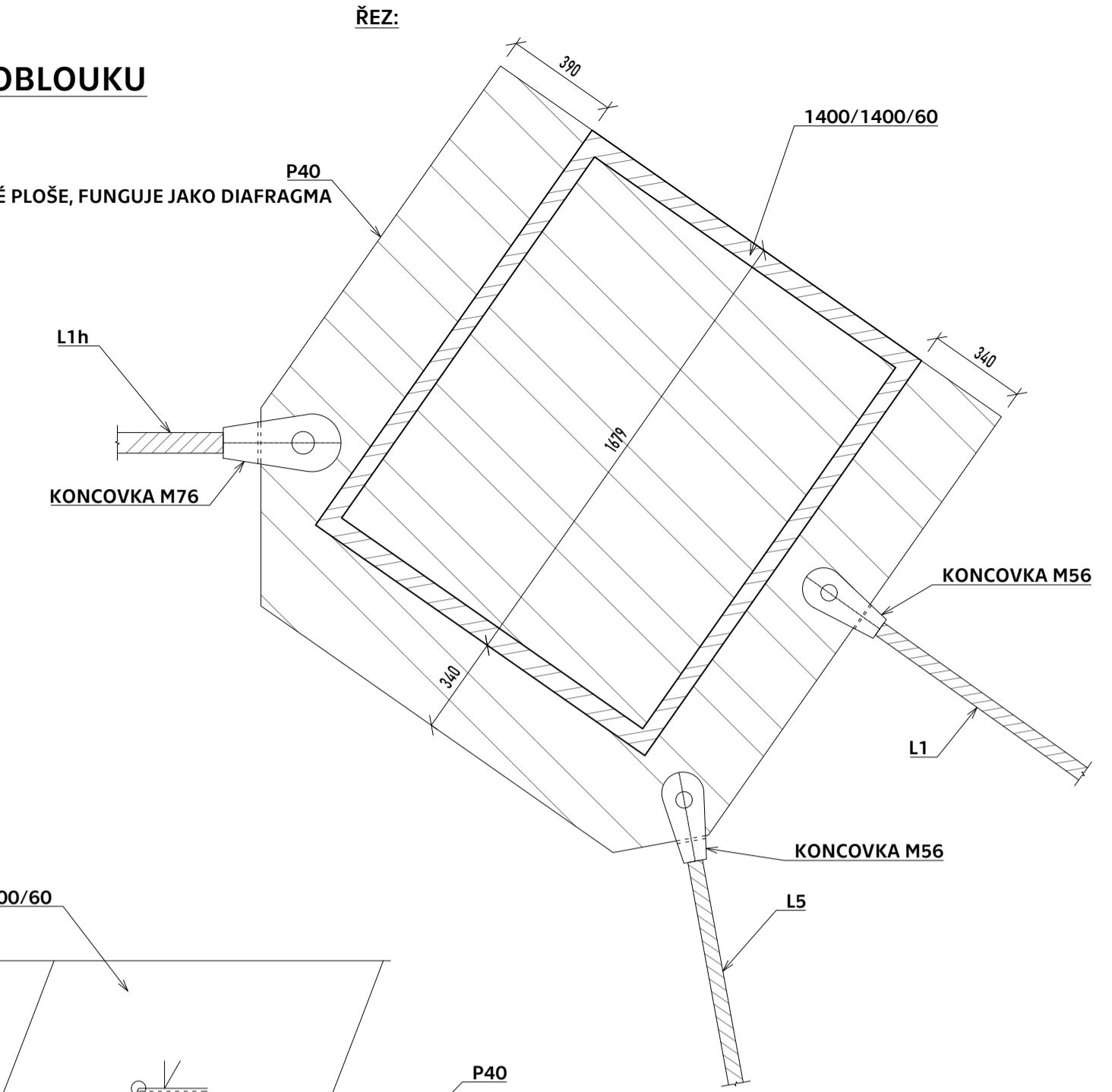
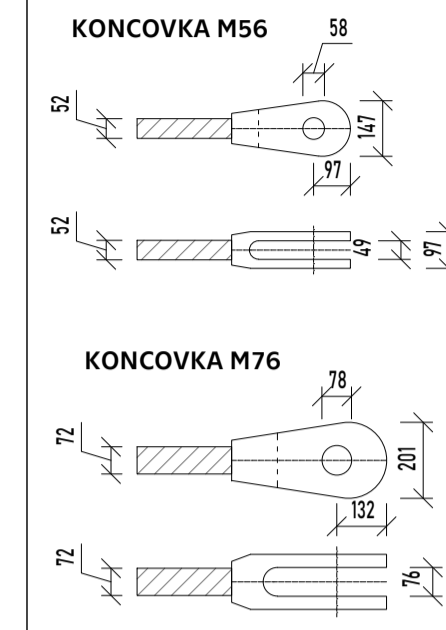


FORMÁT	A1
MĚŘÍTKO	1:100
DATUM	01/2022

ŘEZ C-C' - osa P
M 1:100



DETAIL NAPOJENÍ TÁHEL A OBLOUKU
M 1:20



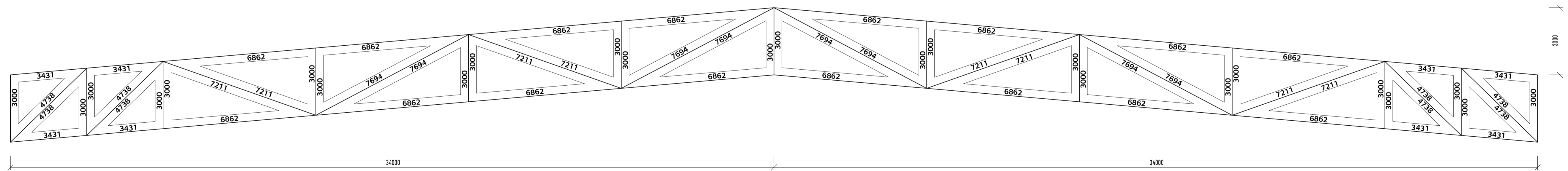
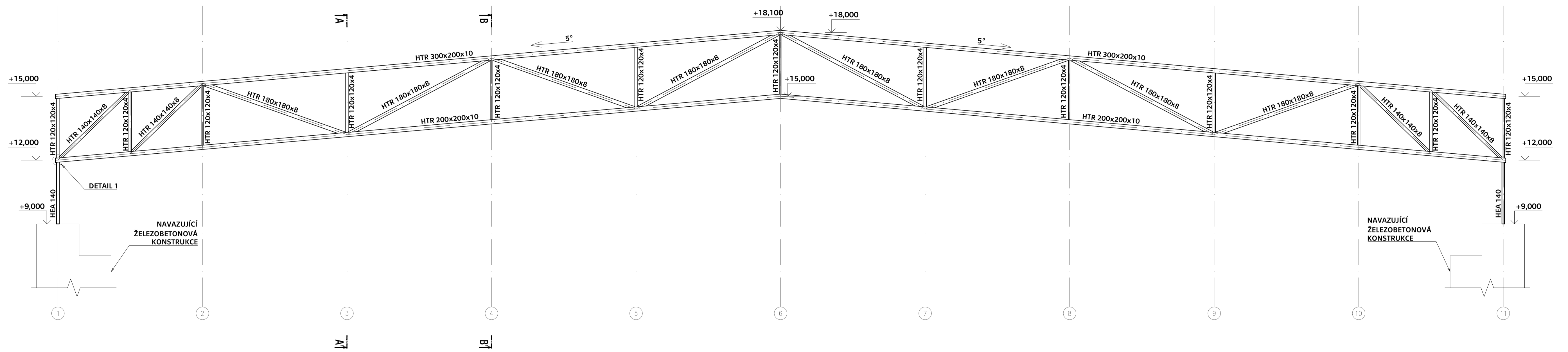
POZNÁMKA:
PŘESNÉ ROZMĚRY PLECHU A SVARŮ BUDOU
SPECIFIKOVÁNY DÍLENSKOU DOKUMENTACÍ

Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
tábla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU		
ŘEZ C-C'		
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE		
FORMÁT	A1	
MĚŘÍTKO	1:100, 1:20	
DATUM	01/2022	
ČÍSLO VÝKRESU	1.05	



ŘEZ D-D' - osa N

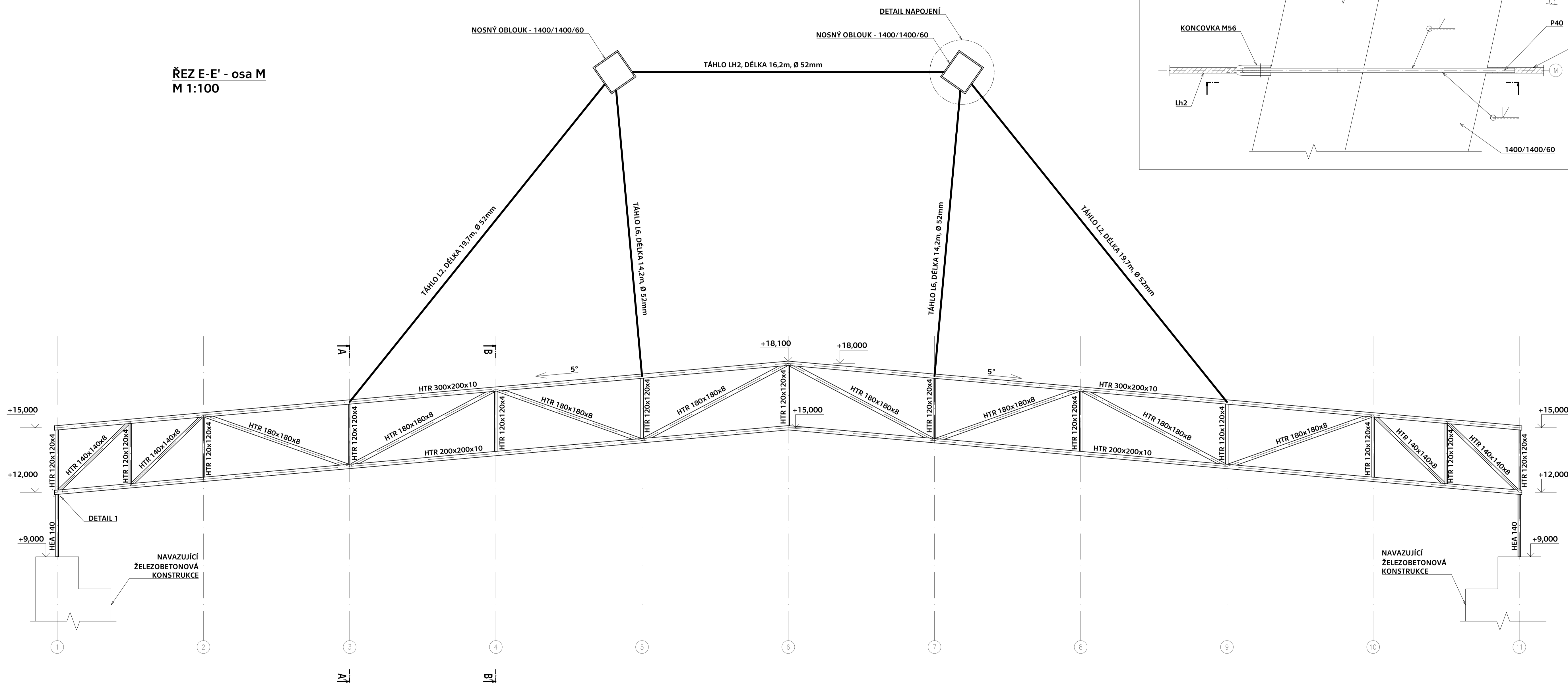


Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

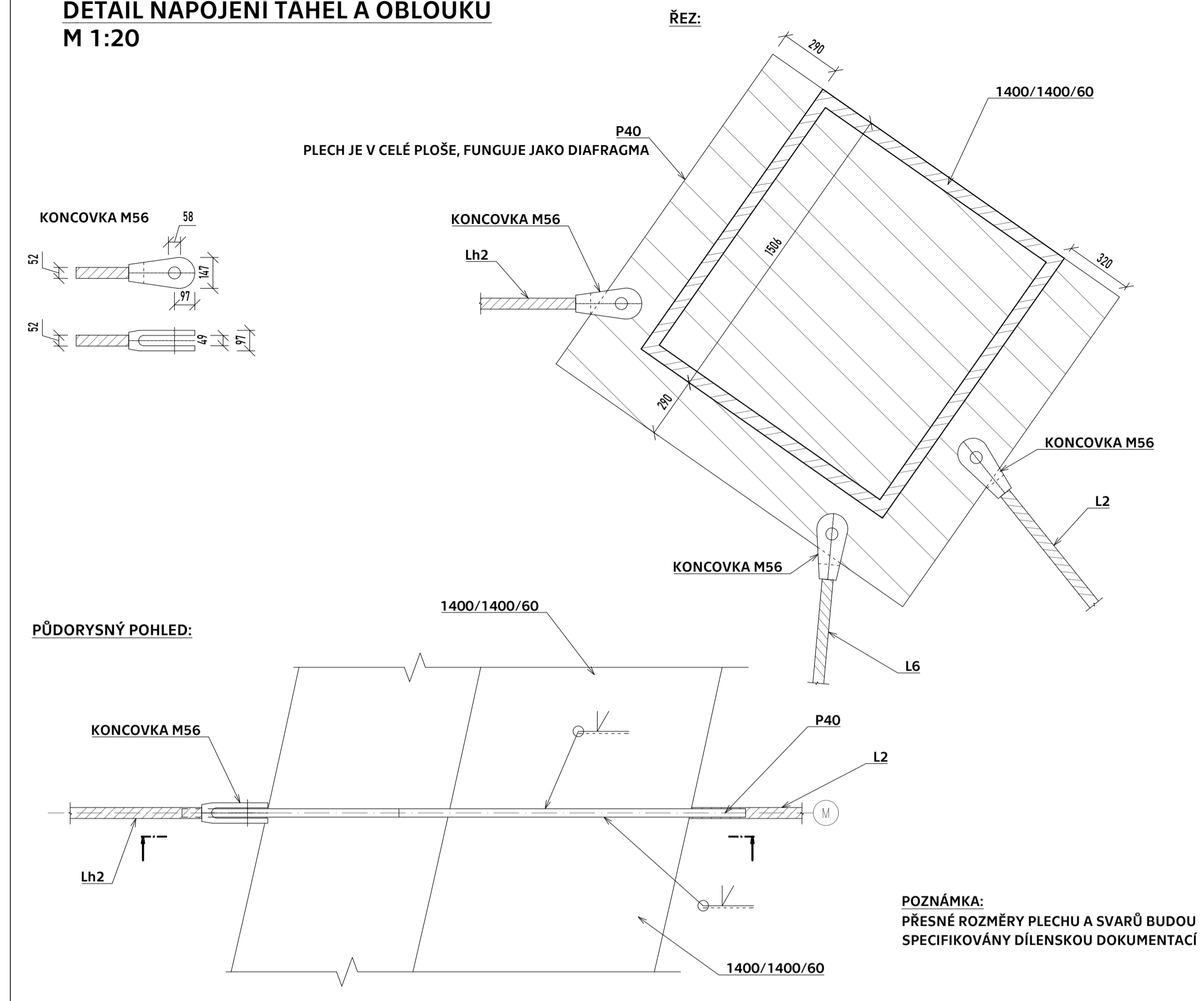
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU		
ŘEZ D-D'		
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.06
	FORMÁT	A1
	MĚŘÍTKO	1:100
	DATUM	01/2022



ŘEZ E-E' - osa M
M 1:100




DETAIL NAPOJENÍ TÁHEL A OBLUKU
M 1:20



Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

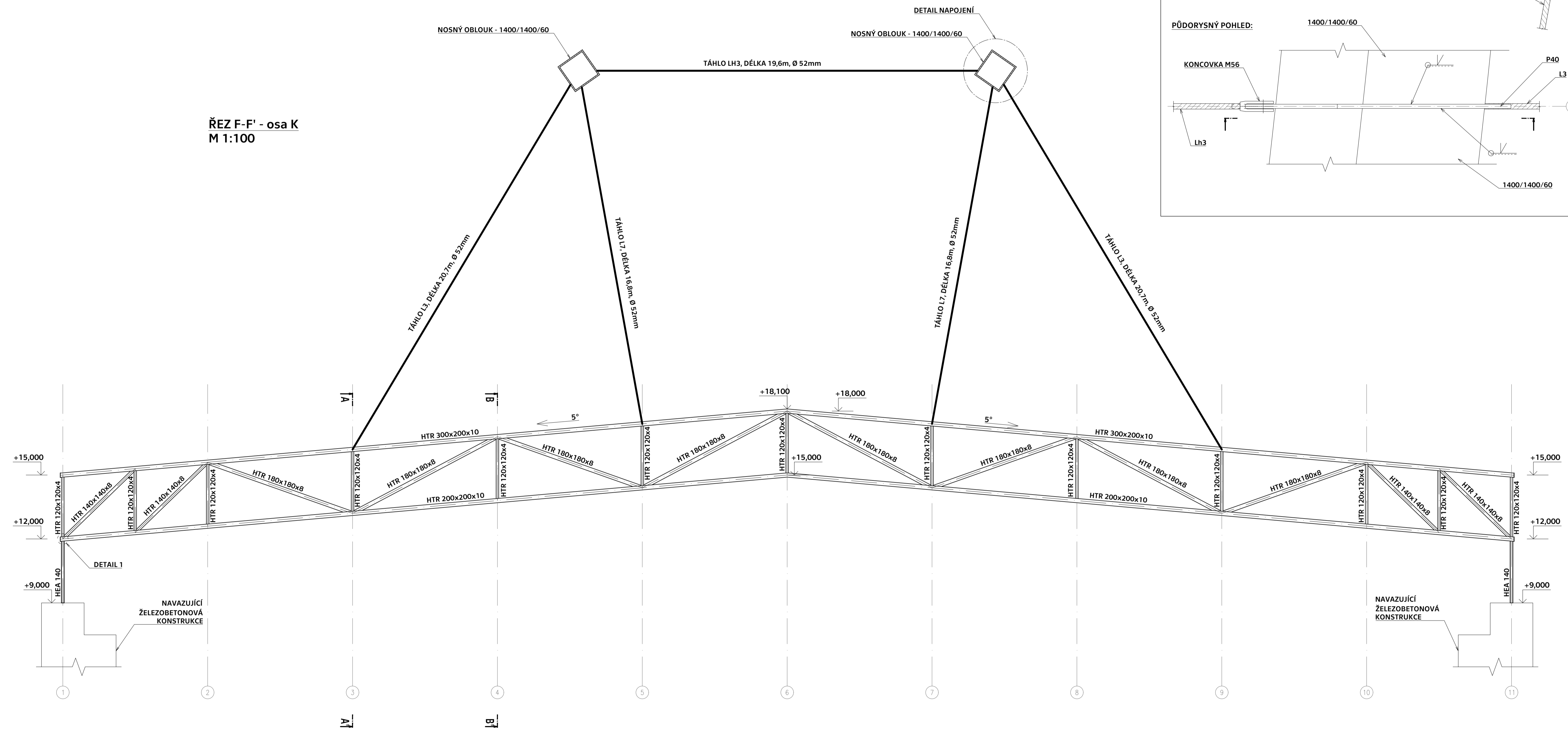
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU		
ŘEZ E-E'		
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.07



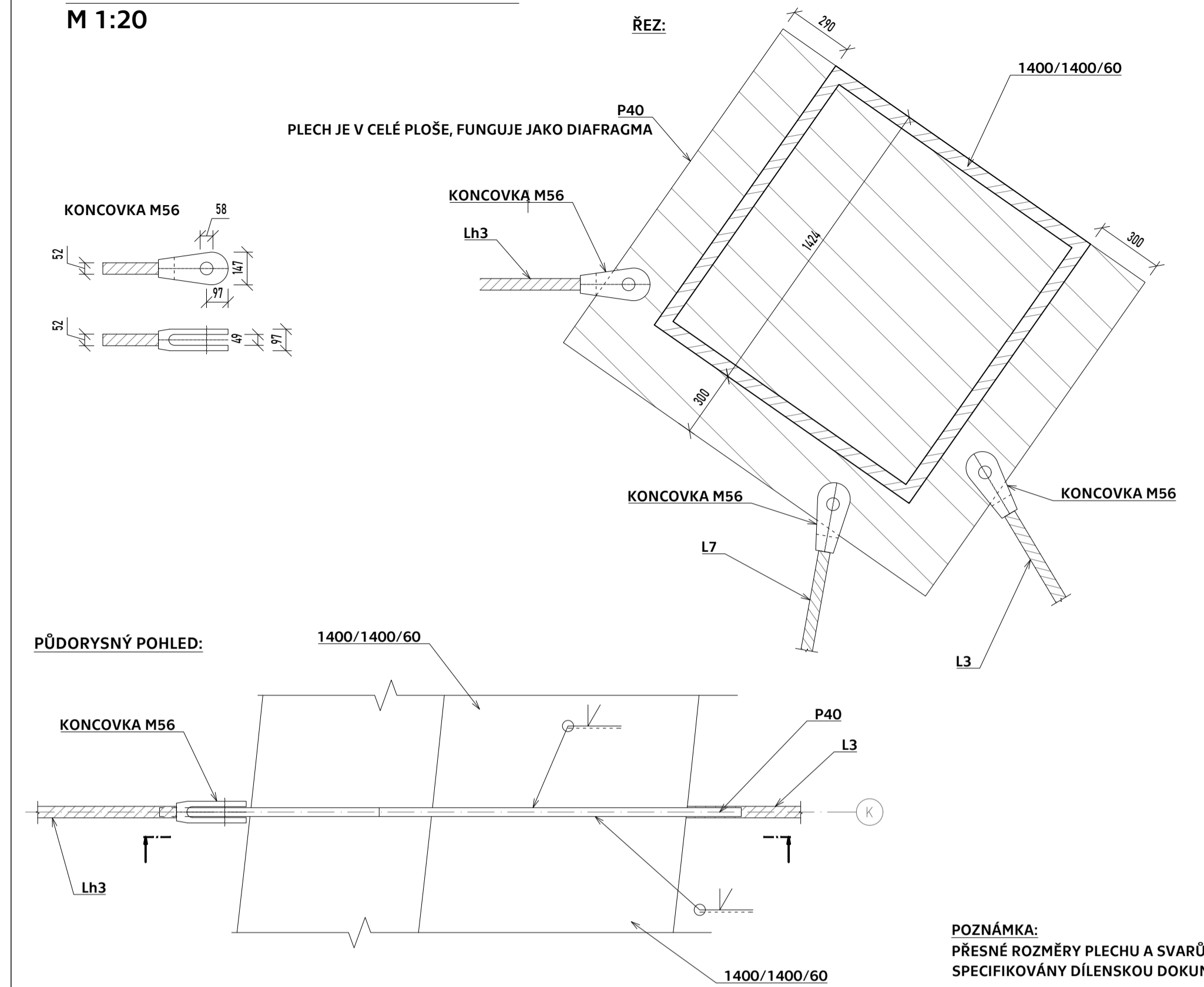
**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

FORMÁT	A1
MĚŘÍTKO	1:100, 1:20
DATUM	01/2022

ŘEZ F-F' - osa K
M 1:100




DETAIL NAPOJENÍ TÁHEL A OBLOKU
M 1:20

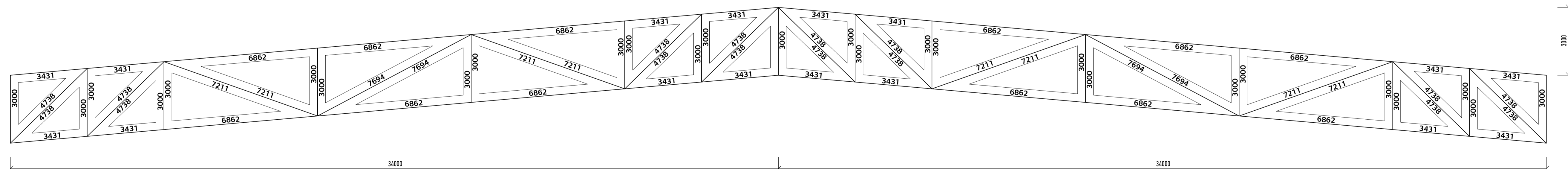
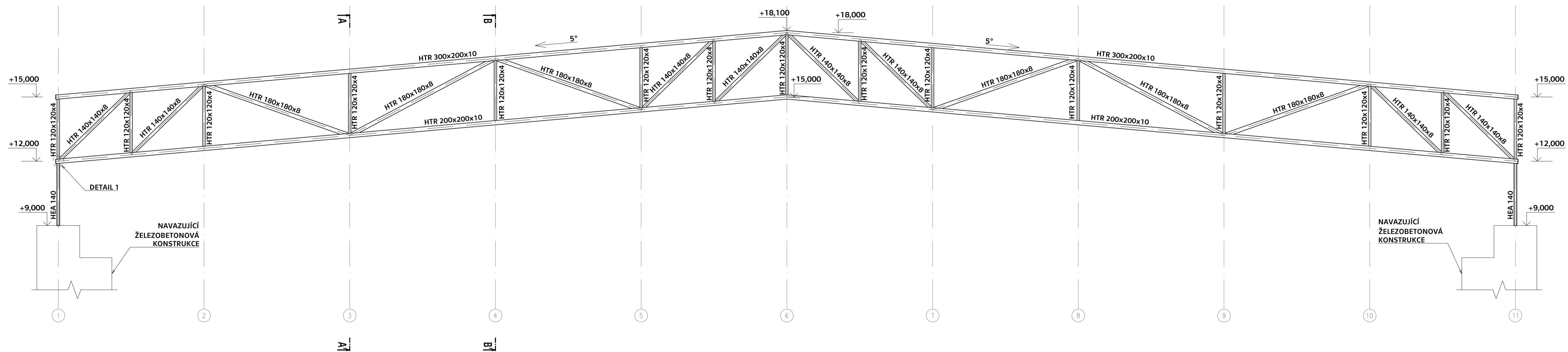


POZNÁMKA:
PŘESNÉ ROZMĚRY PLECHU A SVARŮ BUDOU
SPECIFIKOVÁNY DÍLENSKOU DOKUMENTACÍ

Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	2.
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE		
NÁZEV VÝKRESU	ŘEZ F-F'	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.08
FORMÁT	A1	
MĚŘÍTKO	1:100, 1:20	
DATUM	01/2022	
 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE		

ŘEZ G-G' - osa J



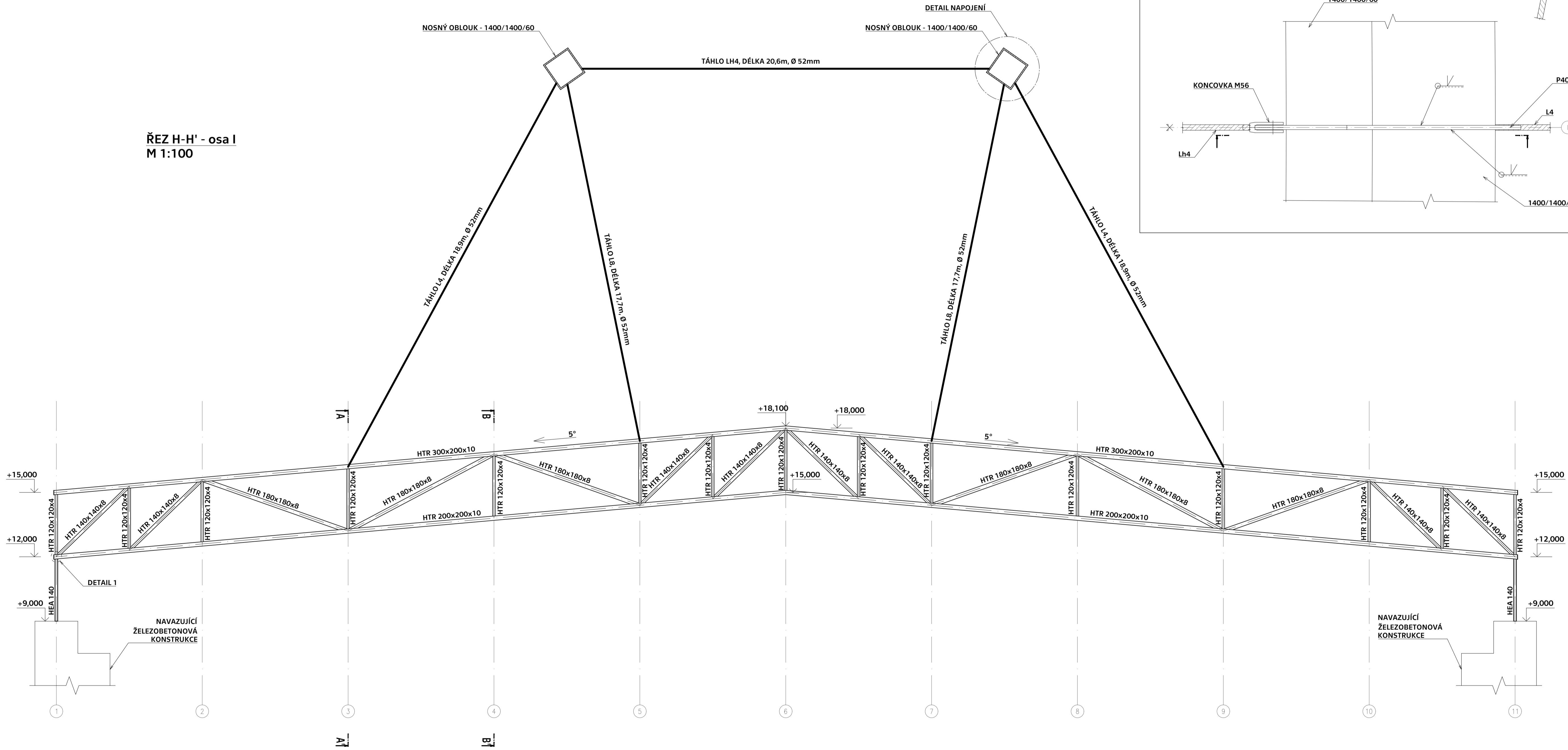
Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	Bc. Šimon Povolný
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU	ŘEZ H-H'	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.09

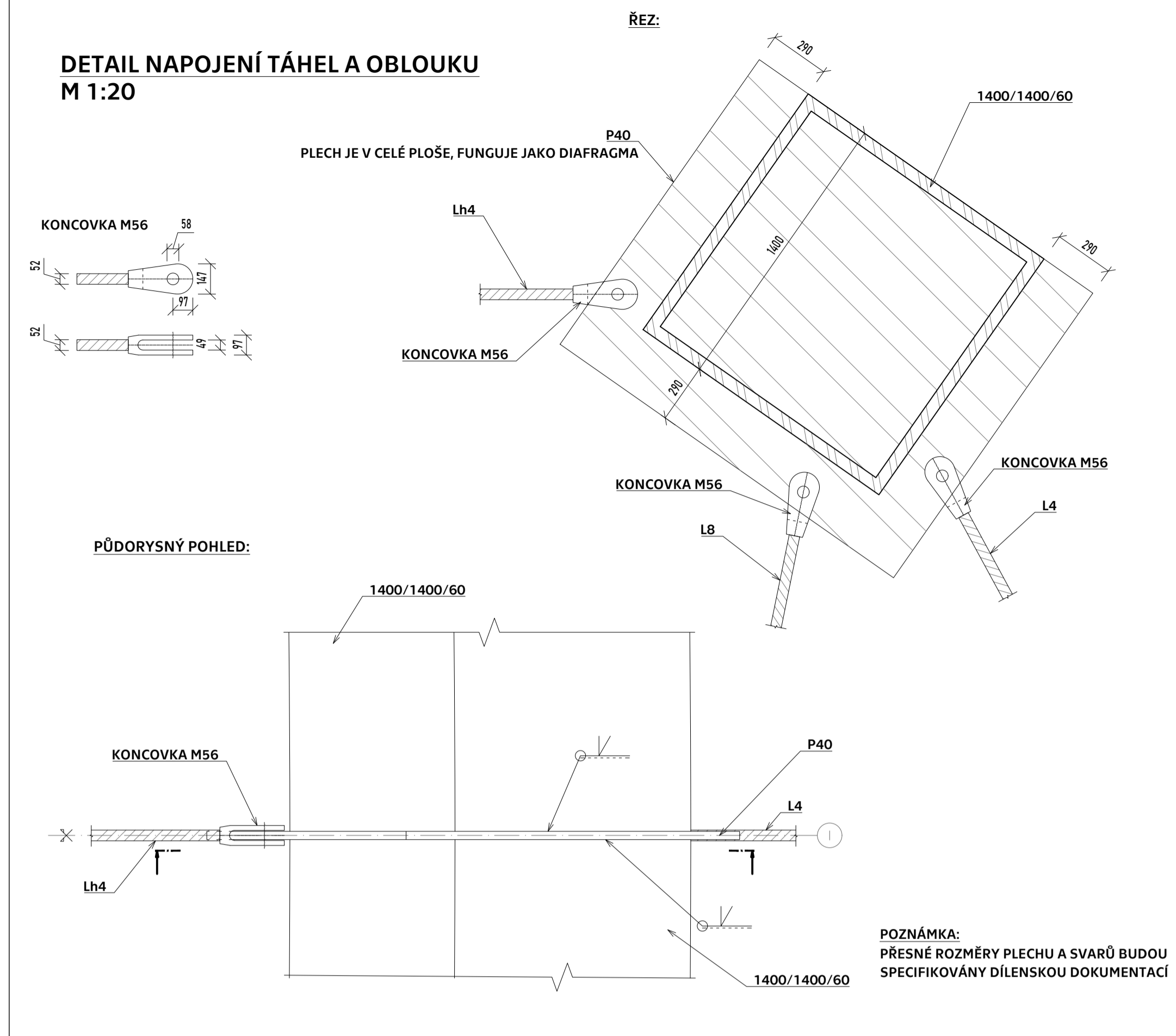


FORMÁT: A1
 MĚŘÍTKO: 1:100
 DATUM: 01/2022

ŘEZ H-H' - osa I
M 1:100



DETAIL NAPOJENÍ TÁHEL A OBLOUKU
M 1:20



Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
tábla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

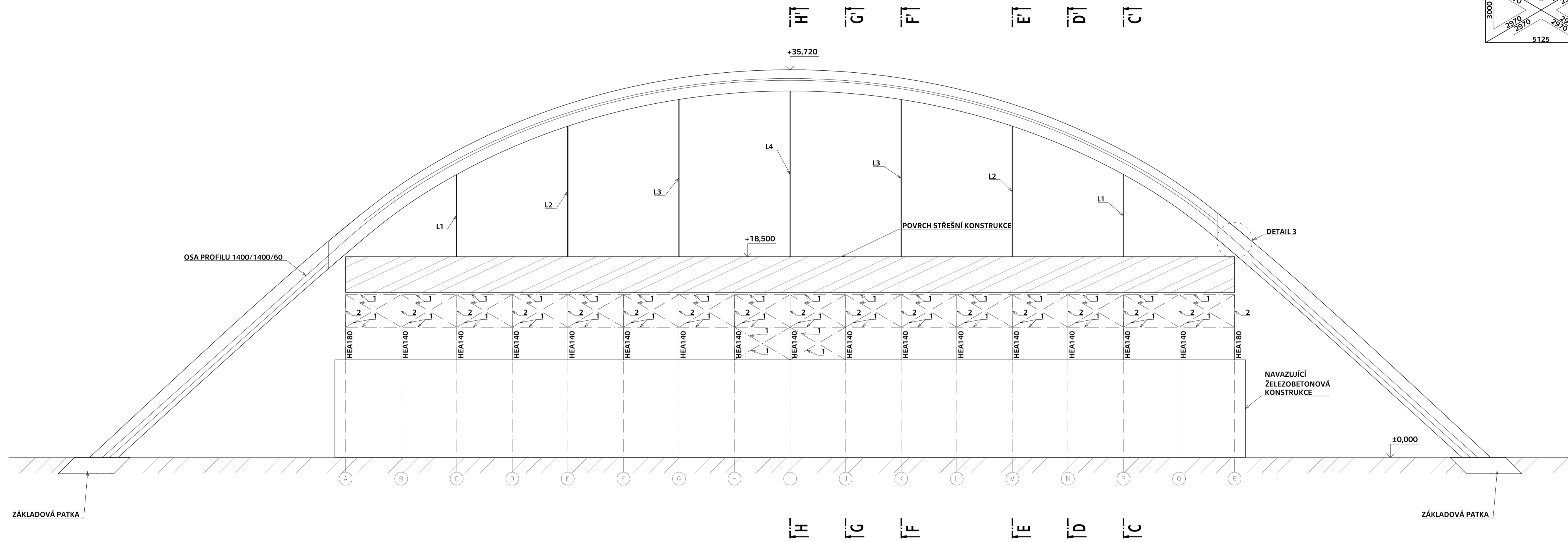
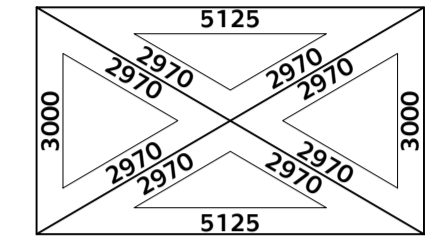
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU		
ŘEZ H-H'		
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.10



FORMÁT: A1
MĚŘÍTKO: 1:100, 1:20
DATUM: 01/2022

BOČNÍ POHLED NA OCELOVÉ PRVKY KONSTRUKCE (POHLED J)

DETAIL ROZMĚRŮ ZTUŽUJÍCÍHO POLE



POZNÁMKA:

PRO LEPŠÍ PŘEHLEDNOST VÝKRESU JE STŘEŠNÍ POVRCH VYKRESLENÝ JEN JAKO PLOCHA A STĚNOVÝ PLÁŠŤ NAOPAK VYKRESLEN NENÍ. DŮLEŽITOU SOUČÁSTÍ TOHOTO VÝKRESU JE ZEJMÉNA TVAR NOSNÝCH OBLOUKŮ.

DETAIL NAPOJENÍ OBLOUKŮ JE ZOBRAZEN NA SAMOSTATNÉM VÝKRESU.

LEGENDA PROFILŮ:

- 1- SVISLICE PŘÍHRADY - HTR 120x120x4
- 2- PODÉLNÉ ZTUŽIDLO - TR127/4 - S355

MATERIÁLY PŘÍMO POPSANÝCH PROFILŮ:

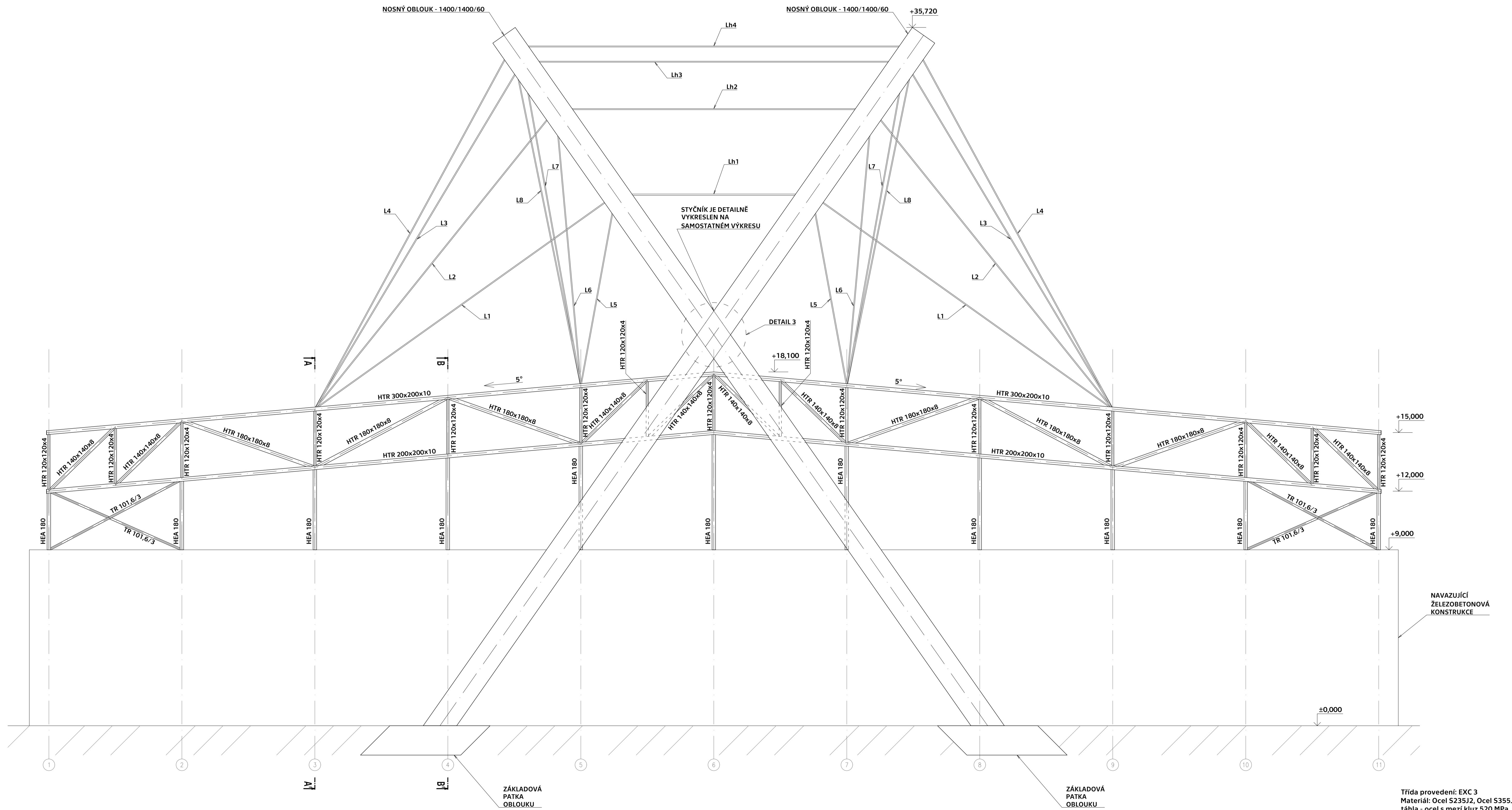
- SLOUPY A SVISLICE - S355
- SVAROVANÝ PROFIL 1400/1400/60 - S235

Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	Bc. Šimon Povolný
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU	POHLED J - PODÉLNÝ POHLED	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.11
FORMÁT		A1
MĚŘÍTKO		1:200
DATUM		01/2022



ČELNÍ POHLED NA OCELOVÉ PRVKY KONSTRUKCE (POHLED K)



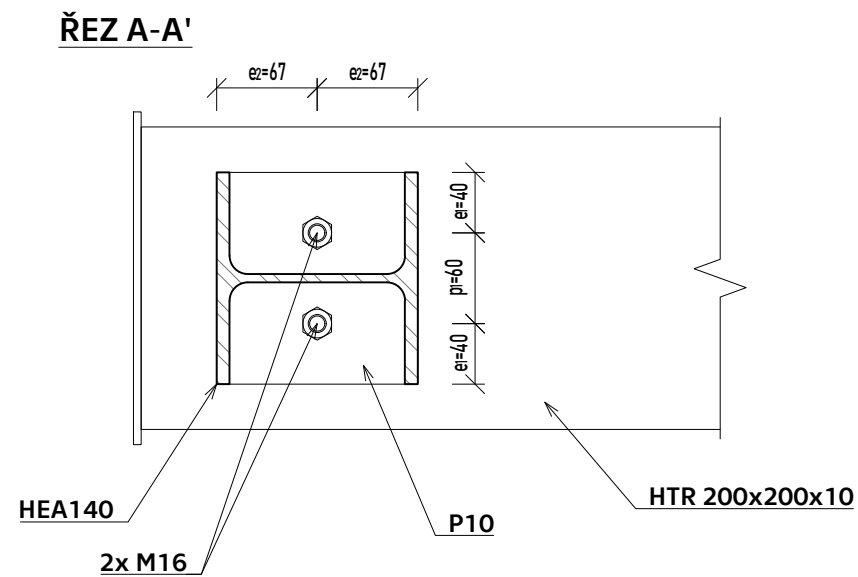
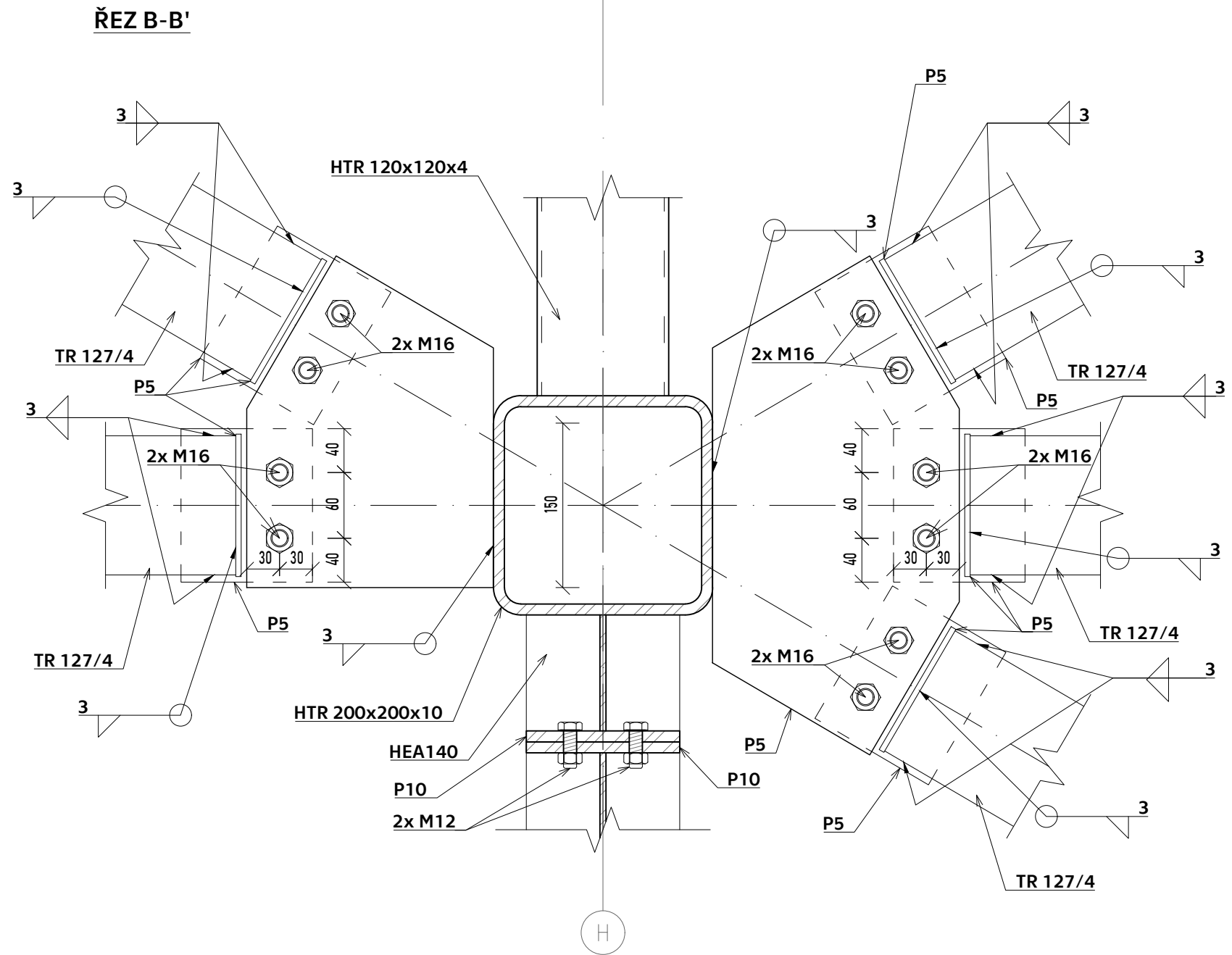
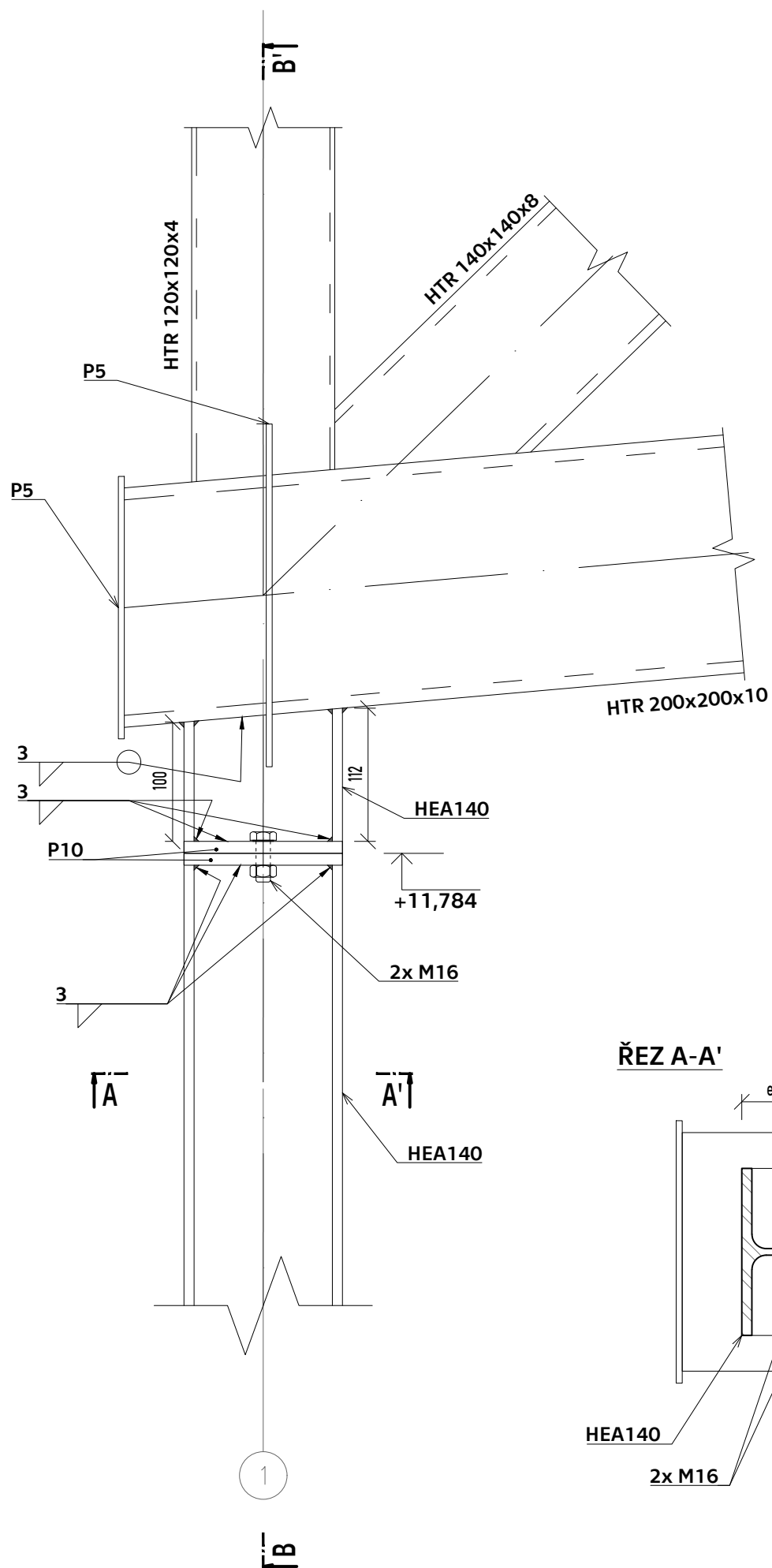
Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK	
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.	
NÁZEV VÝKRESU	POHLED K - ČELNÍ POHLED	
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE	ČÍSLO VÝKRESU	1.12




FORMÁT A1
 MĚŘÍTKO 1:100
 DATUM 01/2022

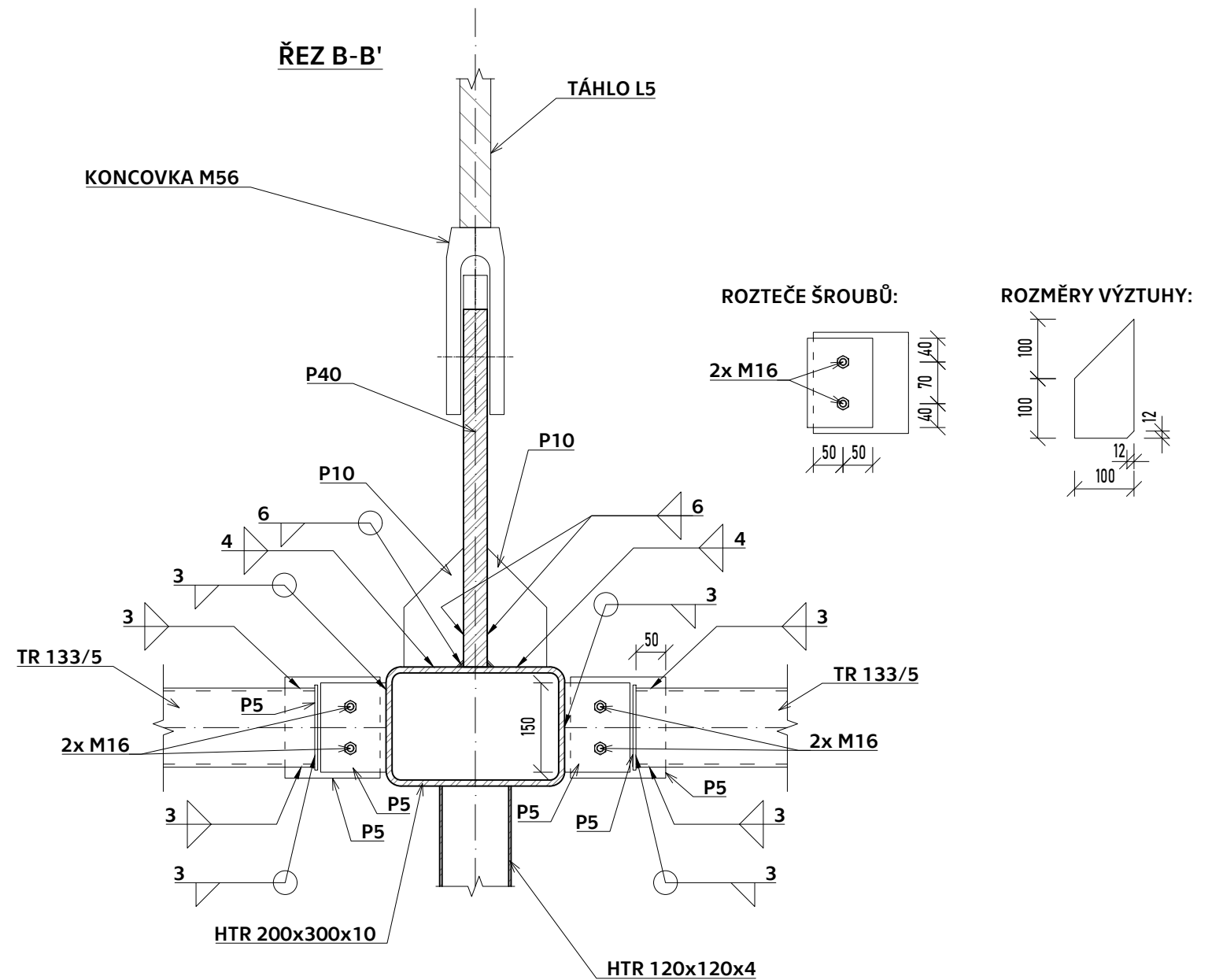
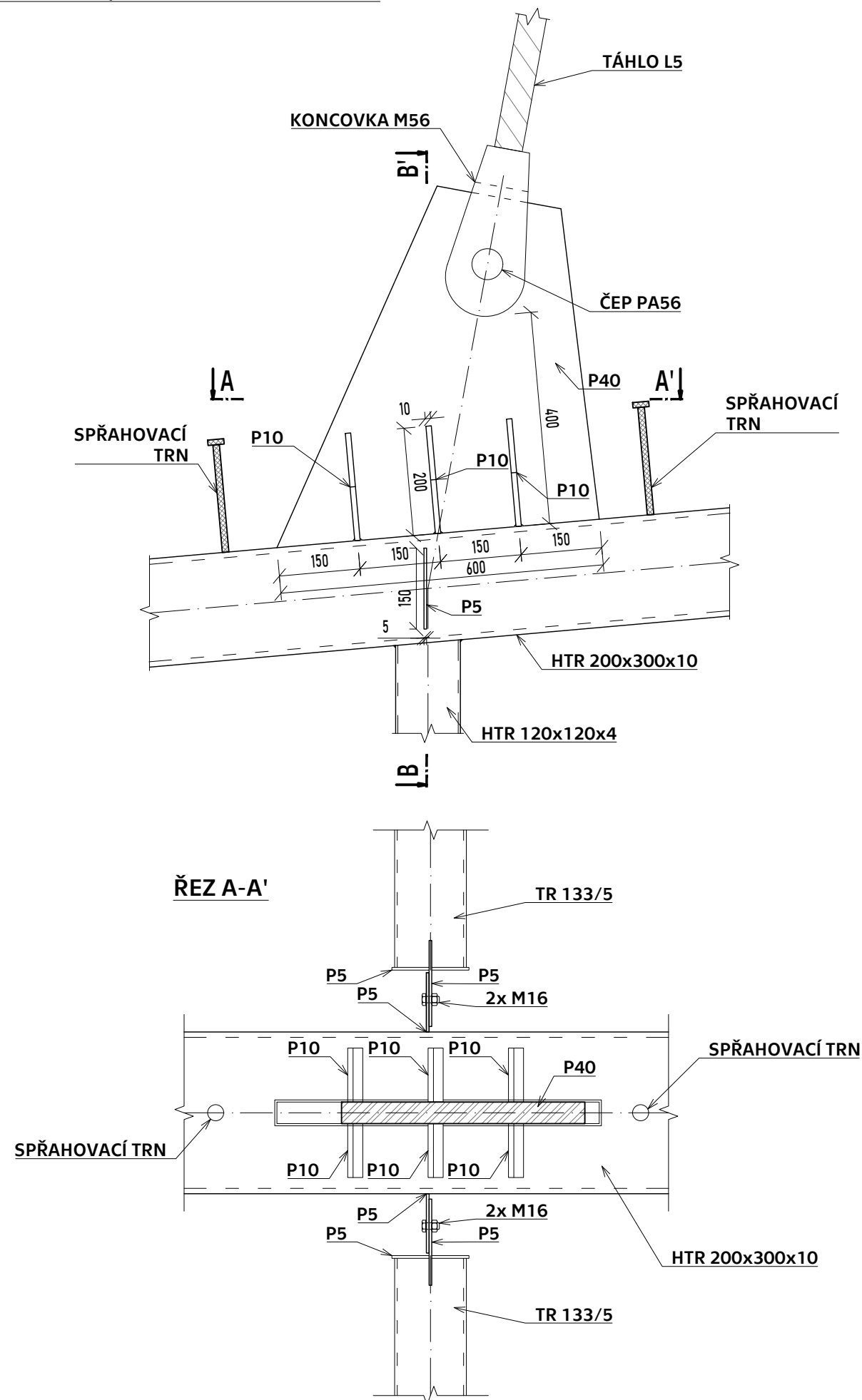
DETAIL 1 - PŘIPOJENÍ VAZNÍKU NA SLOUP & PŘIPOJENÍ PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA K PŘÍHRADOVÉMU VAZNÍKU



Třída provedení: EXC 3
 Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
 táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
 výrobce: Macalloy
 Šrouby třídy 8.8
 Podkladový beton C30/37


OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE	
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný		
VEDOUCÍ PRÁCE	ROČNÍK			
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.			
NÁZEV VÝKRESU DETAIL 1			FORMÁT	A3
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE			MĚŘÍTKO	1:5
			DATUM	01/2022
			ČÍSLO VÝKRESU	1.13

DETAIL 2 - SPOJ VAZNÍKU, TÁHLA A HORIZONTÁLY



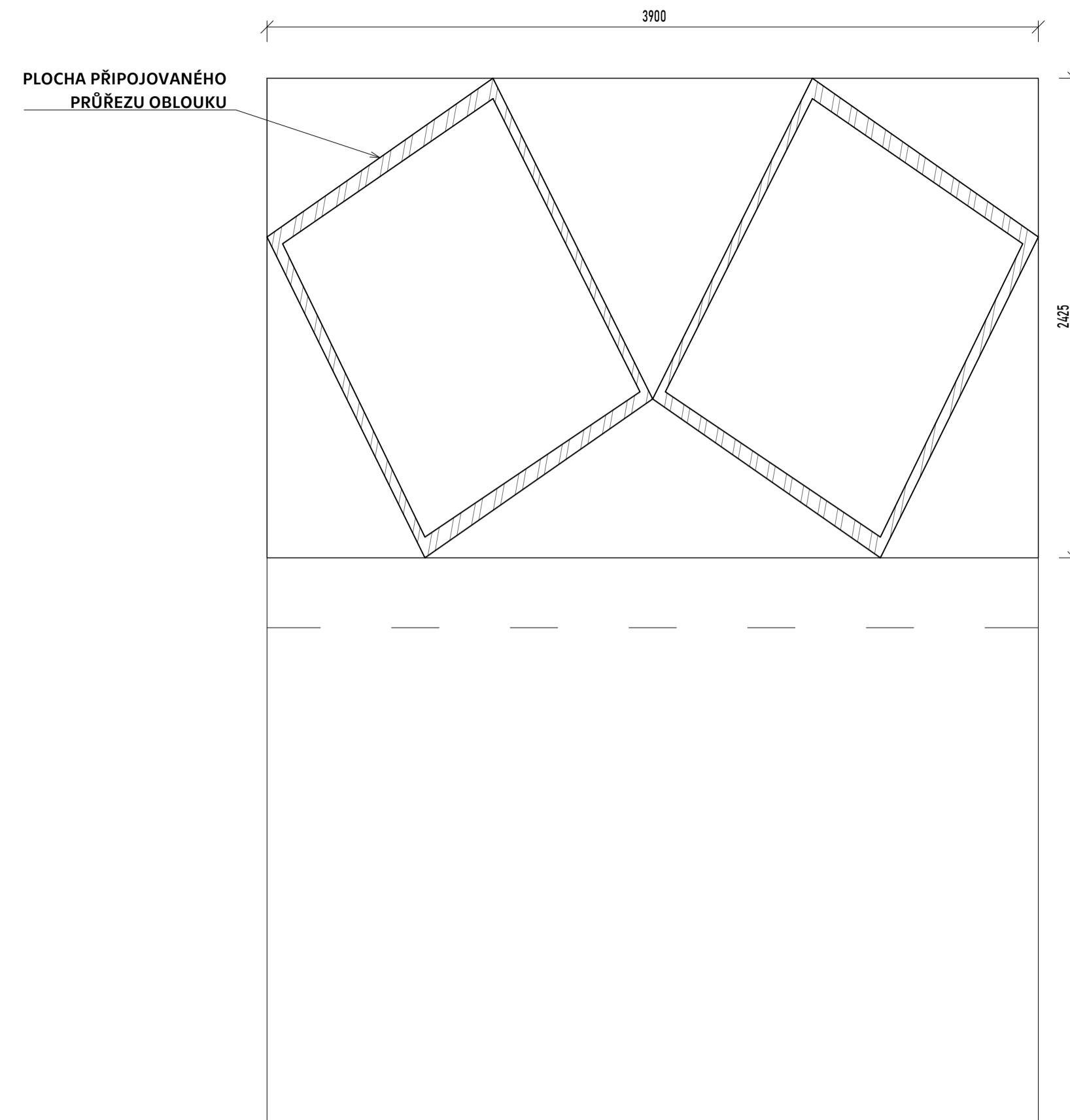
POZNÁMKA:
V MÍSTĚ VÝZTUH JE TŘEBA PŘI VÝROBĚ PŘIPRAVIT PROSTUPY V PANELU.

Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

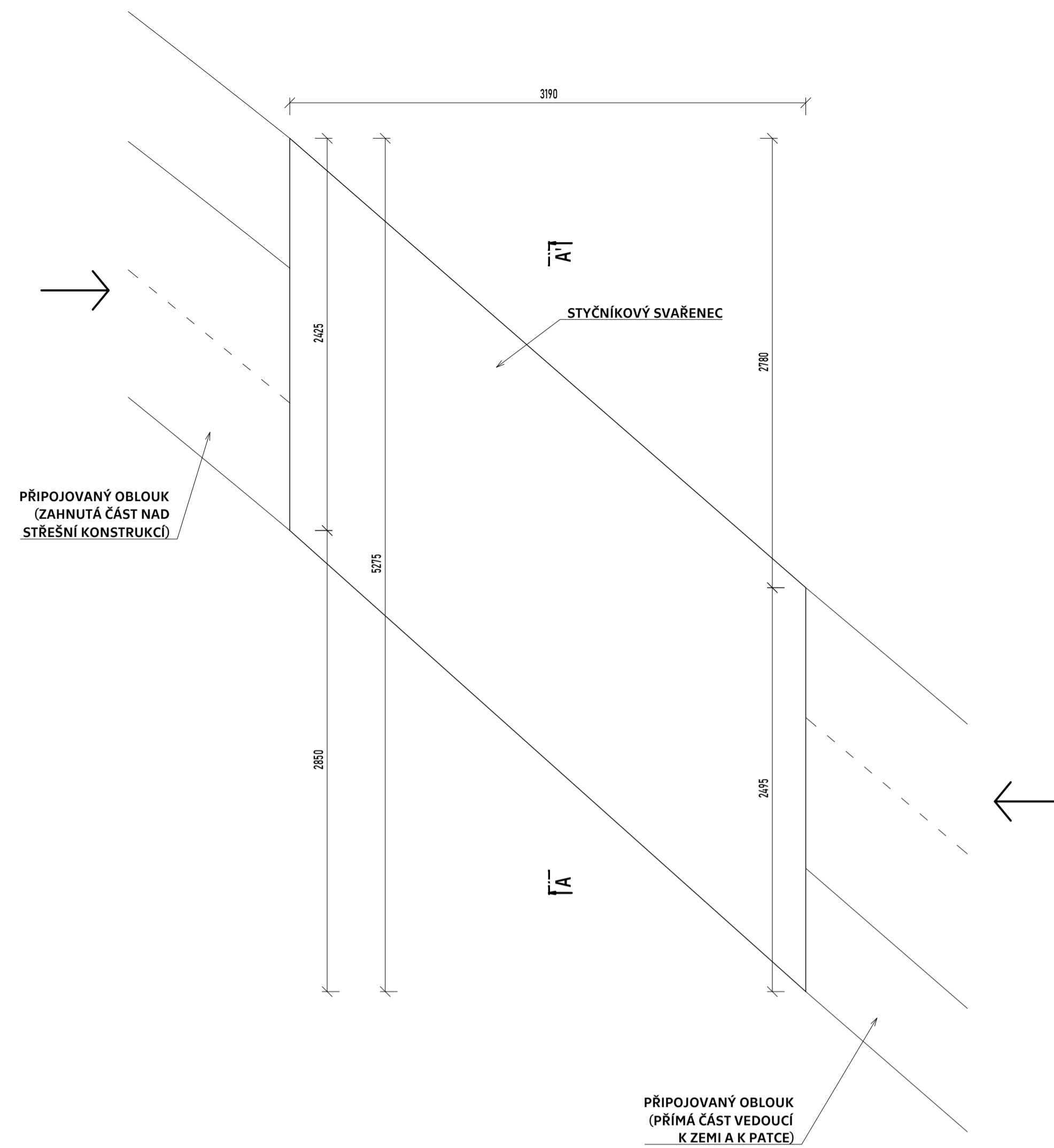
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE	
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný		
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK			
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.			
NÁZEV VÝKRESU DETAIL 2			FORMÁT	A3
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE			MĚŘÍTKO	1:10
			DATUM	01/2022
			ČÍSLO VÝKRESU	1.14

DETAIL 3 - NAPOJENÍ NOSNÝCH OBLOUKŮ:

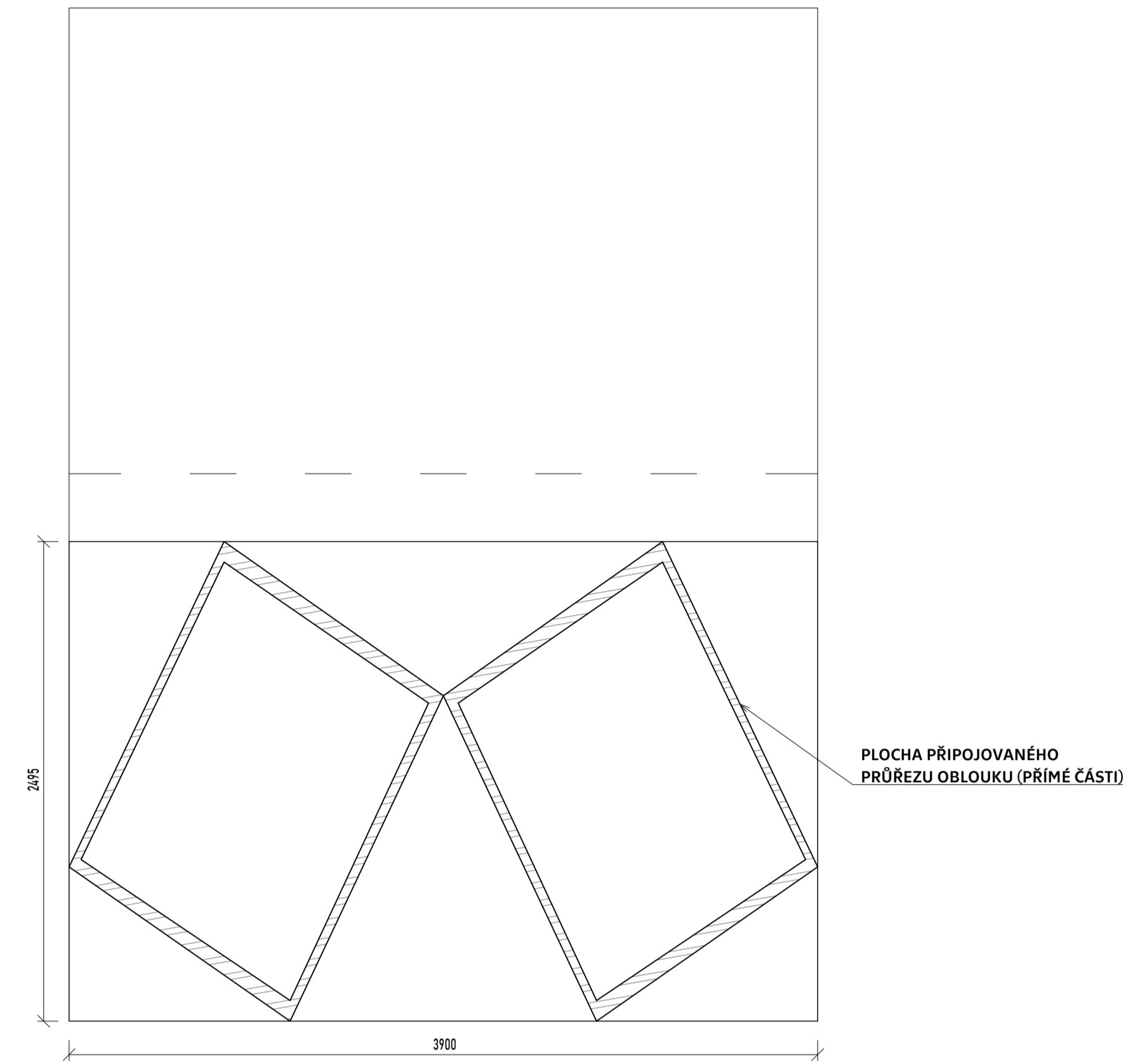
POHLED NA SVAŘENEC SMĚREM Z KONSTRUKCE:



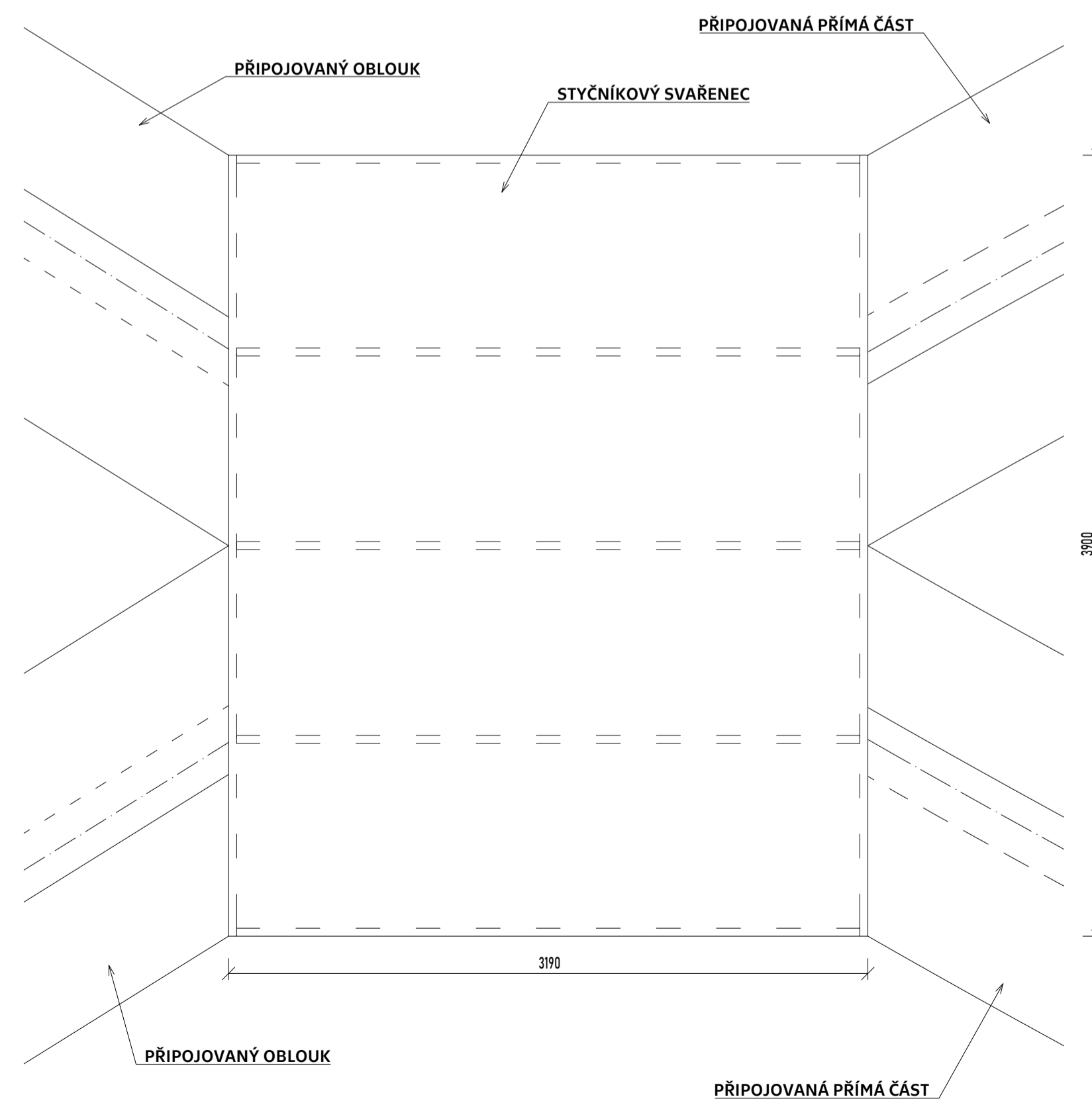
BOČNÍ POHLED NA STYČNÍK:



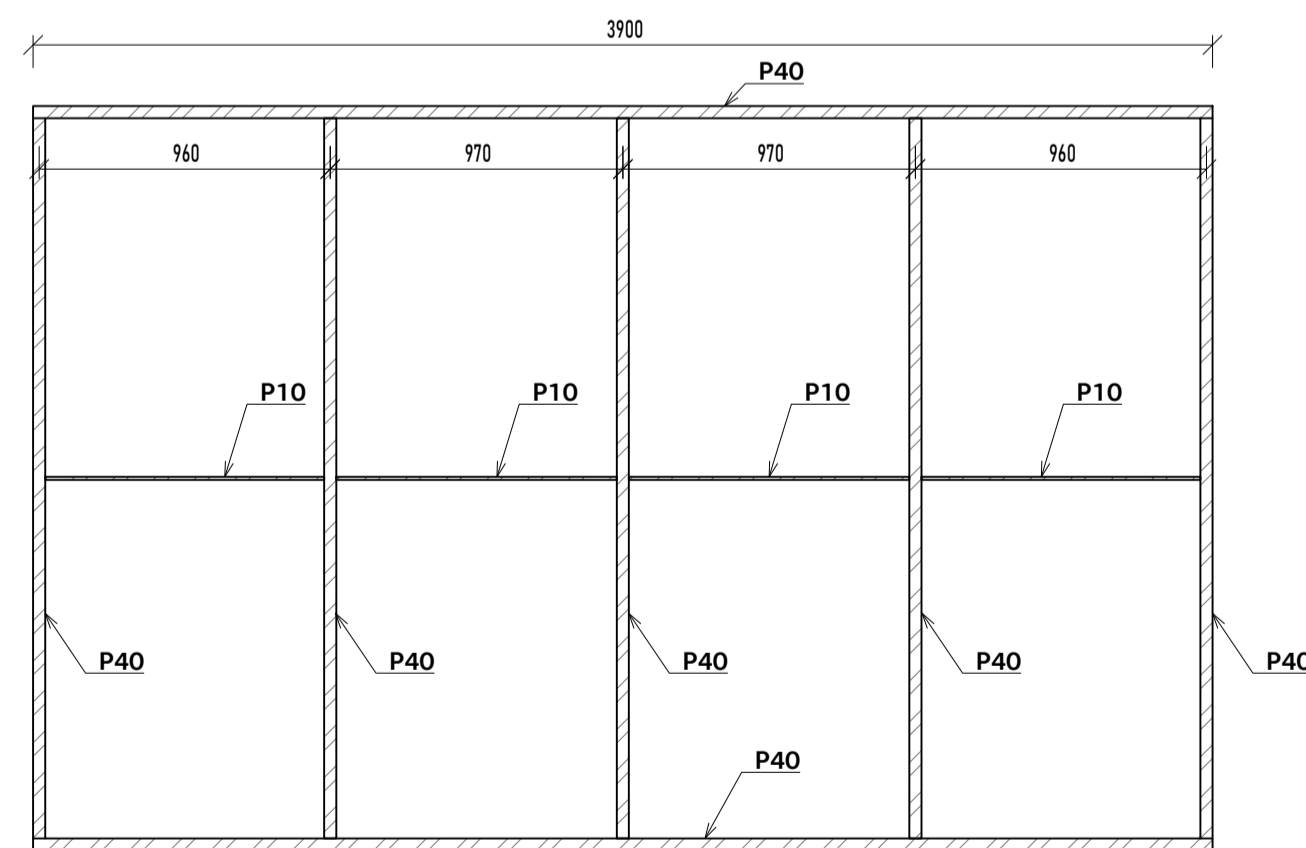
VNĚJŠÍ POHLED NA SVAŘENEC SMĚREM DO KONSTRUKCE:



PŮDORYSNÝ POHLED:




ŘEZ A-A'

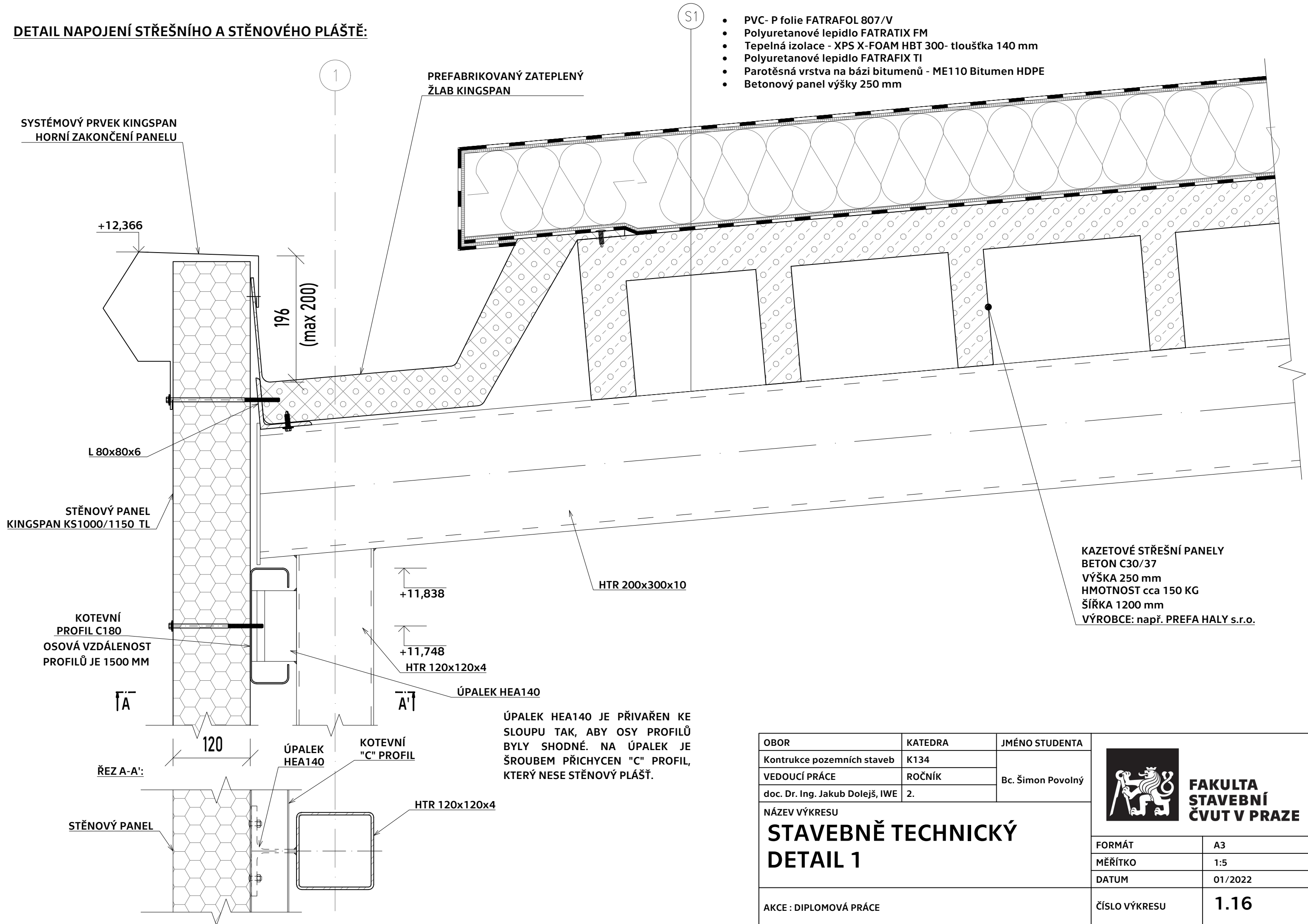



POZNÁMKA:
VŠECHNY ČÁSTI ŠESTISTĚNNÉHO SVAŘENCE JSOU PŘIHOVENY Z OCELI S235J2.

Třída provedení: EXC 3
Materiál: Ocel S235J2, Ocel S355J0
táhla - ocel s mezí kluz 520 MPa
výrobce: Macalloy
Šrouby třídy 8.8
Podkladový beton C30/37

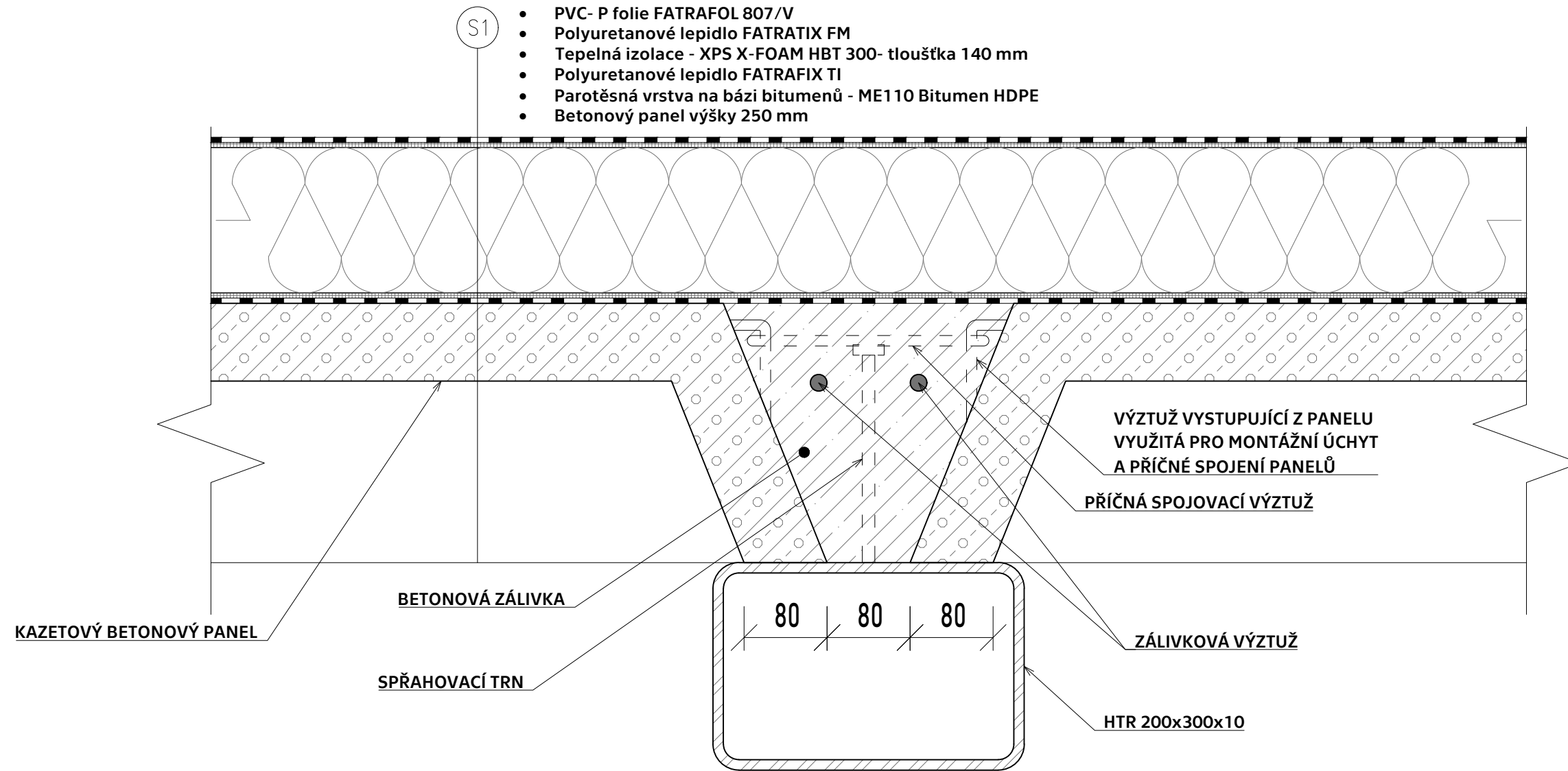
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE	
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný		
VEDOUČÍ PRÁCE	ROČNÍK			
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.			
NÁZEV VÝKRESU DETAIL 3			FORMÁT	A1
			MĚŘÍTKO	1:25
			DATUM	01/2022
AKCE: DIPLOMOVÁ PRÁCE			ČÍSLO VÝKRESU	1.15


DETAIL NAPOJENÍ STŘEŠNÍHO A STĚNOVÉHO PLÁŠTĚ:



OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE	
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný		
VEDOUcí PRÁCE	ROČNÍK			
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.		FORMÁT	A3
NÁZEV VÝKRESU STAVEBNĚ TECHNICKÝ DETAIL 1			MĚŘÍTKO	1:5
			DATUM	01/2022
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE			ČÍSLO VÝKRESU	1.16

DETAIL ULOŽENÍ STŘEŠNÍCH PANELŮ NA HORNÍ PÁS PŘÍHRADOVÉHO VAZNÍKU:



OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	 FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE	
Konstrukce pozemních staveb	K134	Bc. Šimon Povolný		
VEDOUCÍ PRÁCE	ROČNÍK			
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE	2.			
NÁZEV VÝKRESU			FORMÁT	A3
STAVEBNĚ TECHNICKÝ DETAIL 2			MĚŘÍTKO	1:5
			DATUM	01/2022
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE			ČÍSLO VÝKRESU	1.17