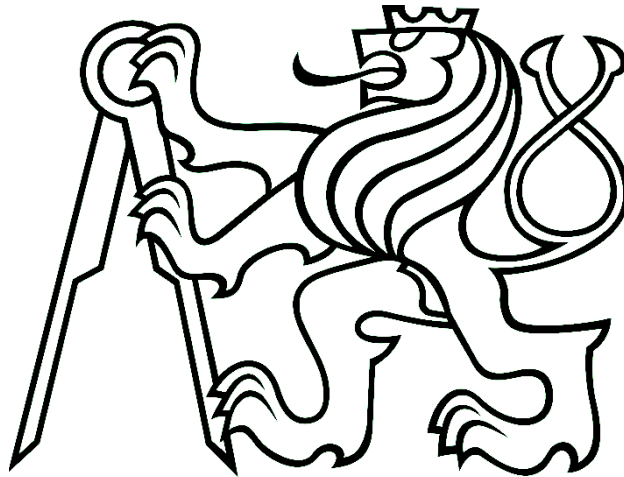


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mobilní zastřešení pódia

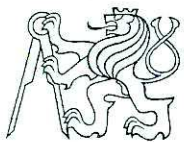
Mobile stage roof

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

Katedra: Ocelových a dřevěných konstrukcí

Květen 2017

Leoš Hanousek



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hanousek

Jméno: Leoš

Osobní číslo: 423165

Zadávací katedra: K134

Studijní program: SI

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Mobilní zastřešení pódia

Název bakalářské práce anglicky: Mobile stage roof

Pokyny pro vypracování:

Návrh a posouzení mobilního zastřešení pódia s rozměry 15 m x 10 m x 8 m.

Seznam doporučené literatury:

Předán osobně.

Jméno vedoucího bakalářské práce: J. Dolejš

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce doc. Dr. Ing. Jakuba Dolejše. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....

V Praze dne 28.května 2017

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval doc. Dr. Ing. Jakubu Dolejšovi za odborné vedení, trpělivost a optimismus, se kterým mi velmi pomohl vypracovat tuto bakalářskou práci. Dále děkuji Tomáši Šedivému za pomoc při překladu abstraktu práce. Speciálně chci poděkovat mé rodině, která za mnou stojí, podporuje mě a umožňuje mi studium na této škole.

Anotace:

Bakalářská práce byla zpracována na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí. Zabývá se statickým návrhem mobilního hliníkového zastřešení pódia. Z hlediska dispozičního uspořádání je objekt navržen jako střešní konstrukce ve tvaru klenby s pravoúhlým půdorysem o rozměrech 10 x 17,9 m a výškou 8,7 m, přičemž rozpětí je 17,9 m. Příčnou vazbu tvoří 12 kloubově uložených prostorových příhradových oblouků, které jsou ve vrcholu konstrukce připojeny na hřebenový nosník. V podélném směru je konstrukce ztužena pomocí podélně a diagonálně připojených trubek. Střešní plášť tvoří plachta z PVC a boční stěna objektu je zakryta průhlednou síťovou plachtou. Celá konstrukce je navržena z hliníkových kruhových trubek, vyrobených tažením ze slitiny EN – AW 6082 T6. Dílenské spoje jsou svařované a montážní čepové a šroubované. Posouzení je provedeno podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

Annotation:

This bachelor thesis has been prepared in the Department of Steel and Timber Structures at the Czech Technical University in Prague, Czech Republic. It proposes a static design of an aluminium-made mobile stage roof system. The installation is designed as a vault-shaped roof structure with a rectangular ground plan of 17,9x10 metres, height of 8,7 metres and span of 17,9 metres. The vault section consists of 12 space-truss arches, which are joined by hinged connections and connected to the ridge beam at the top of the construction. In the longitudinal direction, the design is stiffened by longitudinally and diagonally fixed pipes. The roof is covered with a PVC coated canvas and the sides are protected by transparent netting. The whole construction is created from aluminium circular tubes made by drawing the EN – AW 6082 T6 alloy. While only pin joints are used during the assembly, all the workshop made joints are welded and bolted. The appraisal of the design follows the European standards incorporated into the system of Czech ČSN EN norms.

Klíčová slova:

zastřešení, pódium, truss, mobilní, hliník

Keywords:

roofing, stage, truss, mobile, aluminium

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



VYPRACOVAL: Leoš Hanousek

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ HLINÍKOVÉ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

PŘÍLOHA:

PRŮVODNÍ ZPRÁVA

DATUM:

KVĚTEN 2017

Popis zadání:

Jako téma bakalářské práce bylo zadáno vypracovat návrh hlavní nosné konstrukce mobilního hliníkového zastřešení pódia. Zastřešení je určeno pro kulturní akce. Statický výpočet obsahuje návrh a posouzení hlavní nosné konstrukce, ztužení objektu a spojů.

Charakteristika konstrukce:

Hlavní nosnou konstrukci tvoří příčné vazby o rozpětí 17,9 m. Staticky jsou řešeny jako trojkloubový oblouk. Příčné vazby jsou navrženy jako prostorové příhradové oblouky. Vazby jsou ve vrcholu konstrukce kloubově připojeny k podélnému nosníku. Celá konstrukce je navržena z kruhových trubek, vyrobených tažením z hliníkové slitiny EN – AW 6082 T6. Střešní plášť tvoří plachta z PES/PVC a boční stěna objektu je zakryta průhlednou síťovou plachtou.

Stanovený rozsah:

Textová část:

- Technická zpráva
- Statický výpočet
 - Popis objektu
 - Materiály
 - Zatížení
 - Posouzení

Výkresová část:

Ve výkresech detailů jsou rozkresleny jednotlivé spojovací dílce.

- Dispozice – výkresy č. 1 – 3 M 1:50
- Detaily – výkresy č. 4 – 7 M 1:10 a 1:5

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



VYPRACOVAL: Leoš Hanousek

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ HLINÍKOVÉ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

PŘÍLOHA:
TECHNICKÁ ZPRÁVA

DATUM:
KVĚTEN 2017

1. Úvod

Předmětem návrhu je mobilní hliníkový objekt sloužící k užívání při společenských kulturních akcích jako zastřešení. Konstrukce je navržena jako lešeňová. Celou konstrukci tvoří pruty z trubkových profilů vyráběných tažením. Je navržena tak, aby byla zajištěna její snadná přemístitelnost, montáž a demontáž.

2. Normy a literatura

Seznam použitých norem:

- [1] ČSN EN 1999-1-1 Eurokód 9: Navrhování hliníkových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro konstrukce.
- [2] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [3] ČSN EN 12811-1: Dočasné stavební konstrukce. Část 1: Pracovní lešení - Požadavky na provedení a obecný návrh.
- [4] ČSN EN 12810-1: Fasádní dílcová lešení. Část 1: Požadavky na výrobky.
- [5] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [6] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

Seznam použité literatury:

- [7] Studnička, J. - Holický, M. - Marková, J.: OCELOVÉ KONSTRUKCE 2, Zatížení, ČVUT Praha, 2015
- [8] Studnička, J.: OCELOVÉ KONSTRUKCE, Normy, ČVUT Praha, 2014
- [9] Sokol, Z. – Wald, F.: OCELOVÉ KONSTRUKCE, Tabulky, ČVUT Praha, 2013

3. Popis konstrukce

Konstrukce má půdorysné rozměry 10 x 17,9 metrů. Výška konstrukce v hřebeni je 8,7 m. Střešní rovina je ve tvaru válcové klenby.

Hlavní nosnou konstrukci tvoří 12 kloubově uložených příčných vazeb, které jsou v hřebeni konstrukce montážně připojeny k vrcholovému (hřebenovému) nosníku. Vazby jsou po délce objektu (10 m) od sebe vzdáleny osově 1,94 m. Samotné příčné vazby jsou navrženy jako příhradové oblouky, kde jsou hlavní pruty (4 x profil TR 50/4) spojeny svařením příhradových (profil TR 30/3) a rámových spojek (profil TR 50/4). Prvky vrcholového nosníku jsou navrženy stejně jako u příčných vazeb, nosník je ale přímý. Vazby jsou při montáži připojeny kloubově k hornímu pásu vrcholového nosníku a ke spodnímu pásu jsou připojeny pomocí trubkových spojek. Takto spojená klenutá hlavní nosná konstrukce překlenuje rozpon 17,9 m na délce 10 m pro zastřešení pódia (plochy) o rozměrech 10 x 15 m. Příčné vazby a vrcholový nosník jsou vyrobeny svařením na dílně. Každá příčná vazba je rozdělena na dva stejné montážní kusy z důvodu přemístitelnosti konstrukce. Montážní spoje vazeb jsou navrženy jako čepové (kolíkové).

Ztužení konstrukce je provedeno pouze ve střešní rovině mezi všemi příčnými vazbami pomocí trubek (profil TR 50/4). Tyto pruty jsou připojeny v rovinách horních pásů příčných vazeb šroubovanými spoji v podélných a diagonálních směrech.

Střešní plášť tvoří plachta z PVC, která je uchycena k horním pásům příčných vazeb pomocí k tomu vytvořených úchytů. Boční stěna je zakryta průhlednou síťovanou plachtou, zavěšenou na horní pás krajní příčné vazby.

Příčné vazby jsou uloženy do speciálně vytvořených stabilizačních plastových nádrží, které se naplní vodou, aby byly zachyceny největší vznikající reakce v místech uložení a nedocházelo tak k posunům nebo nadzvednutí konstrukce. Spodní stěny nádrží proto tvoří pryžový povrch, aby mezi zemí a nádržemi vnikalo co největší tření.

4. Materiály

Hlavní prvky hliníkové konstrukce jsou navrženy ze slitiny hliníku EN-AW 6082 T6. Dílenské spoje jsou provedeny ze svarového materiálu EN-AW 5356. Montážní spojovací dílce jsou navrženy z oceli S 235 J2. Šrouby jsou jakosti 5.6.. Střešní plášť je z plachty z PVC/PES. Stabilizační nádrže jsou plastové. Materiálové charakteristiky jsou popsány ve statickém výpočtu.

5. Návrh a posouzení konstrukce

Nosné konstrukce byly navrženy a posouzeny podle normy [1]. Při návrhu modelu konstrukce byl použit výpočetní program Dlubal RFEM 5.07 a přídatný modul pro posouzení hliníkových prutů RF-ALUMINIUM. Analýza konstrukce byla provedena podle teorie I. Řádu (geometricky lineární analýza).

Zatížení konstrukce bylo navrženo podle norem [3], [4], [5], [6]. Konstrukce je zatížena stálým zatížením od vlastní tíhy konstrukce, střešní plachty a osvětlení plochy pódia. Jako proměnné zatížení je uvažováno pouze zatížení větrem. Zatížení sněhem není uvažováno, vzhledem k tomu, že konstrukce bude využívána pouze v letní sezóně.

6. Spoje

Konstrukce je navrhována s předpokladem opakované montáže a demontáže. Proto musí být kladen velký důraz na kvalitní provedení styků a velmi přesnou výrobu jednotlivých prvků, přesné rozmístění otvorů a umístění připojovaných částí.

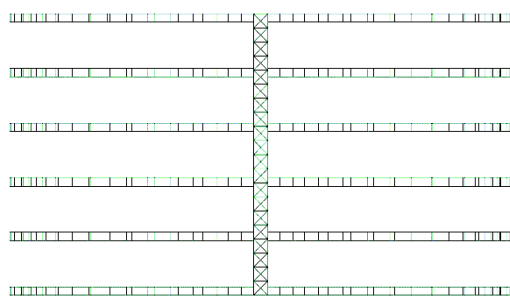
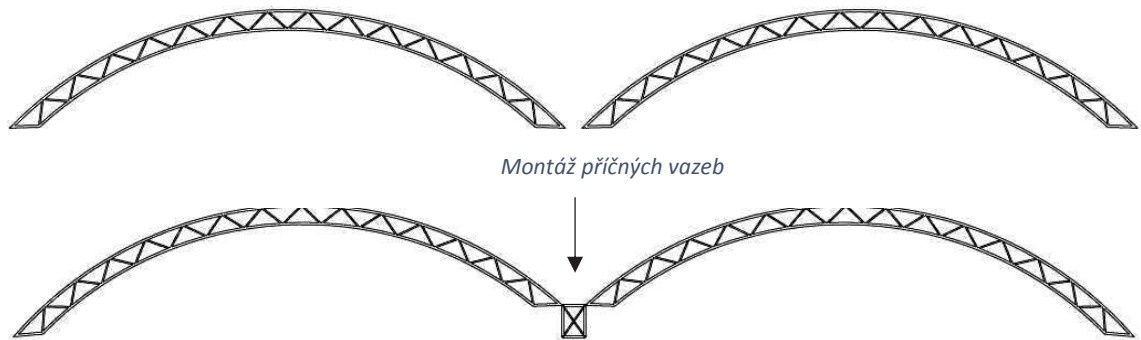
Pro svary prvků z hliníkových slitin je použito technologie MIG.

Montážní spojovací dílce jsou navrženy z oceli S 235 J2. Šroubované spoje jsou jednostřížné a namáhané ve stříhu a v otláčení. Čepové spoje jsou namáhány smykem ve dvou smykových rovinách a otláčením.

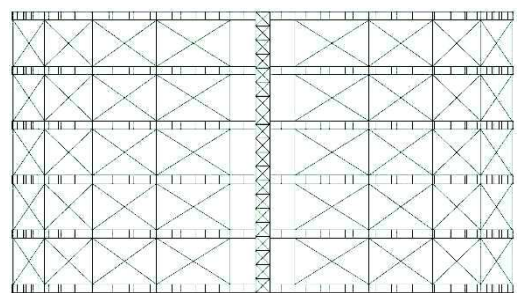
7. Provádění a postup montáže

Všechny montážní díly jsou přemístitelné na potřebné místo v celku, kromě příčných vazeb. Příčné vazby tvoří dva montážní díly, které se spojují pomocí čepových spojů. Po sestavení všech 12 příčných vazeb se vazby upevní ve dvou řadách po šesti naproti sobě na vrcholový nosník ležící na zemi. Následuje montáž ztužení objektu, tzn. přišroubují se všechny ztužující trubky (podélné a diagonální) k plechům přivařených v rovině horních pásů příčných vazeb. Takto na zemi vytvořená konstrukce se potáhne střešní plachtou, která se uchytlí. Konstrukce se postupně zvedá pomocí vhodného zdvihacího zařízení do

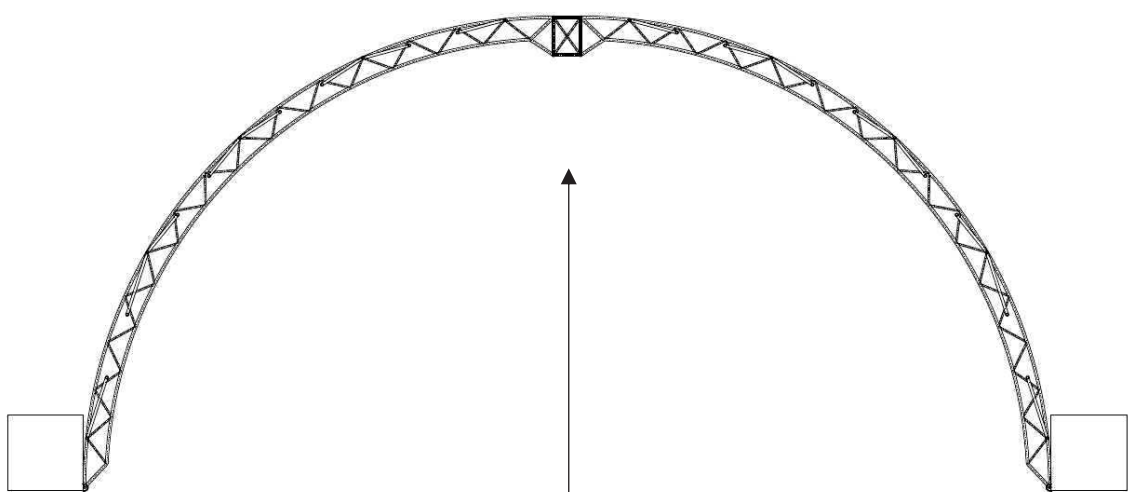
potřebné výšky. Pomocí zdvihací plošiny se spojí ve vrcholu konstrukce každá příčná vazba s vrcholovým nosníkem pomocí spojovacích trubek, které budou přišroubovány k dolním pásům obou spojovaných prvků. Nakonec se příčné vazby usadí do předem připravených a naplněných dvanácti stabilizačních nádrží o rozměrech 1,5x1,94x1,5. Pokud je třeba, zakryje se boční stěna plachtou z průhledné síťové plachty.



Upevnění příčných vazeb na vrcholový (hřebenový) nosník ve dvou řadách po šesti



Montáž střešního ztužení + potažení a upevnění střešní plachty



Zdvinutí konstrukce - spojení vazeb s nosníkem - uložení do stabilizačních nádrží

8. Protikorozi ochrana konstrukce

Z hlediska trvanlivosti je slitina hliníku EN-AW 6082 zařazena do klasifikační třídy B. Hliníkové prvky není nutno chránit proti korozi, protože se předpokládá, že konstrukce bude nejčastěji používána v městském středním prostředí. Pro zajištění dlouhodobého dekoračního vzhledu je povrch hliníkové konstrukce upraven eloxováním. Ocelové spojovací dílce jsou pozinkované, jelikož v místech spojů může docházet k elektrochemické reakci. Celou konstrukci je nutno vždy před montáží a po demontáží důkladně prohlédnout a odstranit případné nečistoty. Pokud jsou po prohlídce odhaleny počátky koroze, je nutné učinit nápravná opatření.

9. Hmotnost konstrukce

V tabulkách jsou spočítány celkové hmotnosti navržených prutů na výrobu konstrukce, střešní plachty a spojovacích prostředků. Celková hmotnost hliníkové konstrukce je 2,646 t.

HLINÍKOVÁ KONSTRUKCE

Název	Průřezová plocha [m ² ; m ² /m]	Celková délka/plocha [m/m ²]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Materiál	Hmotnost	
					Měrná [kg/m; kg/m ²]	Celkem [kg]
TR 50/4	578,1*10 ⁻⁶	1202,37	2700	EN AW 6082 T6	1,561	1876,74
TR 30/3	254,5*10 ⁻⁶	491,93			0,687	338,03
Plachta	0,001	278,32	1390	PVC/PES	1,39	386,86
Svary a šrouby	2% z celkové hmotnosti hliníkové konstrukce					44,30
					Σ	2645,93

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



VYPRACOVAL: Leoš Hanousek

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ HLINÍKOVÉ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

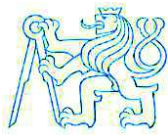
PŘÍLOHA:
STATICKÝ VÝPOČET

DATUM:
KVĚTEN 2017

Obsah:

1 Popis objektu.....	- 1 -
2 Materiály.....	- 4 -
3 Zatížení	- 6 -
3.1 Zatěžovací stavy.....	- 7 -
3.1.1 Zatěžovací stavy pro model zatížený Pracovním větrem	- 8 -
3.1.1.1 ZS1 - Vlastní tíha konstrukce - G	- 8 -
3.1.1.2 ZS2 - Osvětlení plochy pódia - G_0	- 8 -
3.1.1.3 ZS3 - Pracovní vítr příčný - $Q_{w,prac,T}$	- 8 -
3.1.1.4 ZS4 - Pracovní vítr podélný „vnější“ - $Q_{w,prac,L,O}$	- 11 -
3.1.1.5 ZS5 - Pracovní vítr podélný „vnitřní“ - $Q_{w,prac,L,I}$	- 13 -
3.1.2 Zatěžovací stavy pro model zatížený Maximálním větrem	- 15 -
3.1.2.1 ZS1 - Vlastní tíha konstrukce + ZS2 - Osvětlení plochy pódia	- 15 -
3.1.2.2 ZS3 - Maximální vítr příčný - $Q_{w,max,T}$	- 15 -
3.1.2.3 ZS4 - Maximální vítr podélný - $Q_{w,max,L}$	- 16 -
3.1.2.4 ZS5 - Maximální vítr podélný „sání“ - $Q_{w,max,L,S}$	- 17 -
3.2 Kombinace zatížení	- 18 -
3.2.1 Kombinace zatížení pro model zatížený Pracovním větrem.....	- 19 -
3.2.2 Kombinace zatížení pro model zatížený Maximálním větrem	- 20 -
4 Posouzení.....	- 21 -
4.1 MSP	- 22 -
4.1.1 Posouzení MSP pro zatížení Pracovním větrem	- 22 -
4.1.2 Posouzení MSP pro zatížení Maximálním větrem	- 23 -
4.2 MSÚ.....	- 24 -
4.2.1 Posouzení průřezů a stability rozhodujících prutů	- 24 -
4.2.1.1 Navržené průřezy.....	- 24 -
4.2.1.2 Hlavní pruty příčné vazby	- 26 -
4.2.1.3 Příhradové spojky příčné vazby	- 27 -
4.2.1.4 Rámové spojky příčné vazby.....	- 28 -

4.2.1.5	Podélná střešní ztužidla	- 29 -
4.2.1.6	Diagonální střešní ztužidla	- 30 -
4.2.1.7	Hlavní pruty hřebenového nosníku	- 31 -
4.2.1.8	Příhradové spojky hřebenového nosníku	- 32 -
4.2.1.9	Spojovací pruty	- 33 -
4.2.2	Posouzení stability příčných vazeb	- 34 -
4.2.2.1	Posouzení vzpěrné únosnosti v rovině příčné vazby	- 34 -
4.2.2.2	Posouzení vzpěrné únosnosti z roviny příčné vazby	- 36 -
4.2.3	Posouzení svařovaných styčníků.....	- 38 -
4.2.3.1	Posouzení nejvíce namáhaného styčnicku příčné vazby.....	- 38 -
4.2.3.2	Posouzení nejvíce namáhaného styčnicku hřebenového nosníku... -	40 -
4.2.4	Posouzení montážních spojů	- 42 -
4.2.4.1	Přípoj podélného střešního ztužidla	- 42 -
4.2.4.2	Přípoj diagonálního střešního ztužidla.....	- 43 -
4.2.4.3	Přípoj střešních ztužidel	- 44 -
4.2.4.4	Přípoj příčné vazby a vrcholového nosníku	- 45 -
4.2.4.5	Spojení příčných vazeb	- 46 -
4.2.5	Posouzení průřezů oslabených otvory.....	- 48 -
4.2.6	Návrh stabilizačních nádrží	- 50 -

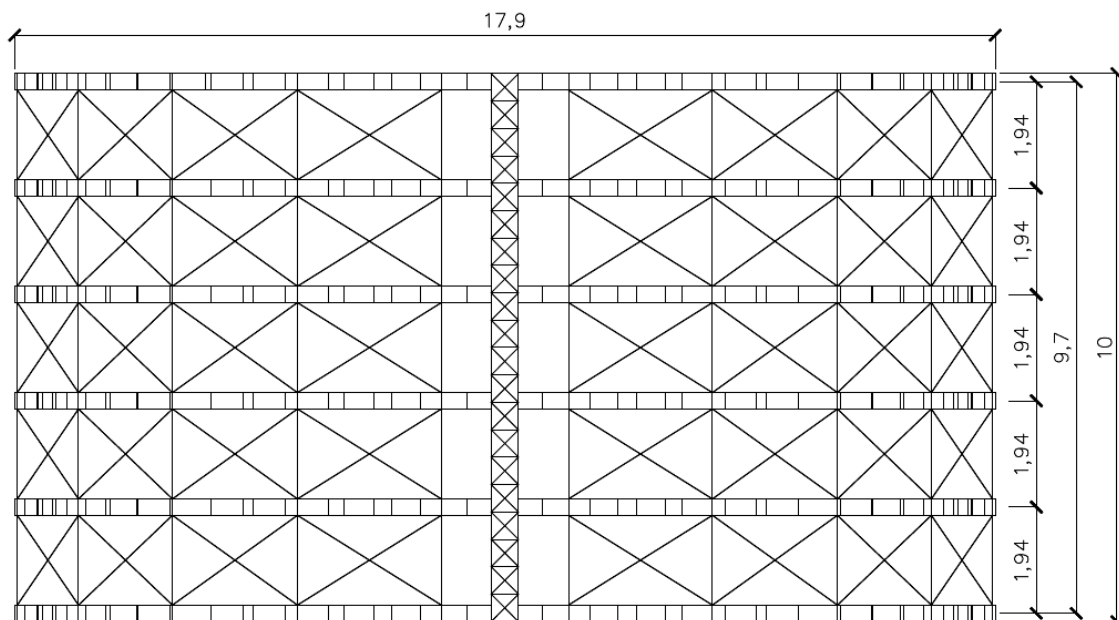


1 Popis objektu

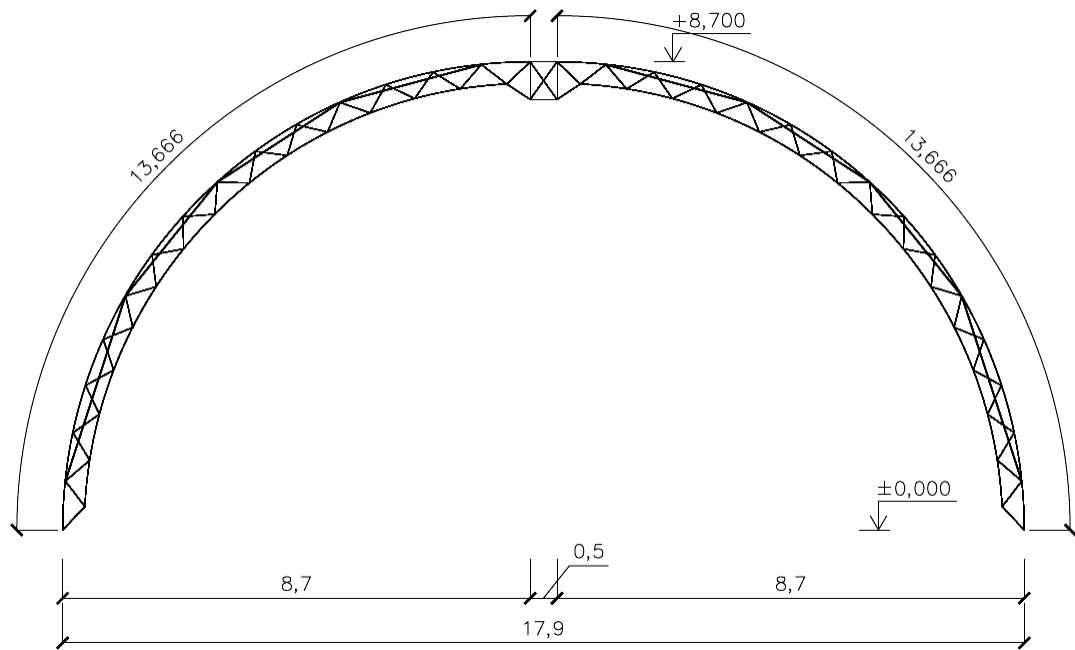
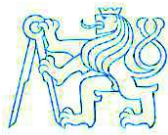
Předmětem návrhu je mobilní zastřešení pódia z hliníkové slitiny o rozpětí 17,9 m, délce 10 m a výšce 8,7 m. Příčné vazby jsou navrženy jako prostorové příhradové oblouky, které tvoří trojkloubový rám. Vazby jsou navrženy v 6 řadách po osové vzdálenosti 1,94 m a společně s hřebenovým příhradovým nosníkem, ke kterému jsou připojeny ve vrcholu konstrukce tvoří hlavní nosný systém objektu. Vazby jsou v podélném směru ztuženy trubkami ve všech polích. Dílenské spoje jsou svařované a montážní jsou provedeny pomocí čepů a šroubů. Střecha je klenbová, plášť tvoří plachtovina z PES/PVC připevněná přímo na příčné vazby. Štítová boční stěna je zakrytá pouze průhlednou síťovou plachtou, která je odnímatelná.

Statický výpočet je proveden pro části konstrukce z hliníkových slitin podle EN 1991-1-1. Zatížení je určeno podle příslušných částí EN 1991 (uplatní se části 1 Zásady navrhování a 2-4 Zatížení větrem).

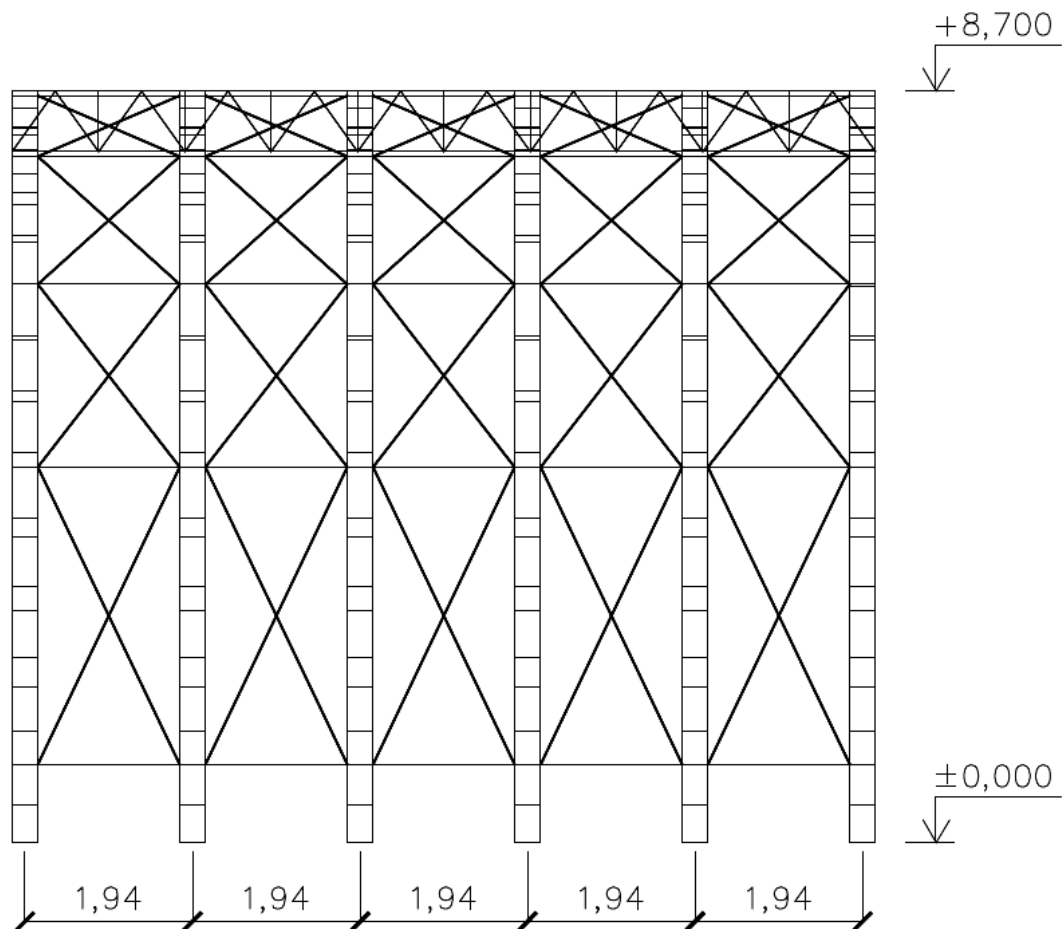
Výpočet vnitřních sil a posouzení stability a průřezů prutů bylo provedeno ve výpočetním programu Dlubal RFEM 5.07.



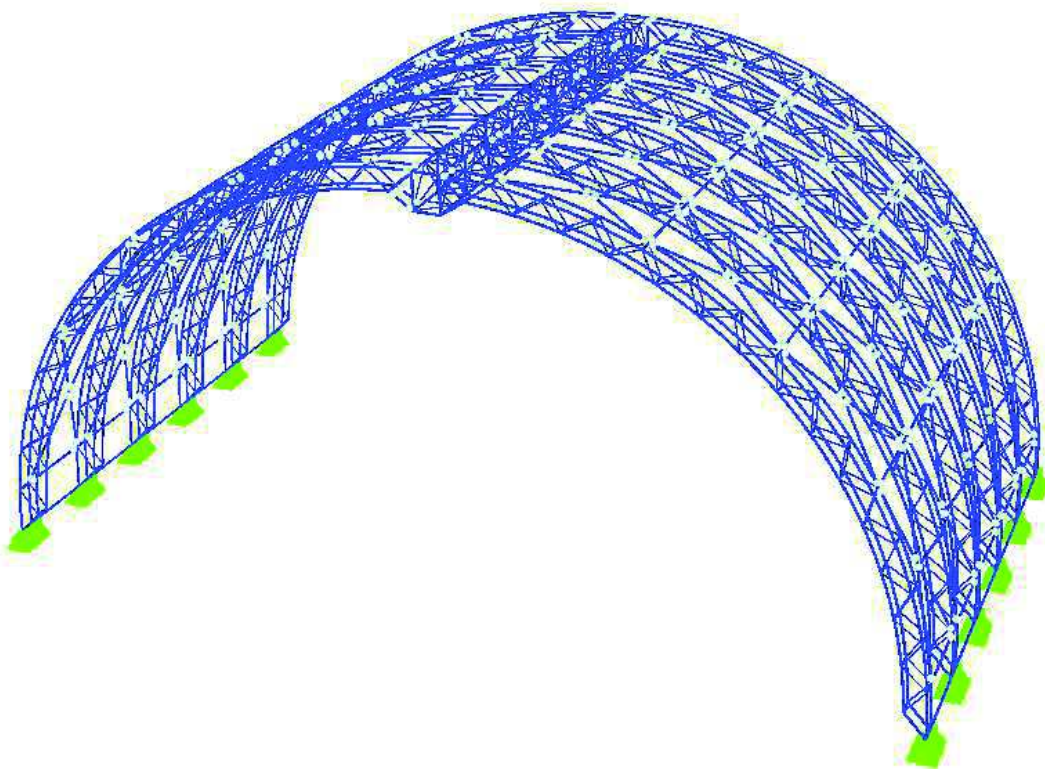
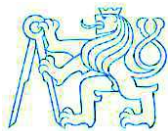
Pohled shora



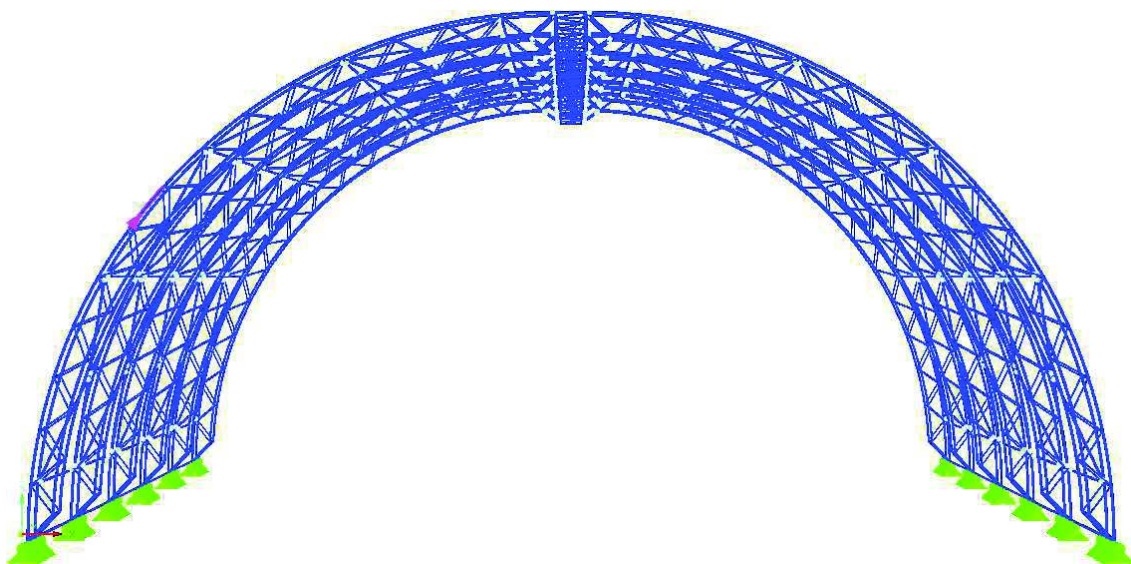
Čelní pohled



Boční pohled



Prostorový model – pohled z perspektivy



Prostorový model – čelní pohled



2 Materiály

Nosná konstrukce a ztužení:

Slitina hliníku EN-AW 6082 T6 (norma EN 1999-1-1:2007):

Hlavní vlastnosti:

- Modul pružnosti: $E=70\,000\text{ MPa}$
- Smykový modul: $G=27\,000\text{ MPa}$
- Poissonův součinitel: $\nu=0,3$
- Objemová tíha: $\gamma=27\text{ kN/m}^3$
- Součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha=2,3\cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$

Doplňující vlastnosti (pro $t \leq 5\text{mm}$):

- Charakteristická hodnota smluvní meze 0,2%: $f_0=255\text{ MPa}$
- Charakteristická hodnota meze pevnosti v tahu: $f_u=310\text{ MPa}$
- Protážení pro měrnou délku $5.65A_0^{0.5}$: $A=0,08$
- Smluvní mez 0,2% v tepelně ovlivněné oblasti (HAZ): $f_{0,haz}=125\text{ MPa}$
- Mez pevnosti v tahu v tepelně ovlivněné oblasti (HAZ): $f_{u,haz}=185\text{ MPa}$
- Poměr smluvní meze 0,2% v tepelně ovlivněné oblasti a v základním materiálu: $\rho_{0,haz}=0,49$
- Poměr meze pevnosti v tahu v tepelně ovlivněné oblasti a v základním materiálu: $\rho_{u,haz}=0,6$
- Vzpěrnostní třída (BC): $BC=A$
- Exponent pro plastifikaci materiálu: $n_p=22$



Dílenské spoje:

Svarový materiál EN-AW 5356 pro EN-AW 6082 T6 (norma EN 1999-1-1:2007):

- Mez pevnosti: $f_w=210$ MPa

Montážní spojovací prvky:

Konstrukční ocel S 235 J2 válcovaná za tepla (norma EN 1993-1-1:2007):

- Mez kluzu: $f_y=235$ MPa
- Mez pevnosti v tahu: $f_u=360$ MPa
- Modul pružnosti: $E=210\ 000$ MPa

Střešní plášť:

Plachtovina z PVC/PES (není specifikováno)

Boční stěna:

Síťová průhledná plachta (není specifikováno)



3 Zatížení

Stálé:

Zatížení stálé je uvažováno od vlastní tíhy konstrukce a od osvětlení plochy pódia, které je uvažováno jako konstantní spojitě zatížení o velikosti 0,15 kN/m. Vlastní tíha konstrukce včetně střešní plachty je 2,646 t.

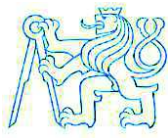
Proměnné:

Vítr:

Konstrukce je navržena jako lešeňová, proto je zatížení větrem uvažováno pro dvě rozdílné hodnoty tlaků. Zaprvé je pro zatížení Pracovním větrem uvažován tlak $q_{prac}=0,2$ kN/m² (podle [3] - 6.2.7.4.2 Pracovní zatížení větrem). Zadruhé je pro zatížení Maximálním větrem uvažován tlak $q_{max}=0,91$ kN/m² (podle [4] - 8.3 Působení zatížení větrem; obrázek 3 – Návrhový dynamický tlak). Konstrukci zastřešení bude možno užívat k jejím účelům pouze tehdy, když nebude překročena hodnota pracovního tlaku větru. Pokud bude dosaženo hodnoty tlaku vyšší než 0,2 kN/m², odinstaluje se zakrytí boční stěny z průhledné síťoviny.

Sníh:

Vzhledem k tomu, že konstrukce bude využívána pouze v letní sezóně, zatížení sněhem není uvažováno.



3.1 Zatěžovací stavy

Pro model zatížený Pracovním větrem:

ZS1: Vlastní tíha konstrukce	G
ZS2: Osvětlení plochy pódia	G_0
ZS3: Pracovní vítr příčný	$Q_{w,prac,T}$
ZS4: Pracovní vítr podélný „vnější“	$Q_{w,prac,L,O}$
ZS5: Pracovní vítr podélný „vnitřní“	$Q_{w,prac,L,I}$

Pro model zatížený Maximálním větrem:

ZS1: Vlastní tíha konstrukce	G
ZS2: Osvětlení plochy pódia	G_0
ZS3: Maximální vítr příčný	$Q_{w,max,T}$
ZS4: Maximální vítr podélný	$Q_{w,max,L}$
ZS5: Maximální vítr podélný „sání“	$Q_{w,max,L,S}$



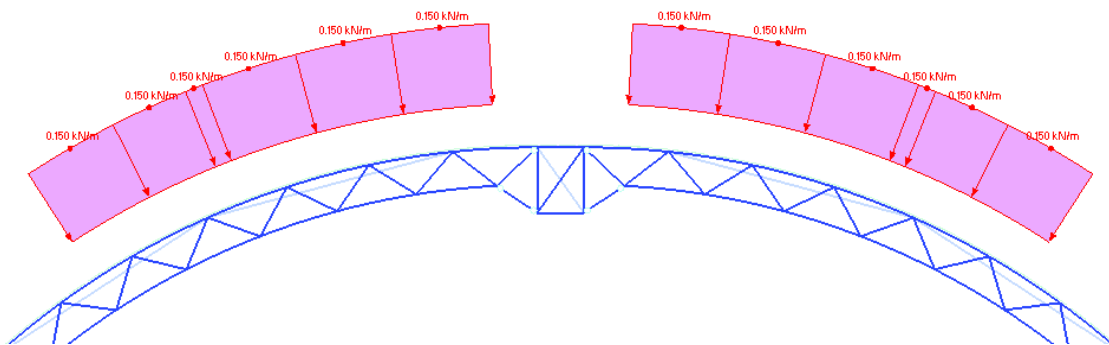
3.1.1 Zatěžovací stavy pro model zatížený Pracovním větrem

3.1.1.1 ZS1 - Vlastní tíha konstrukce - G

Výpočetní program RFEM 5.07 automaticky počítá s vlastní tíhou konstrukce.

3.1.1.2 ZS2 - Osvětlení plochy pódia - G_0

Velikost zatížení od osvětlení, je uvažováno jako konstantní spojitě o velikosti 0,15 kN/m. Zatíženy osvětlením budou pouze příčné vazby, ke kterým bude konstrukce osvětlení připevněna. Zatěžovací délka je uvažovaná na každé vazbě 3,9 m.

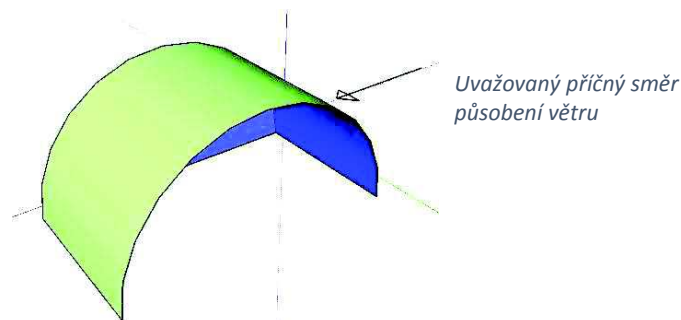


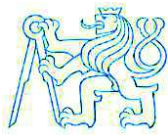
Zatížení osvětlením plochy pódia

3.1.1.3 ZS3 - Pracovní vítr příčný - $Q_{w,prac,T}$

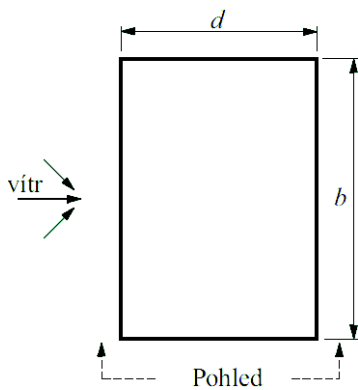
Příčný směr působení větru je myšlen ve směru kolmo na podélnou osu válcové střechy. Pro pracovní vítr se uvažuje model se zakrytím boční stěny, ve které jeho působením vzniká sání. Hodnoty tlaků od sání větru v oblastech A, B a C na boční stěně jsou přenášobeny příslušnými zatěžovacími šířkami. Zatížení je tedy zjednodušeno z plošného na liniové, které působí na horní pás příčných vazeb, kde je plachta pro boční stěnu uchycena.

Na střešním plášti vzniká od zatížení v oblasti A tlak a v oblastech B a C sání. Oblasti A a C jsou symetrické o stejné ploše, oblast B má dvojnásobně větší plochu.

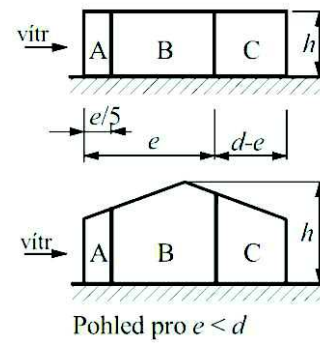




Určení tlaků v oblastech A, B a C pro boční stěnu:



b= 10 m
h=8,7 m
d=17,9 m



- hodnota e je menší z rozměrů b nebo 2h ($e = \min(10; 17,4) = 10$ m)
- $e = 10\text{ m} < d = 17,9$ m
- $h/d = 8,7/17,9 = 0,486$
- Součinitele vnějšího tlaku pro $h/d = 0,486$:

$$C_{pe,10, A} = -1,2$$

$$C_{pe,10, B} = -0,8$$

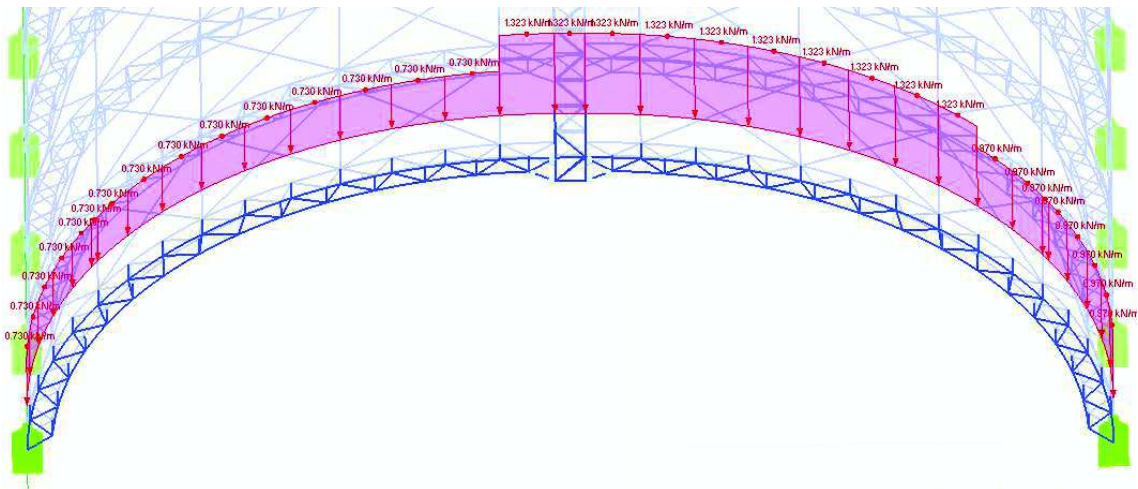
$$C_{pe,10, C} = -0,5$$

- Pro hodnotu zatížení Pracovním větrem $0,2 \text{ kN/m}^2$ vychází tlaky v oblastech:

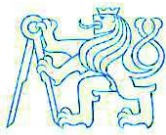
$$q_A = C_{pe,10, A} \cdot q_{prac} = -1,2 \cdot 0,2 = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_B = C_{pe,10, B} \cdot q_{prac} = -0,8 \cdot 0,2 = -0,16 \text{ kN/m}^2$$

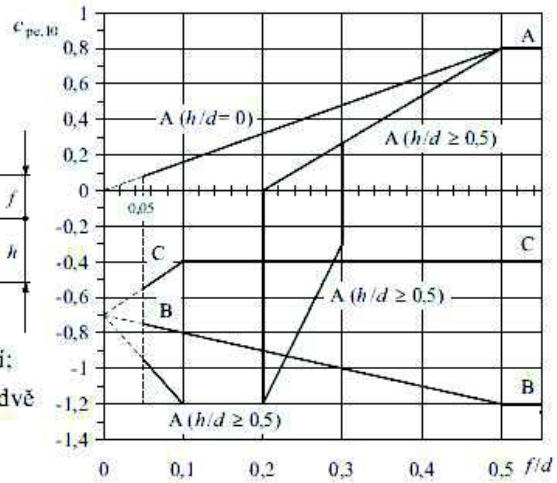
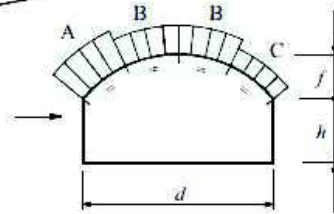
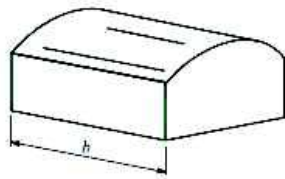
$$q_C = C_{pe,10, C} \cdot q_{prac} = -0,5 \cdot 0,2 = -0,10 \text{ kN/m}^2$$



Zjednodušené zatížení horního pásu příčné vazby od tlaků v oblastech A, B a C na boční stěnu



Určení tlaků v oblastech A, B a C pro střechu:



Poznámky:

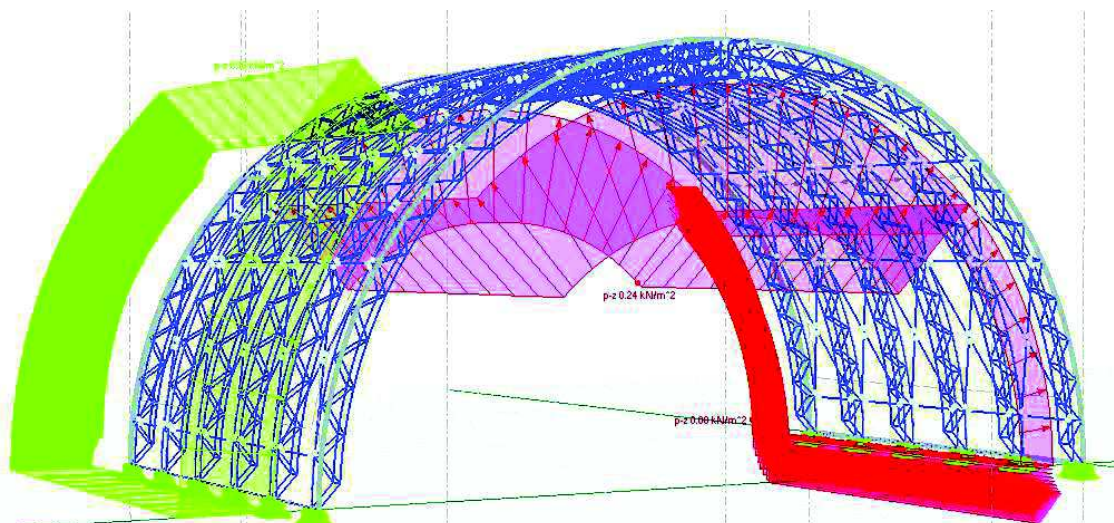
- pro $0 < h/d < 0,5$ se $c_{pe,10}$ získá lineární interpolací;
- pro $0,2 \leq h/d \leq 0,3$ a $h/d \geq 0,5$ musí být uváženy dvě
- hodnoty $c_{pe,10}$;
- graf není vhodný pro ploché střechy.

- $h=0$ m; $f=8,7$ m; $d=17,9$ m
- $h/d=0/17,9=0$
- $f/d=8,7/17,9=0,486$
- součinitele vnějšího tlaku pro $f/d=0,486$ po odečtení z grafu a výsledné tlaky:

$$C_{pe,10, A} = 0,8 \quad q_A = C_{pe,10, A} * q_{prac} = 0,8 * 0,2 = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,10, B} = -1,2 \quad q_B = C_{pe,10, B} * q_{prac} = -1,2 * 0,2 = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,10, C} = -0,4 \quad q_C = C_{pe,10, C} * q_{prac} = -0,4 * 0,2 = -0,08 \text{ kN/m}^2$$



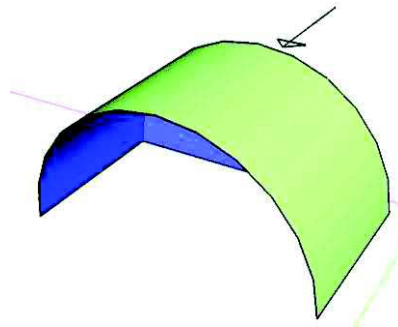
Plošné zatížení střechy v oblastech A, B a C



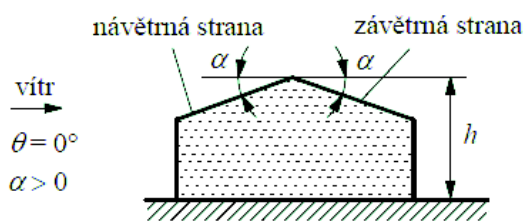
3.1.1.4 ZS4 - Pracovní vítr podélný „vnější“ - $Q_{w,prac,L,O}$

Podélný směr působení větru je myšlen ve směru podélném k podélné ose válcové střechy. Pro tlak na boční stěnu (záda) je uvažována hodnota pracovního tlaku $q_{prac}=0,2$ kN/m², která je přenásobena zatěžovací šířkou 8,7 m. Toto zatížení je stejně jako v ZS3 přiřazeno hornímu pásu příčných vazeb. Je tedy uvažováno, že veškeré zatížení od větru z boční stěny přenáší přes plachtu krajní příčné vazby.

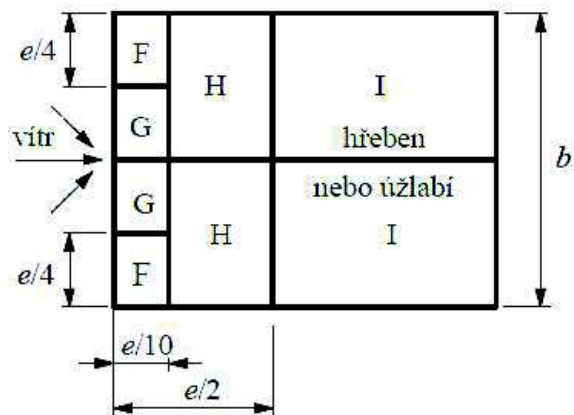
Na střeše vzniká od podélného větru v oblastech F, G, H a I sání. Pro směr větru rovnoběžný se směrem podélné osy klenbové střechy nejsou v Eurokódu uvedeny pokyny pro stanovení zatížení. V tomto případě lze použít schéma členění sedlové střechy se sklonem $\alpha > 0$. Součinitele vnějšího tlaku byly tedy převzaty z tabulky součinitelů vnějších tlaků pro sedlové střechy.



Uvažovaný podélný „vnější“ směr působení větru



e je menší z hodnot b nebo $2h$
 b je rozměr kolný na směr větru



Směr větru $\theta = 90^\circ$

- $\alpha = 0^\circ$ (uvažováno $\alpha = 5^\circ$)
- $\theta = 90^\circ$
- $e = \min(15; 17,4) = 15$ m



Úhel sklonu α_0		-45°	-30°	-15°	-5°	5°	15°	30°	45°	60°	75°						
směr větru $\theta = 0^\circ$	F	$c_{pe,10}$	-0.6	-1.1	-2.5	-2.3	-1.7	+0.0	-0.9	+0.2	-0.5	+0.7	+0.0	+0.7	+0.7	+0.8	
		$c_{pe,1}$	-0.6	-2.0	-2.8	-2.5	-2.5	-2.0	-1.5	-1.5							
	G	$c_{pe,10}$	-0.6	-0.8	-1.3	-1.2	-1.2	+0.0	-0.8	+0.2	-0.5	+0.7	+0.0	+0.7	+0.7	+0.8	
		$c_{pe,1}$	-0.6	-1.5	-2.0	-2.0	-2.0	-1.5	-1.5								
	H	$c_{pe,10}$	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8	-0.6	+0.0	-0.3	+0.2	-0.2	+0.4	+0.0	+0.6	+0.7	+0.8	
		$c_{pe,1}$	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2										
	I	$c_{pe,10}$	-0.7	-0.6	-0.5	+0.2	-0.6	-0.6	-0.4	+0.0	-0.4	+0.0	-0.2	+0.0	-0.2	-0.2	
		$c_{pe,1}$	-0.7	-0.6	-0.5	+0.2	-0.6	-0.6	-0.4	+0.0	-0.4	+0.0	-0.2	+0.0	-0.2	-0.2	
	J	$c_{pe,10}$	-1.0	-1.0	-0.7	+0.2	-0.6	+0.2	-0.6	-1.0	+0.0	-0.5	-0.0	-0.3	+0.0	-0.3	-0.3
		$c_{pe,1}$	-1.5	-1.5	-1.2	+0.2	-0.6	+0.2	-0.6	-1.5	+0.0	-0.5	-0.0	-0.3	+0.0	-0.3	-0.3
	směr větru $\theta = 90^\circ$	F	$c_{pe,10}$	-1.4	-1.5	-1.9	-1.8	-1.6	-1.3	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	
			$c_{pe,1}$	-2.0	-2.1	-2.5	-2.5	-2.2	-2.0	-2.0	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	
G		$c_{pe,10}$	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.3	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1.2			
		$c_{pe,1}$	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0			
H		$c_{pe,10}$	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8			
		$c_{pe,1}$	-1.3	-1.3	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.0	-1.0	-1.0			
I		$c_{pe,10}$	-0.9	-0.9	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5			
		$c_{pe,1}$	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2											

Součinitele vnějšího tlaku pro sedlové střechy

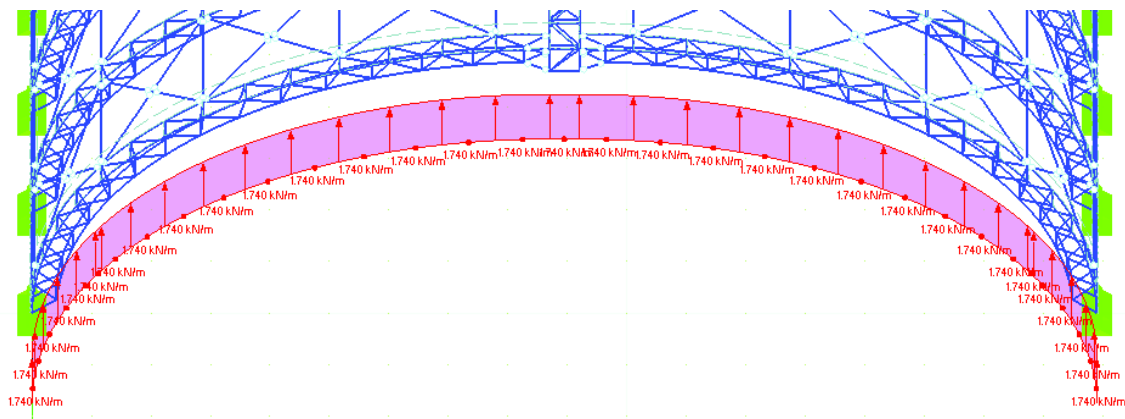
- součinitele vnějšího tlaku a výsledné tlaky v oblastech F, G, H a I pro $\alpha=5^\circ$ a $\Theta=90^\circ$:

$$c_{pe,10, F} = -1,6 \quad q_F = c_{pe,10, F} * q_{prac} = -1,6 * 0,2 = -0,32 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10, G} = -1,3 \quad q_G = c_{pe,10, G} * q_{prac} = -1,3 * 0,2 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10, H} = -0,7 \quad q_H = c_{pe,10, H} * q_{prac} = -0,7 * 0,2 = -0,14 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10, I} = -0,5 \quad q_I = c_{pe,10, I} * q_{prac} = -0,5 * 0,2 = -0,10 \text{ kN/m}^2$$



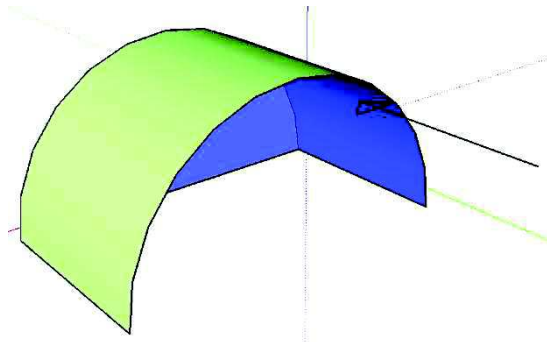
Zjednodušené zatížení horního pásu příčné vazby od tlaku na boční stěnu



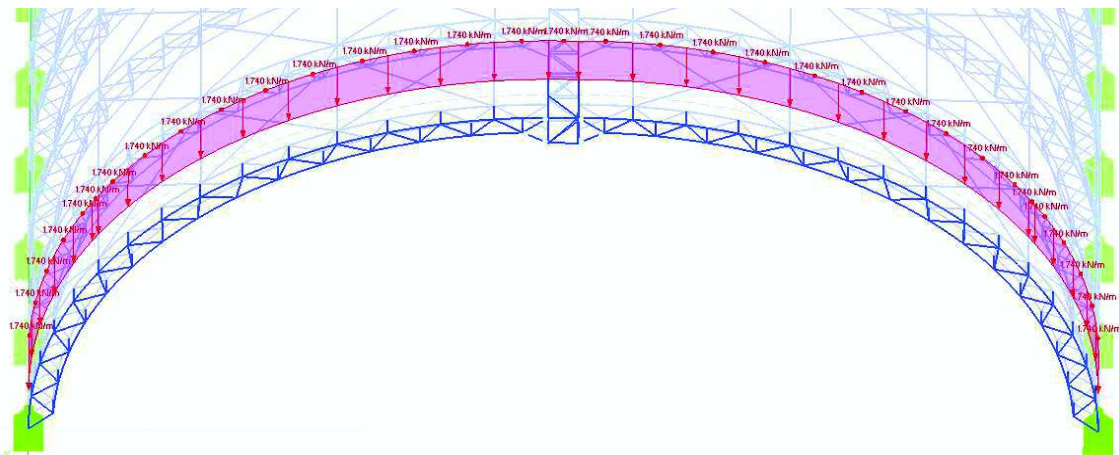
3.1.1.5 ZS5 - Pracovní vítr podélný „vnitřní“ - $Q_{w,prac,L,I}$

Podélný směr působení větru je myšlen ve směru podélném k podélné ose válcové střechy. Zatížení větrem na boční stěnu je stejné jako pro ZS4, ale působí v opačném směru.

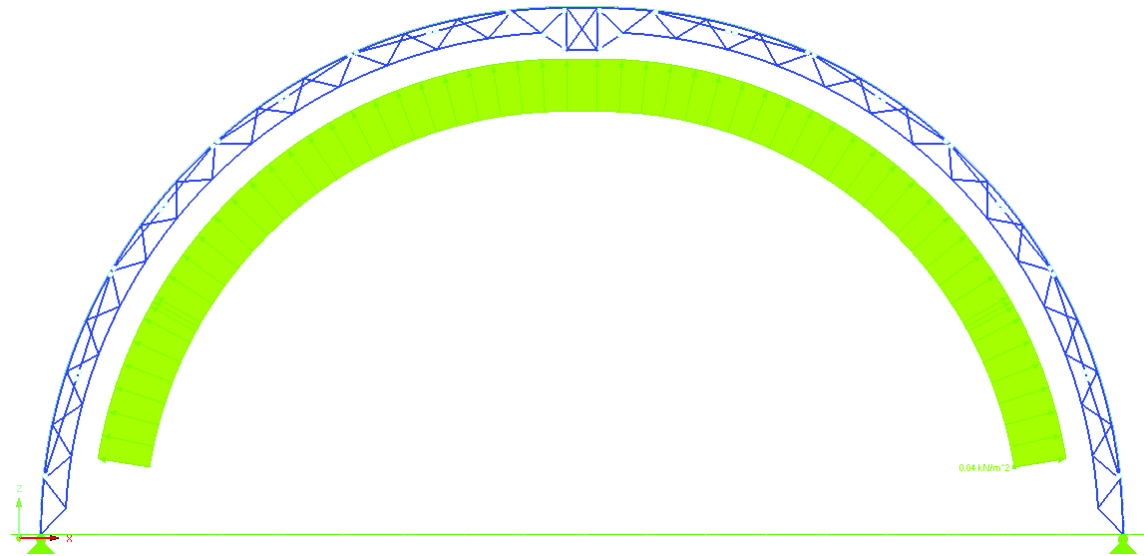
Tlak působící na střechu je uvažován jako vnitřní tlak. Pro pozemní stavby bez rozhodující fasády, lze součinitel vnitřního tlaku C_{pi} stanovit pro každý směr větru v závislosti na poměru výšky a hloubky pozemní stavby h/d , a poměru ploch otvorů μ . Pokud odhad μ není možný nebo není považován za zdůvodněný, má se použít méně výhodná z hodnot +0,2 a -0,3. Hodnota C_{pi} je uvažována +0,2, tlak na plochu střešního pláště je tedy $q_{stř,pl} = C_{pi} * q_{prac} = 0,2 * 0,2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$.



Uvažovaný podélný „vnitřní“ směr působení větru



Zjednodušené zatížení horního pásu příčné vazby od tlaku na boční stěnu



Plošné zatížení střechy od vnitřního tlaku $q_{stř,pl}=0,04kN/m^2$



3.1.2 Zatěžovací stavy pro model zatížený Maximálním větrem

3.1.2.1 ZS1 - Vlastní tíha konstrukce + ZS2 - Osvětlení plochy pódia

Stejně jako u zatěžovacích stavů pro model zatížený pracovním větrem (viz. 3.1.1.1 a 3.1.1.2).

3.1.2.2 ZS3 - Maximální vítr příčný - $Q_{w,max,T}$

Příčný směr působení větru je myšlen ve směru kolmo na podélnou osu válcové střechy. Pro maximální vítr se uvažován je model se bez zakrytí boční stěny. Na střešním plášti vzniká od zatížení v oblasti A tlak a v oblastech B a C sání. Oblasti A a C jsou symetrické o stejné ploše, oblast B má dvojnásobně větší plochu. (viz. 3.1.1.3).

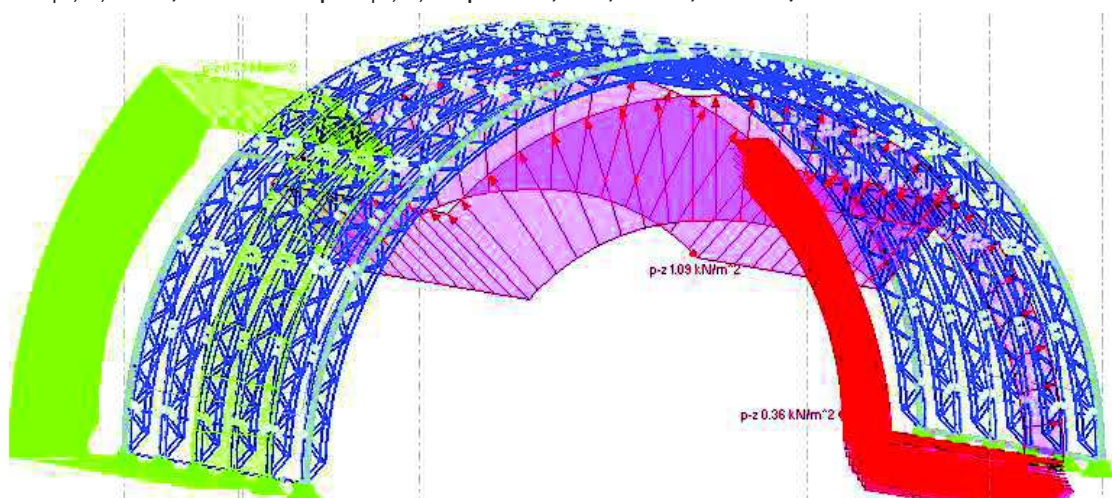
Určení tlaků v oblastech A, B a C pro střechu:

- $h=0$ m; $f=8,7$ m; $d=17,9$ m
- $h/d=0/17,9=0$
- $f/d=8,7/17,9=0,486$
- součinitele vnějšího tlaku pro $f/d=0,486$ po odečtení z grafu (viz. 3.1.1.3) a výsledné tlaky:

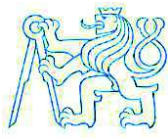
$$C_{pe,10,A} = 0,8 \quad q_A = C_{pe,10,A} * q_{max} = 0,8 * 0,91 = 0,728 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,10,B} = -1,2 \quad q_B = C_{pe,10,B} * q_{max} = -1,2 * 0,91 = -1,092 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,10,C} = -0,4 \quad q_C = C_{pe,10,C} * q_{max} = -0,4 * 0,91 = -0,364 \text{ kN/m}^2$$



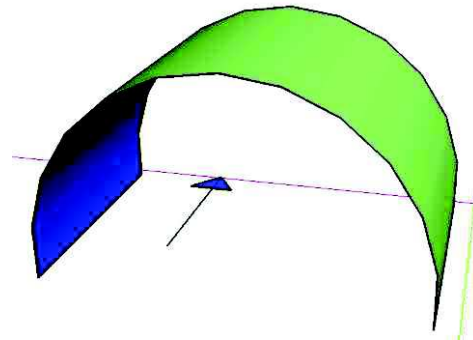
Plošné zatížení střechy v oblastech A, B a C



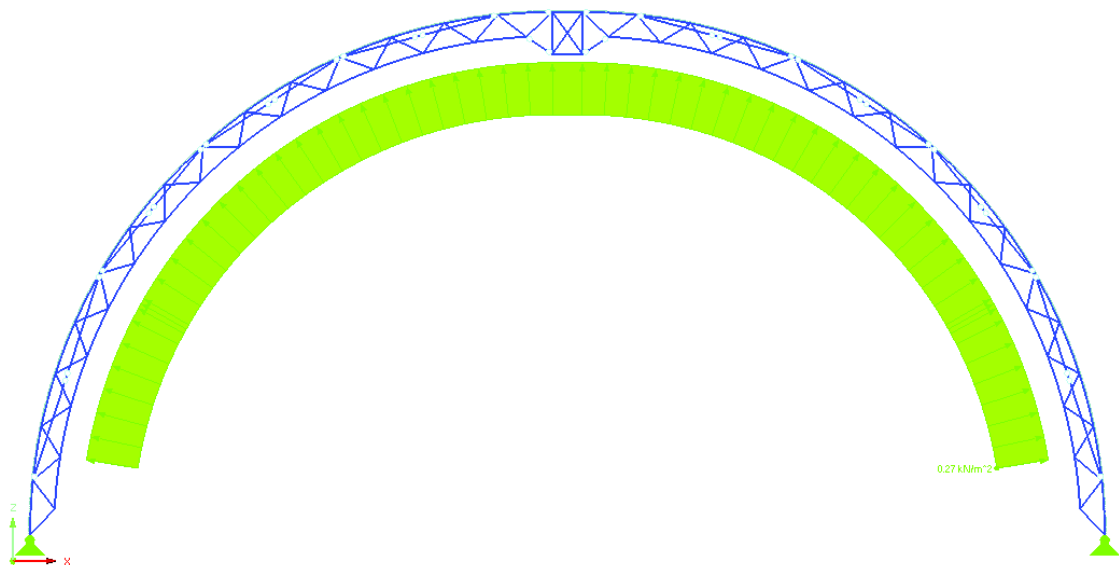
3.1.2.3 ZS4 - Maximální vítr podélný - $Q_{w,max,L}$

Podélný směr působení větru je uvažován ve směru podélném k podélné ose válcové střechy.

Je uvažováno, že vítr proudí pod konstrukcí zastřešení bez boční stěny způsobuje přetlak $q_{přetlak} = C_{pi} * q_{max} = 0,3 * 0,91 = 0,273 \text{ kN/m}^2$ působící na celou plochu střechy.



Uvažovaný podélný směr působení větru



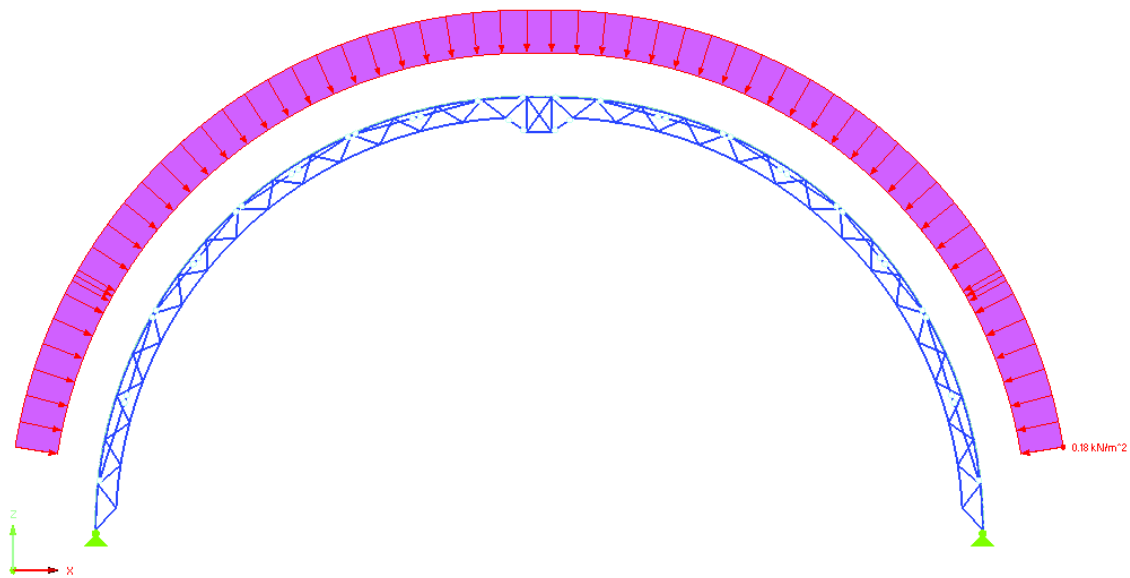
Plošné zatížení střechy přetlakem $q_{přetlak} = 0,273 \text{ kN/m}^2$



3.1.2.4 ZS5 - Maximální vítr podélný „sání“ - $Q_{w,max,L,S}$

Podélný směr působení větru je uvažován ve směru podélném k podélné ose válcové střechy (viz. 3.1.2.3).

Je uvažováno, že vítr proudí pod konstrukcí jako průvan a způsobuje tím sání na střešním plášti $q_{sání} = C_{pi} * q_{max} = 0,2 * 0,91 = 0,182 \text{ kN/m}^2$ na celé ploše střechy.



Plošné zatížení střechy od sání větru $q_{sání} = 0,182 \text{ kN/m}^2$



3.2 Kombinace zatížení

Pro model zatížený Pracovním i Maximálním větrem bylo vytvořeno 7 kombinací zatížení. Kombinační návrhový součinitel pro stálá zatížení je $\gamma_G=1,35$, pro zatížení proměnná $\gamma_Q=1,5$. Pro posouzení MSP je uvažován součinitel $\gamma_G=\gamma_Q=1$. Kombinace zatížení KZ1 až KZ6 jsou vytvořeny pro posouzení MSÚ, KZ7 pro posouzení MSP. Výsledky od všech kombinací zatížení byly vypočítány v programu RFEM metodou analýzy I. řádu (geometricky lineárním výpočtem).



3.2.1 Kombinace zatížení pro model zatížený Pracovním větrem

KZ1 - maximální stálé + Pracovní vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,T} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,T}$$

KZ2 - maximální stálé + Pracovní vítr podélný „vnější“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,L,O} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,L,O}$$

KZ3 - maximální stálé + Pracovní vítr podélný „vnitřní“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,L,I} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,L,I}$$

KZ4 - minimální stálé + Pracovní vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,T} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,T}$$

KZ5 - minimální stálé + Pracovní vítr podélný „vnější“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,L,O} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,L,O}$$

KZ6 - minimální stálé + Pracovní vítr podélný „vnitřní“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,L,I} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,prac,L,I}$$

KZ7 - minimální stálé + minimální Pracovní vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,T} = 1^*(G+G_0) + 1^* Q_{w,prac,T}$$



3.2.2 Kombinace zatížení pro model zatížený Maximálním větrem

KZ1 - maximální stálé + Maximální vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,T} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,T}$$

KZ2 - maximální stálé + Maximální vítr podélný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,L} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,L}$$

KZ3 - maximální stálé + Maximální vítr podélný „sání“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,L,S} = 1,35^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,L,S}$$

KZ4 - minimální stálé + Maximální vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,T} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,T}$$

KZ5 - minimální stálé + Maximální vítr podélný :

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,L} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,L}$$

KZ6 - minimální stálé + Maximální vítr podélný „sání“:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,L,S} = 1^*(G+G_0) + 1,5^* Q_{w,max,L,S}$$

KZ7 - minimální stálé + minimální Maximální vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,T} = 1^*(G+G_0) + 1^* Q_{w,max,T}$$



4 Posouzení

Pro MSÚ i MSP byl posuzován model pro zatížení Pracovním i Maximálním větrem. Pro MSÚ byly uvažovány kombinace zatížení KZ1 až KZ6, pro MSP kombinace zatížení KZ7. Posouzení jednotlivých prutů (posouzení průřezů a stability) bylo provedeno pomocí přídatného modulu RF-ALUMINIUM-posouzení hliníkových prutů podle EN 1999-1-1:2007.

Pro příčné vazby byla posuzována stabilita jako pro členěné tlačené pruty se dvěma pásy s příhradovými spojkami (v rovině) a dvěma pásy s rámovými spojkami (z roviny).

Příčné vazby a hřebenový nosník jsou dílensky vytvořeny svařením hlavních prutů s příhradovými a rámovými spojkami. Styčníky těchto konstrukcí jsou posuzovány jako průřezy v tepelně ovlivněné oblasti v okolí svaru (HAZ-heated affected zone). Svary jsou provedeny jako koutové ovařením celého obvodu trubkových profilů. Vnitřní síly vznikající ve styčnicích způsobují zanedbatelná napětí ve svarech vzhledem k účinným délkám svarů. Z tohoto důvodu nebude únosnost svarů posuzována.



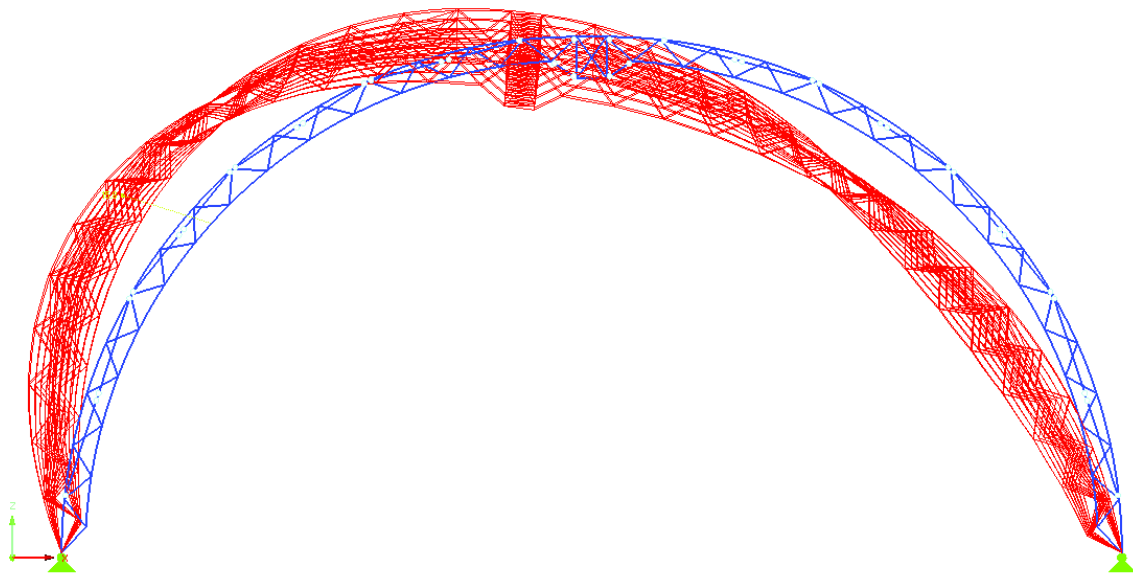
4.1 MSP

4.1.1 Posouzení MSP pro zatížení Pracovním větrem

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti konstrukce při zatížení Pracovním větrem je uvažována kombinace zatížení KZ7.

KZ7 - minimální stálé + minimální Pracovní vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,prac,T} = 1^*(G+G_0) + 1^* Q_{w,prac,T}$$



Deformovaná konstrukce (červeně) od KZ7 pro Pracovní vítr (deformace 100x zvětšeny)

Svislý průhyb:

$$\delta_{lim}=L/200=17900/250=71,6 \text{ mm}$$

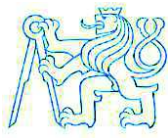
$$\delta=15,2 \text{ mm} < \delta_{lim}=71,6 \text{ mm} \text{ **VYHOVUJE**}$$

Vodorovný posun:

$$\delta_{lim}=H/150=8700/150=58 \text{ mm}$$

$$\delta=14,9 \text{ mm} < \delta_{lim}=58 \text{ mm} \text{ **VYHOVUJE**}$$

Podmínky mezního stavu použitelnosti jsou splněny.

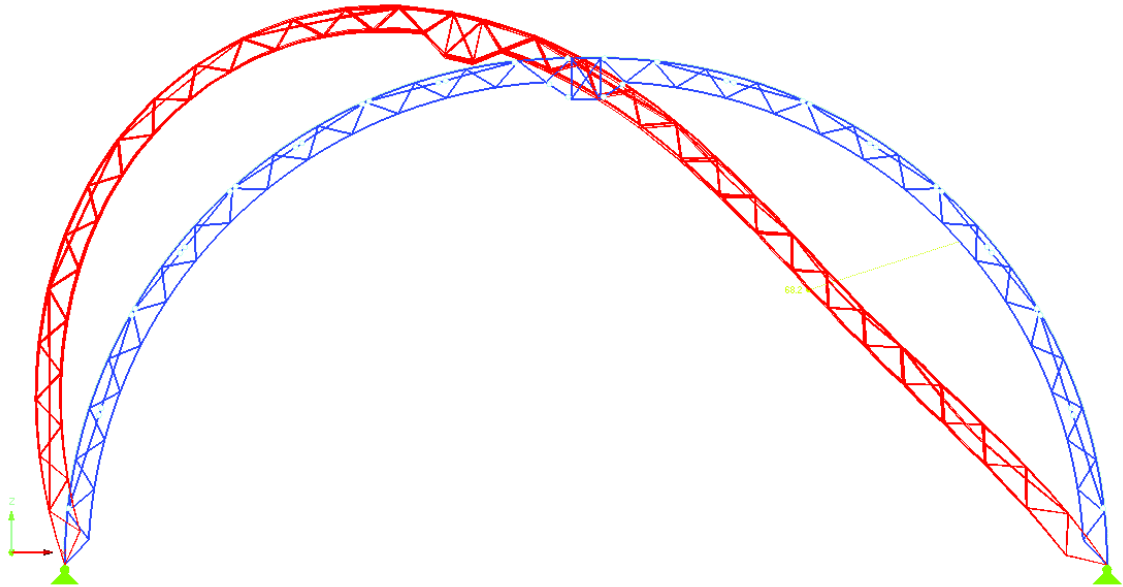


4.1.2 Posouzení MSP pro zatížení Maximálním větrem

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti konstrukce při zatížení Maximálním větrem je kombinace zatížení KZ7, při které vznikají největší deformace na konstrukci.

KZ7 - minimální stálé + minimální Maximální vítr příčný:

$$\gamma_G^*(G+G_0) + \gamma_Q^* Q_{w,max,T} = 1^*(G+G_0) + 1^* Q_{w,max,T}$$



Deformovaná konstrukce (červeně) od KZ7 pro Maximální vítr (deformace 40x zvětšeny)

Svislý průhyb:

$$\delta_{lim} = L/200 = 17900/250 = 71,6 \text{ mm}$$

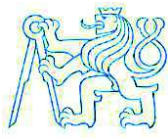
$$\delta = 66,2 \text{ mm} < \delta_{lim} = 71,6 \text{ mm} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Vodorovný posun:

$$\delta_{lim} = H/100 = 8700/100 = 87 \text{ mm}$$

$$\delta = 64,8 \text{ mm} < \delta_{lim} = 87 \text{ mm} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Podmínky mezního stavu použitelnosti jsou splněny.



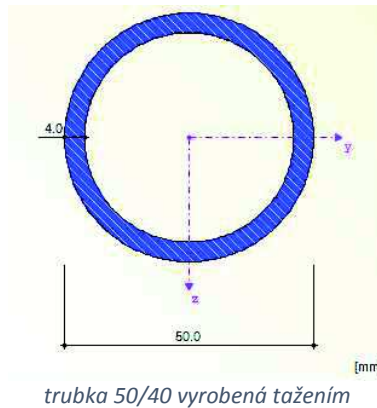
4.2 MSÚ

4.2.1 Posouzení průřezů a stability rozhodujících prutů

Posouzení se týká nejvíce namáhaných průřezů a stability jednotlivých prutů, které nejsou ovlivněné svařováním. Návrhové vnitřní síly jsou převzaty z výpočetního programu RFEM. Rozhodující jsou kombinace zatížení pro Maximální vítr.

4.2.1.1 Navržené průřezy

Průřez 1 – TR 50/4:



Průřezové charakteristiky:

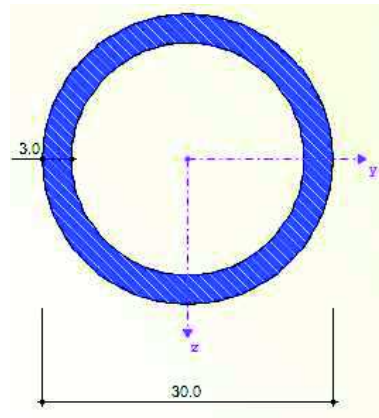
$d=50 \text{ mm}$	$I_y=154051 \text{ mm}^4$	$W_{z,el}=6162 \text{ mm}^3$
$t=4 \text{ mm}$	$I_z=154051 \text{ mm}^4$	$W_{y,pl}=8485,3 \text{ mm}^3$
$A=578,1 \text{ mm}^2$	$I_t=308102 \text{ mm}^4$	$W_{z,pl}=8485,3 \text{ mm}^3$
$A_{v,y}=368 \text{ mm}^2$	$i_y=16,2 \text{ mm}$	$I_w=0 \text{ mm}^6$
$A_{v,z}=368 \text{ mm}^2$	$i_z=16,2 \text{ mm}$	$S_y=2121,3 \text{ mm}^3$
	$W_{y,el}=6162 \text{ mm}^3$	$S_z=2121,3 \text{ mm}^3$

Klasifikace průřezu: (podle [1] - 6.1.4)

- $d=46 \text{ mm}$; $t=4 \text{ mm}$
- materiálový součinitel $\varepsilon=\sqrt{(250/f_0)}=\sqrt{(250/255)}=0,99$
- štíhlostní parametry pro třídy 1, 2 a 3:
 $\beta_1=11*\varepsilon=11*0,99=10,892$
 $\beta_2=16*\varepsilon=16*0,99=15,842$
 $\beta_3=22*\varepsilon=22*0,99=21,783$
- $\beta=10,173$ (převzato z RFEM)
- $\beta < \beta_1$ **TŘÍDA 1** (podle [1] - 6.1.4.2)



Průřez 2 – TR 30/3:



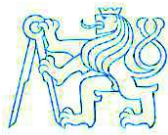
Trubka 30/3 vyrobená tažením

Průřezové charakteristiky:

$d=30 \text{ mm}$	$I_y=23474,8 \text{ mm}^4$	$W_{z,el}=1565 \text{ mm}^3$
$t=3 \text{ mm}$	$I_z=23474,8 \text{ mm}^4$	$W_{y,pl}=2196 \text{ mm}^3$
$A=254,5 \text{ mm}^2$	$I_t=46949,5 \text{ mm}^4$	$W_{z,pl}=2196 \text{ mm}^3$
$A_{v,y}=162 \text{ mm}^2$	$i_y=9,5 \text{ mm}$	$I_w=0 \text{ mm}^6$
$A_{v,z}=162 \text{ mm}^2$	$i_z=9,5 \text{ mm}$	$S_y=549 \text{ mm}^3$
	$W_{y,el}=1565 \text{ mm}^3$	$S_z=549 \text{ mm}^3$

Klasifikace průřezu: (podle [1] - 6.1.4)

- $d=27 \text{ mm}; t=3 \text{ mm}$
- materiálový součinitel $\varepsilon=\sqrt{(250/f_0)}=\sqrt{(250/255)}=0,99$
- štíhlostní parametry pro třídy 1, 2 a 3:
 $\beta_1=11 \cdot \varepsilon = 11 \cdot 0,99=10,892$
 $\beta_2=16 \cdot \varepsilon = 16 \cdot 0,99=15,842$
 $\beta_3=22 \cdot \varepsilon = 22 \cdot 0,99=21,783$
- $\beta=9$ (převzato z RFEM)
- $\beta < \beta_1$ **TŘÍDA 1** (podle [1] - 6.1.4.2)



4.2.1.2 Hlavní pruty příčné vazby

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed}=51,956 \text{ kN (TAH)}$$

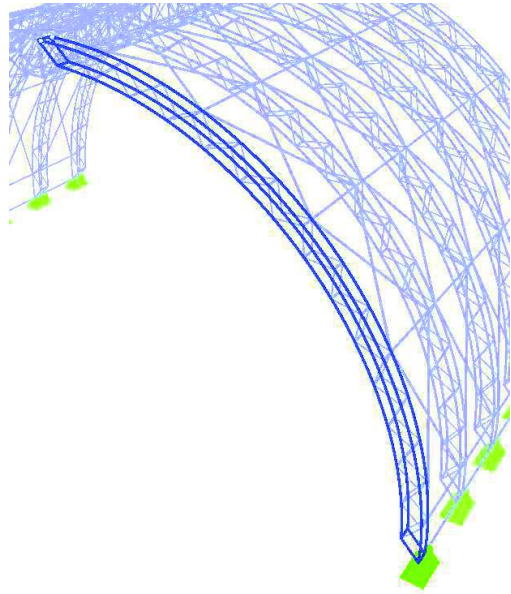
$$V_{y,Ed}=-0,017 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}=0,010 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}=0,360 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed}=0,000 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed}=0,000 \text{ kNm}$$



Hlavní pruty příčné vazby – průřez 1 – TR 50/4

Posouzení:

- posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla (podle [1]- 6.2.9 a 6.2.10):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}}\right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd}=A_v \frac{f_0}{\gamma_{M1}\sqrt{3}} = 346,86 * \frac{255}{1,1\sqrt{3}} = 46,42 \text{ kN}$
- pro kruhové trubky: $A_v=\eta_v A=0,6*578,1=346,86 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $\eta_v=0,6$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{0,017}{46,42} = 0,000215 \leq 0,5 \quad \text{MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{Rd}=A_{eff} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} = 578,1 \frac{255}{1,1} = 134,014 \text{ kN}$
- $M_{y,Rd}=M_{z,Rd}=\alpha_y \frac{W_{y,el} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} * \frac{6162*255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{6162*255}{1,1} = 1,967 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi=1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0=1$

$$\left(\frac{51,956}{1*134,014}\right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,360}{1*1,967}\right)^{1,7}\right]^{0,6} = 0,47 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.1.3 Příhradové spojky příčné vazby

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -10,868 \text{ kN (TLAK)}$$

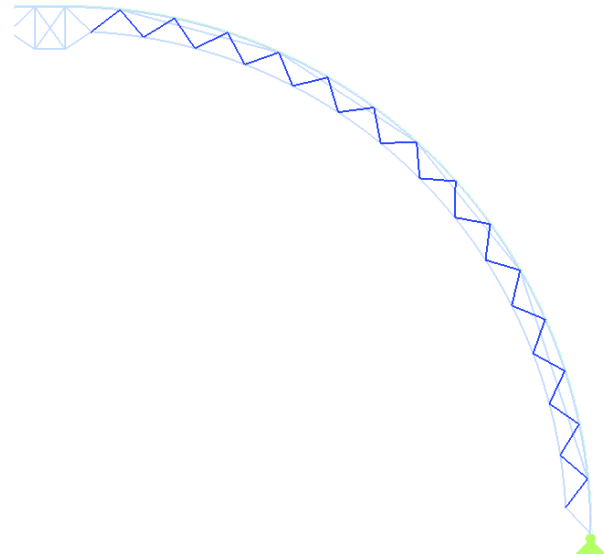
$$V_{y,Ed} = 0,001 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,004 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,003 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$



Příhradové spojky příčné vazby – průřez 2 – TR 30/3

Posouzení:

- posouzení stability-rovinný vzpěr (podle [1]- 6.3):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

- vybočení ve směru osy y je stejné jako vybočení ve směru osy z
- návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu: $N_{b,Rd} = \kappa \chi A_{eff} f_0 / \gamma_{M1}$
- součinitel vzpěrnosti: $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,325 + \sqrt{1,325^2 - 1,196^2}} = 0,527 \leq 1$
- $\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,196 - 0,1) + 1,196^2) = 1,325$
- pro vzpěrnostní třídu A: $\alpha = 0,2$ a $\lambda_0 = 0,1$

- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{254,5 \cdot 255}{45352}} = 1,196$

- pružná kritická síla: $N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L_{cr}^2} = \frac{70000 \cdot 23474,8 \cdot \pi^2}{598^2} = 45,352 \text{ kN}$

- prut je uložen na obou koncích kloubově: $L_{cr} = L_{teor} = 0,598 \text{ m}$

- $A_{eff} = A$

- Součinitel oslabení svařováním: $\kappa = 1$

- Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 0,527 \cdot 254,5 \cdot 255}{1,1} = 31,092 \text{ kN}$

$$\frac{10,868}{31,092} = 0,35 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.1.4 Rámové spojky příčné vazby

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -0,528 \text{ kN (TLAK)}$$

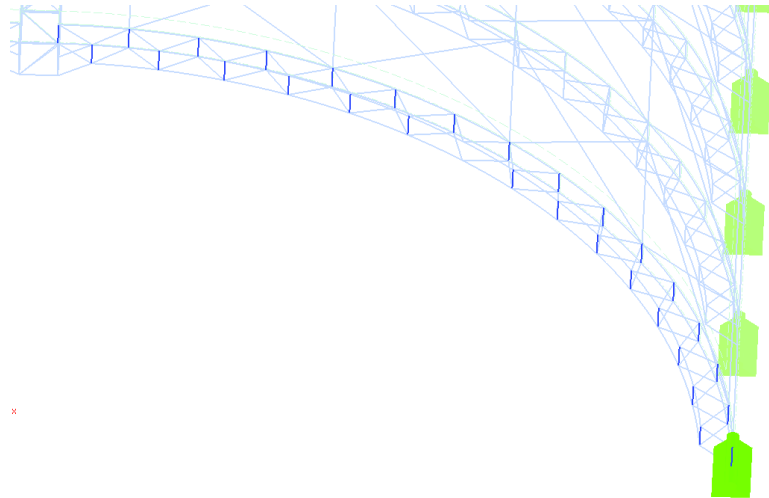
$$V_{y,Ed} = -0,55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,587 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,095 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,077 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,006 \text{ kNm}$$



Rámové spojky příčné vazby – průřez 1- TR 50/4

Posouzení:

- posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla (podle [1]- 6.2.9 a 6.2.10):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_v \frac{f_0}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} = 346,86 * \frac{255}{1,1 \sqrt{3}} = 46,42 \text{ kN}$
- pro kruhové trubky: $A_v = \eta_v A = 0,6 * 578,1 = 346,86 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $\eta_v = 0,6$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{0,587}{46,42} = 0,013 \leq 0,5 \text{ MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{Rd} = A_{eff} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} = 578,1 \frac{255}{1,1} = 134,014 \text{ kN}$
- $M_{y,Rd} = M_{z,Rd} = \alpha_y \frac{W_{y,el} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} * \frac{6162 * 255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{6162 * 255}{1,1} = 1,967 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi = 1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = 1$

$$\left(\frac{0,528}{1 * 134,014} \right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,095}{1 * 1,967} \right)^{1,7} + \left(\frac{0,077}{1 * 1,967} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,06 \leq 1,00 \text{ VYHOVUJE}$$



4.2.1.5 Podélná střešní ztužidla

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -10,139 \text{ kN (TLAK)}$$

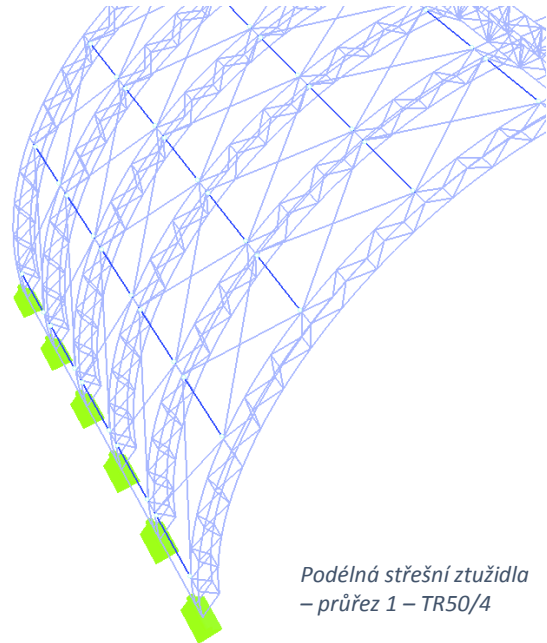
$$V_{y,Ed} = -0,017 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 2,735 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,236 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,007 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$



Podélná střešní ztužidla
– průřez 1 – TR50/4

Posouzení:

- posouzení stability - rovinný vzpěr (podle [1]- 6.3):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

- vybočení ve směru osy y je stejné jako vybočení ve směru osy z
- návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu: $N_{b,Rd} = \kappa \chi A_{eff} f_0 / \gamma_{M1}$
- součinitel vzpěrnosti: $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,545 + \sqrt{2,545^2 - 1,93^2}} = 0,238 \leq 1$
- $\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,93 - 0,1) + 1,93^2) = 2,545$
- pro vzpěrnostní třídu A: $\alpha = 0,2$ a $\lambda_0 = 0,1$
- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{578,1 \cdot 255}{39571}} = 1,93$
- pružná kritická síla: $N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L_{cr}^2} = \frac{70000 \cdot 154051 \cdot \pi^2}{1640^2} = 39,571 \text{ kN}$
- prut je uložen na obou koncích kloubově: $L_{cr} = L_{teor} = 1,64 \text{ m}$
- $A_{eff} = A$
- Součinitel oslabení svařováním: $\kappa = 1$
- Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 0,238 \cdot 578,1 \cdot 255}{1,1} = 31,895 \text{ kN}$

$$\frac{10,139}{31,895} = 0,32 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.1.6 Diagonální střešní ztužidla

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -11,489 \text{ kN (TLAK)}$$

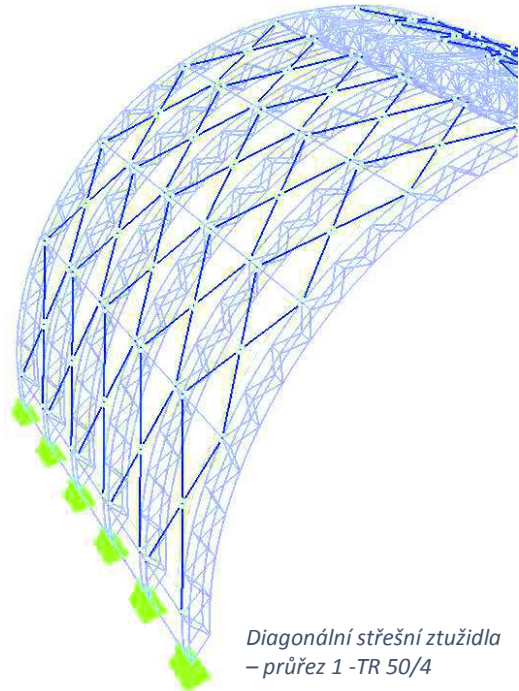
$$V_{y,Ed} = 0,000 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -0,006 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,035 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = -0,024 \text{ kNm}$$



Diagonální střešní ztužidla
– průřez 1 - TR 50/4

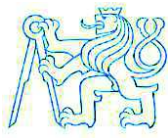
Posouzení:

- posouzení stability - rovinný vzpěr (podle [1]- 6.3):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

- vybočení ve směru osy y je stejné jako vybočení ve směru osy z
- návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu: $N_{b,Rd} = \kappa \chi A_{eff} f_0 / \gamma_{M1}$
- součinitel vzpěrnosti: $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,425 + \sqrt{2,425^2 - 1,87^2}} = 0,252 \leq 1$
- $\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,87 - 0,1) + 1,87^2) = 2,425$
- pro vzpěrnostní třídu A: $\alpha = 0,2$ a $\lambda_0 = 0,1$
- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_0}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{578,1 \cdot 255}{42156}} = 1,87$
- pružná kritická síla: $N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L_{cr}^2} = \frac{70000 \cdot 154051 \cdot \pi^2}{1589^2} = 42,156 \text{ kN}$
- prut je uložen na obou koncích kloubově: $L_{cr} = L_{teor} = 1,589 \text{ m}$
- $A_{eff} = A$
- Součinitel oslabení svařováním: $\kappa = 1$
- Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 0,252 \cdot 578,1 \cdot 255}{1,1} = 33,772 \text{ kN}$

$$\frac{11,489}{33,772} = 0,34 \leq 1,00 \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$



4.2.1.7 Hlavní pruty hřebenového nosníku

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -3,04 \text{ kN (TLAK)}$$

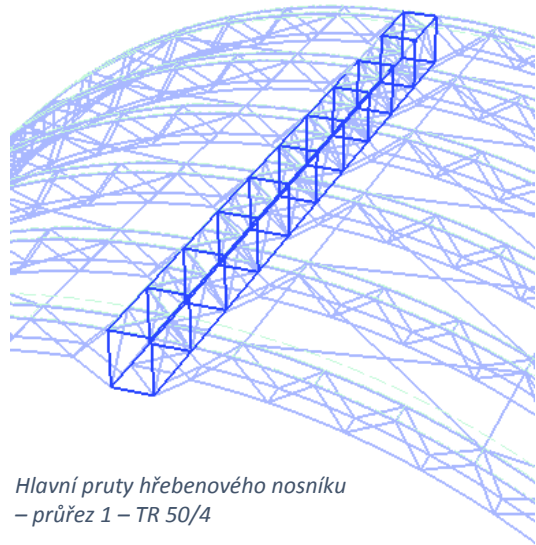
$$V_{y,Ed} = 8,96 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -6,374 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,545 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,666 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = -0,001 \text{ kNm}$$



Hlavní pruty hřebenového nosníku
– průřez 1 – TR 50/4

Posouzení:

- posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla (podle [1] - 6.2.9 a 6.2.10):

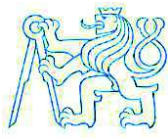
$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_v \frac{f_0}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} = 346,86 * \frac{255}{1,1\sqrt{3}} = 46,42 \text{ kN}$
- pro kruhové trubky: $A_v = \eta_v A = 0,6 * 578,1 = 346,86 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $\eta_v = 0,6$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{8,96}{46,42} = 0,193 \leq 0,5 \quad \text{MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{Rd} = A_{eff} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} = 578,1 \frac{255}{1,1} = 134,014 \text{ kN}$
- $M_{y,Rd} = M_{z,Rd} = \alpha_y \frac{W_{y,el} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} * \frac{6162 * 255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{6162 * 255}{1,1} = 1,967 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi = 1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = 1$

$$\left(\frac{3,04}{1 * 134,014} \right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,545}{1 * 1,967} \right)^{1,7} + \left(\frac{0,666}{1 * 1,967} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,46 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.1.8 Příhradové spojky hřebenového nosníku

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ1.

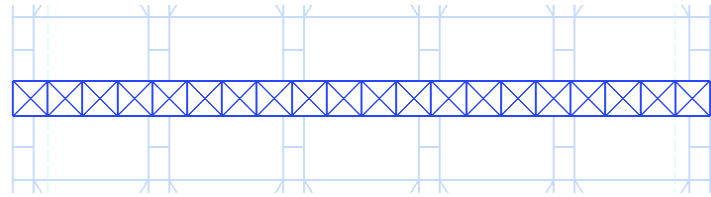
$$N_{Ed} = -2,608 \text{ kN (TLAK)}$$

$$V_{y,Ed} = 0,009 \text{ kN}$$

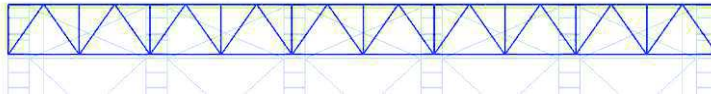
$$V_{z,Ed} = -0,011 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,005 \text{ kNm}$$

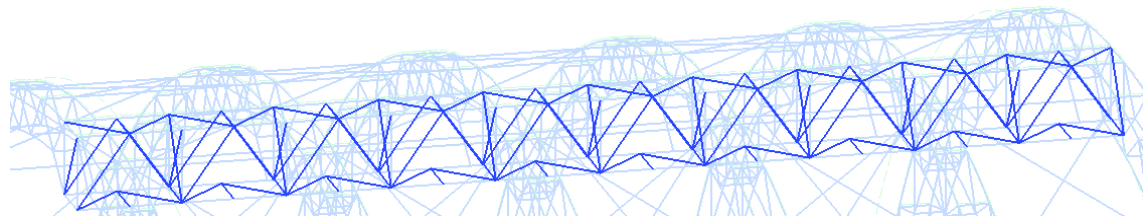
$$M_{z,Ed} = 0,008 \text{ kNm}$$



Pohled shora



Pohled boční



Příhradové spojky hřebenového nosníku – průřez 2 – TR 30/3

Posouzení:

- posouzení stability - rovinný vzpěr (podle [1] - 6.3): $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$
- vybočení ve směru osy y je stejné jako vybočení ve směru osy z
- návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu: $N_{b,Rd} = \kappa \chi A_{eff} f_0 / \gamma_{M1}$
- součinitel vzpěrnosti: $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,141 + \sqrt{2,141^2 - 1,72^2}} = 0,293 \leq 1$
- $\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,72 - 0,1) + 1,72^2) = 2,141$
- pro vzpěrnostní třídu A: $\alpha = 0,2$ a $\lambda_0 = 0,1$
- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{254,5 \cdot 255}{21928}} = 1,72$
- pružná kritická síla: $N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L_{cr}^2} = \frac{70000 \cdot 23474,8 \cdot \pi^2}{860^2} = 21,928 \text{ kN}$
- prut je uložen na obou koncích kloubově: $L_{cr} = L_{teor} = 0,86 \text{ m}$
- $A_{eff} = A$
- Součinitel oslabení svařováním: $\kappa = 1$
- Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 0,293 \cdot 254,5 \cdot 255}{1,1} = 17,286 \text{ kN}$

$$\frac{2,608}{17,286} = 0,15 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.1.9 Spojovací pruty

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -17,864 \text{ kN (TLAK)}$$

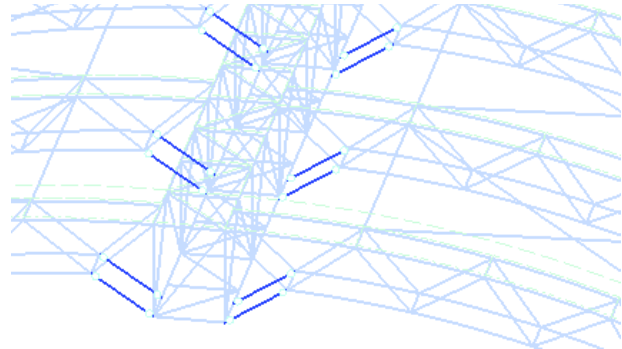
$$V_{y,Ed} = 0,468 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,003 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,139 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,022 \text{ kNm}$$



Spojovací pruty (spojení příčných vazeb s hřebenovým nosníkem) – průřez 1 – TR 50/4

Posouzení:

- posouzení stability – ohyb okolo osy z a tlak (podle [1]- 6.3.3.1):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \omega_x N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \left[\left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00$$

- $N_{Rd} = A_{\text{eff}} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} = 578,1 \frac{255}{1,1} = 134,014 \text{ kN}$
- $M_{z,Rd} = \alpha_z \frac{W_z f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{z,pl}}{W_{z,el}} * \frac{8485,3 * 255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{8485,3 * 255}{1,1} = 2,709 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi_c = 0,8$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = \omega_x = 1$
- $\chi_{\min} = \min(\chi_y; \chi_z) = \chi_y = \chi_z$
- součinitel vzpěrnosti: $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,74 + \sqrt{0,74^2 - 0,614^2}} = 0,867 \leq 1$
- $\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,2(0,614 - 0,1) + 0,614^2) = 0,74$
- pro vzpěrnostní třídu A: $\alpha = 0,2$ a $\lambda_0 = 0,1$
- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{578,1 * 255}{390590}} = 0,614$
- pružná kritická síla: $N_{cr} = \frac{EI \pi^2}{L_{cr}^2} = \frac{70000 * 154051 * \pi^2}{522^2} = 390,59 \text{ kN}$
- prut je uložen na obou koncích kloubově: $L_{cr} = L_{\text{teor}} = 0,522 \text{ m}$

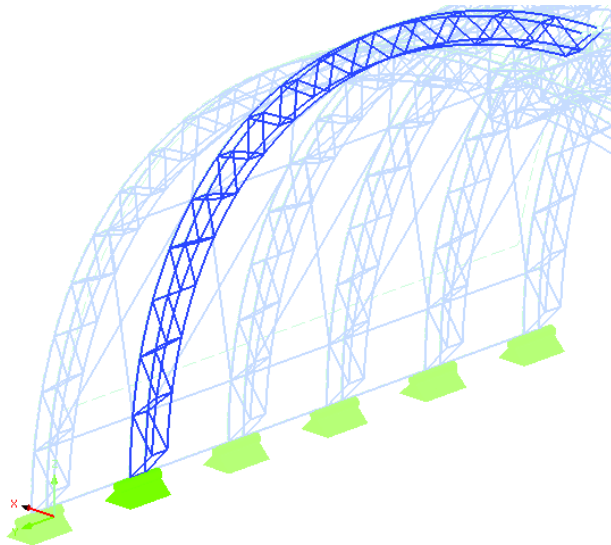
$$\left(\frac{17,864}{0,867 * 1 * 134,014} \right)^{0,8} + \left[\left(\frac{0,139}{1 * 2,709} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,27 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



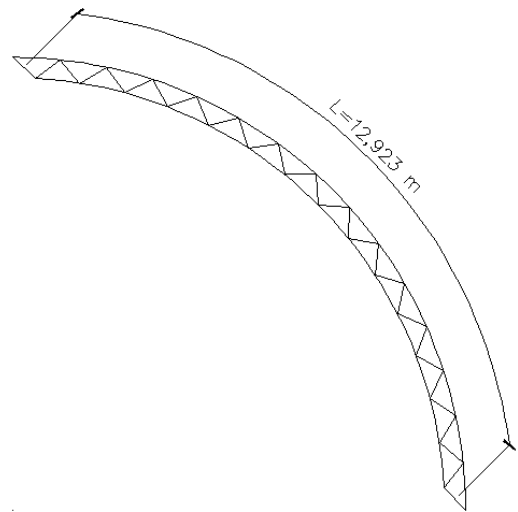
4.2.2 Posouzení stability příčných vazeb

Posouzení se týká nejvíce namáhané příčné vazby, která je posuzována jako členěný tlačенý prut s příhradovými a rámovými spojkami (podle [1]- 6.4). Posuzován je vzpěr pro pásy příčné vazby s příhradovými spojkami (v rovině) a pro pásy s rámovými spojkami (z roviny).

4.2.2.1 Posouzení vzpěrné únosnosti v rovině příčné vazby



Nejvíce namáhaná příčná vazba



Délka pásu příčné vazby (rovinu pásu s příhradovými spojkami)

Posouzení:

- posouzení vzpěrné únosnosti pásu (podle [1]- 6.4.2.1): $\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$

- návrhová tlaková síla v pásu uprostřed délky členěného prutu:

$$N_{ch,Ed} = N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}} = 39,909 + \frac{1,307 \cdot 0,4 \cdot 1156 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 9,25 \cdot 10^{-5}} = 43,18 \text{ kN}$$

- návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu s uvažáním

$$\text{účinků druhého řádu: } M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{39,909 \cdot 0,02585 + 0,135}{1 - \frac{39,909}{382,66} - \frac{39,909}{12143}} = 1,307 \text{ kNm}$$

- smyková tuhost panelu s příhradovými spojkami:

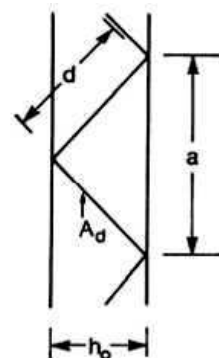
$$S_v = \frac{nEA_dah_0^2}{2d^3} = \frac{2 \cdot 70000 \cdot 254,5 \cdot 911 \cdot 400^2}{2 \cdot 598^3} = 12143 \text{ kN}$$

- n je počet rovin příhradového ztužení: n=2

- průřezová plocha jednoho pásu:

$$A_{ch} = 2A^{TR 50/40} = 2 \cdot 578,1 = 1156 \text{ mm}^2$$

- $h_0=400 \text{ mm}$; $A_d=254,5 \text{ mm}^2$; $d=598 \text{ mm}$; $a=911 \text{ mm}$





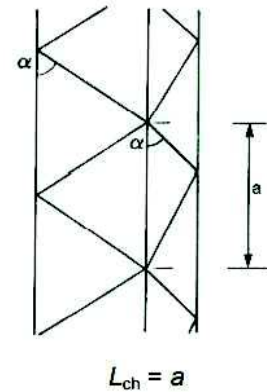
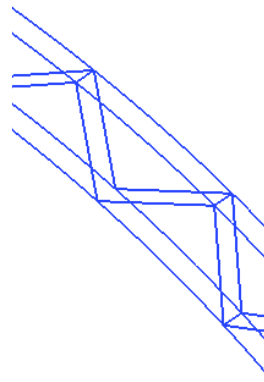
- účinný moment setrvačnosti členěného prutu s příhradovými spojkami:
 $I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} = 0,5 * 400^2 * 1156 = 9,25 * 10^{-5} \text{ m}^4$
- návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu bez uvážení účinků druhého řádu: $M_{Ed}^1 = 0,135 \text{ kNm}$
- návrhová hodnota tlakové síly členěného prutu: $N_{Ed} = 33,909 \text{ kN}$
- kritická síla účinného členěného prutu:

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 E I_{\text{eff}}}{L^2} = \frac{\pi^2 * 70000 * 9,25 * 10^7}{12923^2} = 382,66 \text{ kN}$$

- počáteční imperfekce prutu: $e_0 = \frac{L}{500} = \frac{12923}{500} = 25,85 \text{ mm}$
- návrhová vzpěrná únosnost pásu pro vzpěrnou délku L_{ch} :

- $L_{\text{ch}} = a = 0,911 \text{ m}$
- Návrhová vzpěrná únosnost pásu:

$$N_{\text{b,Rd}} = \frac{\kappa \chi A_{\text{eff}} f_0}{\gamma_{\text{M1}}} = \frac{0,642 * 1 * 1156 * 255}{1,1} = 172 \text{ kN}$$

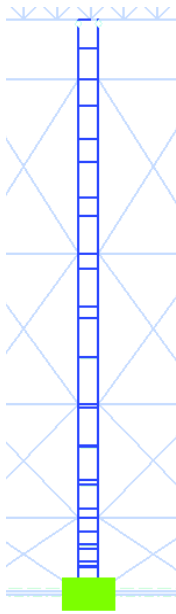


- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} * f_0}{N_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{1156 * 255}{77002000}} = 0,062 < \lambda_0 = 0,1 \leftrightarrow \chi = 1$
- pružná kritická síla: $N_{\text{cr}} = \frac{E I_{\text{eff}} \pi^2}{L_{\text{cr}}^2} = \frac{70000 * 9,25 * 10^7 * \pi^2}{911^2} = 77002 \text{ kN}$
- vzpěrná délka: $L_{\text{cr}} = L_{\text{ch}} = 0,911 \text{ m}$
- $A_{\text{eff}} = A_{\text{ch}}$
- Součinitel oslabení svařováním pro pruty s příčnými svary (podle 6.3.3.3): $\kappa = \omega_x$
- $\omega_x = \frac{\rho_{\text{u,haz}} f_u / \gamma_{\text{M2}}}{f_0 / \gamma_{\text{M1}}} = \frac{0,6 * 310 / 1,25}{255 / 1,1} = 0,642$
- Posouzení vzpěrné únosnosti pásu:

$$\frac{N_{\text{ch,Ed}}}{N_{\text{b,Rd}}} = \frac{43,18}{172} = 0,25 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.2.2 Posouzení vzpěrné únosnosti z roviny příčné vazby



Pohled na pás příčné vazby s rámovými spojkami

Posouzení:

- posouzení vzpěrné únosnosti pásu (podle [1]- 6.4.3.1):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

- návrhová tlaková síla v pásu uprostřed délky členěného prutu:

$$N_{ch,Ed} = N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}} = 39,909 + \frac{1,642 \cdot 0,3 \cdot 1156 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 5,26 \cdot 10^{-5}} = 45,32 \text{ kN}$$

- návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu s uvážením účinků druhého řádu:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{39,909 \cdot 0,02585 + 0,135}{1 - \frac{39,909}{217,6} - \frac{39,909}{376}} = 1,642 \text{ kNm}$$

- smyková tuhost panelu s příhradovými spojkami:

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{ch}h_0}{nI_b a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} = \frac{24 \cdot 70000 \cdot 308102}{911^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot 308102 \cdot 300}{2 \cdot 154051 \cdot 911} \right]} = 376 \text{ kN} \leq$$

$$\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 70000 \cdot 308102}{911^2} = 512,96 \text{ kN}$$

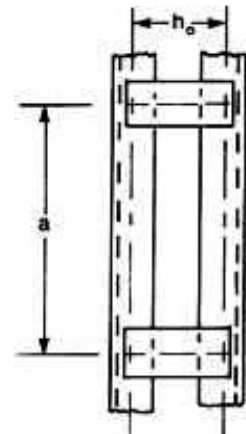
- n je počet rovin příhradového ztužení: n=2
- h₀=300 mm; a=911 mm
- moment setrvačnosti jednoho pásu v rovině:

$$I_{ch} = 2I_y^{TR 50/4} = 2 \cdot 154051 = 308102 \text{ mm}^4$$

- moment setrvačnosti jedné rámové spojky v rovině: I_b = I_y^{TR 50/4} = 154051 mm⁴
- průřezová plocha jednoho pásu: A_{ch} = 2A^{TR 50/40} = 2 \cdot 578,1 = 1156 mm²

- součinitel účinnosti pro 75 < λ < 150: μ = 2 - λ/75 = 2 - 85/75 = 0,867

$$\lambda = \frac{L}{i_0} = \frac{L}{\sqrt{\frac{0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}}{2A_{ch}}}} = \frac{12923}{\sqrt{\frac{0,5 \cdot 300^2 \cdot 1156 + 2 \cdot 308102}{2 \cdot 1156}}} = 85$$





- účinný moment setrvačnosti členěného prutu s rámovými spojkami:

$$I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}} = 0,5 * 300^2 * 1156 + 2 * 0,867 * 30810 = 5,26 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

- návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu bez uvážení účinků druhého řádu: $M_{\text{Ed}}^1 = 0,135 \text{ kNm}$
- návrhová hodnota tlakové síly členěného prutu: $N_{\text{Ed}} = 33,909 \text{ kN}$
- kritická síla účinného členěného prutu:

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{eff}}}{L^2} = \frac{\pi^2 * 70000 * 5,26 * 10^7}{12923^2} = 217,6 \text{ kN}$$

- počáteční imperfekce prutu: $e_0 = \frac{L}{500} = \frac{12923}{500} = 25,85 \text{ mm}$

- návrhová vzpěrná únosnost pásu pro vzpěrnou délku L_{ch} :

- $L_{\text{ch}} = a = 0,911 \text{ m}$

- Návrhová vzpěrná únosnost pásu:

- $N_{\text{b,Rd}} = \frac{\kappa \chi A_{\text{eff}} f_0}{\gamma_{\text{M1}}} = \frac{0,642 * 1 * 1156 * 255}{1,1} = 172 \text{ kN}$

- poměrná štíhlost: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} * f_0}{N_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{1156 * 255}{43787000}} = 0,082 < \lambda_0 = 0,1 \leftrightarrow \chi = 1$

- pružná kritická síla: $N_{\text{cr}} = \frac{EI_{\text{eff}} \pi^2}{L_{\text{cr}}^2} = \frac{70000 * 5,26 * 10^7 * \pi^2}{911^2} = 43787 \text{ kN}$

- vzpěrná délka: $L_{\text{cr}} = L_{\text{ch}} = 0,911 \text{ m}$

- $A_{\text{eff}} = A_{\text{ch}}$

- Součinitel oslabení svařováním pro pruty s příčnými svary (podle 6.3.3.3): $\kappa = \omega_x$

- $\omega_x = \frac{\rho_{\text{u,haz}} f_u / \gamma_{\text{M2}}}{f_0 / \gamma_{\text{M1}}} = \frac{0,6 * 310 / 1,25}{255 / 1,1} = 0,642$

- Posouzení vzpěrné únosnosti pásu:

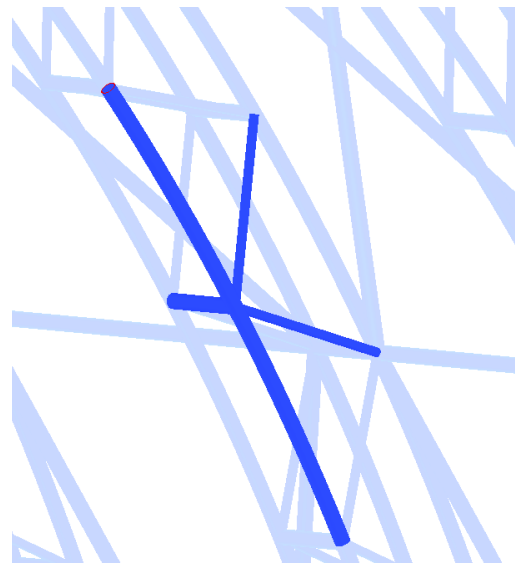
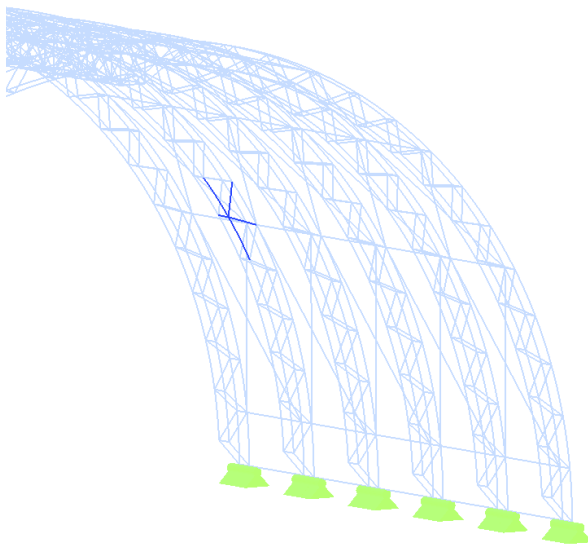
$$\frac{N_{\text{ch,Ed}}}{N_{\text{b,Rd}}} = \frac{45,32}{172} = 0,26 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.3 Posouzení svařovaných styčníků

Posuzovány jsou nejvíce namáhané styčníky příčných vazeb a hřebenového nosníku. Styčníky jsou posuzovány jako průřezy pro redukované pevnostní vlastnosti způsobené oslabením vlivem tepelně ovlivněných oblastí v okolí svarů (HAZ). Redukují se pevnostní charakteristiky na konstantní úroveň. Redukce se týká smluvní meze 0,2 % ($f_{0,haz} = \rho_{0,haz} * f_{0,haz} = 0,49 * 255 = 125 \text{ MPa}$).

4.2.3.1 Posouzení nejvíce namáhaného styčníku příčné vazby



Nejvíce namáhaný styčník – průřez 1 – TR 50/4

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = 51,956 \text{ kN (TAH)}$$

$$V_{z,Ed} = 2,735 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,236 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = -0,017 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,007 \text{ kNm}$$

Klasifikace průřezu: (podle [1]– 6.1.4)

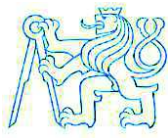
- $d = 46 \text{ mm}$; $t = 4 \text{ mm}$
- materiálový součinitel $\varepsilon = \sqrt{250/f_0} = \sqrt{250/255} = 0,99$
- štíhlostní parametry pro třídy 1, 2 a 3:

$$\beta_1 = 9 * \varepsilon = 9 * 0,99 = 8,91$$

$$\beta_2 = 13 * \varepsilon = 13 * 0,99 = 12,87$$

$$\beta_3 = 18 * \varepsilon = 18 * 0,99 = 17,82$$

- $\beta = 10,173$ (převzato z RFEM)
- $\beta < \beta_2$ **TŘÍDA 2** (podle [1]– 6.1.4.2)



Posouzení:

- posouzení průřezu ve styčnicku - dvouosý ohyb, smyk a osová síla (viz. ČSN EN 1999-1-1 - 6.2.9 a 6.2.10):

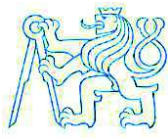
$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}}\right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_v \frac{f_{0,haz}}{\gamma_{M1}\sqrt{3}} = 346,86 * \frac{125}{1,1\sqrt{3}} = 22,756 \text{ kN}$
- $A = 578,1 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $A_v = \eta_v A = 0,6 * 578,1 = 346,86 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $\eta_v = 0,6$

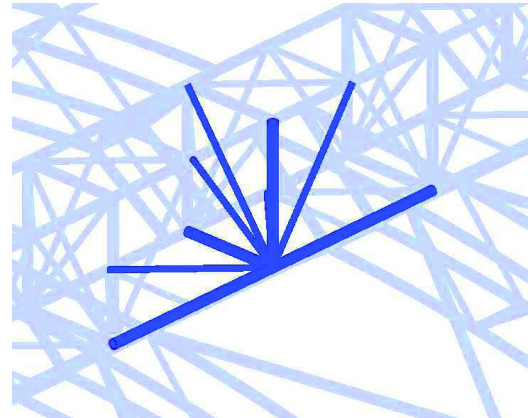
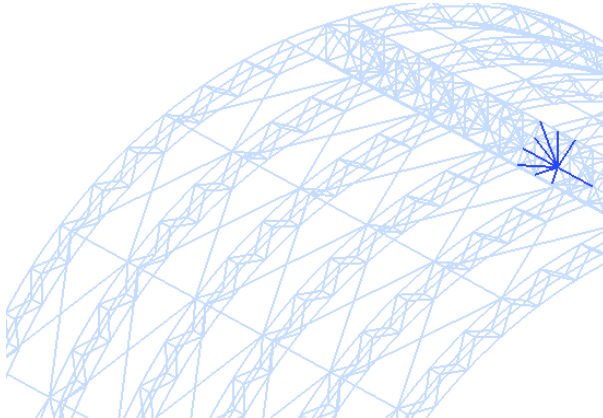
$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{2,735}{22,756} = 0,12 \leq 0,5 \quad \text{MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{Rd} = A_{eff} \frac{f_{0,haz}}{\gamma_{M5}} = 578,1 * \frac{125}{1,0} = 72,26 \text{ kN}$
- dílčí součinitel spolehlivosti pro styčnický příhradový nosník z prutů uzavřeného průřezu: $\gamma_{M5} = 1,0$
- $\beta < \beta_3 \leftrightarrow \rho_c = 1$
- $A_{eff} = A$
- $M_{y,Rd} = M_{z,Rd} = \alpha_y \frac{W_{y,el} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} * \frac{6162 * 255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{6162 * 255}{1,1} = 1,967 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi = 1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = 1$ (zahrnuto v $f_{0,HAZ}$)

$$\left(\frac{51,596}{1 * 72,26}\right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,236}{1 * 1,967}\right)^{1,7} + \left(\frac{0,007}{1 * 1,967}\right)^{1,7}\right]^{0,6} = 0,76 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.3.2 Posouzení nejvíce namáhaného styčnicku hřebenového nosníku



Nejvíce namáhaný styčnick – průřez 1 – TR 50/4

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující je kombinace zatížení KZ4.

$$N_{Ed} = -3,04 \text{ kN (TLAK)} \quad V_{z,Ed} = -6,374 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = -0,545 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 8,96 \text{ kN} \quad T_{Ed} = -0,001 \text{ kNm} \quad M_{z,Ed} = -0,666 \text{ kNm}$$

Klasifikace průřezu: (viz. ČSN EN 1999-1-1 – 6.1.4)

- $d = 46 \text{ mm}; t = 4 \text{ mm}$
- materiálový součinitel $\varepsilon = \sqrt{250/f_0} = \sqrt{250/255} = 0,99$
- štíhlostní parametry pro třídy 1, 2 a 3:
 $\beta_1 = 9 * \varepsilon = 9 * 0,99 = 8,91$
 $\beta_2 = 13 * \varepsilon = 13 * 0,99 = 12,87$
 $\beta_3 = 18 * \varepsilon = 18 * 0,99 = 17,82$
- $\beta = 10,173$ (převzato z RFEM)
- $\beta < \beta_2$ **TŘÍDA 2** (viz. ČSN EN 1999-1-1 – 6.1.4.2)

Posouzení:

- posouzení průřezu ve styčnicku - dvouosý ohyb, smyk a osová síla (viz. ČSN EN 1999-1-1 - 6.2.9 a 6.2.10):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_v \frac{f_{0,haz}}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} = 346,86 * \frac{125}{1,1 \sqrt{3}} = 22,756 \text{ kN}$



- $A = 578,1 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $A_v = \eta_v A = 0,6 * 578,1 = 346,86 \text{ mm}^2$
- pro kruhové trubky: $\eta_v = 0,6$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{8,96}{22,756} = 0,39 \leq 0,5 \quad \text{MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{Rd} = A_{eff} \frac{f_{0,HAZ}}{\gamma_{M5}} = 578,1 * \frac{125}{1,0} = 72,26 \text{ kN}$
- dílčí součinitel spolehlivosti pro styčníky příhradových nosníků z prutů uzavřeného průřezu: $\gamma_{M5} = 1,0$
- $\beta < \beta_3 \leftrightarrow \rho_c = 1$
- $A_{eff} = A$
- $M_{y,Rd} = M_{z,Rd} = \alpha_y \frac{W_{y,el} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} * \frac{6162 * 255}{1,1} = \frac{8485,3}{6162} * \frac{6162 * 255}{1,1} = 1,967 \text{ kNm}$
- pro trubky: $\psi = 1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = 1$ (zahrnuto v $f_{0,HAZ}$)

$$\left(\frac{3,04}{1 * 72,26} \right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,545}{1 * 1,967} \right)^{1,7} + \left(\frac{0,666}{1 * 1,967} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,47 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



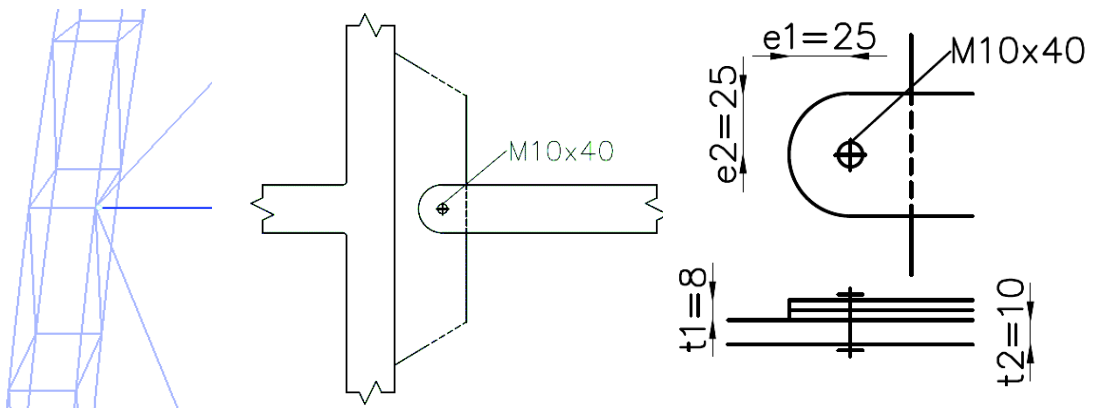
4.2.4 Posouzení montážních spojů

Montážní spoje jsou navrženy šroubované a čepové. Šroubované spoje jsou provedeny pro připojení ztužujících podélných a diagonálních trubek k horním pásům příčných vazeb, spojení ztužidel samotných a pro spojení příčných vazeb k vrcholovému nosníku. Příčné vazby jsou složeny ze dvou montážních dílců, které jsou spojeny čepovými spoji. Spojovací prostředky jsou navrženy z oceli S 235 J2.

4.2.4.1 Přípoj podélného střešního ztužidla

Návrh:

Jako spojovací prostředek je navržen 1 jednostřížný šroub M10x40 jakostní třídy 5.6 opatřený podložkou pod hlavou i maticí. Šroubovaný spoj je namáhaný ve stříhu a v otláčení (kategorie A pro spoje ve smyku).



Posouzení únosnosti ve stříhu: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

- návrhová síla: $F_{v,Ed} = 10,139 \text{ kN}$
- návrhová únosnost jednostřížného šroubu, jehož smyková rovina prochází závitem:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 58 * 500}{1,25} = 13,92 \text{ kN}$$

- $\gamma_{M2} = 1,25$
- plocha jádra šroubu: $A_s = 58 \text{ mm}^2$
- mez pevnosti materiálu šroubu: $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

$$F_{v,Ed} = 10,139 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 13,92 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$



Posouzení únosnosti v otláčení: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

- návrhová únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,76 * 10 * 8 * 310}{1,25} = 37,7 \text{ kN}$$

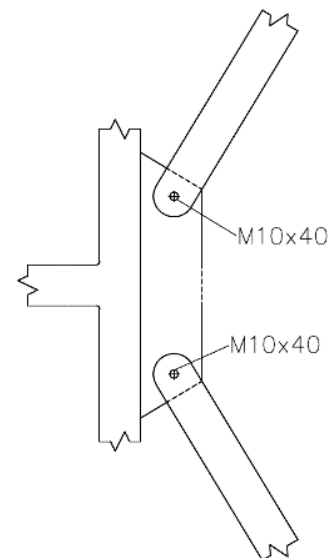
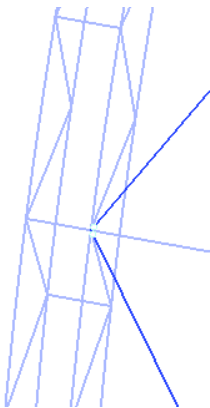
- mez pevnosti materiálu spojovaných prvků: $f_u = 310 \text{ MPa}$
- průměr šroubu: $d = 10 \text{ mm}$
- nejmenší tloušťka spojovaných prvků: $t = 8 \text{ mm}$
- $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{25}{3*11}; \frac{500}{310}; 1\right) = \min(0,76; 1,61; 1) = 0,76$
- $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{25}{11} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,66; 2,5) = 2,5$

$$F_{v,Ed} = 10,139 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 37,7 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.2.4.2 Přípoj diagonálního střešního ztužidla

Návrh:

Jako spojovací prostředek je navržen 1 jednostřížný šroub M10x40 jakostní třídy 5.6 opatřený podložkou pod hlavou i maticí. Šroubovaný spoj je namáhaný ve stříhu a v otláčení (kategorie A pro spoje ve smyku).



Posouzení únosnosti ve stříhu: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

- návrhová síla: $F_{v,Ed} = 11,489 \text{ kN}$
- návrhová únosnost jednostřížného šroubu, jehož smyková rovina prochází závitem:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 58 * 500}{1,25} = 13,92 \text{ kN}$$



- $\gamma_{M2} = 1,25$
- plocha jádra šroubu: $A_s = 58 \text{ mm}^2$
- mez pevnosti materiálu šroubu: $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

$$F_{v,Ed} = 10,139 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 13,92 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení únosnosti v otláčení: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

- návrhová únosnost šroubu v otláčení:

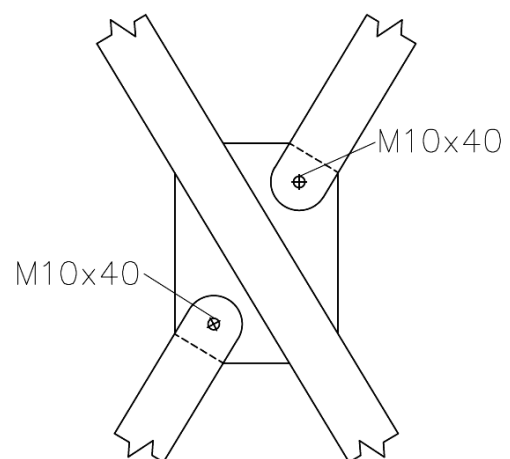
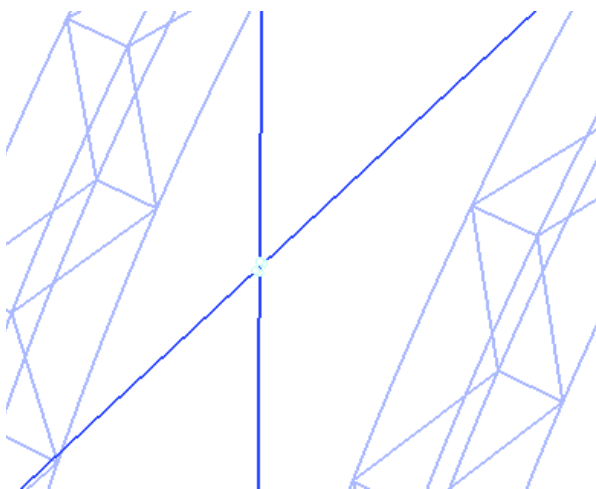
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,76 * 10 * 8 * 310}{1,25} = 37,7 \text{ kN}$$

- mez pevnosti materiálu spojovaných prvků: $f_u = 310 \text{ MPa}$
- průměr šroubu: $d = 10 \text{ mm}$
- nejmenší tloušťka spojovaných prvků: $t = 8 \text{ mm}$
- $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{25}{3*11}; \frac{500}{310}; 1\right) = \min(0,76; 1,61; 1) = 0,76$
- $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{25}{11} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,66; 2,5) = 2,5$

$$F_{v,Ed} = 11,489 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 37,7 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.2.4.3 Přípoj střešních ztužidel

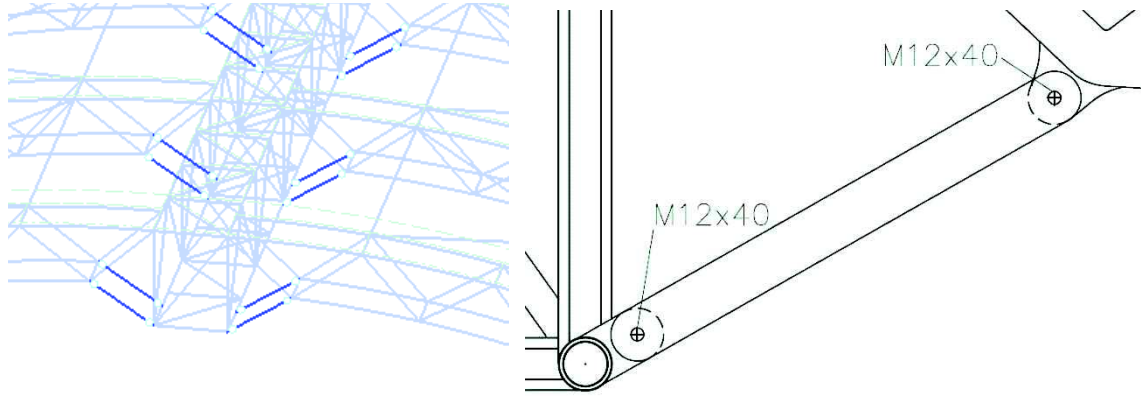
Návrh a posouzení připojení ztužidel je stejný jako u 4.2.4.2. Návrhová síla je totožná.





4.2.4.4 Přípoj příčné vazby a vrcholového nosníku

Jako spojovací prostředek je navržen 1 jednotřížný šroub M12x40 jakostní třídy 5.6 opatřený podložkou pod hlavou i maticí. Šroubovaný spoj je namáhaný ve stříhu a v otláčení (kategorie A pro spoje ve smyku).



Posouzení únosnosti ve stříhu: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

- návrhová síla: $F_{v,Ed} = 17,864 \text{ kN}$
- návrhová únosnost jednotřížného šroubu, jehož smyková rovina prochází závitem:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 84,3 * 500}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

- $\gamma_{M2} = 1,25$
- plocha jádra šroubu: $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
- mez pevnosti materiálu šroubu: $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

$$F_{v,Ed} = 17,864 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 20,23 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení únosnosti v otláčení: (podle [8] - 2.3 a [9] - 6.)

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

- návrhová únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,64 * 12 * 8 * 310}{1,25} = 38,09 \text{ kN}$$

- mez pevnosti materiálu spojovaných prvků: $f_u = 310 \text{ MPa}$
- průměr šroubu: $d = 12 \text{ mm}$
- nejmenší tloušťka spojovaných prvků: $t = 8 \text{ mm}$



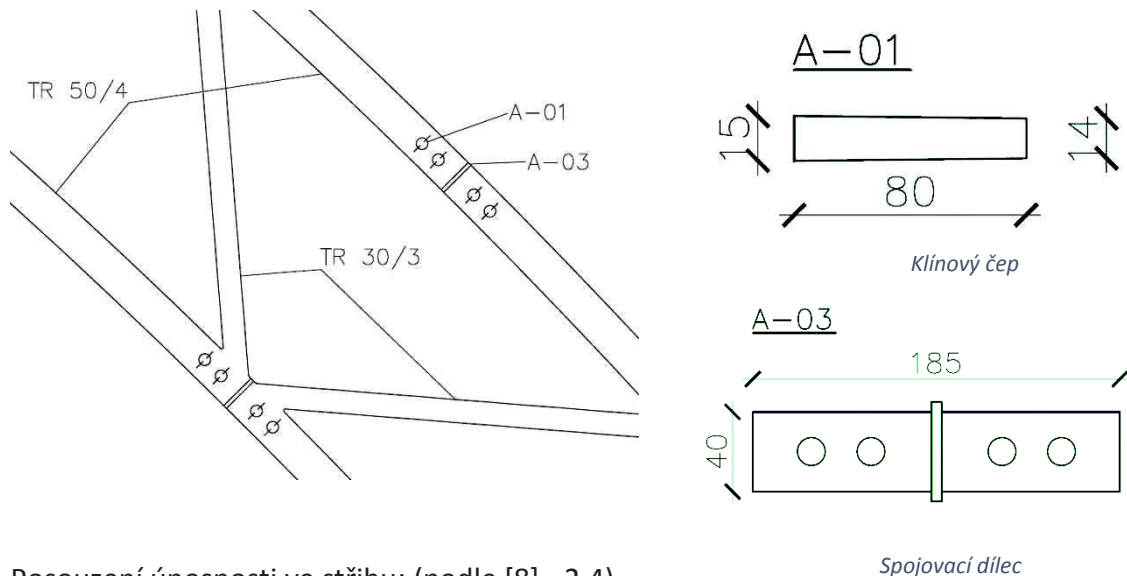
- $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{25}{3 \cdot 13}; \frac{500}{310}; 1\right) = \min(0,64; 1,61; 1) = 0,64$
- $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{25}{13} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,68; 2,5) = 2,5$

$$F_{v,Ed} = 17,864 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 38,09 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.2.4.5 Spojení příčných vazeb

Návrh:

Jako spojovací prostředky jsou navrženy klínové čepy zajištěné závlačkami. Čepy spojují společně se spojovacím dílcem dva montážní díly příčné vazby v polovině její délky. Spoje jsou namáhané smykem ve dvou smykových rovinách a v otláčení.



Posouzení únosnosti ve stříhu: (podle [8] - 2.4)

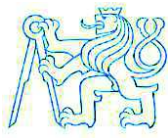
$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

- návrhová síla (pro jeden čep): $F_{v,Ed} = 19,28 \text{ kN}$
- návrhová únosnost čepu ve smyku pro dvě smykové plochy:

$$F_{v,Rd} = n \frac{0,6 A f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0,6 * 165 * 360}{1,25} = 57 \text{ kN}$$

- $\gamma_{M2} = 1,25$
- Počet smykových ploch: $n = 2$
- plocha průřezu čepu: $A = 165 \text{ mm}^2$
- mez pevnosti čepu (pro S 235): $f_{up} = 360 \text{ MPa}$

$$F_{v,Ed} = 23,28 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 57 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$



Posouzení únosnosti v otláčení: (podle [8] - 2.4)

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

- návrhová únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5dtf_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 * 14 * 8 * 125}{1} = 21 \text{ kN}$$

- mez kluzu: $f_y = \min(f_y; f_{0,haz}) = \min(235; 125) = 235 \text{ MPa}$
- spoj se nachází v tepelně ovlivněné oblasti, pro spojované části je tedy uvažována redukovaná mez kluzu $f_{0,haz}$.
- průměr čepu (bezpečně): $d = 14 \text{ mm}$
- $\gamma_{M0} = 1,0$
- tloušťka spojované části: $t = 8 \text{ mm}$ (uvažována jen tloušťka hliníkového spojovaného dílce).

$$F_{v,Ed} = 19,28 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 21 \text{ kN} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$



4.2.5 Posouzení průřezů oslabených otvory

Posouzení se týká pouze nejvíce namáhaného průřezu, který je oslaben otvory pro montážní spojovací dílce a navíc se nachází v tepelně ovlivněné oblasti svařování. Jedná se o místo montážního spoje příčné vazby (viz. 4.2.4.5). Průřez bude tedy posuzován pro redukovanou mez pevnosti $f_{u,haz}=185$ MPa a plochu oslabenou otvory $A_{net}=458,1$ mm².

Návrhové vnitřní síly:

$$N_{Ed}=38,56 \text{ kN (TAH)}$$

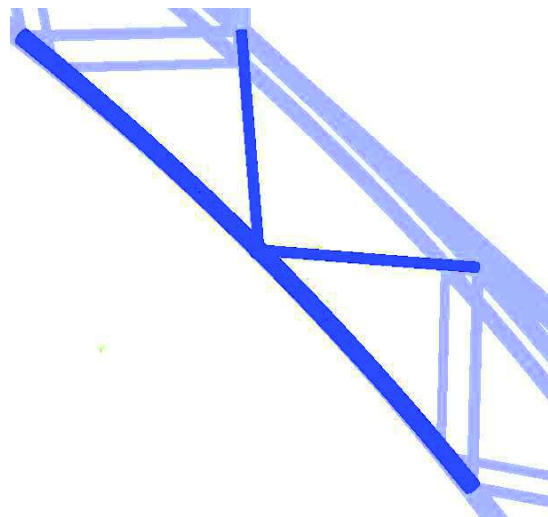
$$V_{y,Ed}=-0,042 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}=0,025 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}=0,324 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed}=0,006 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed}=0,002 \text{ kNm}$$



Místo montážního spoje – průřez 1 – TR 50/4

Posouzení:

- posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla (podle [1]- 6.2.9 a 6.2.10):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}}\right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00$$

- návrhová únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_v \frac{f_{0,haz}}{\gamma_{M1}\sqrt{3}} = 274,86 * \frac{125}{1,1\sqrt{3}} = 18,03$ kN
- pro kruhové trubky: $A_v = \eta_v A_{net} = 0,6 * 458,1 = 274,86$ mm²
- pro kruhové trubky: $\eta_v = 0,6$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{0,042}{18,03} = 0,0023 \leq 0,5 \text{ MALÝ SMYK}$$

- návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} je menší než 50% návrhové smykové únosnosti V_{Rd} , je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly za předpokladu, že smykové boulení nesnižuje únosnost průřezu.
- $N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{M2}} = 0,9 * 458,1 \frac{185}{1,25} = 61,02$ kN

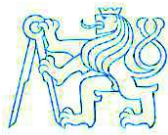


- $M_{y,Rd} = M_{z,Rd} = \frac{W_{net} f_{u,haz}}{\gamma_{M2}} = \frac{4883 \cdot 185}{1,25} = 0,723 \text{ kNm}$
- pružný průřezový modul průřezu oslabeného dírami v tepelně ovlivněné oblasti se počítá s redukovanou tloušťkou:

$$t_{net} = \rho_{u,haz} t = 0,6 * 4 = 2,4 \text{ mm} \rightarrow W_{net} = 4883 \text{ mm}^3$$

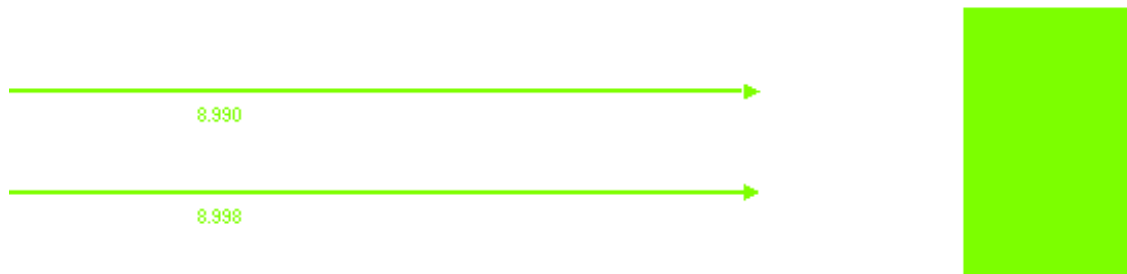
- pro trubky: $\psi = 1,3$
- pro průřezy bez lokalizovaných svarů nebo otvorů: $\omega_0 = 1$ (zahrnuto v $f_{u,haz}$)

$$\left(\frac{38,56}{1 * 61,02} \right)^{1,3} + \left[\left(\frac{0,324}{1 * 0,723} \right)^{1,7} + \left(\frac{0,006}{1 * 0,723} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,99 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$



4.2.6 Návrh stabilizačních nádrží

Nádrže jsou navrženy z plastu pro uložení příčných vazeb proto, aby zachytily reakce způsobující vodorovný posun konstrukce (rozhodující) a nadzvižení konstrukce. Plocha nádrží, která je v kontaktu se zemí, je pryžová s vruby. Předpokládá se, že konstrukce bude stavěna na betonu, asfaltu, dlažbě z kostek nebo zatravněné ploše. Statický součinitel smykového tření je tedy uvažován $\mu=0,8$.

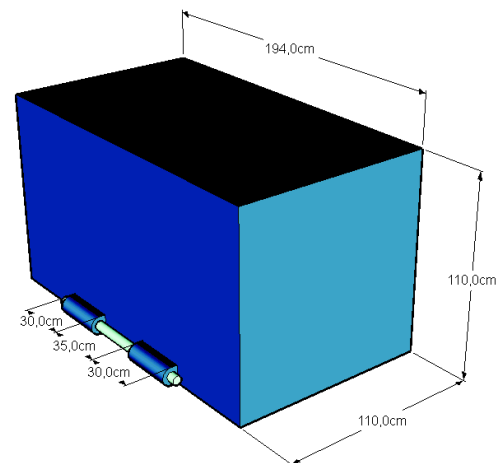


Největší vodorovné reakce (v kN) od příčného větru působící na jednu příčnou vazbu

Návrh tíhy jedné nádrže:

- předpokládá se objemová tíha vody: $\rho_w = 10 \text{ kN/m}^3$
- váha samotné nádrže není ve výpočtu uvažována.
- celková vodorovná síla způsobující posunutí: $H_d = 8,99 + 8,998 \cong 18 \text{ kN}$
- tíha potřebná k zachycení vodorovné síly:

$$G_{\min} = \frac{H_d}{\mu} = \frac{18}{0,8} = 22,5 \text{ kN}$$



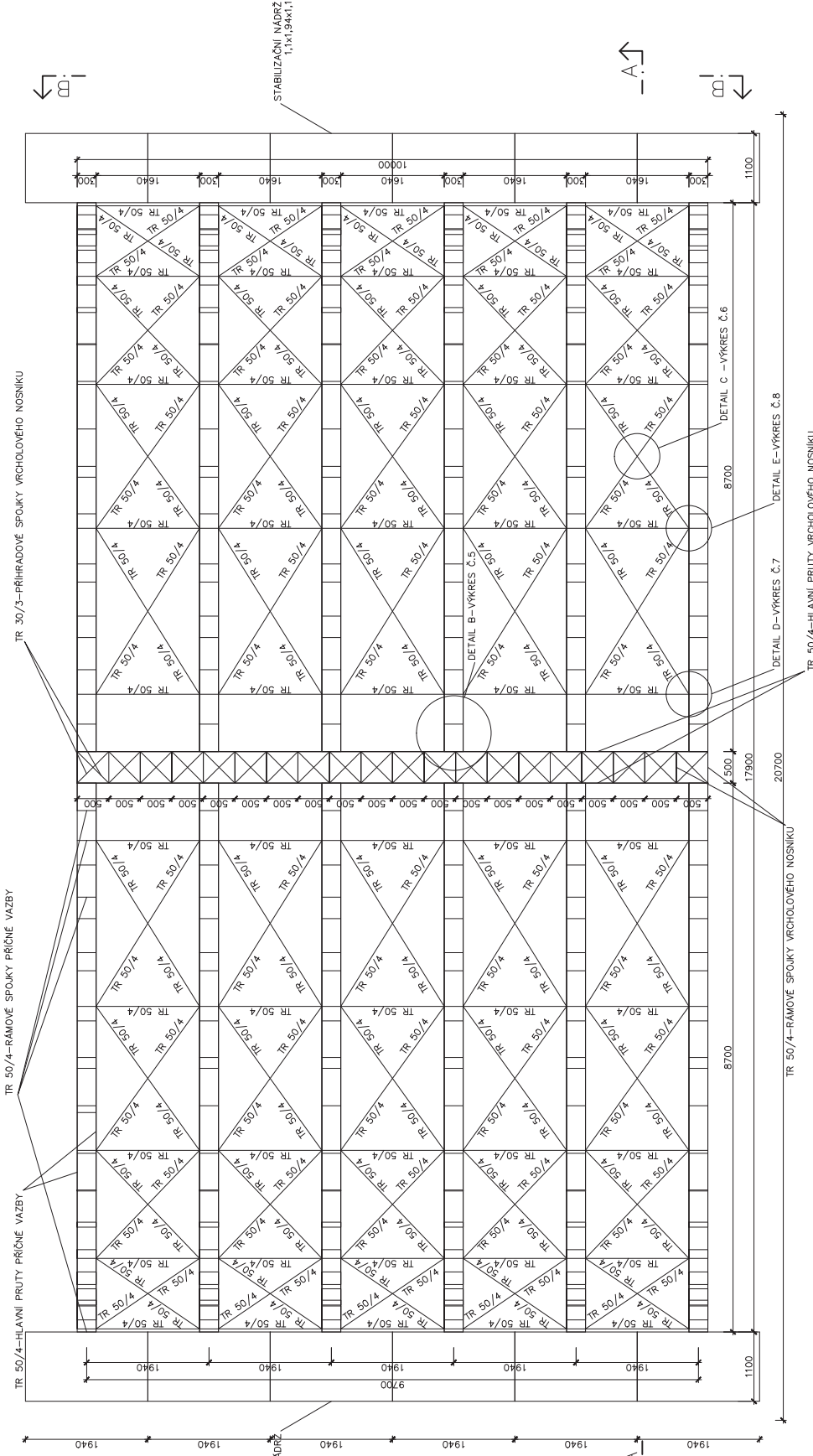
Stabilizační nádrž s uchycením pro 1 příčnou vazbu

- každá z dvanácti nádrží bude navržena o rozměrech 1,1x1,94x1,1 na objem 2350 litrů vody.
- naplněná nádrž bude tedy působit tíhou: $G = 23,5 \text{ kN}$

Posouzení:

- posouzení proti posunutí konstrukce: $G \geq G_{\min}$

$$G = 23,5 \text{ kN} \geq G_{\min} = 22,5 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$



*VZDALENOSTI JSOU KOTOVÁNY NA OSU

*PRUTY JSOU ZOBRAZENY STŘEDNICI

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

VYPRACOVAL: Leoš Hornbásek

VEDOUcí PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TEMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

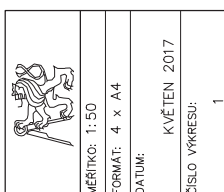
FORMÁT: 4 x A4

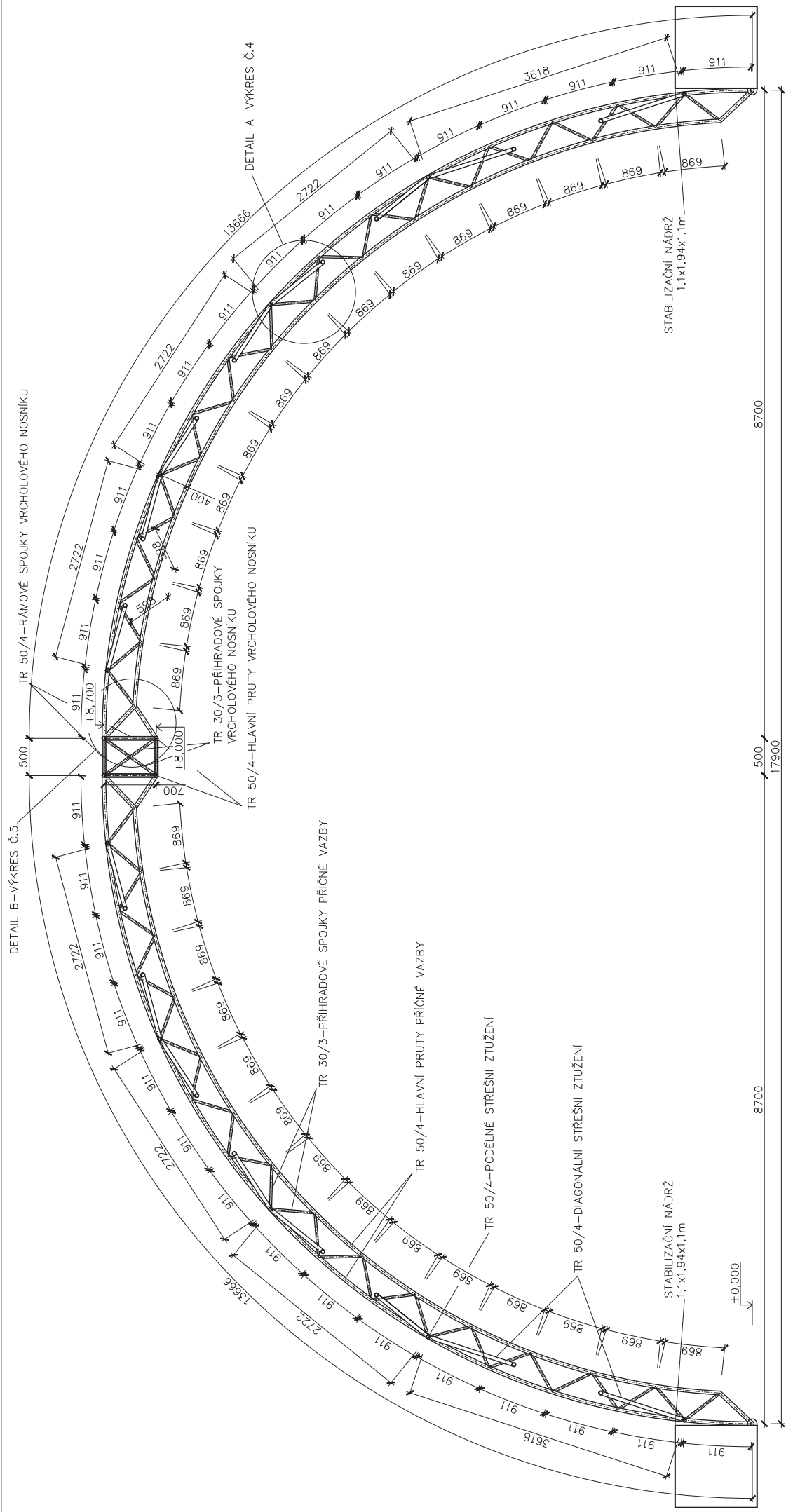
DATUM: KVĚTEN 2017

ČÍSLO VÝKRESU: 1


OBSAH: PŮDORYSNÉ SCHEMA KONSTRUKCE

MATERIÁLY:
 HLINÍKOVÉ SLITINY.
 NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6
 OCEL.
 SPOJOVACÍ DÍLCE – S235JO (POZINK)
 ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6
 PES/PVC.
 STŘEŠNÍ PLACHTA
 PLAST.
 STABILIZAČNÍ NÁDRŽE

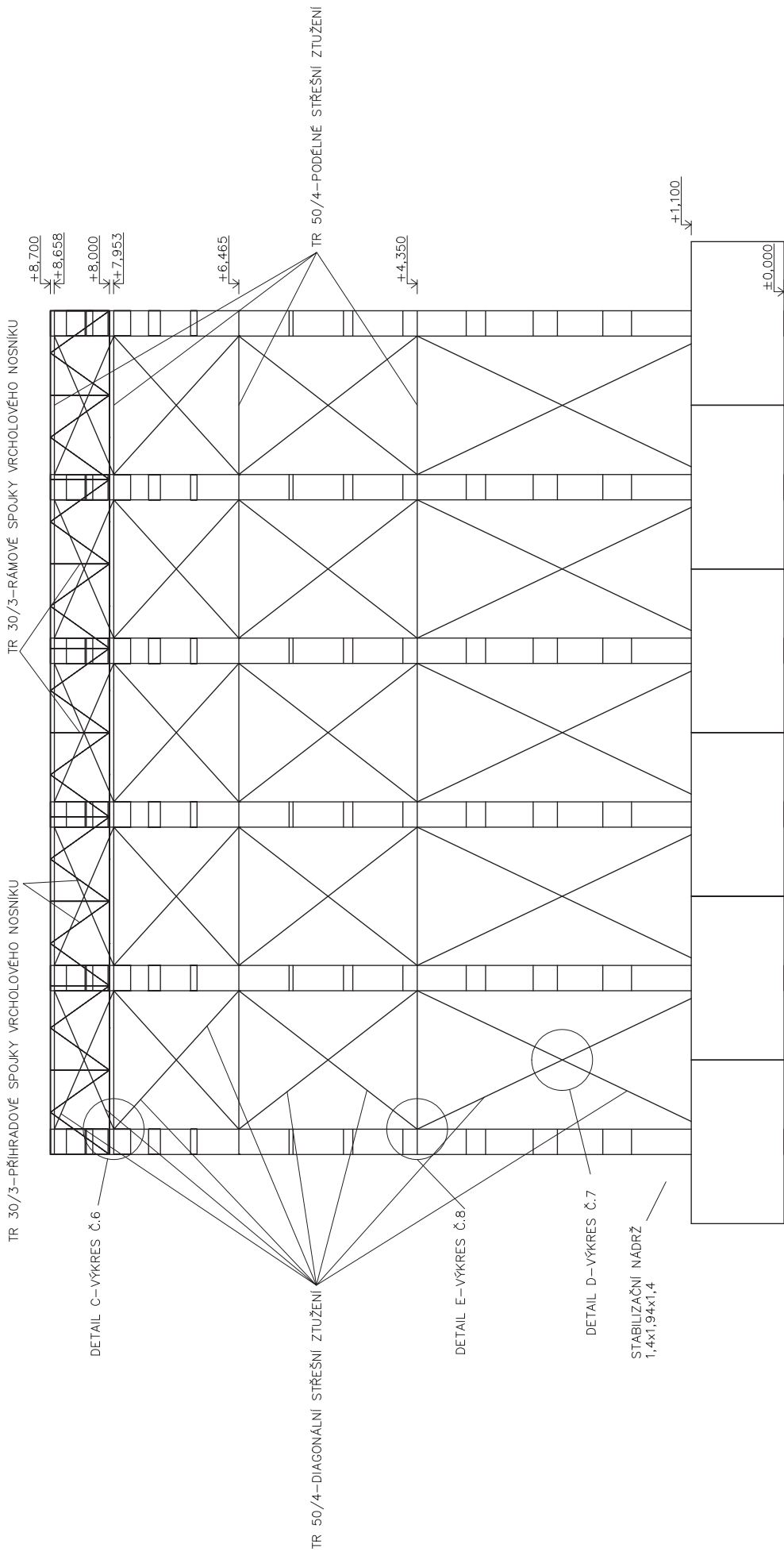




*VZDÁLENOSTI JSOU KÓTOVÁNY NA OSU

	FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ	MĚŘÍTKO: 1:50 FORMÁT: 2 x A4 DATUM:
	VYPRACOVAL: Leoš Hanousek	VEDOUČÍ PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš
TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE: MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA		OBSAH: ŘEZ A-A

- MATERIÁLY:**
 HLINÍKOVÉ SLITINY:
 NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6
 OCEL:
 SPOJOVACÍ DILCE – S235JO (POZINK)
 ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6
 PES/PVC:
 STŘEŠNÍ PLACHTA
 PLAST:
 STABILIZAČNÍ NÁDRŽE



*VZDÁLENOSTI JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
*PRUTY JSOU ZOBRAZENY STŘEDNICI

MATERIÁLY:

- HLINÍKOVÉ SLITINY:
- NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6
- OCEL:
- SPOJOVACÍ DÍLCE – S235JO (POZINK)
- ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6
- PES/PVC:
- STŘEŠNÍ PLACHTA
- PLAST:
- STABILIZAČNÍ NÁDRŽE

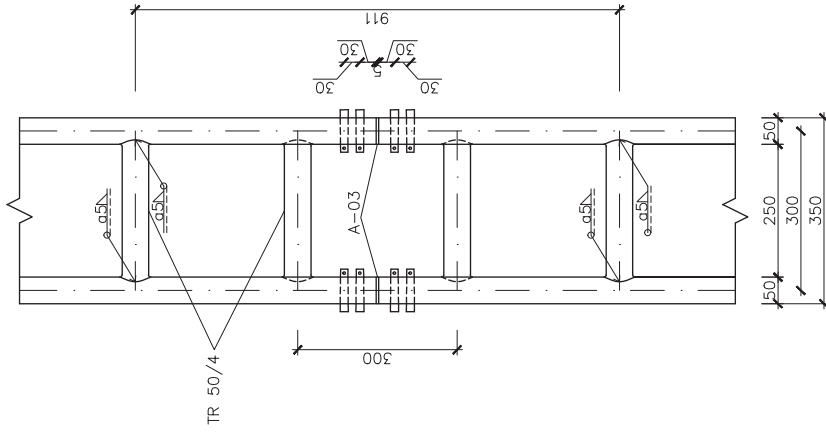
FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
VYPRACOVAL:
Leoš Hanousek



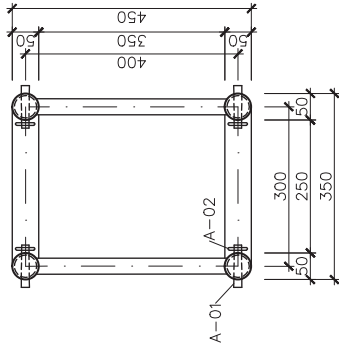
VEDOUcí PRÁCE:
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš
MĚŘÍTKO: 1:50
FORMÁT: 2 x A4
DATUM:
KVĚTEN 2017
ČÍSLO VÝKRESU:
3

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA
OBSAH:
SCHEMATICKÝ POHLED B

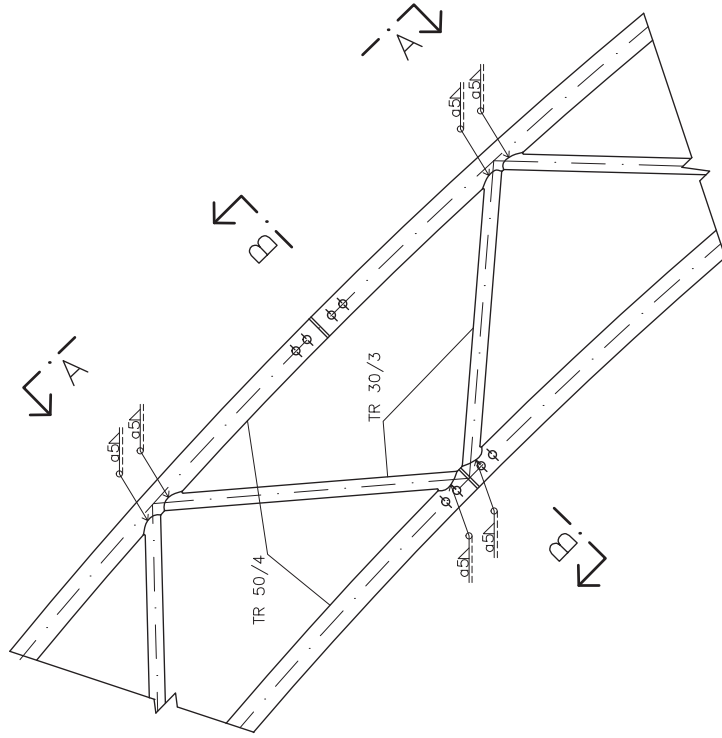
POHLED A – M 1:10



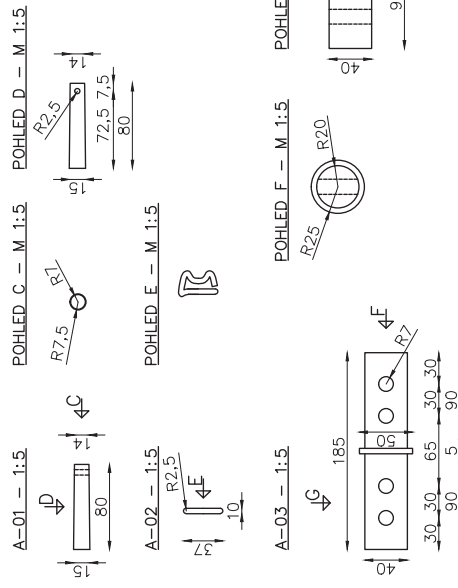
ŘEZ B-B – M 1:10



DETAIL A – M 1:10



SPOJOVACÍ DÍLCE:



MATERIÁLY:
 HLINÍKOVÉ SLITINY:
 NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6
 OCEL:
 SPOJOVACÍ DÍLCE – S235J0 (POZINK)
 ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE
 KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
 VYPRACOVAL:
 Leoš Hanousek

VEDOUcí PRÁCE:
 doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

MĚŘÍTKO: 1:10/1:5

FORMÁT: 2 x A4

DATUM:

KVĚTEN 2017

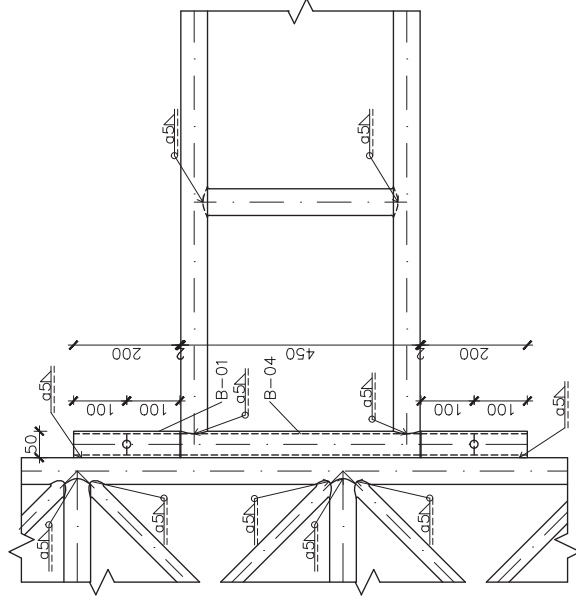
ČÍSLO VÝKRESU:

4

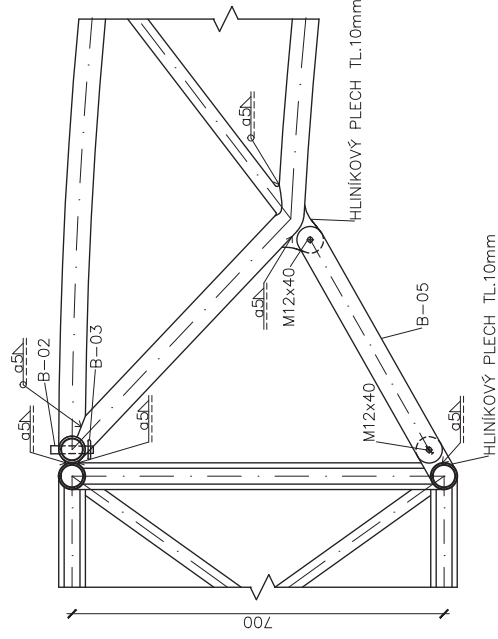
OBSAH:
 DETAIL A – MONTÁŽNÍ SPOJ PŘÍČNÉ VAZBY



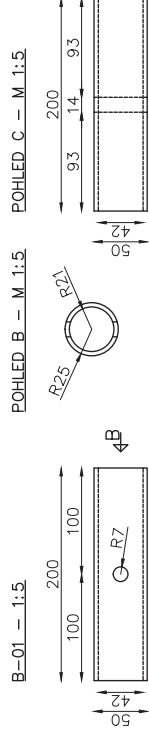
DETAIL B – M 1:10



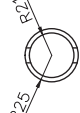
POHLED A – M 1:10



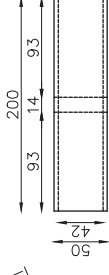
SPOJOVACÍ DÍLCE:



POHLED B – M 1:5

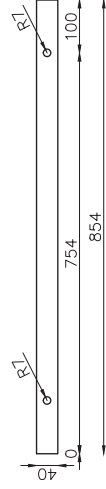


POHLED C – M 1:5

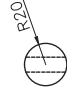


B-02 + B-03 VIZ. VÝKRES Č.4

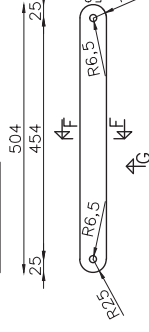
B-04 – 1:10



POHLED D – M 1:5



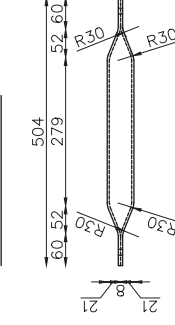
B-05 – 1:10



POHLED E – M 1:5



POHLED G – M 1:10



REZ F – M 1:5



MATERIÁLY:

HLINIKOVÉ SLITINY:

NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6

OCEL:

SPOJOVACÍ DÍLCE – S235J0 (POZINK)

ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

VYPRACOVAL:
Leoš Hanousek

VEDOUcí PRÁCE:
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

OBSAH:
DETAIL B – MONTÁŽNÍ PŘIPOJENÍ PŘÍČNÉ VAZBY K
VRCHOLOVÉMU NOSNIKU

MĚŘÍTKO: 1:10/1:5

FORMÁT: 2 x A4

DATUM:

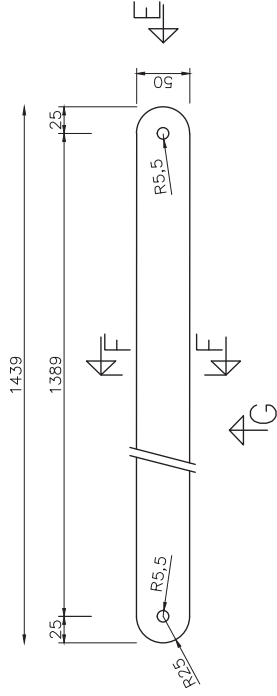
KVĚTEN 2017

ČÍSLO VÝKRESU:

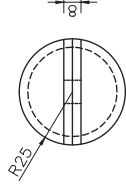
5



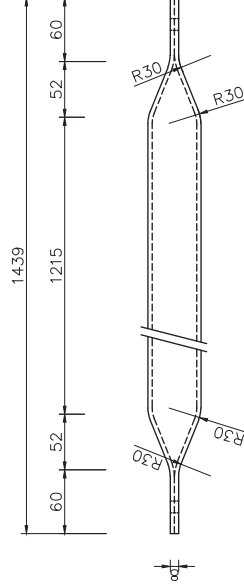
C-01 — 1:5



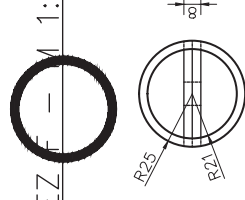
POHLED E — M 1:5



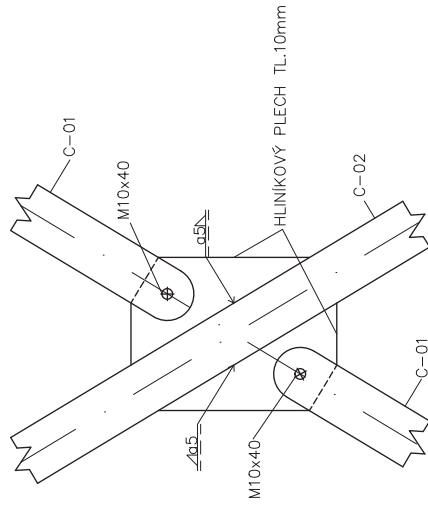
POHLED G — M 1:5



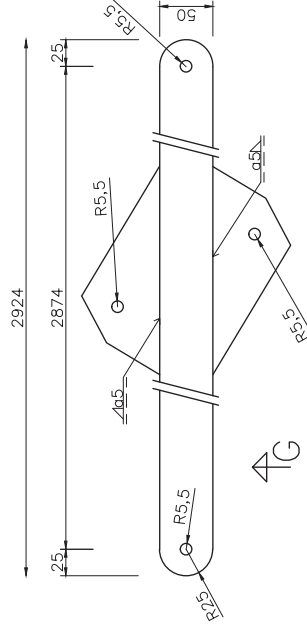
ŘEZ F — M 1:5



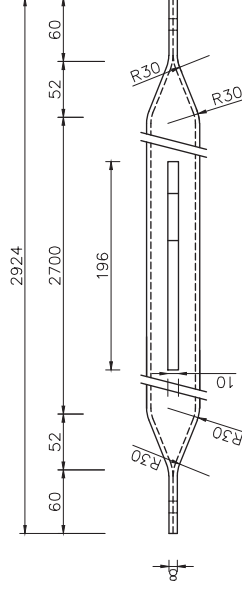
DETAIL C — M 1:5



C-02 — 1:5



POHLED G — M 1:5



MATERIÁLY:

HLINIKOVÉ SLITINY:

NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ — EN AW 6082 (DT) T6

OCEL:

SPOJOVACÍ DÍLCE — S235J0 (POZINK)

ŠROUBY — M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

VYPRACOVAL:
Leoš Hanousek

VEDOUcí PRÁCE:
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA

MĚŘÍTKO: 1:5

FORMÁT: 2 x A4

DATUM:

KVĚTEN 2017

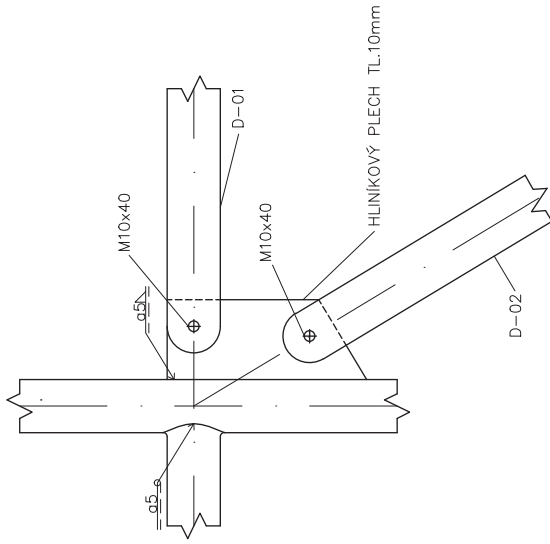
ČÍSLO VÝKRESU:

6

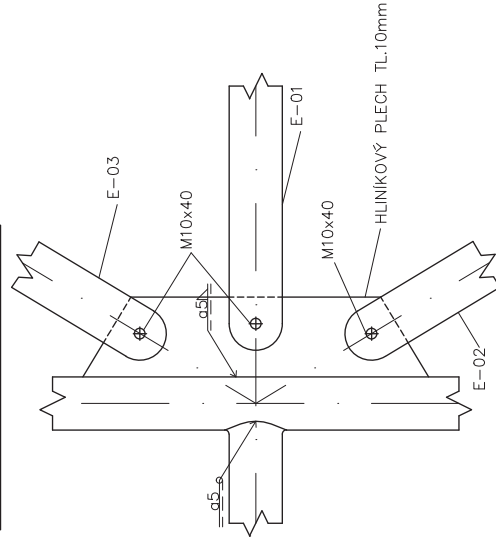
DETAIL C — MONTÁŽNÍ SPOJ DIAGONÁLNÍCH ZTUŽIDEL



DETAIL D – M 1:5



DETAIL E – M 1:5



MATERIÁLY:

HLINÍKOVÉ SLITINY:

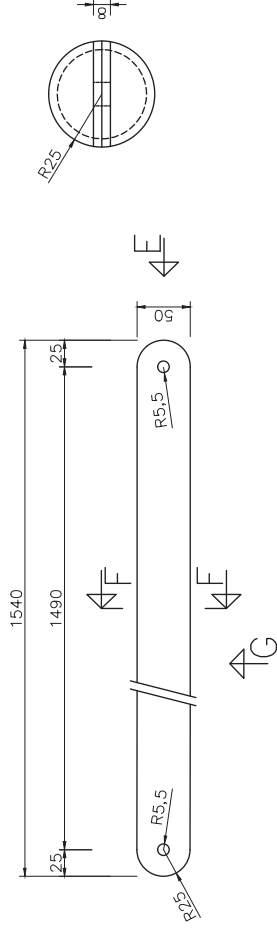
NOSNÁ KONSTRUKCE A ZTUŽENÍ – EN AW 6082 (DT) T6

OCEĽ:

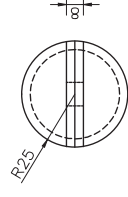
SPOJOVACÍ DÍLCE – S235J0 (POZINK)

ŠROUBY – M10,M12 JAKOSTNÍ TŘÍDA 5.6

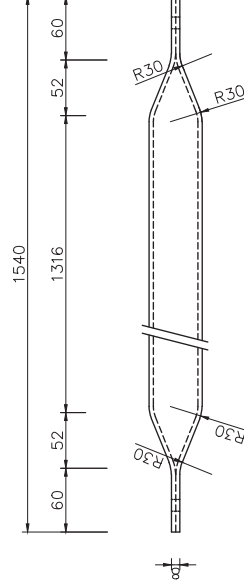
D-01 – 1:5



POHLED E – M 1:5



POHLED G – M 1:5



ŘEZ F – M 1:5



D-02 – 1:5 – VIZ. VÝKRES Č.6 (C-02)

E-01 – 1:5 – VIZ. VÝKRES Č.7 (D-01)

E-02+E-03 – 1:5 – VIZ. VÝKRES Č.6 (C-01+C-02)

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ	VEDOUcí PRÁCE: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš	
VYPRACOVAL: Leoš Hanousek	FORMÁT: 2 x A4	KVĚTEN 2017
TÉMA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:	DATUM:	
MOBILNÍ ZASTŘEŠENÍ PÓDIA		
OBSAH: DETAIL D + DETAIL E – MONTÁŽNÍ PŘIPOJENÍ KRAJNÍCH A VNITŘNÍCH ZTUŽIDEL K HORNÍMU PÁSU PŘÍČNÉ VAZBY		