



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH

THE ROOFING OF AMPHITHEATRE IN VIZOVICE

PRŮVODNÍ DOKUMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ludmila Kuchtová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ludmila Kuchtová
Název	Zastřešení amfiteátru ve Vizovicích
Vedoucí práce	Ing. Milan Šmak, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Tvarové a dispoziční uspořádání objektu

ČSN EN 1990 "Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí"

ČSN EN 1991 "Eurokód 1: Zatížení konstrukcí"

ČSN EN 1993 "Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí"

ČSN EN 1995 "Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí"

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné konstrukce zastřešení přírodního amfiteátru ve Vizovicích. Při návrhu konstrukce respektujte požadavky na tvarové a dispoziční uspořádání objektu. Půdorysné rozměry zastřešení uvažujte nejvýše 15x25m. Vypracujte v alternativním uspořádání konstrukce.

Požadované výstupy:

1. Technická zpráva
2. Statický výpočet základních nosných prvků, kotvení a směrných detailů
3. Výkresová dokumentace dle specifikace vedoucího práce

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Milan Šmak, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. Milan Šmak, Ph.D.

Autor práce Ludmila Kuchtová

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Studijní obor 3608R001 Pozemní stavby

Studijní program B3607 Stavební inženýrství

Název práce Zastřešení amfiteátru ve Vizovicích

**Název práce
v anglickém
jazyce** The roofing of amphitheatre in Vizovice

Typ práce Bakalářská práce

Přidělovaný titul Bc.

Jazyk práce Čeština

**Datový formát
elektronické
verze** PDF

Abstrakt práce Cílem této bakalářské práce je návrh zastřešení jeviště přírodního amfiteátru ve Vizovicích. Konstrukce je navržena variantně ze dřeva a oceli v různém konstrukčním uspořádání. Dispozičně se jedná o trojúhelníkovou stavbu, šířka je navržena 18 m, délka 15 m. Uvažovaná výška přístřešku je 9 m.

**Abstrakt práce
v anglickém
jazyce** The scope of this bachelor's thesis is to design roofing over a natural amphitheater stage in Vizovice. The structure is designed as a variable structure in verison of both steel and timber. Each solution has a different structural composition. The layout is triangular with width of 18 meters and length of 15 meters. The height of the roofing is considered to be 9 meters.

Klíčová slova Zastřešení, varianta, stojka, vaznice, zakřivený nosník, ztužidlo, lepené lamelové dřevo, oblouková konstrukce, kolíkový spoj, rámový roh, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce** Roofing, variant, prop, purlin, curved girder, bracing, glued laminated timber, arched construction, pin joint, frame corner, ultimate limit state, serviceability limit state

ABSTRAKT

CÍLEM TÉTO BAKALÁŘSKÉ PRÁCE JE NÁVRH ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ PŘÍRODNÍHO AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH. KONSTRUKCE JE NAVRŽENA VARIANTNĚ ZE DŘEVA A OCELI V RŮZNÉM KONSTRUKČNÍM USPOŘÁDÁNÍ. DISPOZIČNĚ SE JEDNÁ O TROJÚHELNÍKOVOU STAVBU, ŠÍŘKA JE NAVRŽENA 18 M, DÉLKA 15 M. UVAŽOVANÁ VÝŠKA PŘÍSTŘEŠKU JE 9 M.

KLÍČOVÁ SLOVA

ZASTŘEŠENÍ, VARIANTA, STOJKA, VAZNICE, ZAKŘIVENÝ NOSNÍK, ZTUŽIDLO, LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO, OBLOUKOVÁ KONSTRUKCE, KOLÍKOVÝ SPOJ, RÁMOVÝ ROH, MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI, MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

ABSTRACT

THE SCOPE OF THIS BACHELOR'S THESIS IS TO DESIGN ROOFING OVER A NATURAL AMPHITHEATER STAGE IN VIZOVICE. THE STRUCTURE IS DESIGNED AS A VARIABLE STRUCTURE IN VERSION OF BOTH STEEL AND TIMBER. EACH SOLUTION HAS A DIFFERENT STRUCTURAL COMPOSITION. THE LAYOUT IS TRIANGULAR WITH WIDTH OF 18 METERS AND LENGTH OF 15 METERS. THE HEIGHT OF THE ROOFING IS CONSIDERED TO BE 9 METERS.

KEYWORDS

ROOFING, VARIANT, PROP, PURLIN, CURVED GIRDER, BRACING, GLUED LAMINATED TIMBER, ARCHED CONSTRUCTION, PIN JOINT, FRAME CORNER, ULTIMATE LIMIT STATE, SERVICEABILITY LIMIT STATE

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ludmila Kuchtová *Zastřešení amfiteátru ve Vizovicích*. Brno, 2017. 116 s., 28 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Milan Šmak, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Ludmila Kuchtová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2017

Ludmila Kuchtová
autor práce

Poděkování:

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu panu Ing. Milanu Šmakovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, projevenou ochotu a trpělivost při konzultacích. Velký dík patří také mamince, která mi po celou dobu studia byla oporou.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

- STATICKÝ VÝPOČET
- TECHNICKÁ ZPRÁVA – ŘEŠENÉ VARIANTY
- TECHNICKÁ ZPRÁVA – VYBRANÁ VARIANTA
- PŘÍLOHY
 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE
 - PŘÍLOHA KE STATICKÉMU VÝPOČTU – PROGRAM RFEM



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH

THE ROOFING OF AMPHITHEATRE IN VIZOVICE

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ludmila Kuchtová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2017

Obsah

1	ZÁKLADNÍ INFORMACE O KONSTRUKCI.....	5
2	POUŽITÁ LITERATURA.....	5
3	GEOMETRIE.....	6
4	VÝPOČTOVÝ MODEL	8
5	POPIS KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU	9
6	VARIANTY PROVEDENÍ.....	9
6.1	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE	9
6.1.1	RÁMOVÝ ROH.....	9
6.1.2	KLOUBOVÉ ULOŽENÍ PŘÍČLE A STOJKY	10
6.1.3	V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK.....	11
6.2	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE	12
6.2.1	DŘEVO	12
6.2.2	OCEL	13
7	ZATÍŽENÍ	15
7.1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ	15
7.1.1	VLASTNÍ TÍHA	15
7.1.2	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	15
7.2	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ.....	15
7.2.1	ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	15
7.2.2	ZATÍŽENÍ VĚTREM	16
7.3	ZATĚŽOVACÍ STAVY	18
8	NÁVRHOVÉ PARAMETRY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ	19
8.1	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	19
8.2	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	19
9	PARAMETRY ODOLNOSTI MATERIÁLU	20
10	POSOUZENÍ VYBRANÉ VARIANTY	21
10.1	VAZNICE 1. POLE	21
10.1.1	MATERIÁL	21
10.1.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	22
10.1.3	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	23
10.2	VAZNICE 2. POLE	24
10.2.1	MATERIÁL	24
10.2.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	25
10.2.3	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	26

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Statically výpočet

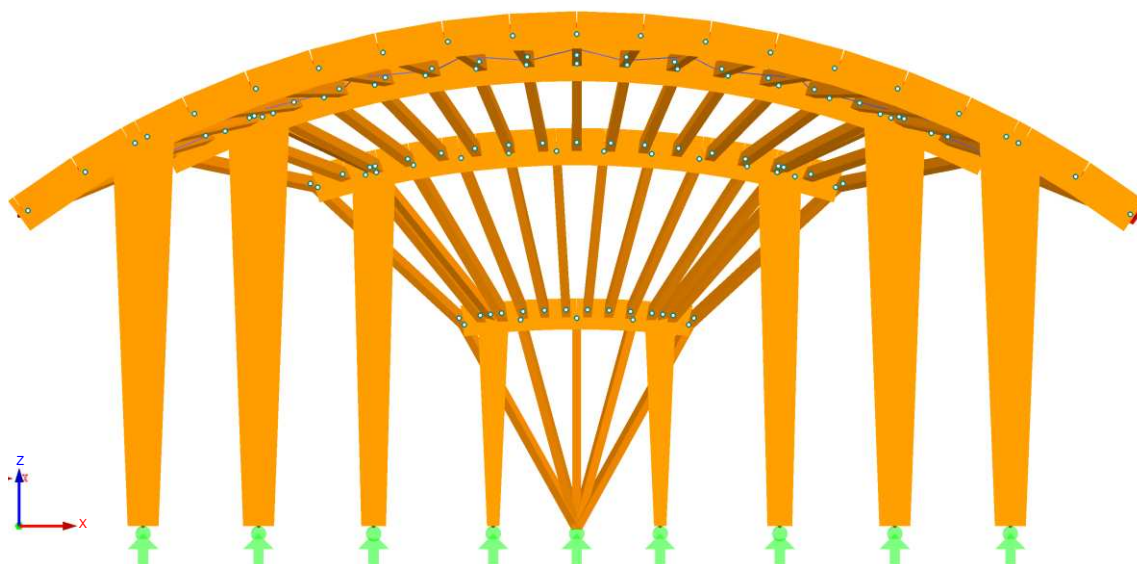
10.3	VAZNICE 3. POLE	27
10.3.1	MATERIÁL	27
10.3.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	28
10.3.3	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	30
10.4	VAZNICE 4. POLE	31
10.4.1	MATERIÁL	31
10.4.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	32
10.4.3	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	33
10.4.4	VLIV DOTVAROVÁNÍ.....	34
10.5	PRVNÍ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA I)	34
10.5.1	MATERIÁL	34
10.5.2	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	34
10.5.3	VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY	35
10.5.4	POSUDEK STOJKY:.....	36
10.5.5	POSUDEK PŘÍČLE:.....	37
10.6	DRUHÝ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA II)	41
10.6.1	MATERIÁL	41
10.6.2	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	41
10.6.3	VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY	42
10.6.4	POSUDEK STOJKY:.....	42
10.6.5	POSUDEK PŘÍČLE:.....	44
10.7	TŘETÍ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA III).....	47
10.7.1	MATERIÁL	47
10.7.2	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	48
10.7.3	VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY	48
10.7.4	POSUDEK STOJKY:.....	49
10.7.5	POSUDEK PŘÍČLE:.....	50
10.8	ČTVRTÝ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA IV)	54
10.8.1	MATERIÁL	54
10.8.2	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	54
10.8.3	VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY	55
10.8.4	POSUDEK STOJKY:.....	55
10.8.5	POSUDEK PŘÍČLE:.....	57
11	POSOUZENÍ VYBRANÝCH DETAILŮ	60
11.1	RÁMOVÝ ROH – PRVNÍ RÁM	60
11.1.1	NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY:	61

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Statický výpočet

11.1.2	GEOMETRIE SPOJE	61
11.1.3	PODDAJNOST SPOJE	61
11.1.4	ZATÍŽENÍ NA 1 KOLÍK	62
11.1.5	ROZMÍSTĚNÍ KOLÍKŮ	62
11.1.6	ÚNOSNOST KOLÍKU	62
11.1.7	POSOUZENÍ OCELOVÉHO KOLÍKU	64
11.1.8	POSOUZENÍ VLOŽENÉHO OCELOVÉHO PLECHU	65
11.2	ULOŽENÍ VAZNIC 4.POLE	66
11.2.1	NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY	66
11.2.2	ÚNOSNOST KOLÍKŮ	66
11.2.3	VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	67
11.2.4	POSOUZENÍ VLOŽENÉHO OCELOVÉHO PLECHU	67
11.2.5	NÁVRH CHEMICKÉ KOTVY	68
11.2.6	POSOUZENÍ SVARU	69
11.3	PŘIPOJENÍ VAZNICE K PŘÍČLI	70
11.3.1	NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY	70
11.3.2	PŘIPOJENÍ ČELNÍ DESKY K PŘÍČLI	70
	ÚNOSNOST KOLÍKŮ	71
	VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	71
	POSOUZENÍ SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ NA TAH	72
	POSOUZENÍ PLECHU NA OTLAČENÍ	72
11.3.3	PŘIPOJENÍ VAZNICE K VLOŽENÉMU STŘEDNÍMU PLECHU	72
	ÚNOSNOST KOLÍKŮ	72
	VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	73
	POSOUZENÍ PLECHU NA OTLAČENÍ	73
11.4	KOTVENÍ STOJKY	75
11.4.1	NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY	75
11.4.2	ÚNOSNOST KOLÍKŮ	75
11.4.3	VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	76
11.4.4	POSOUZENÍ DUTÉHO KRUHOVÉHO PROFILU	76
11.4.5	NÁVRH CHEMICKÉ KOTVY	77
11.4.6	POSOUZENÍ SVARU	77
12	ZÁVĚR	78

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O KONSTRUKCI

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout a posoudit konstrukci zastřešení jeviště přírodního amfiteátru ve Vizovicích ve variantních řešeních. Půdorysný tvar konstrukce je trojúhelníkový o rozměrech 18 m (šířka) x 15 m (délka), uvažovaná výška je 9 m. Základní nosnou konstrukcí přístřešku tvoří 4 příčné vazby, tj. stojky a příčle, v osové vzdálenosti 4 m. Konstrukčně je zde navrženo příčné ztužidlo zajišťující tuhost a přenos sil mezi jednotlivými vazbami, ale konstrukce je vzhledem ke svému tvaru dostatečně funkční a tuhá i bez něj. Statický výpočet byl vypracován v souladu s aktuálně platnými standardy.



2 POUŽITÁ LITERATURA

- ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 – Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1995-1-1 – Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1995-1 (Petr Kulík, Anna Kuklíková)
- NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1993-1-1 A ČSN EN 1993-1-8 (prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. a spol.)

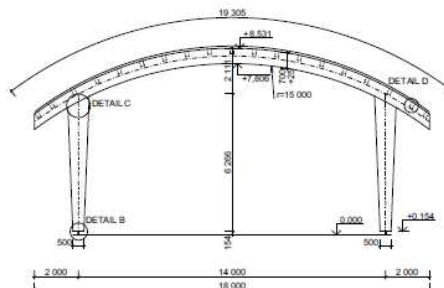
3 GEOMETRIE

Zastřešení je řešeno zakřivenými nosníky nad trojúhelníkovým půdorysem, v důsledku toho je tedy každá příčná vazba jiná. Konstrukce v podélném směru klesá až k zemi, kde je kloubově uložena.

Hlavní rozměry konstrukce:

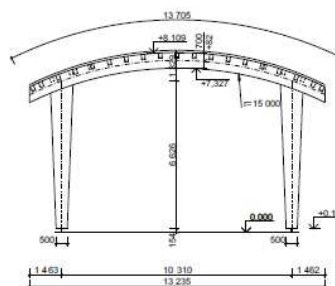
- První příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 18 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 14 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 19,305 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,266 \text{ m}$



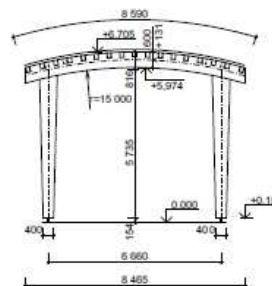
- Druhá příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 13,235 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 10,310 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 13,703 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,626 \text{ m}$



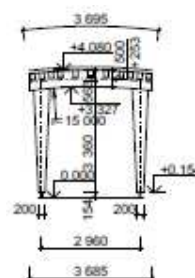
- Třetí příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 8,465 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 6,660 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 8,580 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 5,755 \text{ m}$



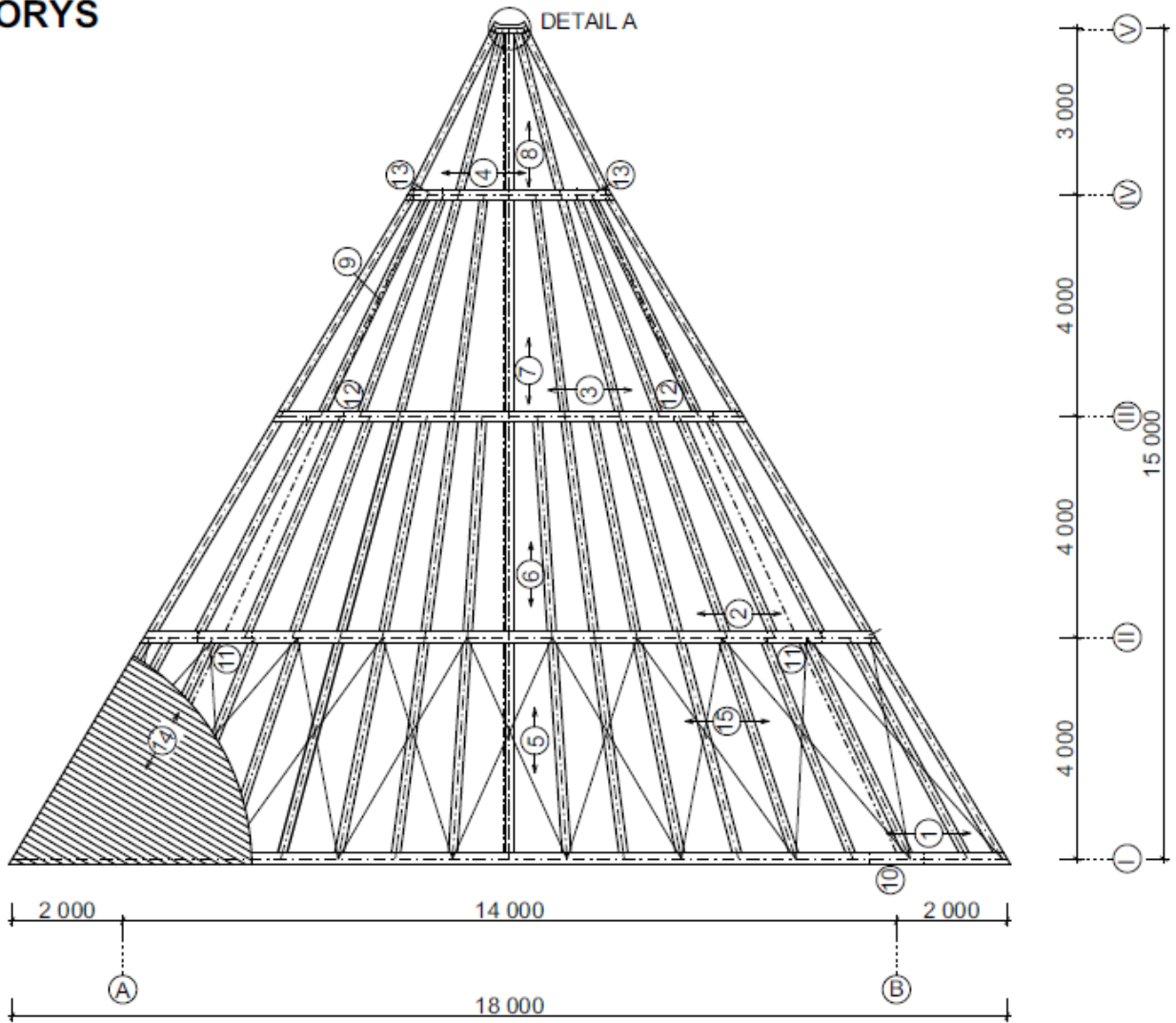
- Čtvrtá příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 3,685 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 2,960 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 3,750 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 3,360 \text{ m}$

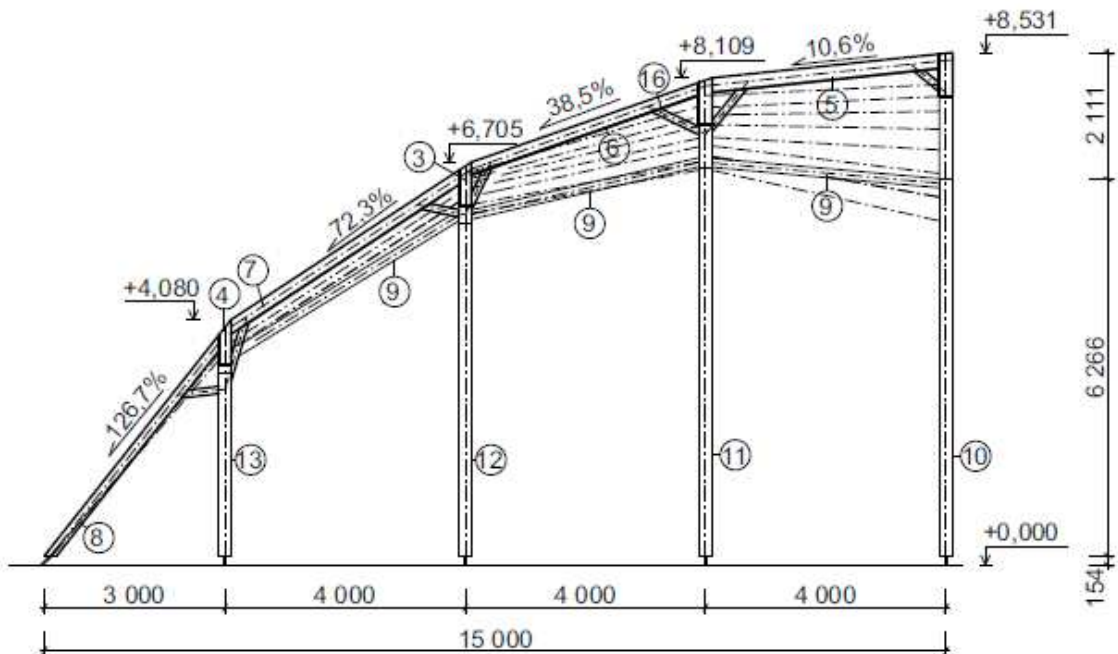


PŮDORYS

1:100

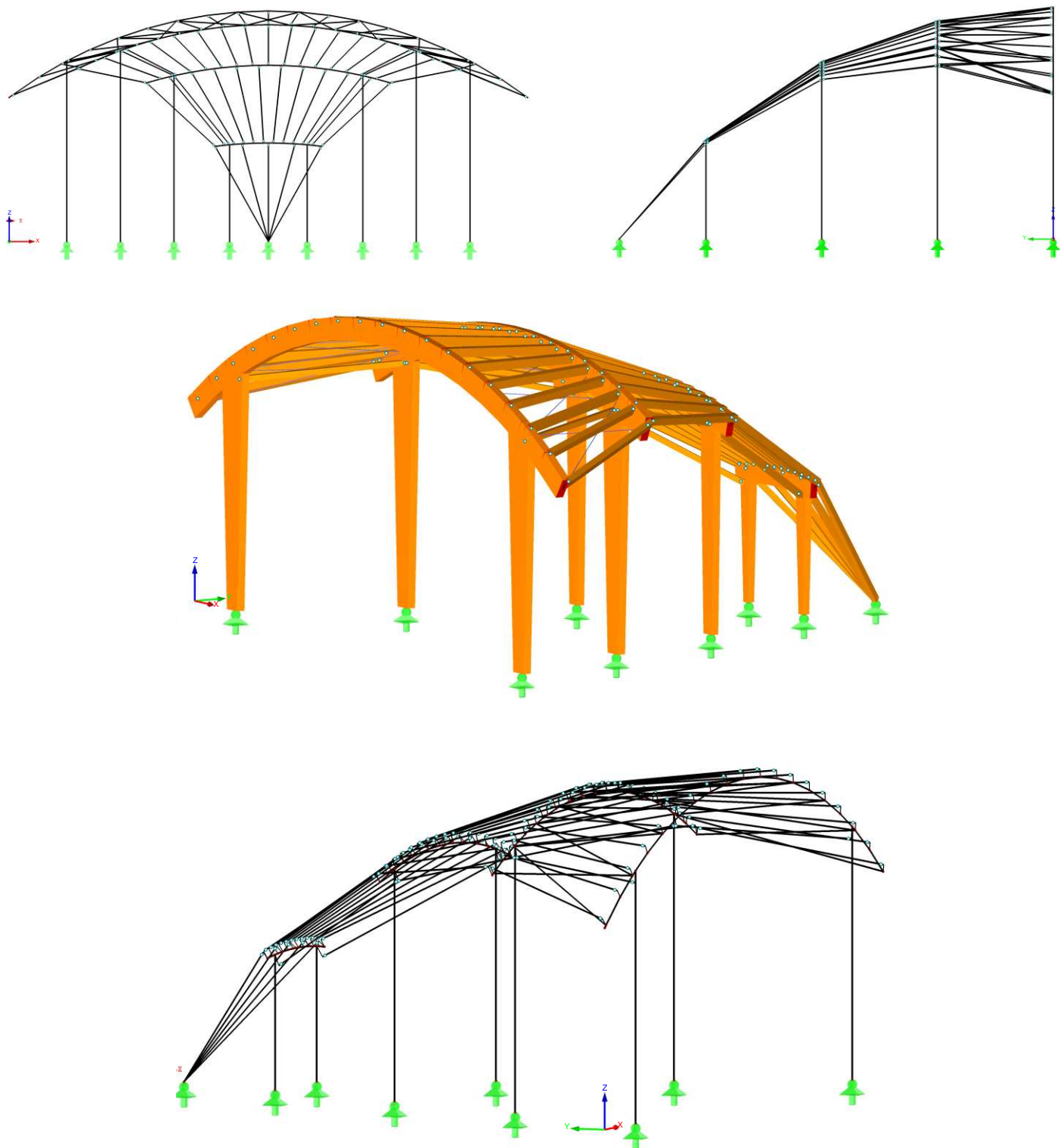


ŘEZ VRCHOLOVOU VAZNICÍ



4 VÝPOČTOVÝ MODEL

Statická analýza konstrukce byla provedena ve studentské verzi programu Dlubal RFEM 5.07, který pracuje na principu metody konečných prvků (FEM). Prostorový prutový model konstrukce navrhovaného objektu byl podroben lineárnímu výpočtu podle teorie I. řádu, a to na účinky stálých a proměnných zatížení.



5 POPIS KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU

Konstrukce zastřešení jeviště přírodního amfiteátru je navržena v pěti variantách, kde čtyři z nich jsou provedeny ze dřeva a jedna z oceli.

Dřevěné varianty jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a rostlého dřeva třídy C24. Pro příčná ztužidla byla použita ocel S235 a pro spojovací prostředky ocel S355.

Ocelová varianta je navržena z oceli S235.

Přístřešek sestává ze 4 příčných vazeb, každá z nich je tvořena příčlím a dvěma stojkami. Způsob kotvení konstrukce se odvíjí od varianty provedení. Zatížení je do jednotlivých vazeb vnášeno přes střešní plášť (štípaný šindel a prkna C24) a vaznice (C24). Působení vaznic je jako prutový kloubově uložený prostý nosník. V podélném směru se však spolu s podélnými vzpěrkami podílejí na prostorové tuhosti celého konstrukčního systému.

6 VARIANTY PROVEDENÍ

VARIANTA	PROVEDENÍ
DŘEVO	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – RÁMOVÝ ROH
	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – KLOUBOVÉ ULOŽENÍ PŘÍČLE A STOJKY
	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE –V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK
	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE
OCEL	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE

6.1 OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE

6.1.1 RÁMOVÝ ROH

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x700	69 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	37 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	72 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	41 %

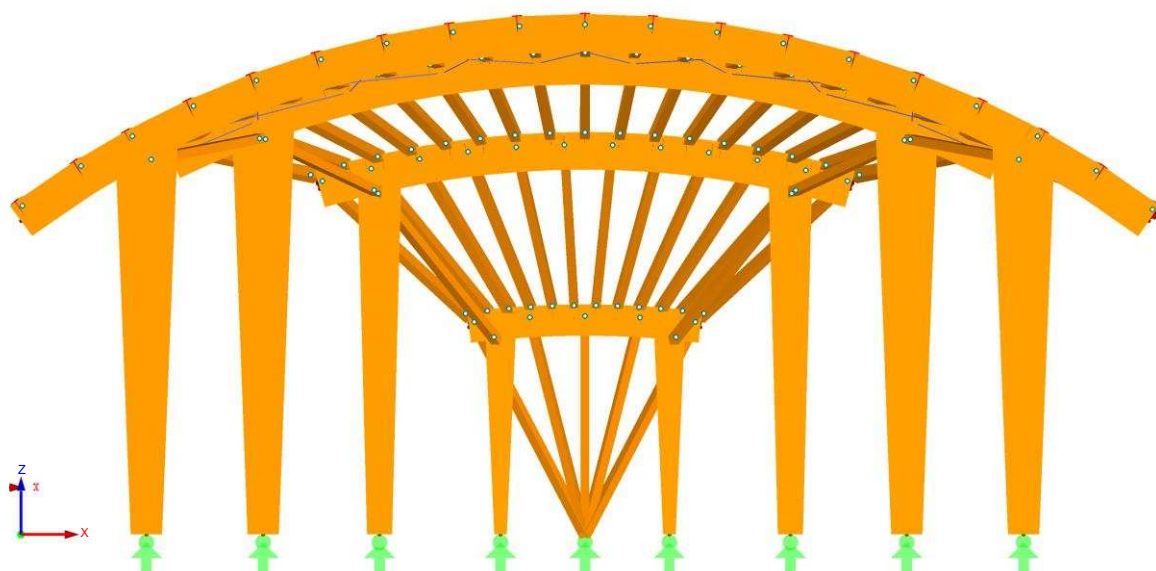
TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	82 %
PŘÍČEL	200x600	62 %
STOJKA	200x400 – 200x700	35 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	60 %
STOJKA	200x200 – 200x500	18 %

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	11,5 mm
u_y	14,7 mm
u_z	13,7 mm

Tato varianta byla vybrána jako nejvýhodnější z hlediska prostorové tuhosti a estetického hlediska a je blíže rozebrána a posouzena v kapitole 10.



6.1.2 KLOUBOVÉ ULOŽENÍ PŘÍČLE A STOJKY

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x600	52 %
STOJKA	220x340	90 %
VZPĚRKA	160x220	12 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	68 %
STOJKA	220x340	85 %
VZPĚRKA	160x220	12 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %
PŘÍČEL	200x600	61 %
STOJKA	200x240	73 %
VZPĚRKA	160x200	15 %

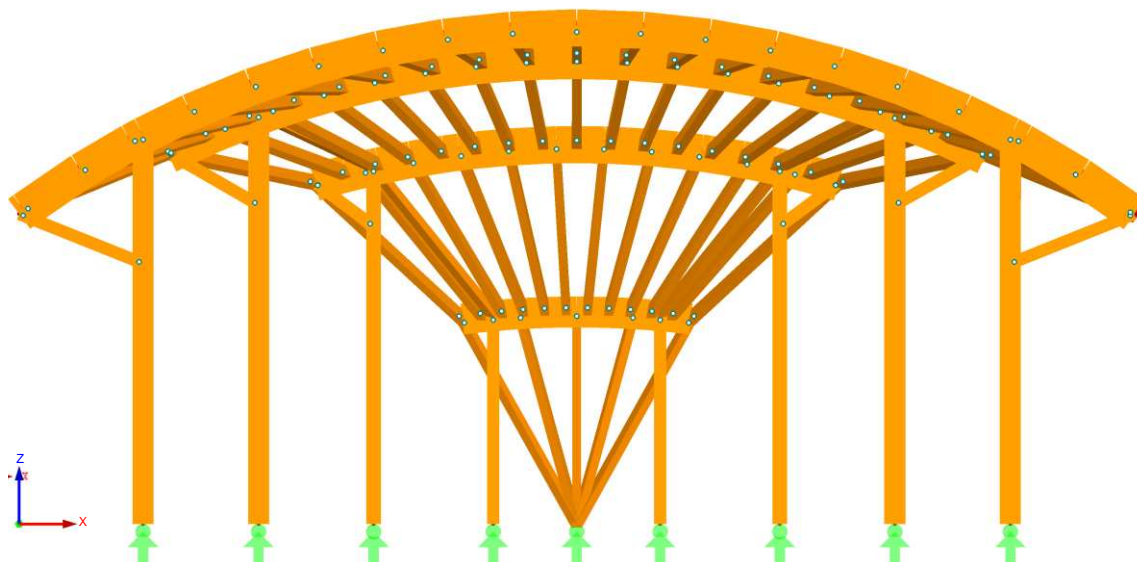
ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	60 %
STOJKA	150x200	46 %
VZPĚRKA	150x150	18 %

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	26,9 mm
u_y	15,2 mm
u_z	22,2 mm

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH

Statický výpočet

V této variantě bylo nutné dodat vzpěrky zajišťující tuhost v příčném směru, ty mohou působit rušivě co do vzhledu konstrukce. Vzpěrky jsou v mezním stavu únosnosti využity minimálně, ale z důvodu připojitelnosti prvku průřez musí být alespoň navrhovaného rozměru. Výhodou použití vzpěrek však je snížení hodnot ohybových momentů vazníku, což vede ke snížení využití průřezu a k jeho možnému zmenšení, takže ze statického hlediska je tato alternativa vcelku výhodná. Globální deformace jsou však větší než ve variantě s rámovým rohem.



6.1.3 V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x600	88 %
STOJKA	220x220	59 %

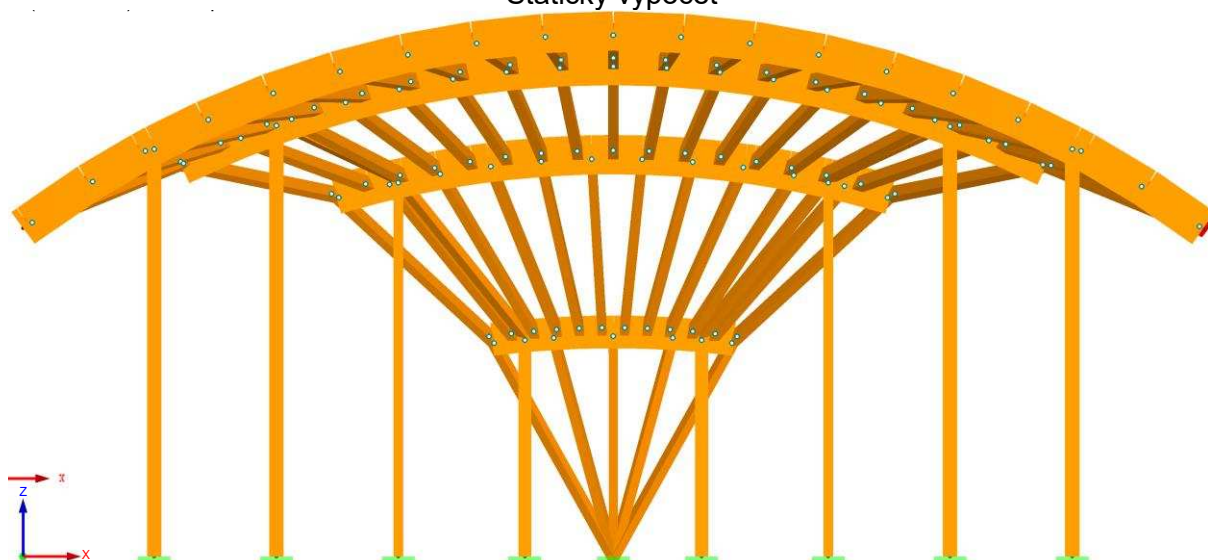
DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	85 %
STOJKA	220x220	48 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %
PŘÍČEL	200x600	61 %
STOJKA	200x150	82 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	57 %
STOJKA	150x200	35 %

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	27,9 mm
u_y	16,3 mm
u_z	37,9 mm

Tato varianta z estetického hlediska připadá v úvahu hned po alternativě s rámovým rohem, ale vzhledem k uvažovanému způsobu uložení, který není pro dřevěné konstrukce příliš běžný a je náročné ho vůbec docílit, byla vyhodnocena jako neefektivní.



6.2 OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE

6.2.1 DŘEVO

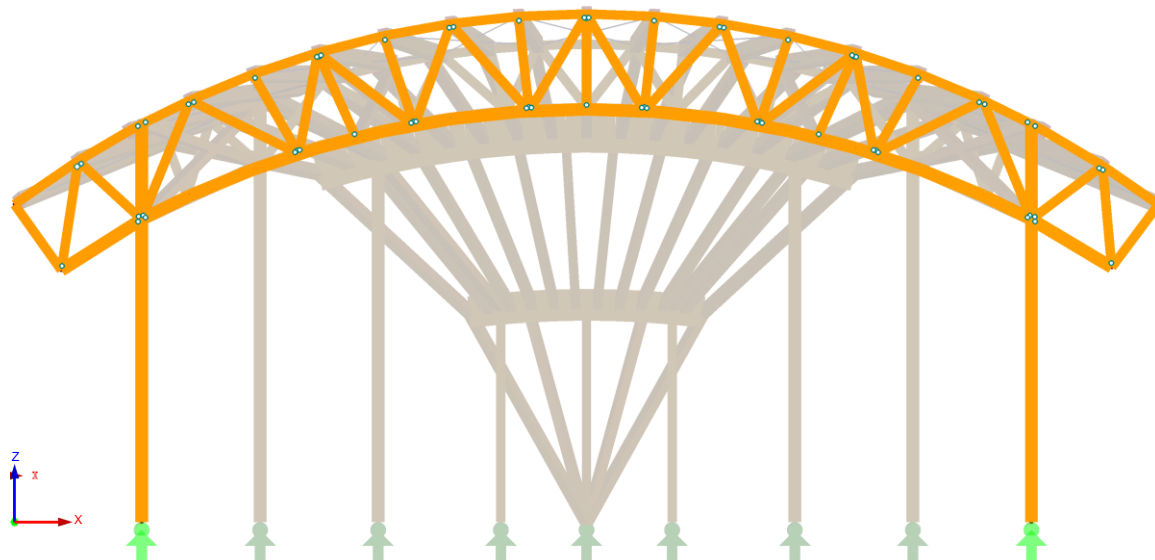
PRVNÍ POLE			DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %	VAZNICE	160x200	83 %
HORNÍ PÁS	150x150	43 %	HORNÍ PÁS	200x150	66 %
DOLNÍ PÁS	150x200	66 %	DOLNÍ PÁS	150x150	57 %
DIAGONÁLA	120x150	46 %	DIAGONÁLA	120x150	46 %
SVISLICE	120x150	36 %	SVISLICE	120x150	36 %
STOJKY	200x200	70 %	STOJKY	200x200	91 %

TŘETÍ POLE			ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %	VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x600	52 %	PŘÍČEL	200x500	57 %
STOJKA	200x200	73 %	STOJKA	150x150	65 %

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	27,3 mm
u_y	16,1 mm
u_z	13,0 mm

Tato varianta není příliš vhodným řešením, jelikož zde dochází ke kombinaci dvou typů vazníků. Návrh příhradoviny pro poslední dvě příčné vazby by byl vzhledem k jejich rozpětí zbytečný, proto zde byl vazník ponechán jako plnostěnný, a to z estetického hlediska není vhodné. Dále se tato varianta neobejde bez podélných ztužidel, které zajišťují dolní pás proti vybočení z roviny.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet



6.2.2 OCEL

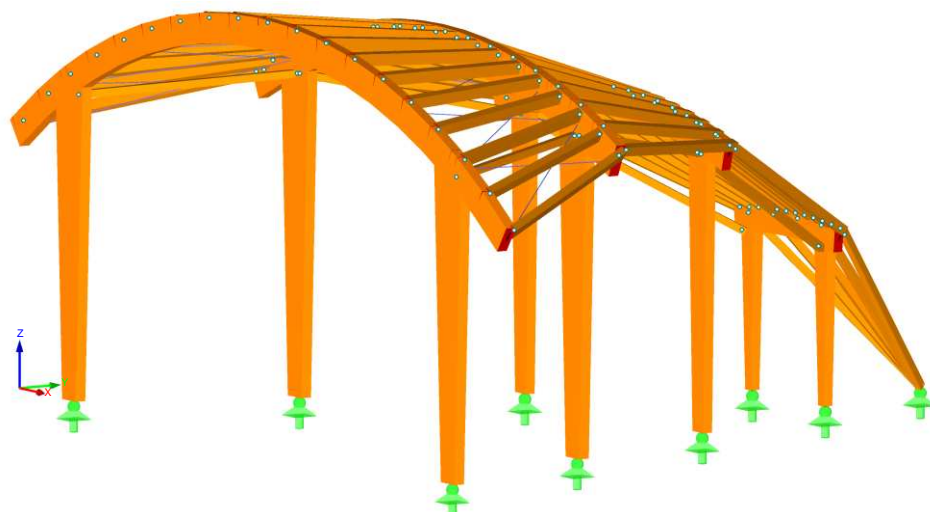
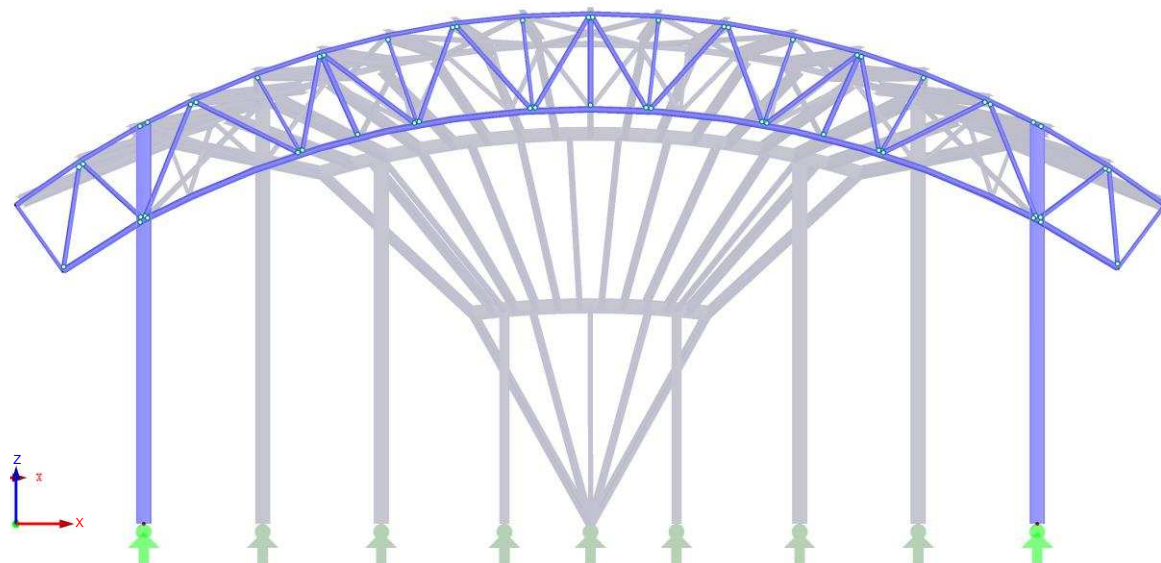
PRVNÍ POLE			DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 200	82 %	VAZNICE	IPE 200	83 %
HORNÍ PÁS	TR 76,1x3,2	65 %	HORNÍ PÁS	TR 101,6x3,2	73 %
DOLNÍ PÁS	TR 101,6x3,2	63 %	DOLNÍ PÁS	TR 60,3x3,2	52 %
DIAGONÁLA	TR 76,1x2,6	92 %	DIAGONÁLA	TR 76,1x2,6	92 %
SVISLICE	TR 101,6x3,2	82 %	SVISLICE	TR 101,6x3,2	82 %
STOJKY	IPE 240	76 %	STOJKY	IPE 240	80 %

TŘETÍ POLE			ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 180	58 %	VAZNICE	IPE 160	64 %
PŘÍČEL	IPE 220	72 %	PŘÍČEL	IPE 240	76 %
STOJKA	IPE 240	70 %	STOJKA	IPE 160	78 %

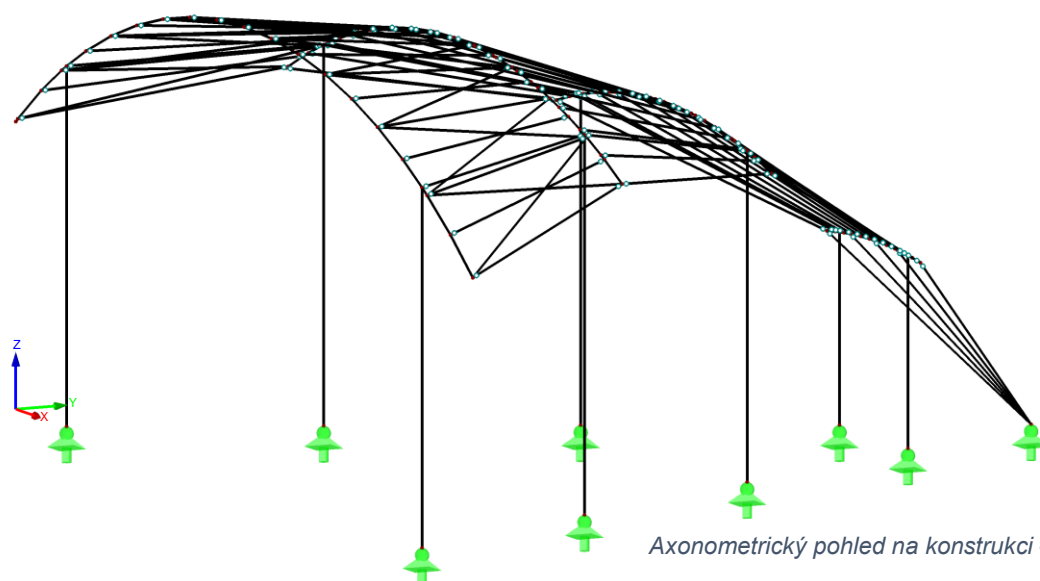
GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	28,1 mm
u_y	18,9 mm
u_z	11,1 mm

Tato varianta je na tom s výhodami a nevýhodami stejně jako předešlá. Dalším faktorem, proč tuto variantu nezvolit je účel konstrukce, a to zastřešení jeviště přírodního amfiteátru, kde je rozhodně vhodnějším výběrem konstrukce ze dřeva.

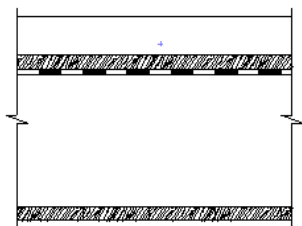
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Statický výpočet



Axonometrický pohled na konstrukci



Axonometrický pohled na konstrukci – prutový model



7 ZATÍŽENÍ

7.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

7.1.1 VLASTNÍ TÍHA

Vygenerováno výpočetním programem RFEM 5.07 Dlubal

7.1.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

a) Skladba střešní pláště

- Střešní krytina – Štípaný šindel tl. 70 mm - 18 kg/m²
 $g'_k = 0,18 \text{ KN/m}^2$
- Šikmé bednění z prken tl. 25 mm; $\rho = 410 \text{ kg/m}^3$ (C22)
 $g'_k = 0,025 \cdot 4,1 = 0,103 \text{ KN/m}^2$
- Hydroizolační pás – 13 kg/m²
 $g'_k = 0,13 \text{ KN/m}^2$
- Podbití z trojstranně hoblovaných prken tl. 25 mm; $\rho = 410 \text{ kg/m}^3$ (C22)
 $g'_k = 0,025 \cdot 0,41 = 0,103 \text{ KN/m}^2$

b) Spojovací prostředky $\approx 3 \text{ kg/m}^2$

$$g'_k = 0,03 \text{ KN/m}^2$$

❖ Celkem: $g'_k = 0,546 \text{ KN/m}^2$

7.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

7.2.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Lokalita: Vizovice – sněhová oblast III.

Charakteristická hodnota zatížení: $s_k = 1,34 \text{ kN/m}^2$

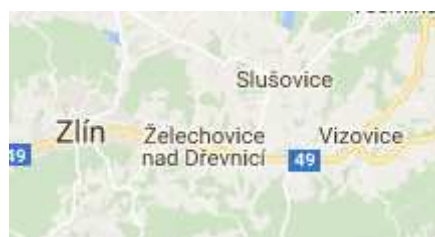
Tepelný součinitel: $C_t = 1,0$

Součinitel okolního prostředí: $C_e = 1,0$

Součinitel tvaru: $\mu_1 = 0,8$

$\mu_2 = 2,0$

$\mu_3 = 2,0$



Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

zatížení s_k [kPa]

Statistické parametry rozdělení ročních maxim

střední hodnota μ [kPa]

směrodatná odchylka σ [kPa]

variační koeficient V

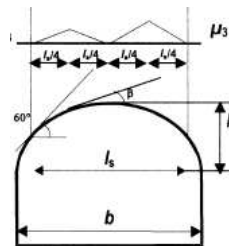
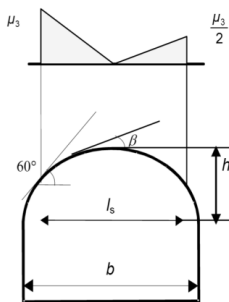
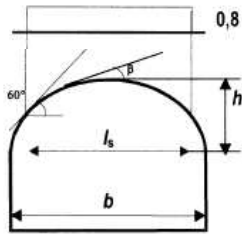
šíkmost α

$h = 9 \text{ m}$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

$l = 15 \text{ m}$

$$\frac{h}{l} = \frac{9}{15} = 0,6 \Rightarrow \mu_3 = 2,0$$



- Sníh rovnoměrný
 $\mu_1 = 0,8$
 Plný:
 $s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 1,072 \text{ KN/m}^2$
 Poloviční:
 $s_1 = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 0,536 \text{ KN/m}^2$

- Sníh nerovnoměrný
 $\mu_2 = 2,0$
 Plný:
 $s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 2,68 \text{ KN/m}^2$
 Poloviční:
 $s_2 = 0,5 \cdot \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 1,34 \text{ KN/m}^2$

- Sníh navátý
 $\mu_3 = 2,0$
 Plný:
 $s_3 = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 2,68 \text{ KN/m}^2$
 Poloviční
 $s_3 = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,34 = 1,34 \text{ KN/m}^2$

7.2.2 ZATÍŽENÍ VĚTREM

Lokalita: Vizovice– větrná oblast II.

Výchozí základní rychlost větru: $V_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

- Základní rychlost větru:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25,0 \text{ m/s}$$

Součinitel ortografie: $C_0(z) = 1,0$

Parametr drsnosti terénu: $Z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Kategorie terénu III:

Délka nerovnosti: $Z_0 = 0,3 \text{ m}$

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

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



Součinitel terénu:

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

Součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right) = 0,731$$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,731 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 18,275 \text{ m/s}$$

- Maximální dynamický tlak:

Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right)} = 0,294$$

Součinitel turbulence:

$$k_I = 1,0$$

Měrná hmotnost vzduchu:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$C_e(z) = 1,55$$

$$q_p(z) = q_b \cdot C_e(z)$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b(z)^2$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625$$

$$q_p(z) = 390,625 \cdot 1,55 = 605,469 \text{ N/m}^2 = 0,605 \text{ Kn/m}^2$$

a) Tlak větru na povrchy

- PODÉLNÝ VÍTR
- Podélný vítr – zpředu

$$e = \min \{b; 2 \cdot h\} = \min \{18; 18\} = 18 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{9}{15} = 0,6$$

- Tlak na štítové stěny

$$W_{e,D} = C_{pe,10} \cdot q_p(z) = 0,747 \cdot 0,605 = + 0,452 \text{ kN/m}^2$$

- Tlak a sání na krytinu

Na přístřešek bylo v tomto směru nahlíženo jako by byl pultového tvaru

Součinitel plnosti $\varphi=1$

Uvažovaný sklon střešní roviny $\alpha \approx 20^\circ$

Maximum pro všechna φ :

$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 1,7 \cdot 0,605 = 1,029 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 2,9 \cdot 0,605 = 1,756 \text{ kN/m}^2$$

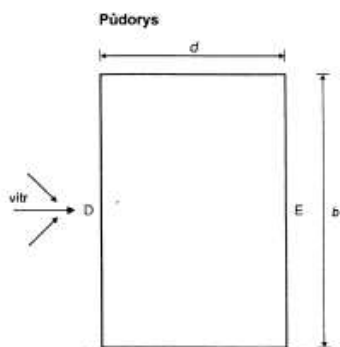
$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 2,1 \cdot 0,605 = 1,271 \text{ kN/m}^2$$

Minimum pro $\varphi=1$:

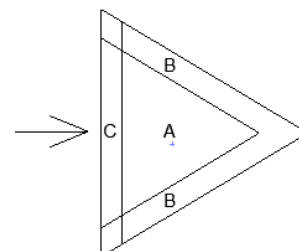
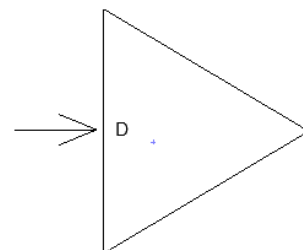
$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-1,6) \cdot 0,605 = - 0,969 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-2,9) \cdot 0,605 = - 1,756 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-3,0) \cdot 0,605 = - 1,816 \text{ kN/m}^2$$

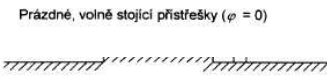
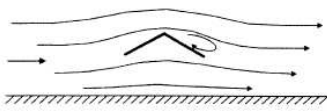


$d = 15 \text{ m}$
 $h = 9 \text{ m}$

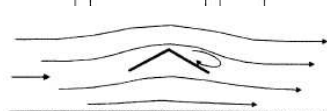
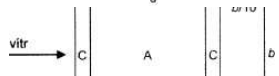
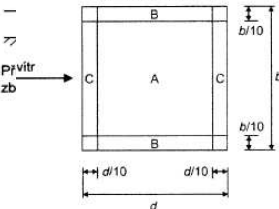


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

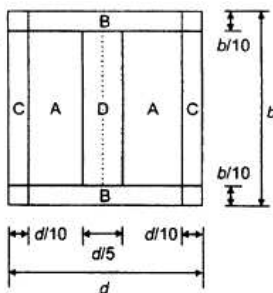
$b = 18 \text{ m}$



Součinitele výsledného tlaku $C_{p,net}$
 Legenda pro půdorys



Prázdné, volně stojící přístřešky ($\varphi = 0$)



Podélný vítr – zezadu

Součinitel plnosti $\varphi=0$

Uvažovaný sklon střešní roviny $\alpha \approx 20^\circ$

Maximum pro všechna φ :

$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 1,7 \cdot 0,605 = 1,029 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 2,9 \cdot 0,605 = 1,756 \text{ kN/m}^2$$

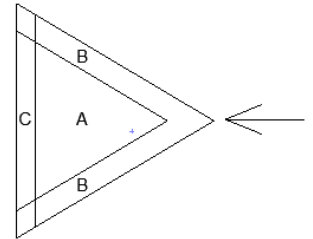
$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 2,1 \cdot 0,605 = 1,271 \text{ kN/m}^2$$

Minimum pro $\varphi=0$:

$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-2,2) \cdot 0,605 = -1,332 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-2,8) \cdot 0,605 = -1,695 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-2,9) \cdot 0,605 = -1,756 \text{ kN/m}^2$$



PŘÍČNÝ VÍTR

Na přístřešek bylo v tomto směru nahlíženo jako by byl sedlového tvaru

Součinitel plnosti $\varphi=0$

Uvažovaný sklon střešní roviny $\alpha \approx 25^\circ$

Maximum pro všechna φ :

$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 1,2 \cdot 0,605 = 0,727 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 1,9 \cdot 0,605 = 1,150 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 1,6 \cdot 0,605 = 0,969 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,D} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = 0,5 \cdot 0,605 = 0,303 \text{ kN/m}^2$$

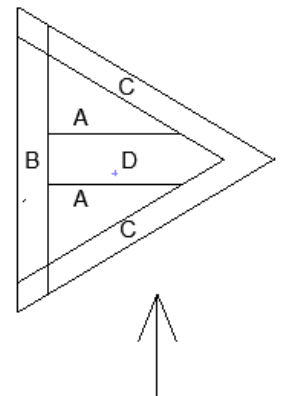
Minimum pro $\varphi=0$:

$$W_{e,A} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-1,4) \cdot 0,605 = -0,868 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,B} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-1,9) \cdot 0,605 = -1,150 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,C} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-1,4) \cdot 0,605 = -0,848 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,D} = C_{pnet} \cdot q_p(z) = (-2,0) \cdot 0,605 = -1,211 \text{ kN/m}^2$$



7.3 ZATĚŽOVACÍ STAVY

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Střešní plášť a spojovací prvky

ZS3 – Osamělé břemeno

ZS4 – Sníh rovnoměrný plný

ZS5 / ZS6 – Sníh rovnoměrný poloviční (pravý / levý)

ZS7 – Sníh nerovnoměrný plný

ZS8 / ZS9 – Sníh nerovnoměrný poloviční (pravý / levý)

ZS10 – Sníh navátý plný

ZS11 / ZS12 – Sníh navátý poloviční (pravý / levý)

ZS13 – Vítr podélný zředu (maximum)

ZS14 – Vítr podélný zředu (minimum)

ZS15 – Vítr příčný (maximum)

ZS16 – Vítr příčný (minimum)

ZS17 – Vítr podélný zezadu (minimum)

ZS18 – Vítr na čelní stěnu

8 NÁVRHOVÉ PARAMETRY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ

8.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Stálá zatížení

$\gamma_{g,sup} = 1,35$ (nepříznivé účinky)

$\gamma_{g,inf} = 1,00$ (příznivé účinky)

Proměnná zatížení

$\gamma_{q,sup} = 1,50$ (nepříznivé účinky)

$\gamma_{q,inf} = 0,00$ (příznivé účinky)

Kombinační součinitele zatížení ψ

- Zatížení sněhem (ČSN EN 1991-1-3) pro výšku $H \leq 1000$ m.n.m.

$$\Psi_0 = 0,5$$

- Zatížení větrem (ČSN EN 1991-1-4)

$$\Psi_0 = 0,6$$

Kombinace zatížení STR

Rovnice 6.10

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

8.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Charakteristická kombinace

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

9 PARAMETRY ODOLNOSTI MATERIÁLU

Charakteristické hodnoty

Charakteristická vlastnost	Materiál GL24h	Materiál C24
Pevnost v ohybu	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu	$f_{t,0,k} = 19,2 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,k} = 24 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku (90°)	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$
Pevnost ve smyku	$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$	$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{0,mean} = 11\,500 \text{ MPa}$	$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ MPa}$
Hustota	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
	$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$

Návrhové hodnoty

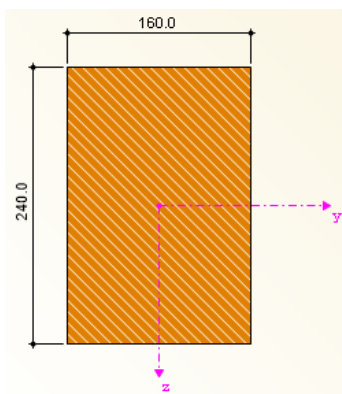
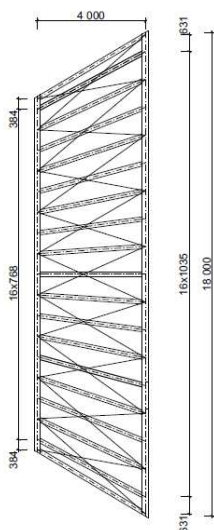
Dle ČSN EN 1995-1-1 se návrhové hodnoty mají stanovit následovně:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

$k_{mod} = 0,7$ modifikační součinitel (třída prostředí 3)
 $\gamma_m = 1,25$ součinitel spolehlivosti pro GL24h
 $\gamma_m = 1,3$ součinitel spolehlivosti pro C24

Návrhová vlastnost	Materiál GL24h	Materiál C24
Pevnost v ohybu	$f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$	$f_{m,d} = 12,923 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu	$f_{t,0,d} = 10,752 \text{ MPa}$	$f_{t,0,d} = 7,538 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$	$f_{c,0,d} = 11,307 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku (90°)	$f_{c,90,d} = 1,4 \text{ MPa}$	$f_{c,90,d} = 1,346 \text{ MPa}$
Pevnost ve smyku	$f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa}$	$f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$

1. POLE



10 POSOUZENÍ VYBRANÉ VARIANTY OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – RÁMOVÝ ROH

10.1 VAZNICE 1. POLE

Třída provozu 3

Osová vzdálenost příčných vazeb = 4 m, vaznice je však uloženy šikmo, proto vzdálenost podpor $L = 4,614$ m.

$$\alpha = 32,49^\circ$$

Vaznice působí jako prostý nosník.

10.1.1 MATERIÁL

Průřez vaznic je navržen jako obdélníkový 160 x 240 mm ze dřeva pevnostní třídy C24 (KVH). Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

$$k_{\text{mod}} = 0,7$$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$Y_M = 1,3$$

$$f_{m,d} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 7,538 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$$

a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

šířka $b = 160 \text{ mm}$

výška $h = 240 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 160 \cdot 240 = 38\,400 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 240^3 = 184,32 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 240 \cdot 160^3 = 81,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 160 \cdot 240^2 = 1,536 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 240 \cdot 160^2 = 1,024 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

b) ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Vlastní tíha prvku: $A \cdot \rho_{\text{mean}} = 38,4 \cdot 10^{-3} \cdot 4,2 = 0,161 \text{ kN/m}$

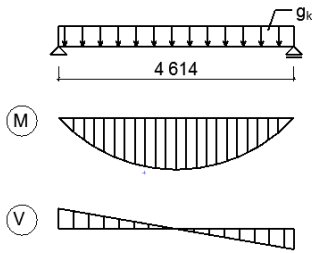
Ostatní stálé: $g'_k = 0,445 \text{ kN/m}$

Stálé celkem: $\Sigma g_k = 0,606 \text{ kN/m}$

c) ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Sníh nerovnoměrný plný: $s_k = 1,960 \text{ kN/m}$

Vítr podélný zředu: $w = 1,447 \text{ kN/m}$



Návrhové hodnoty vnitřních sil z programu RFEM

$$M_{y,d} = 11,735 \text{ KNm}$$

$$M_{z,d} = 5,266 \text{ KNm}$$

Pozn.: Vypočtené hodnoty vnitřních sil odpovídají hodnotám z programu RFEM

10.1.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

a) Ohyb

$$M_{y,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,606 \cdot 4,614^2 \cdot \cos 32,49^\circ = 1,360 \text{ kNm}$$

$$M_{z,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,606 \cdot 4,614^2 \cdot \sin 32,49^\circ = 0,866 \text{ kNm}$$

$$M_{y,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,960 \cdot 4,563^2 \cdot \cos 32,49^\circ = 4,303 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,960 \cdot 4,563^2 \cdot \sin 32,49^\circ = 2,740 \text{ kNm}$$

$$M_w = \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,447 \cdot 4,614^2 = 3,851 \text{ KNm}$$

b) Kombinace

$$M_{y,d} = 1,35 \cdot M_{y,gk} + 1,5 \cdot M_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_w$$

$$M_{y,d} = 1,35 \cdot 1,360 + 1,5 \cdot 4,303 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,851 = 11,756 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1,35 \cdot M_{z,gk} + 1,5 \cdot M_{z,sk}$$

$$M_{z,d} = 1,35 \cdot 0,866 + 1,5 \cdot 2,740 = 5,279 \text{ kNm}$$

c) Napětí za šikmého ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,756 \cdot 10^6}{1,536 \cdot 10^6} = 7,654 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{5,279 \cdot 10^6}{1,024 \cdot 10^6} = 5,155 \text{ MPa}$$

d) Podmínka spolehlivosti

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$0,7 \cdot \frac{7,654}{12,923} + \frac{5,155}{12,923} = \mathbf{0,813 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{7,654}{12,923} + 0,7 \cdot \frac{5,155}{12,923} = \mathbf{0,872 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

e) Posouvající síly

$$V_{y,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,606 \cdot 4,614 \cdot \sin 32,49^\circ = 0,751 \text{ kN}$$

$$V_{z,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,606 \cdot 4,614 \cdot \cos 32,49^\circ = 1,179 \text{ kN}$$

$$V_{y,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,960 \cdot 4,563 \cdot \sin 32,49^\circ = 2,402 \text{ kN}$$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

$$V_{z,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,960 \cdot 4,563 \cdot \cos 32,49^\circ = 3,772 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,447 \cdot 4,614 = 3,338 \text{ kN}$$

f) Kombinace

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot V_{y,gk} + 1,5 \cdot V_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot V_w$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 0,751 + 1,5 \cdot 2,402 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,338 = 7,621 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot V_{z,gk} + 1,5 \cdot V_{z,sk}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot 1,179 + 1,5 \cdot 3,772 = 7,250 \text{ kN}$$

g) Smyk

$$V_{Ed} = \sqrt{7,621^2 + 7,250^2} = 10,519 \text{ kN}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{10,519 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 38,4 \cdot 10^3} = 0,616 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{vd}}{f_{v,d}} = \frac{0,616}{2,154} = \mathbf{0,286 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

10.1.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

a) PRŮHYB

$$u_{y,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,606 \cdot 4,614^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 81,92 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 32,49^\circ$$

$$u_{y,g,inst} = 0,021 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,606 \cdot 4,614^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 1,843 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 32,49^\circ$$

$$u_{z,g,inst} = 1,488 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,960 \cdot 4,563^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 81,92 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 32,49^\circ$$

$$u_{y,s,inst} = 0,066 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,960 \cdot 4,563^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 1,843 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 32,49^\circ$$

$$u_{z,s,inst} = 4,603 \text{ mm}$$

$$u_{w,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,447 \cdot 4,614^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 81,92 \cdot 10^{-4}}$$

$$u_{w,inst} = 0,095 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,inst} = 0,021 + 0,066 + 0,095 = 0,182 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,inst} = 1,488 + 4,603 = \mathbf{6,091 \text{ mm}}$$

$$u_{inst} = \sqrt{0,182^2 + 6,091^2} = 6,094 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{4614}{300} = \mathbf{15,38 \text{ mm}} > u_{inst} = \mathbf{6,094 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Třída prostředí 3

$$u_{\max} = 9,4 \text{ mm}$$

b) VLIV DOTVAROVÁNÍ

$$u_{y,g,FIN} = u_{y,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,021 \cdot (1 + 2,0) = 0,063 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,FIN} = u_{z,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 1,488 \cdot (1 + 2,0) = 4,464 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,FIN} = u_{y,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,066 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,066 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,FIN} = u_{z,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 4,603 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 4,603 \text{ mm}$$

$$u_{y,w,FIN} = u_{y,w,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,095 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,095 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,FIN} = 0,063 + 0,066 + 0,095 = 0,224 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,FIN} = 4,464 + 4,603 = 9,067 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{0,224^2 + 9,067^2} = 9,070 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{l}{150} = \frac{4614}{150} = 30,76 \text{ mm} > u_{FIN} = 9,070 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.2 VAZNICE 2. POLE

Třída provozu 3

Osová vzdálenost příčných vazeb = 4 m, vaznice je však uložena šikmo, proto vzdálenost podpor $L = 4,561 \text{ m}$.

$$\alpha = 23,36^\circ$$

Vaznice působí jako prostý nosník.

10.2.1 MATERIÁL

Průřez vaznic je navržen jako obdélníkový 160 x 200 mm ze dřeva pevnostní třídy C24 (KVH). Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

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

Dílcí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,d} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 7,538 \text{ MPa}$$

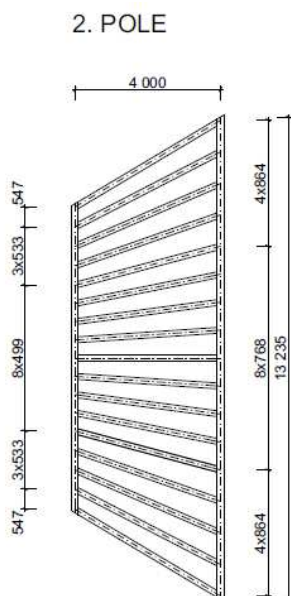
$$f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$$

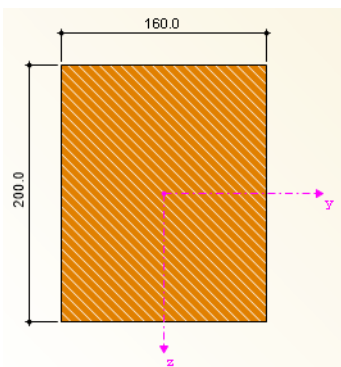
a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

šířka $b = 160 \text{ mm}$

výška $h = 200 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 160 \cdot 200 = 32\,000 \text{ mm}^2$





$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 200^3 = 106,667 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 160^3 = 68,267 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 160 \cdot 200^2 = 1,067 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 160^2 = 0,853 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

b) ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Vlastní tíha prvku: $A \cdot \rho_{\text{mean}} = 32,0 \cdot 10^{-3} \cdot 4,2 = 0,134 \text{ kN/m}$

Ostatní stálé: $g'_k = 0,370 \text{ kN/m}$

Stálé celkem: $\Sigma g_k = 0,504 \text{ kN/m}$

c) ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Sníh nerovnoměrný plný: $s_k = 1,487 \text{ kN/m}$

Vítr podélný zředu: $w = 1,113 \text{ kN/m}$

10.2.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

a) Ohyb

$$M_{y,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,504 \cdot 4,561^2 \cdot \cos 23,36^\circ = 1,203 \text{ kNm}$$

$$M_{z,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,504 \cdot 4,561^2 \cdot \sin 23,36^\circ = 0,520 \text{ kNm}$$

$$M_{y,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,487 \cdot 4,402^2 \cdot \cos 23,36^\circ = 3,307 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,487 \cdot 4,402^2 \cdot \sin 23,36^\circ = 1,428 \text{ kNm}$$

$$M_w = \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,113 \cdot 4,561^2 = 2,894 \text{ kNm}$$

b) Kombinace

$$M_{y,Ed} = 1,35 \cdot M_{y,gk} + 1,5 \cdot M_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_w$$

$$M_{y,Ed} = 1,35 \cdot 1,203 + 1,5 \cdot 3,307 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,894 = 9,189 \text{ kNm}$$

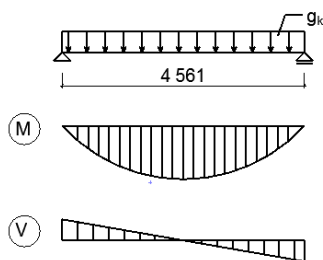
$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot M_{z,gk} + 1,5 \cdot M_{z,sk}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot 0,520 + 1,5 \cdot 1,428 = 2,844 \text{ kNm}$$

c) Napětí za šikmého ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{9,189 \cdot 10^6}{1,067 \cdot 10^6} = 8,612 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,844 \cdot 10^6}{0,853 \cdot 10^6} = 3,334 \text{ MPa}$$



Hodnoty z programu RFEM

$$M_{y,Ed} = 9,204 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,912 \text{ kNm}$$

d) Podmínka spolehlivosti

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$0,7 \cdot \frac{8,612}{12,923} + \frac{3,334}{12,923} = 0,724 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,612}{12,923} + 0,7 \cdot \frac{3,334}{12,923} = 0,847 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

e) Posouvající síly

$$V_{y,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,504 \cdot 4,561 \cdot \sin 23,36^\circ = 0,456 \text{ kN}$$

$$V_{z,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,504 \cdot 4,561 \cdot \cos 23,36^\circ = 1,055 \text{ kN}$$

$$V_{y,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,487 \cdot 4,402 \cdot \sin 23,36^\circ = 1,298 \text{ kN}$$

$$V_{z,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,487 \cdot 4,402 \cdot \cos 23,36^\circ = 3,005 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,113 \cdot 4,561 = 2,538 \text{ kN}$$

f) Kombinace

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot V_{y,gk} + 1,5 \cdot V_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot V_w$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 0,456 + 1,5 \cdot 1,298 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,538 = 4,847 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot V_{z,gk} + 1,5 \cdot V_{z,sk}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot 1,055 + 1,5 \cdot 3,005 = 5,932 \text{ kN}$$

g) Smyk

$$V_{Ed} = \sqrt{4,847^2 + 5,932^2} = 7,660 \text{ kN}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,660 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 32 \cdot 10^3} = 0,539 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{vd}}{f_{v,d}} = \frac{0,539}{2,154} = 0,250 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.2.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

a) Průhyb

$$u_{y,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,504 \cdot 4,561^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 68,267 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 23,36^\circ$$

$$u_{y,g,inst} = 0,015 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,504 \cdot 4,561^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 1,067 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 23,36^\circ$$

$$u_{z,g,inst} = 2,221 \text{ mm}$$

Statický výpočet

$$u_{y,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,487 \cdot 4,402^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 68,267 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 23,36^\circ$$

$$u_{y,s,inst} = 0,038 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,487 \cdot 4,402^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 1,067 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 23,36^\circ$$

$$u_{z,s,inst} = 5,687 \text{ mm}$$

$$u_{w,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,113 \cdot 4,561^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 68,267 \cdot 10^{-4}}$$

$$u_{w,inst} = 0,084 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,inst} = 0,015 + 0,038 + 0,084 = 0,137 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,inst} = 2,221 + 5,687 = 7,908 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{0,137^2 + 7,908^2} = 7,909 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{1}{300} = \frac{4561}{300} = 15,203 \text{ mm} > u_{inst} = 7,909 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) VLIV DOTVAROVÁNÍ

$$u_{y,g,FIN} = u_{y,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,015 \cdot (1 + 2,0) = 0,045 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,FIN} = u_{z,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 2,221 \cdot (1 + 2,0) = 6,663 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,FIN} = u_{y,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,038 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,038 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,FIN} = u_{z,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 5,687 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 5,687 \text{ mm}$$

$$u_{y,w,FIN} = u_{y,w,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,08 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,084 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,FIN} = 0,045 + 0,038 + 0,084 = 0,167 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,FIN} = 6,663 + 5,687 = 12,35 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{0,167^2 + 12,35^2} = 12,351 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{1}{150} = \frac{4561}{150} = 30,407 \text{ mm} > u_{FIN} = 12,351 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.3 VAZNICE 3. POLE

Třída provozu 3

Osová vzdálenost příčných vazeb = 4 m, vaznice je však uložena šikmo, proto vzdálenost podpor L = 5,071 m.

$$\alpha = 13,6^\circ$$

Vaznice působí jako prostý nosník.

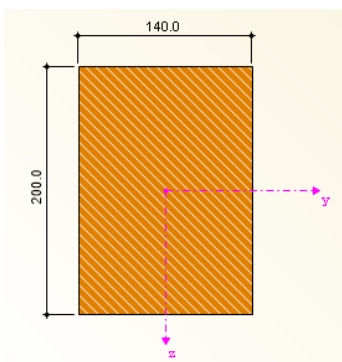
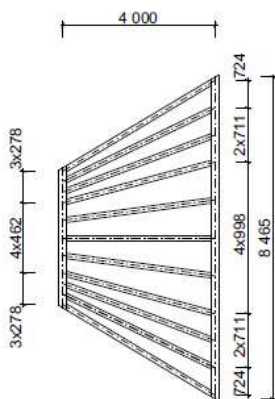
10.3.1 MATERIÁL

Průřez vaznic je navržen jako obdélníkový 140 x 200 mm ze dřeva pevnostní třídy C24 (KVH). Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Třída prostředí 3

$$u_{max} = 11,9 \text{ mm}$$

3. POLE



Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení
 Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo
 $f_{m,d} = 12,923 \text{ MPa}$
 $f_{c,0,d} = 7,538 \text{ MPa}$
 $f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$

$K_{mod} = 0,7$
 $\gamma_M = 1,3$

a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

šířka $b = 140 \text{ mm}$
 výška $h = 200 \text{ mm}$
 plocha $A = b \cdot h = 140 \cdot 200 = 28\,000 \text{ mm}^2$
 $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 140 \cdot 200^3 = 93,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 140^3 = 4,733 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 140 \cdot 200^2 = 0,933 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 140^2 = 0,653 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

b) ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Vlastní tíha prvku: $A \cdot \rho_{mean} = 28,0 \cdot 10^{-3} \cdot 4,2 = 0,118 \text{ kN/m}$
 Ostatní stálé: $g'_{k} = 0,302 \text{ kN/m}$
 Stálé celkem: $\Sigma g_k = 0,420 \text{ kN/m}$

c) ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Sníh nerovnoměrný plný: $s_k = 1,180 \text{ kN/m}$
 Vítr podélný zředu: $w = 0,885 \text{ kN/m}$

10.3.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

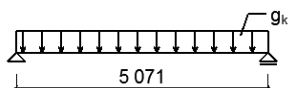
a) Ohyb

$M_{y,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,420 \cdot 5,071^2 \cdot \cos 13,6^\circ = 1,312 \text{ kNm}$
 $M_{z,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,420 \cdot 5,071^2 \cdot \sin 13,6^\circ = 0,317 \text{ kNm}$
 $M_{y,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,180 \cdot 4,542^2 \cdot \cos 13,6^\circ = 2,958 \text{ kNm}$
 $M_{z,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,180 \cdot 4,542^2 \cdot \sin 13,6^\circ = 0,716 \text{ kNm}$
 $M_w = \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,885 \cdot 5,071^2 = 2,845 \text{ kNm}$

b) Kombinace

$M_{y,d} = 1,35 \cdot M_{y,gk} + 1,5 \cdot M_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_w$
 $M_{y,d} = 1,35 \cdot 1,312 + 1,5 \cdot 2,958 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,845 = 8,769 \text{ kNm}$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet



Návrhové hodnoty vnitřních sil z programu RFEM

$$M_{y,d} = 8,673 \text{ KNm}$$

$$M_{z,d} = 1,482 \text{ KNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot M_{z,gk} + 1,5 \cdot M_{z,sk}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot 0,317 + 1,5 \cdot 0,716 = 1,502 \text{ kNm}$$

c) Napětí za šikmého ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{8,769 \cdot 10^6}{0,933 \cdot 10^6} = 9,396 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,502 \cdot 10^6}{0,653 \cdot 10^6} = 2,300 \text{ MPa}$$

d) Podmínka spolehlivosti

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$0,7 \cdot \frac{9,396}{12,923} + \frac{2,300}{12,923} = 0,687 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,396}{12,923} + 0,7 \cdot \frac{2,300}{12,923} = 0,852 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

e) Posouvající síly

$$V_{y,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,420 \cdot 5,071 \cdot \sin 13,6^\circ = 0,250 \text{ kN}$$

$$V_{z,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,420 \cdot 5,071 \cdot \cos 13,6^\circ = 1,035 \text{ kN}$$

$$V_{y,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,180 \cdot 4,542 \cdot \sin 13,6^\circ = 0,630 \text{ kN}$$

$$V_{z,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,180 \cdot 4,542 \cdot \cos 13,6^\circ = 2,605 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0,885 \cdot 5,071 = 2,244 \text{ kN}$$

f) Kombinace

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot V_{y,gk} + 1,5 \cdot V_{y,sk} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot V_w$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 0,250 + 1,5 \cdot 0,630 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,244 = 3,302 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot V_{z,gk} + 1,5 \cdot V_{z,sk}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot 1,141 + 1,5 \cdot 2,605 = 5,448 \text{ kN}$$

g) Smyk

$$V_{Ed} = \sqrt{3,302^2 + 5,448^2} = 6,371 \text{ kN}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,371 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 28 \cdot 10^3} = 0,512 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{vd}}{f_{v,d}} = \frac{0,512}{2,154} = 0,238 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

10.3.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

a) Průhyb

$$u_{y,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,420 \cdot 5,071^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 45,733 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 13,6^\circ$$

$$u_{y,g,inst} = 0,017 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,420 \cdot 5,071^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 93,333 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 13,6^\circ$$

$$u_{z,g,inst} = 0,034 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,180 \cdot 4,542^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 45,733 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 13,6^\circ$$

$$u_{y,s,inst} = 0,031 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,180 \cdot 4,542^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 93,333 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 13,6^\circ$$

$$u_{z,s,inst} = 0,062 \text{ mm}$$

$$u_{w,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,885 \cdot 5,071^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 645,733 \cdot 10^{-4}}$$

$$u_{w,inst} = 0,151 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,inst} = 0,017 + 0,031 + 0,151 = 0,199 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,inst} = 0,034 + 0,062 = 0,096 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{0,199^2 + 0,096^2} = 0,221 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{1}{300} = \frac{5071}{300} = 16,9 \text{ mm} > u_{inst} = 0,221 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) VLIV DOTVAROVÁNÍ

$$u_{y,g,FIN} = u_{y,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,017 \cdot (1 + 2,0) = 0,051 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,FIN} = u_{z,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,034 \cdot (1 + 2,0) = 0,102 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,FIN} = u_{y,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,03 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,031 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,FIN} = u_{z,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,062 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,062 \text{ mm}$$

$$u_{y,w,FIN} = u_{y,w,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,151 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,151 \text{ mm}$$

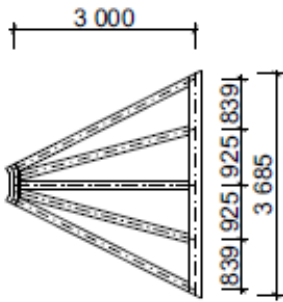
$$\Sigma u_{y,FIN} = 0,051 + 0,031 + 0,151 = 0,233 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,FIN} = 0,102 + 0,062 = 0,164 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{0,233^2 + 0,164^2} = 0,285 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{1}{150} = \frac{5071}{150} = 33,807 \text{ mm} > u_{FIN} = 0,285 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Třída prostředí 3



10.4 VAZNICE 4. POLE

Třída provozu 3

Osová vzdálenost příčných vazeb = 3 m, vaznice je však uložena šikmo, proto vzdálenost podpor $L = 4,621$ m.

$$\alpha = 4,33^\circ$$

Vaznice působí jako prostý nosník.

10.4.1 MATERIÁL

Průřez vaznic je navržen jako obdélníkový 140 x 160 mm ze dřeva pevnostní třídy C24 (KVH). Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

$$k_{\text{mod}} = 0,7$$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,d} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 7,538 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$$

a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

šířka $b = 140 \text{ mm}$

výška $h = 160 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 140 \cdot 160 = 22\,400 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 140 \cdot 160^3 = 47,787 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 140^3 = 36,587 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 140 \cdot 160^2 = 0,597 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 160 \cdot 140^2 = 0,523 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

b) ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Vlastní tíha prvku: $A \cdot \rho_{\text{mean}} = 22,4 \cdot 10^{-3} \cdot 4,2 = 0,094 \text{ kN/m}$

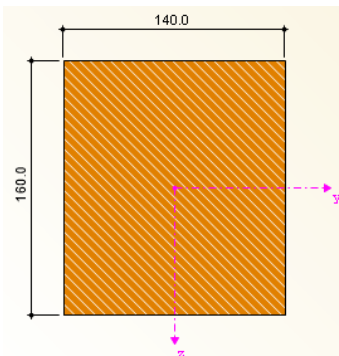
Ostatní stálé: $g'_k = 0,168 \text{ kN/m}$

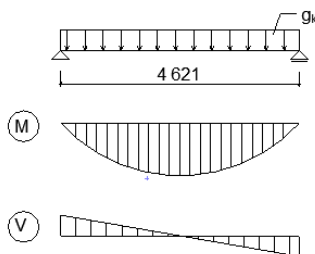
Stálé celkem: $\Sigma g_k = 0,262 \text{ kN/m}$

c) ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Sníh nerovnoměrný plný: $s_k = 1,280 \text{ kN/m}$

Vítr podélný zředu: $w = 0,838 \text{ kN/m}$





Návrhové hodnoty vnitřních sil z programu RFEM

$$M_{y,d} = 5,387 \text{ KNm}$$

$$M_{z,d} = 0,218 \text{ KNm}$$

10.4.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

a) Ohyb

$$M_{y,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,262 \cdot 4,621^2 \cdot \cos 4,33^\circ = 0,697 \text{ kNm}$$

$$M_{z,gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 0,262 \cdot 4,621^2 \cdot \sin 4,33^\circ = 0,053 \text{ kNm}$$

$$M_{y,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l'^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,28 \cdot 3,140^2 \cdot \cos 4,33^\circ = 1,573 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sk} = \frac{1}{8} \cdot s_k \cdot l'^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 1,28 \cdot 3,140^2 \cdot \sin 4,33^\circ = 0,119 \text{ kNm}$$

$$M_w = \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,838 \cdot 4,621^2 = 2,237 \text{ kNm}$$

b) Kombinace

$$M_{y,d} = 1,35 \cdot M_{y,gk} + 0,75 \cdot M_{y,sk} + 1,5 \cdot M_w$$

$$M_{y,d} = 1,35 \cdot 0,697 + 0,75 \cdot 1,573 + 1,5 \cdot 2,237 = 5,476 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1,35 \cdot M_{z,gk} + 0,75 \cdot M_{z,sk}$$

$$M_{z,d} = 1,35 \cdot 0,053 + 0,75 \cdot 0,119 = 0,161 \text{ kNm}$$

c) Napětí za šikmého ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{5,476 \cdot 10^6}{0,597 \cdot 10^6} = 9,168 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,161 \cdot 10^6}{0,523 \cdot 10^6} = 0,308 \text{ MPa}$$

d) Podmínka spolehlivosti

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$0,7 \cdot \frac{9,168}{12,923} + \frac{0,308}{12,923} = \mathbf{0,520 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,168}{12,923} + 0,7 \cdot \frac{0,308}{12,923} = \mathbf{0,726 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

e) Posouvající síly

$$V_{y,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,262 \cdot 4,621 \cdot \sin 4,33^\circ = 0,046 \text{ kN}$$

$$V_{z,gk} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 0,262 \cdot 4,621 \cdot \cos 4,33^\circ = 0,604 \text{ kN}$$

$$V_{y,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,280 \cdot 3,140 \cdot \sin 4,33^\circ = 0,152 \text{ kN}$$

$$V_{z,sk} = \frac{1}{2} \cdot s_k \cdot l' \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 1,280 \cdot 3,140 \cdot \cos 4,33^\circ = 2,004 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0,838 \cdot 4,621 = 1,936 \text{ kN}$$

f) Kombinace

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot V_{y,gk} + 0,75 \cdot V_{y,sk} + 1,5 \cdot V_w$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 0,046 + 0,75 \cdot 0,152 + 1,5 \cdot 1,936 = 3,08 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot V_{z,gk} + 0,75 \cdot V_{z,sk}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot 0,604 + 0,75 \cdot 2,004 = 2,318 \text{ kN}$$

g) Smyk

$$V_{Ed} = \sqrt{3,080^2 + 2,318^2} = 6,251 \text{ kN}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,251 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 22,4} = 0,628 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{vd}}{f_{v,d}} = \frac{0,628}{2,154} = \mathbf{0,292 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

10.4.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

a) Průhyb

$$u_{y,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,262 \cdot 4,621^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 36,587 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 4,33^\circ$$

$$u_{y,g,inst} = 0,003 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,262 \cdot 4,621^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 47,787 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 4,33^\circ$$

$$u_{z,g,inst} = 0,030 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \sin \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,280 \cdot 3,140^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 36,587 \cdot 10^{-4}} \cdot \sin 4,33^\circ$$

$$u_{y,s,inst} = 0,003 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \cos \alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,280 \cdot 3,140^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 47,787 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 14,33^\circ$$

$$u_{z,s,inst} = 0,031 \text{ mm}$$

$$u_{w,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,838 \cdot 4,621^4}{11 \cdot 10^3 \cdot 36,587 \cdot 10^{-4}}$$

$$u_{w,inst} = 0,124 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,inst} = 0,003 + 0,003 + 0,124 = 0,130 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,inst} = 0,030 + 0,031 = 0,061 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{0,130^2 + 0,061^2} = 0,144 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{4621}{300} = \mathbf{15,4 \text{ mm}} > u_{inst} = \mathbf{0,144 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

10.4.4 VLIV DOTVAROVÁNÍ

$$u_{y,g,FIN} = u_{y,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,003 \cdot (1 + 2,0) = 0,009 \text{ mm}$$

$$u_{z,g,FIN} = u_{z,g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,030 \cdot (1 + 2,0) = 0,090 \text{ mm}$$

$$u_{y,s,FIN} = u_{y,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,003 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,003 \text{ mm}$$

$$u_{z,s,FIN} = u_{z,s,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,031 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,031 \text{ mm}$$

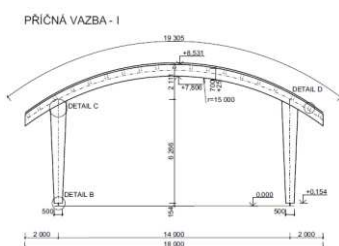
$$u_{y,w,FIN} = u_{y,w,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,124 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,124 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{y,FIN} = 0,009 + 0,003 + 0,124 = 0,136 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{z,FIN} = 0,090 + 0,031 = 0,121 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{0,163^2 + 0,121^2} = 0,182 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{l}{150} = \frac{4621}{150} = 30,807 \text{ mm} > u_{FIN} = 0,182 \text{ mm VYHOVUJE}$$



10.5 PRVNÍ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA I)

Třída provozu 3

Plnostěnný zakřivený nosník konstantního průřezu o vzdálenosti podpor 14,0 m je tuze spojen se stojkami. Celková délka střednice oblouku $L_s = 19,305$ m, délka střednice od podpory k podpoře $s = 14,56$ m, poloměr zakřivení $R = 15,0$ m. Stojky jsou nekonstantního průřezu s lineárním náběhem.

10.5.1 MATERIÁL

Průřez příčle je navržen jako obdélníkový 220 x 700 mm ze dřeva pevnostní třídy GL24h. Základní průřez stojky je obdélník 220 x 500 mm v patě a 220 x 1000 mm v hlavě sloupu. Náběh je oboustranný. Výška sloupu v ose $h_s = 6,266$ m. Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

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

Dílicí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa}$$

10.5.2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

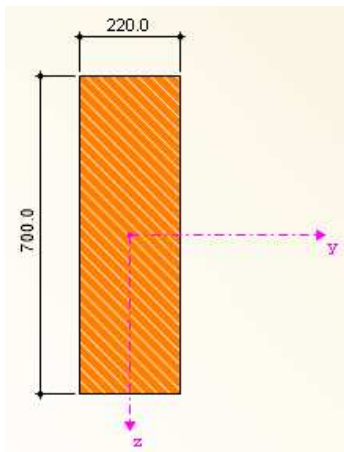
a) PŘÍČEL

šířka $b = 220 \text{ mm}$

výška $h = 700 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 220 \cdot 700 = 154\,000 \text{ mm}^2$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet



$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 700^3 = 6,288 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 700 \cdot 220^3 = 621,133 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 700^2 = 17,967 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 700 \cdot 220^2 = 5,647 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,288 \cdot 10^9}{154\,000}} = 202,1 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{621,133 \cdot 10^6}{154\,000}} = 63,5 \text{ mm}$$

b) SLOUP

šířka $b = 220 \text{ mm}$

výška ve 2/3 $h = 833 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 220 \cdot 833 = 183\,260 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 833^3 = 10,597 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

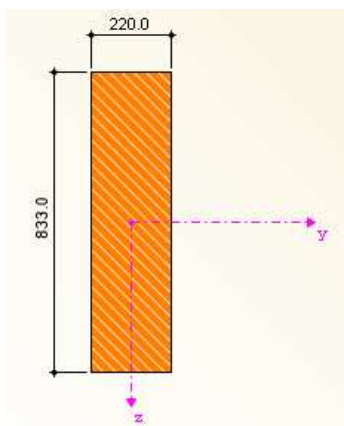
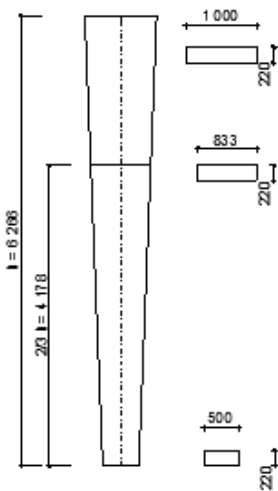
$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 833 \cdot 220^3 = 739,149 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 833^2 = 25,443 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 833 \cdot 220^2 = 6,720 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{10,597 \cdot 10^9}{183\,260}} = 240,5 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{739,149 \cdot 10^6}{183\,260}} = 63,5 \text{ mm}$$

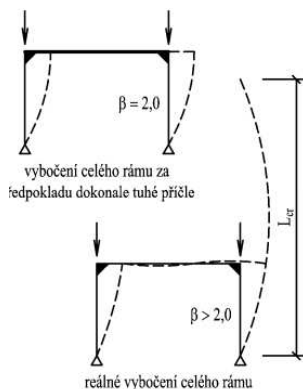


10.5.3 VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY

- Vnitřní síly: $N_s = -72,937 \text{ kN}$; $N_p = -40,210 \text{ kN}$
- $I_p = 6,288 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 6,288 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $I_s = 10,597 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 0,0106 \text{ m}^4$

Vzpěrná délka sloupu:

$$l_{ef,s} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I_s \cdot s}{I_p \cdot h}} = 6,266 \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{0,0106 \cdot 14,56}{6,288 \cdot 10^{-3} \cdot 6,266}} = 30,635 \text{ m}$$



Vzpěrná délka příčle:

$$l_{ef,p} = l_{ef,s} \cdot \sqrt{\frac{I_p \cdot N_s}{I_s \cdot N_p}} = 30,635 \cdot \sqrt{\frac{6,288 \cdot 10^{-3} \cdot 72,937}{0,0106 \cdot 40,210}} = 25,219 \text{ m}$$

10.5.4 POSUDEK STOJKY:

○ Vzpěrné délky

$$L_{cr,z} = h_s = 6\,266 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = l_{eff,s} = 30\,635 \text{ mm}$$

$$L_{cr,LT} = h_s = 6\,266 \text{ mm}$$

a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{30\,635}{240,5} = 127,380$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,266}{63,5} = 98,677$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,677}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,570$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{127,380}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 2,027$$

b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,570 - 0,3) + 1,570^2]$$

$$k_z = 1,796$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,796 + \sqrt{1,796^2 - 1,570^2}} = 0,375$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,027 - 0,3) + 2,027^2]$$

$$k_y = 2,641$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,641 + \sqrt{2,641^2 - 2,027^2}} = 0,231$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{833 \cdot 6\,266} \cdot 9\,600 = 69,435 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{69,435}} = 0,588 \leq 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,0$$

<p>Posudek z programu RFEM 0,37 < 1,0</p>	<p>d) VÝPOČET NAPĚTÍ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Napětí v tlaku: $\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{72,937 \cdot 10^3}{183,26 \cdot 10^3} = 0,398 \text{ MPa}$ ○ Napětí v ohybu: $\sigma_{m,o,d} = \frac{M_{ed}}{W_y} = \frac{80,145 \cdot 10^6}{25,443 \cdot 10^6} = 3,150 \text{ MPa}$ ○ Napětí ve smyku: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{12,789 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 833} = 0,157 \text{ MPa}$ <p>e) POSUDEK NA OHYB + TLAK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,o,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$ $\frac{0,398}{0,231 \cdot 13,44} + \frac{3,150}{1,0 \cdot 13,44} = \mathbf{0,363 < 1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$
<p>Posudek z programu RFEM 0,08 < 1,0</p>	<p>f) POSUDEK NA SMYK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$ $\frac{0,157}{1,96} = \mathbf{0,08 < 1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$
	<p>10.5.5 POSUDEK PŘÍČLE: MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:</p> <p>1) KOMBINACE OHYB+TLAK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vzpěrné délky $L_{cr,z} = h_s = 1\,072 \text{ mm}$ $L_{cr,y} = l_{eff,p} = 25\,219 \text{ mm}$ $L_{cr,LT} \approx 1,1 \cdot L_0 = 1,1 \cdot 14\,249 = 15\,674 \text{ mm}$ <p>a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY</p> $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{25\,219}{202,1} = 145,602$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,072}{63,5} = 16,880$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{16,880}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,269$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{145,602}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 2,317$$

b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,317 - 0,3) + 2,317^2]$$

$$k_y = 3,285$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,285 + \sqrt{3,285^2 - 2,317^2}} = 0,178$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{700 \cdot 15\,674} \cdot 9\,600 = 38,535 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{38,535}} = 0,589 > 0,75 \dots \text{zohlednit vliv klopení}$$

$$\lambda_{m,rel} \in (0,75; 1,4) \rightarrow k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{m,rel}$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,789$$

$$k_{crit} = \mathbf{0,968}$$

d) VÝPOČET NAPĚTÍ

- Napětí v tlaku:

$$\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{40,210 \cdot 10^3}{154 \cdot 10^3} = 0,305 \text{ MPa}$$

- Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_Y} = \frac{95,998 \cdot 10^6}{17,967 \cdot 10^6} = 7,273 \text{ MPa}$$

- Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{42,211 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 700} = 0,720 \text{ MPa}$$

e) POSUDEK NA OHYB + TLAK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$$

Posudek z programu RFEM
0,69 < 1,0

$$\frac{0,305}{0,178 \cdot 13,44} + \frac{7,273}{0,968 \cdot 13,44} = \mathbf{0,687 < 1,0}$$

VYHOVUJE

Statický výpočet

$$\sigma_{t,90,d} = 0,0098 \cdot \frac{47,837 \cdot 10^6}{17,96 \cdot 10^6} = 0,036 \text{ MPa}$$

$$K_{dis} = 1,4$$

$$V = 2,98 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,98}\right)^{0,2} = 0,320$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,320 \cdot 0,28 = 0,125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,036 \text{ MPa} < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,125 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4) ZTRÁTA STABILITY

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{700 \cdot 0,625 \cdot 19\,305} \cdot 9600 = 42,910 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{42,910}} = 0,748 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

5) SMYK V PODPOŘE

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{42,211 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 700} = 0,720 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6) POSOUZENÍ V MÍSTĚ PODPORY – TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

- o Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot l_1} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{42,211 \cdot 10^3}{220 \cdot 1000} = 0,192 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,192 \text{ MPa} < k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,4 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

1) OKAMŽITÝ PRŮHYB

Od stálého zatížení: $u_{inst,g} = 5,9 \text{ mm}$

Od proměnného zatížení: $u_{inst,q} = 5,5 \text{ mm}$

2) CELKOVÝ PRŮHYB

$$K_{def} = 2,0$$

$$\Psi_2 = 0$$

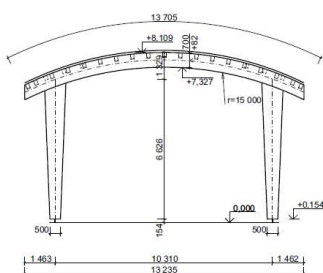
$$u_{g,FIN} = u_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 5,9 \cdot (1 + 2,0) = 17,7 \text{ mm}$$

$$u_{q,FIN} = u_{q,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 5,5 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 5,5 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{17,7^2 + 5,5^2} = 18,53 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{L}{300} = \frac{14\,000}{300} = 46,67 \text{ mm} > u_{FIN} = 18,53 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

PŘÍČNÁ VAZBA - II



10.6 DRUHÝ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA II)

Třída provozu 3

Plnostěnný zakřivený nosník konstantního průřezu o vzdálenosti podpor 10,310 m je tuze spojen se stojkami. Celková délka střednice oblouku $L_s = 13,703$ m, délka střednice od podpory k podpoře $s = 10,481$ m, poloměr zakřivení $R=15,0$ m. Stojky jsou nekonstantního průřezu s lineárním náběhem.

10.6.1 MATERIÁL

Průřez příčle je navržen jako obdélníkový 220 x 700 mm ze dřeva pevnostní třídy GL24h. Základní průřez stojky je obdélník 220 x 500 mm v patě a 220 x 1000 mm v hlavě sloupu. Náběh je oboustranný. Výška sloupu v ose $h_s = 6,626$ m. Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

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

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa}$$

10.6.2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

a) PŘÍČEL

šířka $b = 220 \text{ mm}$

výška $h = 700 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 220 \cdot 700 = 154\,000 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 700^3 = 6,288 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 700 \cdot 220^3 = 621,133 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 700^2 = 17,967 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 700 \cdot 220^2 = 5,647 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,288 \cdot 10^9}{154\,000}} = 202,1 \text{ mm}$$

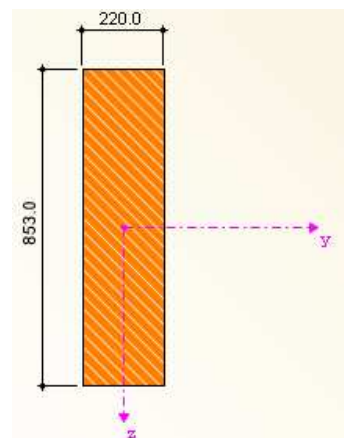
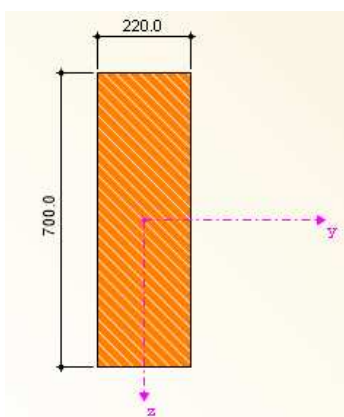
$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{621,133 \cdot 10^6}{154\,000}} = 63,5 \text{ mm}$$

b) SLOUP

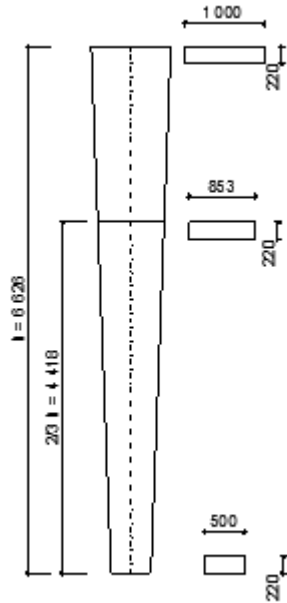
šířka $b = 220 \text{ mm}$

výška ve 2/3 $h = 853 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 220 \cdot 853 = 187\,660 \text{ mm}^2$



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet



$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 853^3 = 11,379 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 833 \cdot 220^3 = 756,895 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 853^2 = 26,679 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 853 \cdot 220^2 = 6,881 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,379 \cdot 10^9}{187\,660}} = 246,255 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{756,895 \cdot 10^6}{187\,660}} = 63,5 \text{ mm}$$

10.6.3 VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY

- Vnitřní síly: $N_s = -120,960 \text{ kN}$; $N_p = -51,628 \text{ kN}$
- $I_p = 6,288 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 6,288 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $I_s = 11,379 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 0,0114 \text{ m}^4$

Vzpěrná délka sloupu:

$$l_{ef,s} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I_s \cdot s}{I_p \cdot h}} = 6,626 \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{0,0014 \cdot 10,481}{6,288 \cdot 10^{-3} \cdot 6,626}} = 24,052 \text{ m}$$

Vzpěrná délka příčle:

$$l_{ef,p} = l_{ef,s} \cdot \sqrt{\frac{I_p \cdot N_s}{I_s \cdot N_p}} = 24,052 \cdot \sqrt{\frac{6,288 \cdot 10^{-3} \cdot 120,960}{0,0114 \cdot 51,628}} = 27,342 \text{ m}$$

10.6.4 POSUDEK STOJKY:

- **Vzpěrné délky**

$$L_{cr,z} = h_s = 6\,626 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = l_{eff,s} = 24\,052 \text{ mm}$$

$$L_{cr,LT} = h_s = 6\,626 \text{ mm}$$

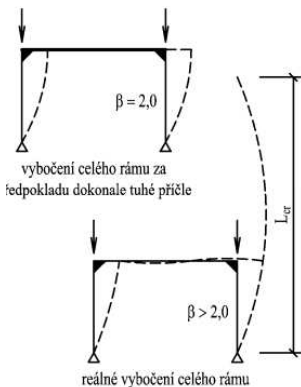
a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{24\,052}{246,255} = 97,671$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,626}{63,5} = 104,332$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{104,32}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,660$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{97,671}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,554$$



b) SOUČINTEL VZPĚRNOSTI

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,660 - 0,3) + 1,660^2]$$

$$k_z = 1,946$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,946 + \sqrt{1,946^2 - 1,660^2}} = 0,338$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,554 - 0,3) + 1,554^2]$$

$$k_y = 1,770$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,770 + \sqrt{1,770^2 - 1,554^2}} = 0,382$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{853 \cdot 6\,626} \cdot 9\,600 = 64,123 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{64,123}} = 0,612 \leq 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,0$$

d) VÝPOČET NAPĚTÍ

- Napětí v tlaku:

$$\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{120,960 \cdot 10^3}{187,66 \cdot 10^3} = 0,645 \text{ MPa}$$

- Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_Y} = \frac{98,858 \cdot 10^6}{26,679 \cdot 10^6} = 3,705 \text{ MPa}$$

- Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14,921 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 853} = 0,179 \text{ MPa}$$

e) POSUDEK NA OHYB + TLAK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{0,645}{0,338 \cdot 13,44} + \frac{3,705}{1,0 \cdot 13,44} = 0,418 < 1,0$$

VYHOVUJE

Posudek z programu RFEM
0,41 < 1,0

<p>0,09 < 1,0</p>	<p>f) POSUDEK NA SMYK</p> <p>○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$</p> <p>$\frac{0,179}{1,96} = 0,091 < 1,0$ VYHOVUJE</p> <p>10.6.5 POSUDEK PŘÍČLE: MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:</p> <p>1) KOMBINACE OHYB+TLAK</p> <p>○ Vzpěrné délky</p> <p>$L_{cr,z} = 886 \text{ mm}$ $L_{cr,y} = l_{eff,p} = 27\,342 \text{ mm}$ $L_{cr,LT} \approx 1,1 \cdot L_0 = 1,1 \cdot 9\,136 = 10\,050 \text{ mm}$</p> <p>a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY</p> <p>$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{27\,342}{202,1} = 135,312$</p> <p>$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{886}{63,5} = 13,951$</p> <p>$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{13,951}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,222$</p> <p>$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{135,312}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 2,154$</p> <p>b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI</p> <p>$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$ $k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,154 - 0,3) + 2,154^2]$ $k_y = 2,913$</p> <p>$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,913 + \sqrt{2,913^2 - 2,154^2}} = 0,205$</p> <p>c) VLIV KLOPENÍ</p> <p>$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{700 \cdot 10\,050} \cdot 9\,600 = 51,517 \text{ MPa}$</p> <p>$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{51,517}} = 0,683 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$</p> <p>→ $k_{crit} = 1,0$</p>
-----------------------------	--

<p>Posudek z programu RFEM 0,62 < 1,0</p>	<p>d) VÝPOČET NAPĚTÍ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Napětí v tlaku: $\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{51,628 \cdot 10^3}{154 \cdot 10^3} = 0,335 \text{ MPa}$ ○ Napětí v ohybu: $\sigma_{m,o,d} = \frac{M_{ed}}{W_y} = \frac{115,734 \cdot 10^6}{17,967 \cdot 10^6} = 6,441 \text{ MPa}$ ○ Napětí ve smyku: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{83,290 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 700} = 1,217 \text{ MPa}$ <p>e) POSUDEK NA OHYB + TLAK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,o,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,o,d}} \leq 1,0$ $\frac{0,335}{0,205 \cdot 13,44} + \frac{6,441}{1,0 \cdot 13,44} = \mathbf{0,600} < \mathbf{1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$
<p>Posudek z programu RFEM 0,62 < 1,0</p>	<p>f) POSUDEK NA SMYK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$ $\frac{1,217}{1,96} = \mathbf{0,621} < \mathbf{1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$ <ul style="list-style-type: none"> ○ Vnitřní síly v příčli: $M_{ap,d} = 78,255 \text{ kNm}$ $V_d = 83,290 \text{ kN}$ <p>2) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PODÉLNÁ NAPĚTÍ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\sigma_{m,ap,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,d}} \leq k_r \cdot f_{m,d}$ $k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$ $k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } 0 + 5,4 \cdot \text{tg}^2 0 = 1,0$ $k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } 0 = 0,35$ $k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } 0 - 7,8 \cdot \text{tg}^2 0 = 0,6$ $k_4 = 6 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 6 \cdot \text{tg } 0 = 0$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 15\,000 + \frac{700}{2} = 15\,350 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{ap}}{r} = \frac{700}{15\,350} = 0,039$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot 0,039 + 0,6 \cdot 0,39^2 + 0 = 1,015$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 1,015 \cdot \frac{78,255 \cdot 10^6}{17,967 \cdot 10^6} = 4,421 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t_L} = \frac{15\,000}{40} = 375 \dots k_r = 1,0$$

$$k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 13,44 = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 4,421 < k_r \cdot f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

3) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PŘÍČNÁ NAPĚTÍ

- Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,0,d}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \text{tg } 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot \text{tg } 0 + 2,6 \cdot \text{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} - 4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \text{tg } 0 - 4 \cdot \text{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot 0,03 + 0 = 0,0098$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,0098 \cdot \frac{78,255 \cdot 10^6}{17,96 \cdot 10^6} = 0,043 \text{ MPa}$$

$$K_{dis} = 1,4$$

$$V = 2,110 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,98}\right)^{0,2} = 0,343$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,320 \cdot 0,28 = 0,125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,036 \text{ MPa} < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,125 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4) ZTRÁTA STABILITY

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 220^2}{700 \cdot 0,625 \cdot 13\,703} \cdot 9600 = 60,453 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{60,453}} = 0,63 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

5) SMYK V PODPOŘE

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{83,290 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 220 \cdot 700} = 1,217 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6) POSOUZENÍ V MÍSTĚ PODPORY – TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

o Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot l_1} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{83,290 \cdot 10^3}{220 \cdot 1000} = 0,379 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,379 \text{ MPa} < k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,4 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

3) OKAMŽITÝ PRŮHYB

Od stálého zatížení: $u_{inst,g} = 3,4 \text{ mm}$

Od proměnného zatížení: $u_{inst,q} = 4,1 \text{ mm}$

4) CELKOVÝ PRŮHYB

$$K_{def} = 2,0$$

$$\Psi_2 = 0$$

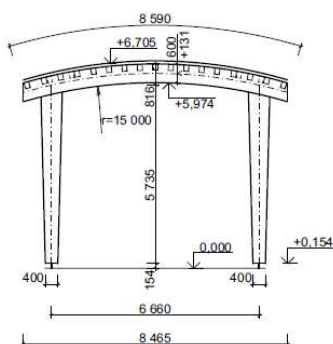
$$u_{g,FIN} = u_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 3,4 \cdot (1 + 2,0) = 10,2 \text{ mm}$$

$$u_{q,FIN} = u_{q,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 4,1 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 4,1 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{10,2^2 + 4,1^2} = 11,0 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{L}{300} = \frac{10\,310}{300} = 34,37 \text{ mm} > u_{FIN} = 11,0 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

PŘÍČNÁ VAZBA - III



10.7 TŘETÍ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA III)

Třída provozu 3

Plnostěnný zakřivený nosník konstantního průřezu o vzdálenosti podpor 6,660 m je tuze spojen se stojkami. Celková délka střednice oblouku $L_s = 8,580 \text{ m}$, délka střednice od podpory k podpoře $s = 6,570 \text{ m}$, poloměr zakřivení $R=15,0 \text{ m}$. Stojky jsou nekonstantního průřezu s lineárním náběhem.

10.7.1 MATERIÁL

Průřez příčle je navržen jako obdélníkový 200 x 600 mm ze dřeva pevnostní třídy GL24h. Základní průřez stojky je obdélník 200 x 400 mm v patě a 200 x 700 mm v hlavě sloupu. Náběh je oboustranný. Výška sloupu v ose $h_s = 5,755 \text{ m}$. Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

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

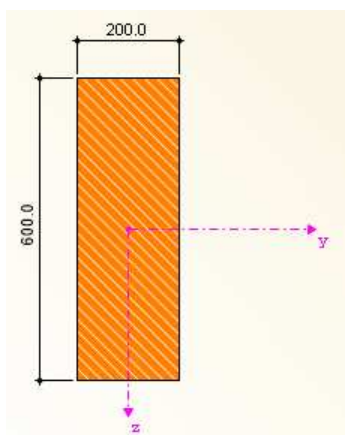
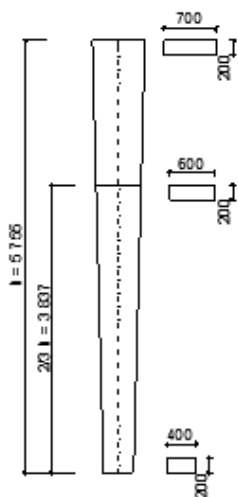
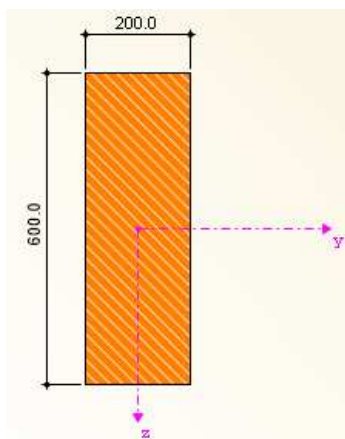
Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa}$$



10.7.2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

a) PŘÍČEL

šířka $b = 200 \text{ mm}$

výška $h = 600 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 200 \cdot 600 = 120\,000 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 600^3 = 3,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 600 \cdot 200^3 = 400 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 600^2 = 12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 600 \cdot 200^2 = 4 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,6 \cdot 10^9}{120\,000}} = 173,205 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{400 \cdot 10^6}{120\,000}} = 57,735 \text{ mm}$$

b) SLOUP

šířka $b = 200 \text{ mm}$

výška ve 2/3 $h = 600 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 200 \cdot 600 = 120\,000 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 600^3 = 3,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 600 \cdot 200^3 = 400 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 600^2 = 12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

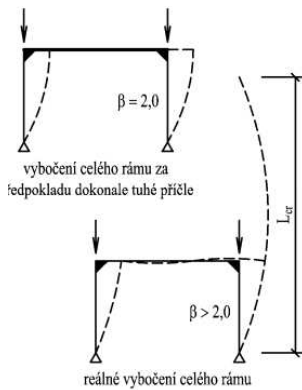
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 600 \cdot 200^2 = 4 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,6 \cdot 10^9}{120\,000}} = 173,205 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{400 \cdot 10^6}{120\,000}} = 57,735 \text{ mm}$$

10.7.3 VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY

- Vnitřní síly: $N_s = -87,68 \text{ kN}$; $N_p = -25,598 \text{ kN}$
- $I_p = 3,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $I_s = 3,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$



Vzpěrná délka sloupu:

$$l_{ef,s} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I_s \cdot s}{I_p \cdot h}} = 5,755 \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 6,7}{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 5,755}} = 15,921 \text{ m}$$

Vzpěrná délka příčle:

$$l_{ef,p} = l_{ef,s} \cdot \sqrt{\frac{I_p \cdot N_s}{I_s \cdot N_p}} = 15,921 \cdot \sqrt{\frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 87,680}{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 25,598}} = 29,466 \text{ m}$$

10.7.4 POSUDEK STOJKY:

○ Vzpěrné délky

$$L_{cr,z} = h_s = 755 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = l_{eff,s} = 15\,921 \text{ mm}$$

$$L_{cr,LT} = h_s = 5\,755 \text{ mm}$$

a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{15\,921}{173,205} = 91,920$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5\,755}{57,735} = 99,680$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{99,680}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,568$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{91,920}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,463$$

b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,568 - 0,3) + 1,568^2]$$

$$k_z = 1,822$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,822 + \sqrt{1,822^2 - 1,568^2}} = 0,368$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,463 - 0,3) + 1,463^2]$$

$$k_y = 1,628$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,628 + \sqrt{1,628^2 - 1,463^2}} = 0,427$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{600 \cdot 5\,755} \cdot 9\,600 = 86,742 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{86,742}} = 0,526 \leq 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,0$$

d) VÝPOČET NAPĚTÍ

- Napětí v tlaku:

$$\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{87,680 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} = 0,731 \text{ MPa}$$

- Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_Y} = \frac{35,605 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^6} = 2,967 \text{ MPa}$$

- Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,187 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 600} = 0,116 \text{ MPa}$$

e) POSUDEK NA OHYB + TLAK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$$

Posudek z programu RFEM
0,36 < 1,0

$$\frac{0,731}{0,368 \cdot 13,44} + \frac{2,967}{1,0 \cdot 13,44} = \mathbf{0,369 < 1,0}$$

VYHOVUJE

f) POSUDEK NA SMYK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

Posudek z programu RFEM
0,06 < 1,0

$$\frac{0,116}{1,96} = \mathbf{0,059 < 1,0}$$

VYHOVUJE

**10.7.5 POSUDEK PŘÍČLE:
 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:**

1) KOMBINACE OHYB+TLAK

- Vzpěrné délky

$$L_{cr,z} = 797 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = l_{eff,p} = 29\,466 \text{ mm}$$

$$L_{cr,LT} \approx 1,1 \cdot L_0 = 1,1 \cdot 3\,330 = 3\,663 \text{ mm}$$

a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY

Statický výpočet

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{29\,466}{173,205} = 170,122$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{797}{57,735} = 13,804$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\sqrt{E_{0,05}}} = \frac{13,804}{\pi} \cdot \frac{24}{\sqrt{9600}} = 0,220$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\sqrt{E_{0,05}}} = \frac{170,122}{\pi} \cdot \frac{24}{\sqrt{9600}} = 2,708$$

b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,708 - 0,3) + 2,708^2]$$

$$k_y = 4,287$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,287 + \sqrt{4,287^2 - 2,70^2}} = 0,131$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{600 \cdot 3\,663} \cdot 9\,600 = 136,282 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{136,282}} = 0,420 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,0$$

d) VÝPOČET NAPĚTÍ

- Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{25,598 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} = 0,226 \text{ MPa}$$

- Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_y} = \frac{45,241 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^6} = 3,770 \text{ MPa}$$

- Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{63,589 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 600} = 1,192 \text{ MPa}$$

e) POSUDEK NA OHYB + TLAK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{0,226}{0,131 \cdot 13,44} + \frac{3,770}{1,0 \cdot 13,44} = \mathbf{0,409 < 1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

f) POSUDEK NA SMYK

- Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,192}{1,96} = \mathbf{0,608 < 1,0} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Vnitřní síly v příčli:

$$M_{ap,d} = 44,990 \text{ kNm}$$

$$V_d = 63,589 \text{ kN}$$

2) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PODÉLNÁ NAPĚTÍ

- Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,d}} \leq k_r \cdot f_{m,d}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } 0 + 5,4 \cdot \text{tg}^2 0 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } 0 - 7,8 \cdot \text{tg}^2 0 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 6 \cdot \text{tg } 0 = 0$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 15\,000 + \frac{600}{2} = 15\,300 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{ap}}{r} = \frac{600}{15\,300} = 0,039$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot 0,039 + 0,6 \cdot 0,039^2 + 0 = 1,015$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 1,015 \cdot \frac{44,839 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^6} = 3,792 \text{ Mpa}$$

$$\frac{r_{in}}{t_L} = \frac{15\,000}{40} = 375 \dots k_r = 1,0$$

$$k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 13,44 = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = \mathbf{3,792 < k_r \cdot f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Posudek z programu RFEM
0,41 < 1,0

Posudek z programu RFEM
0,62 < 1,0

3) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PŘÍČNÁ NAPĚTÍ

- Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,0,d}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot 0,039 + 0 = 0,0098$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,0098 \cdot \frac{44,839 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^6} = 0,037 \text{ MPa}$$

$$K_{dis} = 1,4$$

$$V = 1,027 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,027}\right)^{0,2} = 0,396$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,396 \cdot 0,28 = 0,155 \text{ MPa}$$

$\sigma_{t,90,d} = 0,037 \text{ MPa} < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,155 \text{ MPa}$ VYHOVUJE

4) ZTRÁTA STABILITY

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{600 \cdot 0,625 \cdot 8580} \cdot 9600 = 93,091 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{93,091}} = 0,508 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

5) SMYK V PODPOŘE

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{64,664 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 600} = 1,212 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6) POSOUZENÍ V MÍSTĚ PODPORY – TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

o Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot l_1} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{64,664 \cdot 10^3}{200 \cdot 700} = 0,462 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ MPa}$$

$\sigma_{c,90,d} = 0,462 \text{ MPa} < k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,4 \text{ MPa}$ VYHOVUJE

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

5) OKAMŽITÝ PRŮHYB

Od stálého zatížení: $u_{inst,g} = 1,6 \text{ mm}$

Od proměnného zatížení: $u_{inst,q} = 1,9 \text{ mm}$

6) CELKOVÝ PRŮHYB

$$K_{def} = 2,0$$

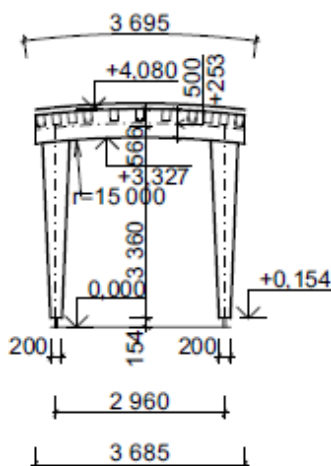
$$\Psi_2 = 0$$

$$u_{g,FIN} = u_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 1,6 \cdot (1 + 2,0) = 4,8 \text{ mm}$$

$$u_{q,FIN} = u_{q,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 1,9 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 1,9 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{4,8^2 + 1,9^2} = 5,2 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{L}{300} = \frac{6\,660}{300} = 22,2 \text{ mm} > u_{FIN} = 5,2 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$



10.8 ČTVRTÝ RÁM (PŘÍČNÁ VAZBA IV)

Třída provozu 3

Plnostěnný zakřivený nosník konstantního průřezu o vzdálenosti podpor 2,960 m je tuze spojen se stojkami. Celková délka střednice oblouku $L_s = 3,705$ m, délka střednice od podpory k podpoře $s = 2,700$ m, poloměr zakřivení $R=15,0$ m. Stojky jsou nekonstantního průřezu s lineárním náběhem.

10.8.1 MATERIÁL

Průřez příčle je navržen jako obdélníkový 200 x 500 mm ze dřeva pevnostní třídy GL24h. Základní průřez stojky je obdélník 200 x 200 mm v patě a 200 x 500 mm v hlavě sloupu. Náběh je oboustranný. Výška sloupu v ose $h_s = 3,360$ m. Vlastnosti dřeva viz výše (kapitola 7).

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

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

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu – rostlé dřevo

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa}$$

10.8.2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

a) PŘÍČEL

šířka $b = 200 \text{ mm}$

výška $h = 500 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 200 \cdot 500 = 100\,000 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 500^3 = 2,083 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

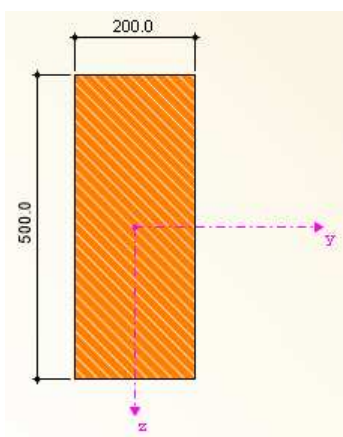
$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 200^3 = 333,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

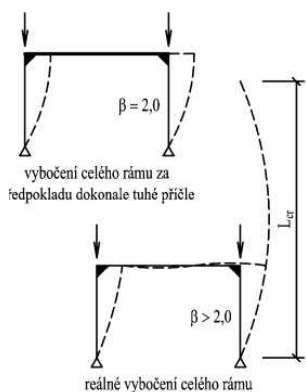
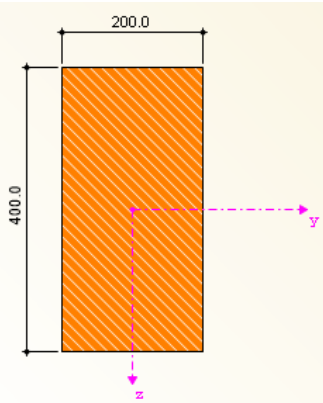
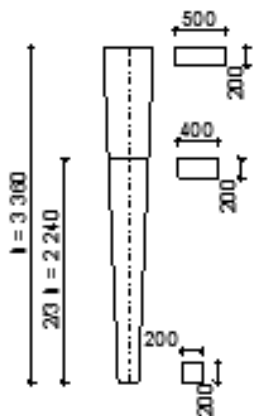
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 500^2 = 8,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 500 \cdot 200^2 = 3,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,083 \cdot 10^9}{100\,000}} = 144,326 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{333,333 \cdot 10^6}{100\,000}} = 57,735 \text{ mm}$$





b) SLOUP

šířka $b = 200 \text{ mm}$

výška ve 2/3 $h = 400 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot h = 200 \cdot 400 = 80\,000 \text{ mm}^2$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 400^3 = 1,067 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 200^3 = 266,667 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 400^2 = 5,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 400 \cdot 200^2 = 2,667 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,067 \cdot 10^9}{80\,000}} = 115,488 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{266,667 \cdot 10^6}{80\,000}} = 57,735 \text{ mm}$$

10.8.3 VLIV TUHÉHO SPOJENÍ PŘÍČLE SE SLOUPEM NA VZPĚRNÉ DÉLKY

- Vnitřní síly: $N_s = -74,022 \text{ kN}$; $N_p = -8,411 \text{ kN}$
- $I_p = 2,083 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 2,083 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $I_s = 1,067 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 1,067 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Vzpěrná délka sloupu:

$$l_{ef,s} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I_s \cdot s}{I_p \cdot h}} = 3,360 \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{1,067 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7}{2,083 \cdot 10^{-3} \cdot 3,36}} = 7,748 \text{ m}$$

Vzpěrná délka příčle:

$$l_{ef,p} = l_{ef,s} \cdot \sqrt{\frac{I_p \cdot N_s}{I_s \cdot N_p}} = 7,748 \cdot \sqrt{\frac{2,083 \cdot 10^{-3} \cdot 74,022}{1,067 \cdot 10^{-3} \cdot 8,411}} = 32,115 \text{ m}$$

10.8.4 POSUDEK STOJKY:

○ **Vzpěrné délky**

$$L_{cr,z} = h_s = 3\,360 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = l_{ef,s} = 7\,748 \text{ mm}$$

$$L_{cr,LT} = h_s = 3\,360 \text{ mm}$$

a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,748}{115,488} = 67,089$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,360}{57,735} = 58,180$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{58,180}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,926$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{67,089}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,068$$

b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,068 - 0,3) + 1,068^2]$$

$$k_z = 1,109$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,109 + \sqrt{1,109^2 - 1,068^2}} = 0,710$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,926 - 0,3) + 0,926^2]$$

$$k_y = 0,960$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,960 + \sqrt{0,960^2 - 0,926^2}} = 0,824$$

c) VLIV KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{400 \cdot 3\,360} \cdot 9\,600 = 222,923 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{222,923}} = 0,328 \leq 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,0$$

d) VÝPOČET NAPĚTÍ

- Napětí v tlaku:

$$\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{74,022 \cdot 10^3}{80 \cdot 10^3} = 0,925 \text{ MPa}$$

- Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_Y} = \frac{5,624 \cdot 10^6}{5,333 \cdot 10^6} = 1,055 \text{ MPa}$$

- Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,674 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 400} = 0,047 \text{ MPa}$$

<p>Posudek z programu RFEM 0,18 < 1,0</p>	<p>e) POSUDEK NA OHYB + TLAK</p> <p>○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$</p> <p>$\frac{0,925}{0,710 \cdot 13,44} + \frac{1,055}{1,0 \cdot 13,44} = \mathbf{0,175 < 1,0}$ VYHOVUJE</p>
<p>Posudek z programu RFEM 0,02 < 1,0</p>	<p>f) POSUDEK NA SMYK</p> <p>○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$</p> <p>$\frac{0,047}{1,96} = \mathbf{0,024 < 1,0}$ VYHOVUJE</p>
<p>10.8.5 POSUDEK PŘÍČLE: MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:</p>	
<p>1) KOMBINACE OHYB+TLAK</p>	
<p>○ Vzpěrné délky</p>	
<p>$L_{cr,z} = 925 \text{ mm}$</p>	
<p>$L_{cr,y} = l_{eff,p} = 32\,115 \text{ mm}$</p>	
<p>$L_{cr,LT} \approx 1,1 \cdot L_0 = 1,1 \cdot 1\,950 = 2\,145 \text{ mm}$</p>	
<p>a) ŠTÍHLOSTNÍ POMĚRY</p>	
<p>$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{32\,115}{144,326} = 222,517$</p>	
<p>$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{925}{57,735} = 15,970$</p>	
<p>$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{15,970}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,254$</p>	
<p>$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{222,517}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 3,541$</p>	
<p>b) SOUČINITEL VZPĚRNOSTI</p>	
<p>$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$</p>	
<p>$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (3,541 - 0,3) + 3,541^2]$</p>	
<p>$k_y = 6,931$</p>	
<p>$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{6,931 + \sqrt{6,931^2 - 3,541^2}} = 0,078$</p>	

	<p>c) VLIV KLOPENÍ</p> $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{cr,LT}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{500 \cdot 2145} \cdot 9600 = 279,272 \text{ MPa}$ $\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{279,272}} = 0,293 < 0,75 \dots \text{nedochází ke ztrátě stability}$ <p>→ $k_{crit} = 1,0$</p> <p>d) VÝPOČET NAPĚTÍ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Napětí v tlaku: $\sigma_{co,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{8,411 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} = 0,084 \text{ MPa}$ ○ Napětí v ohybu: $\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{ed}}{W_Y} = \frac{14,564 \cdot 10^6}{8,333 \cdot 10^6} = 2,108 \text{ MPa}$ ○ Napětí ve smyku: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{52,386 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 500} = 1,179 \text{ MPa}$ <p>e) POSUDEK NA OHYB + TLAK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,0,d}} \leq 1,0$ $\frac{0,084}{0,078 \cdot 13,44} + \frac{2,108}{1,0 \cdot 13,44} = 0,237 < 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$
<p>Posudek z programu RFEM 0,3 < 1,0</p> <p>Posudek z programu RFEM 0,60 < 1,0</p>	<p>f) POSUDEK NA SMYK</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$ $\frac{1,179}{1,96} = 0,602 < 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$ ○ Vnitřní síly v příčli: $M_{ap,d} = 18,110 \text{ kNm}$ $V_d = 52,386 \text{ kN}$ <p>2) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PODÉLNÁ NAPĚTÍ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Podmínka spolehlivosti: $\sigma_{m,ap,d} = k_1 \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,d}} \leq k_r \cdot f_{m,d}$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 0 + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} 0 - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 6 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 15\,000 + \frac{500}{2} = 15\,250 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{ap}}{r} = \frac{500}{15\,250} = 0,033$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot 0,033 + 0,6 \cdot 0,033^2 + 0 = 1,012$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 1,012 \cdot \frac{18,110 \cdot 10^6}{8,333 \cdot 10^6} = 2,199 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t_L} = \frac{15\,000}{40} = 375 \dots k_r = 1,0$$

$$k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 13,44 = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 2,199 \text{ MPa} < k_r \cdot f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

3) POSOUZENÍ VE VRCHOLOVÉ ČÁSTI – PŘÍČNÁ NAPĚTÍ

- Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,0,d}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 - 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot 0,033 + 0 = 0,0083$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,0083 \cdot \frac{18,110 \cdot 10^6}{8,333 \cdot 10^6} = 0,018 \text{ MPa}$$

$$K_{dis} = 1,4$$

$$V = 0,251 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,251}\right)^{0,2} = 0,525$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,525 \cdot 0,28 = 0,206 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,018 \text{ MPa} < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,206 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4) ZTRÁTA STABILITY

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{500 \cdot 0,625 \cdot 3\,705} \cdot 9600 = 258,695 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{258,695}} = 0,305 < 0,75.. \text{nedochází ke ztrátě stability}$$

5) SMYK V PODPOŘE

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}..$$

$$\tau_{vd} = \frac{3}{2} \cdot \frac{52,386 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 200 \cdot 500} = 1,179 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,96 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6) POSOUZENÍ V MÍSTĚ PODPORY – TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

o Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot l_1} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{52,386 \cdot 10^3}{200 \cdot 500} = 0,524 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,524 \text{ MPa} < k_{c,90} \cdot f_{c,90} = 1,4 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

7) OKAMŽITÝ PRŮHYB

Od stálého zatížení: $u_{inst,g} = 0,2 \text{ mm}$

Od proměnného zatížení: $u_{inst,q} = 0,2 \text{ mm}$

8) CELKOVÝ PRŮHYB

$$K_{def} = 2,0$$

$$\Psi_2 = 0$$

$$u_{g,FIN} = u_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,2 \cdot (1 + 2,0) = 0,6 \text{ mm}$$

$$u_{q,FIN} = u_{q,inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 0,2 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,2 \text{ mm}$$

$$u_{FIN} = \sqrt{0,6^2 + 0,2^2} = 0,63 \text{ mm}$$

$$u_{FIN,lim} = \frac{L}{300} = \frac{2960}{300} = 9,9 \text{ mm} > u_{FIN} = 0,63 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11 POSOUZENÍ VYBRANÝCH DETAILŮ

11.1 RÁMOVÝ ROH – PRVNÍ RÁM

Spoj plnostěnného zakřiveného nosníku s konstantním průřezem 220 x 700 mm a stojky s lineárním náběhem o základním průřezu 220 x 500 mm v patě a 220 x 1 000 mm v hlavě je proveden pomocí středního vloženého plechu tloušťky 8 mm (materiál S235) a kolíkového spoje uspořádaného do dvou soustředných kruhů. Průměr ocelových kolíků $\varnothing=20 \text{ mm}$, materiál S355. Pro stažení spoje jsou kolíky opatřeny maticemi a podložkami.

11.1.1 NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{ed} = 80,145 \text{ kNm}$$

$$N_{ed} = -40,210 \text{ kN}$$

V_{ed} ... posouvající síla bude přenesena kontaktem ve spáře mezi příčlím a stojkou

11.1.2 GEOMETRIE SPOJE

- Vnější kružnice:

$$r_1 = 250 \text{ mm}$$

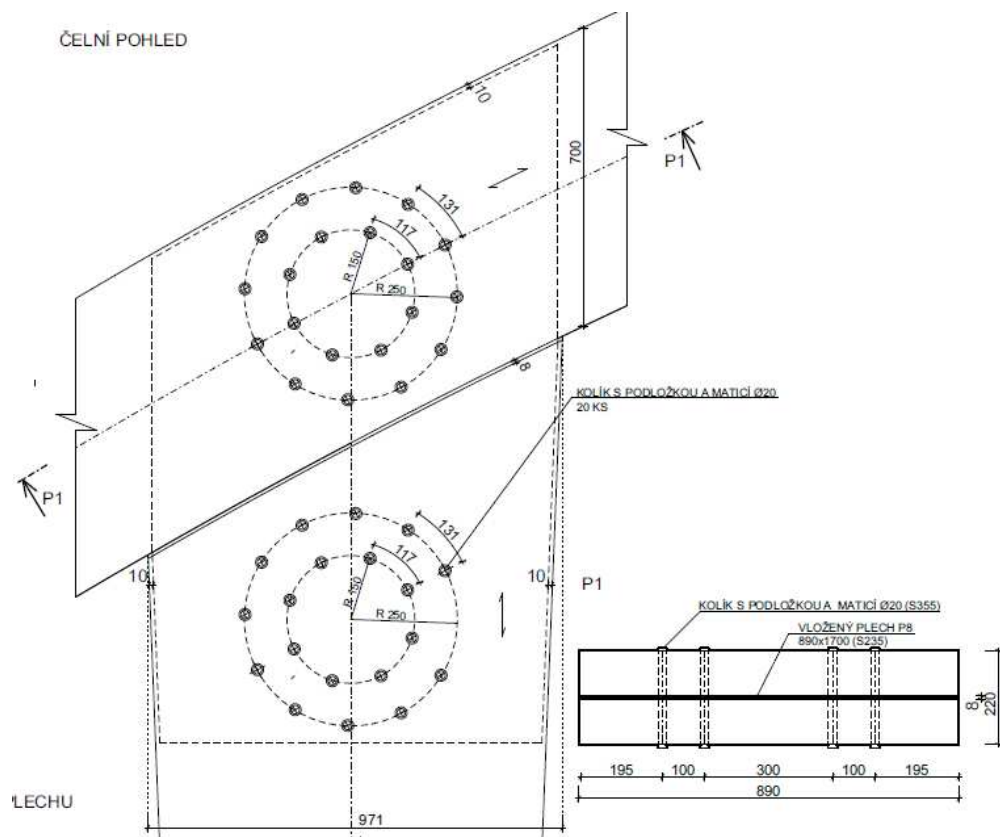
$$n_1 = 12 \text{ ks} \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 250}{6 \cdot 20} = 13 \text{ ks}$$

- Vnitřní kružnice:

$$r_2 = 150 \text{ mm}$$

$$n_2 = 8 \text{ ks} \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 150}{6 \cdot 20} = 8 \text{ ks}$$

$$r_1 - r_2 = 250 - 150 = 100 \text{ mm} \leq 5 \cdot d = 5 \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$



11.1.3 PODDAJNOST SPOJE

$$K_{ser,r,d} = K_{ser} \cdot (n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2)$$

$$K_{ser} = \rho^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 385^{1,5} \cdot \frac{20}{23} = 6\,568,909$$

$$K_{ser,r,d} = 6\,568,909 \cdot (12 \cdot 250^2 + 8 \cdot 150^2) = 6\,109,085 \cdot 10^6 \text{ Nmm/rad}$$

11.1.4 ZATÍŽENÍ NA 1 KOLÍK

- Zatížení ohybovým momentem:

$$F_{1,m} = \frac{r_1 \cdot M_{ed}}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} = \frac{0,25 \cdot 80,145}{12 \cdot 0,25^2 + 8 \cdot 0,15^2} = 21,544 \text{ kN}$$

- Zatížení normálovou silou:

$$F_{1,n} = \frac{N_{ed}}{n_1 + n_2} = \frac{40,210}{12 + 8} = 2,011 \text{ kN}$$

11.1.5 ROZMÍSTĚNÍ KOLÍKŮ

- Vnější kružnice

	1	2	3	4	5	6
β_1	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°
α_1	84,18°	114,06°	146,40°	178,77°	147,79°	115,82°

	7	8	9	10	11	12
β_1	0°	150°	120°	90°	60°	30°
α_1	81,30°	52,95°	27,24°	1,23°	27,06°	55,88°

- Vnitřní kružnice

	1	2	3	4
β_2	0°	-45°	-90°	-135°
α_2	84,67°	130,17°	0,81°	131,44°

	5	6	7	8
β_2	0°	45°	90°	135°
α_2	86,88°	39,34°	0,30°	55,88°

11.1.6 ÚNOSNOST KOLÍKU

Únosnost kolíku je vypočtena podle vzorce pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje a navýšena o únosnost a účinek tzv. spínací síly. Příspěvek sepnutí je uvažován jako 25% únosnosti kolíku.

KOLÍK 1:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

- Charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 385 = 24,928 \text{ MPa}$$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

- Charakteristická pevnost v otláčení s odklonem zatížení od vláken o úhel α :

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{24,928}{1,65 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 15,169 \text{ MPa}$$

- Celkové zatížení kolíku

$$F_{dc} = \sqrt{(F_{1,m} \cdot \cos \alpha + F_{1,n})^2 + (F_{1,m} \cdot \sin \alpha)^2}$$

$$F_{dc} = \sqrt{(21,544 \cdot \cos 84,18^\circ + 2,011)^2 + (21,544 \cdot \sin 84,18^\circ)^2}$$

$$F_{dc} = 21,840 \text{ kN}$$

- Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,8 \cdot f_{u,k} \cdot \frac{d^3}{6} = 0,8 \cdot 510 \cdot \frac{20^3}{6} = 544000 \text{ Nmm}$$

- Tloušťka krajního dřevěného prvku

$$t_1 = \frac{220 - 8}{2} = 106 \text{ mm}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti kolíku [kN]

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15,169 \cdot 106 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 544\,000}{15,169 \cdot 20 \cdot 106^2}} - 1 \right] \cdot 1,25 = 25,096 \\ 2,3 \cdot \sqrt{544\,000 \cdot 15,169 \cdot 20} = 29,548 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 25,096 \text{ kN}$$

- Návrhová hodnota únosnosti kolíku:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot 2 \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot 2 \cdot \frac{25,096}{1,3} = 27,03 \text{ kN}$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$F_{v,Rd} \geq F_{dc}$$

$$27,03 \text{ kN} > 21,840 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Poznámka: Dle předešlého návrhového postupu byly posouzeny i všechny ostatní kolíky v tomto spoji. Výsledky jsou uspořádány do tabulky, viz níže.

- **Vnější kružnice**

	1	2	3	4	5	6
$f_{h,1,k}$	15,169	16,166	20,826	24,921	21,042	16,328
F_{dc}	21,84	20,805	19,9	19,534	19,871	20,747
$F_{v,Rk,1}$	32,158	34,272	44,151	52,833	44,609	34,615
$F_{v,Rk,2}$	25,096	26,224	31,459	44,014	31,7	26,407

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

$F_{v,Rk,3}$	29,548	30,503	34,17	37,872	34,8	30,656
$F_{v,Rk}$	25,096	26,224	31,459	37,872	31,7	26,407
$F_{v,Rd}$	27,026	28,241	33,879	40,785	34,138	28,438

	7	8	9	10	11	12
$f_{h,1,k}$	15,245	17,629	21,94	24,921	21,972	17,245
F_{dc}	21,938	22,812	23,35	23,555	23,353	22,733
$F_{v,Rk,1}$	32,319	37,373	46,513	52,833	46,581	36,559
$F_{v,Rk,2}$	25,182	27,873	32,703	36,025	32,807	27,441
$F_{v,Rk,3}$	29,621	31,853	35,535	37,873	35,561	31,505
$F_{v,Rk}$	25,182	27,873	32,703	36,025	32,807	27,441
$F_{v,Rd}$	27,119	30,017	35,219	38,796	35,331	29,552

○ **Vnitřní kružnice**

	1	2	3	4
$f_{h,1,k}$	15,159	18,07	24,925	18,258
F_{dc}	21,823	20,305	23,555	20,269
$F_{v,Rk,1}$	32,137	38,308	52,841	38,707
$F_{v,Rk,2}$	25,084	28,369	36,029	28,581
$F_{v,Rk,3}$	29,538	32,249	37,876	32,417
$F_{v,Rk}$	25,084	28,369	36,029	28,581
$F_{v,Rd}$	27,014	30,551	38,800	30,780

	5	6	7	8
$f_{h,1,k}$	15,126	19,765	24,928	17,245
F_{dc}	21,746	23,134	23,555	22,733
$F_{v,Rk,1}$	32,067	41,902	52,841	36,56
$F_{v,Rk,2}$	25,047	30,271	36,028	27,441
$F_{v,Rk,3}$	29,506	33,728	37,878	31,505
$F_{v,Rk}$	25,047	30,271	36,028	27,441
$F_{v,Rd}$	26,974	32,600	38,799	29,552

Únosnost navržených kolíků, jejich rozložení i počet vyhoví při přenosu návrhových vnitřních sil.

11.1.7 POSOUZENÍ OCELOVÉHO KOLÍKU

$\varnothing = 20$ mm, ocel S355

a) ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,k} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 510 \cdot (\pi \cdot 10^2)}{1,25} = 76,906 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 76,906 \text{ kN} \geq F_{dc,max} = 23,555 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

Plech S235, $f_u = 360 \text{ MPa}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8}{1,25} = 115,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 115,2 \text{ kN} \geq F_{dc,max} = 23,555 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

c) NAPĚTÍ VE SMYKU V OBLASTI SPOJE

$$\tau_v = \frac{3 \cdot F_{v,d}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 42,204 \cdot 10^3}{2 \cdot 220 \cdot 1000} = 0,288 \text{ MPa}$$

$$\tau_v = 0,288 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,88 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11.1.8 POSOUZENÍ VLOŽENÉHO OCELOVÉHO PLECHU

Jelikož se jedná o spoj kontaktní, tlaková síla bude přenesena kontaktem v místě styku příčle a stojky. Plech byl posouzen na ohybové a smykové namáhání.

Materiál: ocel S235; tloušťka $t = 8 \text{ mm}$

a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY:

$$A = b \cdot h = 8 \cdot 890 = 7120 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 890 \cdot 8 - 4 \cdot 21 \cdot 8 = 6448 \text{ mm}^2 \approx 0,91 \cdot A$$

$$W_y = 0,91 \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 0,91 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 980^2 = 1,165 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

b) NAMÁHÁNÍ OHYBOVÝM MOMENTEM

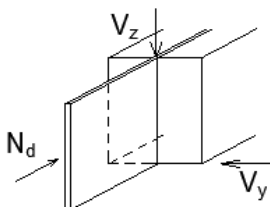
$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,165 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 225,854 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 225,854 \text{ kNm} \geq M_{ed} = 80,145 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

c) NAMÁHÁNÍ POSOUVAJÍCÍ SILOU

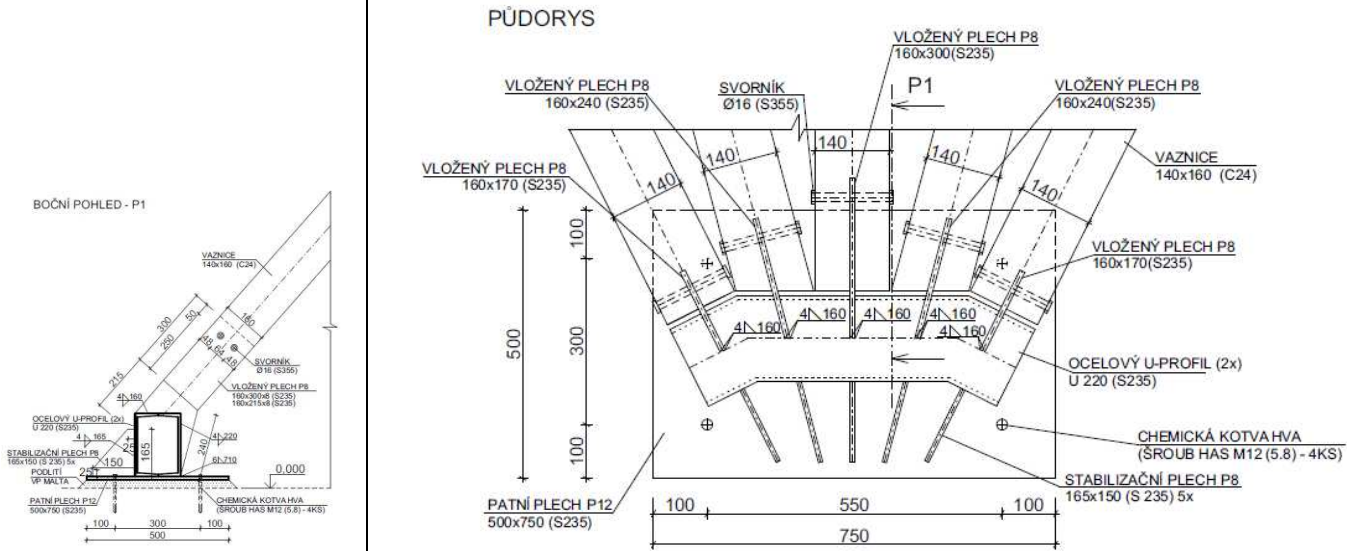
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{6448 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 874,847 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 874,847 \text{ kN} \geq F_{vd} = 40,210 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$



11.2 ULOŽENÍ VAZNIC 4.POLE

Spoj je proveden pomocí středního vloženého plechu tloušťky 8 mm (ocel S235) a dvou svorníků Ø16 mm (ocel S355). Plech je přivařen ke dvěma do krabice spojeným U-profilům. Ty jsou pak připevněny k patnímu plechu tloušťky 12 mm, zajištěnému chemickými kotvami k podkladu. Aby se docílilo požadovaného tvaru konstrukce a byla zajištěna proveditelnost při montáži, bylo navrženo řešení sestávající ze soustavy pěti plechů o různé délce, přičemž prostřední plech byl zvolen jako nejdelší. Viz výkres detailu.



Vložený plech

11.2.1 NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{ed} = -38,047 \text{ kN}$$

$$V_z = 2,712 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,062 \text{ kN}$$

11.2.2 ÚNOSNOST KOLÍKŮ

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

- o Celkové zatížení kolíku

$$F_{dc} = \sqrt{N_{ed}^2 + V_z^2} = \sqrt{38,047^2 + 2,712^2} = 38,144 \text{ kN}$$

- o Charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 350 = 24,108 \text{ MPa}$$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
 Statický výpočet

- Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 16^{2,6} = 206\,729,943 \text{ Nmm}$$

- Tloušťka krajního dřevěného prvku

$$t_1 = \frac{140 - 8}{2} = 66 \text{ mm}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti jednoho kolíku [kN]

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,108 \cdot 66 \cdot 16 = 25,458 \\ 24,108 \cdot 66 \cdot 16 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 206\,729,943}{24,108 \cdot 16 \cdot 66^2}} - 1 \right] \cdot 1,25 = 18,414 \\ 2,3 \cdot \sqrt{206\,729,943 \cdot 24,108 \cdot 16} = 20,539 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 18,414 \text{ kN}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

$$F_{v,Rk \text{ celkem}} = n_s \cdot n \cdot F_{v,Rk} = 2 \cdot 2 \cdot 18,414 = 73,656 \text{ kN}$$

- Návrhová hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

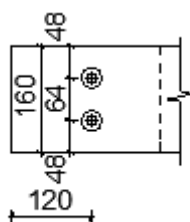
$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{73,656}{1,3} = 39,661 \text{ kN}$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$F_{v,Rd} \geq F_{dc}$$

$$39,661 \text{ kN} > 38,144 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



11.2.3 VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ

- Kolmo k vláknům:

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 64 \text{ mm}$$

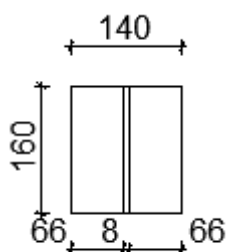
- Zatížený konec:

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 16 = 112 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$$

$$\rightarrow a_{3,t} = 120 \text{ mm}$$

- Nezatížený okraj:

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \rightarrow a_{4,c} = 48 \text{ mm}$$



11.2.4 POSOUZENÍ VLOŽENÉHO OCELOVÉHO PLECHU

Materiál: ocel S235; tloušťka $t = 8 \text{ mm}$, $L = 385 \text{ mm}$

a) PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY:

$$A = b \cdot h = 8 \cdot 140 = 1\,120 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 1\,120 - 2 \cdot 12 \cdot 8 = 928 \text{ mm}^2 \approx 0,83 \cdot A$$

$$W_y = 0,83 \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 0,83 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 140^2 = 21,691 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

b) NAMÁHÁNÍ TLAKOVOU SILOU

- Únosnost vloženého plechu v tlaku

$$N_{Rd} = A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1\,120 \cdot \frac{235}{1,15} = 228,870 \text{ kN}$$

VLIV VZPĚRU

- Štíhlostní poměr

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{385}{0,289 \cdot 8} = 166,522$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{166,522}{\varepsilon \cdot 93,9} = 1,773$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,773 - 0,2) + 1,773^2]$$

$$\phi = 2,457$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,457 + \sqrt{2,457^2 - 1,773^2}} = 0,241$$

- Únosnost plechu se zahrnutím vlivu vzpěru

$$N_{bRd} = \chi \cdot N_{Rd} = 0,241 \cdot 228,870 = 55,158 \text{ kN}$$

$$N_{bRd} = 55,158 \text{ kN} \geq N_{ed} = 38,047 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

c) NAMÁHÁNÍ POSOUVAJÍCÍ SILOU

$$V_{pl,Rd} = A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1120 \cdot \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,15} = 132,138 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 132,138 \text{ kN} \geq V_z = 2,712 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poznámka: Pro posouzení byl vybrán nejdelší ze soustavy plechů a navržen na největší vnitřní síly. Ostatní plechy tedy není nutné posuzovat, rovněž vyhoví.

11.2.5 NÁVRH CHEMICKÉ KOTVY

Kotevní šroub HAS M12 (5.8)

- Únosnost

$$N_{Rd} = 25,3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 15,2 \text{ kN}$$

- Vnitřní síly

$$V_z = 2,712 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,062 \text{ kN}$$

$$F_d = \sqrt{V_z^2 + V_y^2} = \sqrt{2,712^2 + 0,062^2} = 2,713 \text{ kN}$$

Navrženy 4 kotvy:

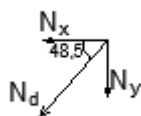
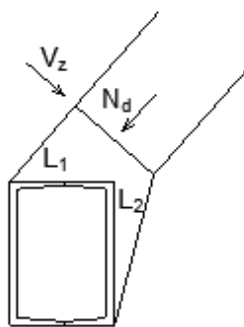
$$N_{Rd} = 4 \cdot 25,3 = 101,2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 101,2 \text{ kN} \geq N_{ed} = 38,047 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Rd} = 4 \cdot 15,2 = 60,8 \text{ kN} \geq F_d = 2,713 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

VYHOVUJE

VYHOVUJE



11.2.6 POSOUZENÍ SVARU

SVAR 1

$$l_1 = 160 \text{ mm}$$

$$a_1 = 4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 48,5^\circ$$

$$A_w = 2 \cdot 4 \cdot 160 = 1\,280 \text{ mm}^2$$

$$V_{ed} = N_{ed} \cdot \cos \alpha = 38,047 \cdot \cos 48,5^\circ = 25,211 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = V_z + N_{ed} \cdot \cos 138,5^\circ = 2,712 + 28,496 = 31,208 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{31,208 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,280} = 17,240 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 17,240 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_{Mw}} = \frac{510}{1,5} = 340 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_w} = \frac{25,211 \cdot 10^3}{1\,280} = 19,696 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{17,240^2 + 3 \cdot 17,240^2 + 3 \cdot 19,696^2} = 41,931 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 41,931 \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{510}{0,8 \cdot 1,5} = 425 \text{ MPa}$$

$$41,931 \text{ MPa} \leq 425 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

SVAR 2

$$l_2 = 220 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 48,5^\circ$$

$$A_w = 2 \cdot 4 \cdot 220 = 1\,760 \text{ mm}^2$$

$$F_{ed} = N_x = 25,211 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = V_z + N_z = 2,712 + 28,496 = 31,208 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{25,211 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,760} = 10,129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 10,129 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_{Mw}} = \frac{510}{1,5} = 340 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_w} = \frac{31,208 \cdot 10^3}{1\,760} = 17,732 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{10,129^2 + 3 \cdot 10,129^2 + 3 \cdot 17,732^2} = 36,792 \text{ MPa}$$

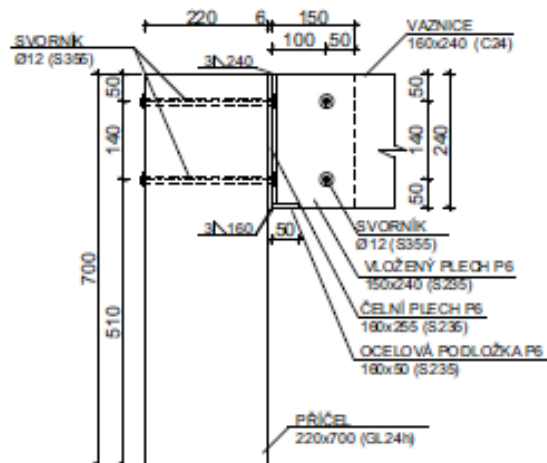
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 36,792 \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{510}{0,8 \cdot 1,5} = 425 \text{ MPa}$$

$$36,792 \text{ MPa} \leq 425 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11.3 PŘIPOJENÍ VAZNICE K PŘÍČLI

Spoj je proveden pomocí čelní desky tloušťky 6 mm, k ní přivařeného středního vloženého plechu tloušťky 6 mm (ocel S235) a svorníků Ø12 mm (ocel S355). Čelní deska je připevněna k příčli čtyřmi svorníky Ø12 mm. Vaznice je pak připojena ke střednímu vloženému plechu dvěma svorníky Ø12 mm. K čelní desce je koutovým svarem přivařena podložka z oceli S235.

BOČNÍ POHLED - P2



11.3.1 NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

$$V_z = 9,994 \text{ Kn}$$

$$V_y = 4,451 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = -2,291 \text{ kN}$$

11.3.2 PŘIPOJENÍ ČELNÍ DESKY K PŘÍČLI

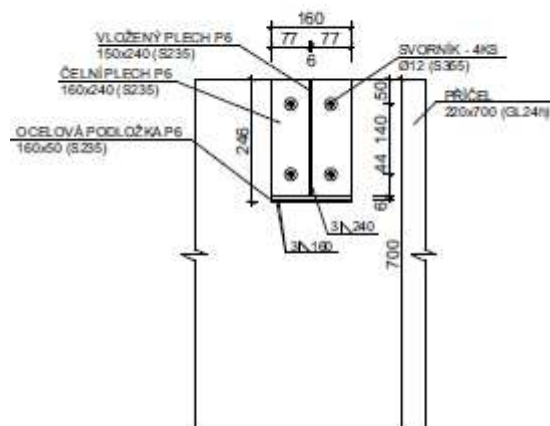
Jedná se o jednostřížný spoj dřevo-ocel

Svorník Ø12 mm (ocel S355),

Vazník GL24h - $\rho = 385 \text{ kg/m}^3$

Plech tloušťky 6 mm (ocel S235)

ČELNÍ POHLED - P1



ÚNOSNOST KOLÍKŮ

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

- Celkové zatížení kolíku

$$F_{dc} = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{4,451^2 + 9,994^2} = 10,940 \text{ kN}$$

- Charakteristická pevnost v otačení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 385 = 27,782 \text{ MPa}$$

- Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 12^{2,6} = 97\,850,415 \text{ Nmm}$$

- Tloušťka krajního dřevěného prvku

$$t_1 = 220 \text{ mm}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti jednoho kolíku [kN]

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 27,782 \cdot 220 \cdot 12 = 29,337 \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 97\,850,415 \cdot 27,782 \cdot 12} = 9,332 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 9,332 \text{ kN}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti všech kolíků v jednotřížném spoji

$$F_{v,Rk \text{ celkem}} = n_s \cdot n \cdot F_{v,Rk} = 1 \cdot 4 \cdot 9,332 = 37,328 \text{ kN}$$

- Návrhová hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

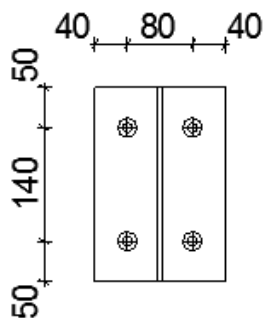
$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{37,328}{1,3} = 20,100 \text{ kN}$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$F_{v,Rd} \geq F_{dc}$$

$$20,100 \text{ kN} > 10,940 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ

- Kolmo k vláknům:

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 50 \text{ mm}$$

- Rovnoběžně s vlákny:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = (4 + \cos 0) \cdot 12 = 60 \text{ mm} \rightarrow a_1 = 80 \text{ mm}$$

- Nezatížený okraj:

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \rightarrow a_{4,c} = 40 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ NA TAH

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 113,097}{1,25} = 32,572 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,CELKEM} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 32,572 = 130,288 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,CELKEM} = 130,288 \text{ kN} \geq N_{td} = 0,052 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ PLECHU NA OTLAČENÍ

Plech tloušťky 6 mm, ocel S235, $f_u = 360 \text{ MPa}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 6}{1,25} = 51,84 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 51,84 \text{ kN} \geq F_{dc} = 10,940 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ NA TAH + STŘIH

$$\frac{F_{Ved}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{t,d}}{1,4 \cdot F_{t,Rd,CELKEM}} = \frac{10,940}{20,100} + \frac{0,052}{1,4 \cdot 130,288} = 0,547$$

$$0,547 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

11.3.3 PŘIPOJENÍ VAZNICE K VLOŽENÉMU STŘEDNÍMU PLECHU

Jedná se o dvojtřížný spoj dřevo-ocel-dřevo

Svorník $\varnothing 12 \text{ mm}$ (ocel S355),

Vaznice - $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$

Plech tloušťky 6 mm (ocel S235)

ÚNOSNOST KOLÍKŮ

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

o Celkové zatížení kolíku

$$F_{dc} = \sqrt{V_z^2 + N_{cd}^2} = \sqrt{9,994^2 + 2,291^2} = 10,253 \text{ kN}$$

o Charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,256 \text{ MPa}$$

o Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 12^{2,6} = 97\,850,415 \text{ Nmm}$$

- Tloušťka krajního dřevěného prvku

$$t_1 = \frac{160 - 6}{2} = 77 \text{ mm}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti jednoho kolíku [kN]

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 25,256 \cdot 77 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 97\,850,415}{25,256 \cdot 12 \cdot 77^2}} - 1 \right] = 11,417 \\ 2,3 \cdot \sqrt{97\,850,415 \cdot 25,256 \cdot 12} = 12,525 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 11,417 \text{ kN}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

$$F_{v,Rk \text{ celkem}} = n_s \cdot n \cdot F_{v,Rk} = 2 \cdot 2 \cdot 11,417 = 45,668 \text{ kN}$$

- Návrhová hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{45,668}{1,3} = 24,590 \text{ kN}$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$F_{v,Rd} \geq F_{dc}$$

$$24,590 \text{ kN} > 10,253 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ

- Kolmo k vláknům:

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 140 \text{ mm}$$

- Zatížený konec:

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) = 84 \text{ mm}$$

$$\rightarrow a_{3,t} = 90 \text{ mm}$$

- Nezatížený okraj:

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \rightarrow a_{4,c} = 50 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ PLECHU NA OTLAČENÍ

Plech tloušťky 6 mm, ocel S235, $f_u = 360 \text{ MPa}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 6}{1,25} = 51,84 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 51,84 \text{ kN} \geq F_{dc} = 10,253 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

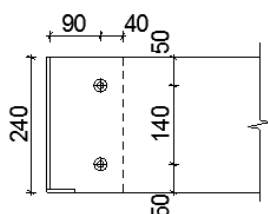
NÁVRH PODLOŽKY

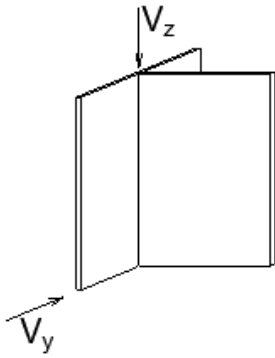
$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_z}{b \cdot l_2} = \frac{9,994 \cdot 10^3}{160 \cdot l_2} \leq f_{c,90,d} = 1,346 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow l_2 = \frac{9,994 \cdot 10^3}{160 \cdot 1,346} = 46,2 \text{ mm}$$

$$\text{Navrženo } l_2 = 50 \text{ mm}$$





**PŘIPOJENÍ VNITŘNÍHO PLECHU K ČELNÍ DESCE
 POSOUZENÍ SVARU**

$$V_{ed} = V_z = 9,994 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = V_y = 4,451 \text{ kN}$$

$$l_1 = 240 \text{ mm}$$

$$a_1 = 3 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot a \cdot h = 2 \cdot 3 \cdot 240 = 1\,440 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{4,451 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,440} = 2,186 \text{ MPa}$$

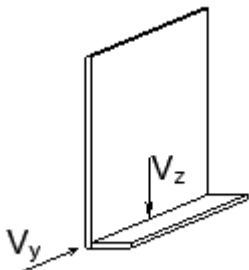
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2,186 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_{Mw}} = \frac{510}{1,5} = 340 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_w} = \frac{9,994 \cdot 10^3}{1\,440} = 6,940 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{2,186^2 + 3 \cdot 2,186^2 + 3 \cdot 6,940^2} = 12,791 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 12,791 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{510}{0,8 \cdot 1,5} = 425 \text{ MPa}$$

$$12,791 \text{ MPa} \leq 425 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$



**PŘIPOJENÍ PODLOŽKY K ČELNÍ DESCE
 POSOUZENÍ SVARU**

$$F_{ed} = V_z = 9,994 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = V_y = 4,451 \text{ kN}$$

$$l_1 = 160 \text{ mm}$$

$$a_1 = 3 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot a \cdot h = 2 \cdot 3 \cdot 160 = 960 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{9,994 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 960} = 7,361 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 7,361 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_{Mw}} = \frac{510}{1,5} = 340 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_w} = \frac{4,451 \cdot 10^3}{960} = 4,636 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{7,361^2 + 3 \cdot 7,361^2 + 3 \cdot 4,636^2} = 16,769 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 16,769 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{510}{0,8 \cdot 1,5} = 425 \text{ MPa}$$

$$16,769 \text{ MPa} \leq 425 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

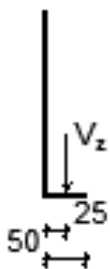
o Posouzení svaru na namáhání ohybovým momentem

$$M_{ed} = V_{zd} \cdot r = 9,994 \cdot 10^3 \cdot 25 = 0,250 \text{ kNm}$$

$$W = 2 \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 160^2 \right) = 25,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{0,250 \cdot 10^6}{25,6 \cdot 10^3} = 9,766 \text{ MPa}$$

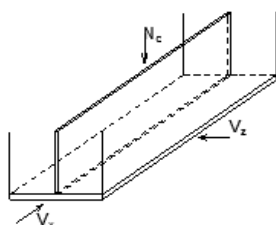
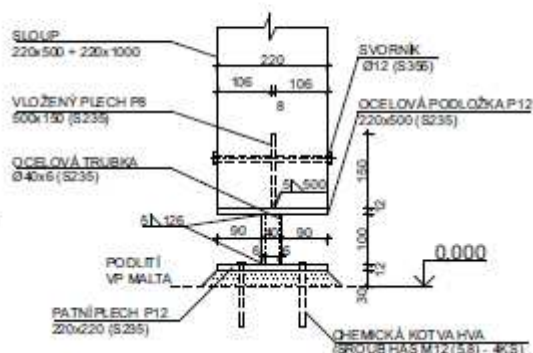
$$\sigma_1 = 9,766 \text{ MPa} \leq f_{yk} = 235 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$



11.4 KOTVENÍ STOJKY

Spoj je proveden pomocí středního vloženého plechu tloušťky 8 mm (ocel S235) přivařeného k ocelové (S235) podložce o tloušťce 12 mm. Podložka je přivařena k dutému kruhovému profilu (TR $\emptyset = 40 \times 6$ mm), který je dlouhý 100 mm kvůli zamezení styku dřevěného prvku s vodou. Kruhový profil je přivařen k patnímu plechu tloušťky 12 mm (ocel S235) připevněnému k podkladu chemickými kotvami.

BOČNÍ POHLED



11.4.1 NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

$$V_{zd} = 12,728 \text{ kN}$$

$$V_{yd} = 0,869 \text{ kN}$$

$$N_{cd} = -77,986 \text{ kN}$$

11.4.2 ÚNOSNOST KOLÍKŮ

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

o Celkové zatížení kolíku

$$F_{dc} = \sqrt{N_{ed}^2 + V_z^2} = \sqrt{38,047^2 + 2,712^2} = 38,144 \text{ kN}$$

o Charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 385 = 27,782 \text{ MPa}$$

o Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 12^{2,6} = 97\,850,415 \text{ Nmm}$$

- Tloušťka krajního dřevěného prvku

$$t_1 = \frac{220 - 8}{2} = 106 \text{ mm}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti jednoho kolíku [kN]

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 27,782 \cdot 106 \cdot 12 = 35,339 \\ 27,782 \cdot 106 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 97\,850,415}{27,782 \cdot 12 \cdot 106^2}} - 1 \right] = 15,927 \\ 2,3 \cdot \sqrt{97\,850,415 \cdot 27,782 \cdot 12} = 13,137 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 13,137 \text{ kN}$$

- Charakteristická hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

$$F_{v,Rk \text{ celkem}} = n_s \cdot n \cdot F_{v,Rk} = 2 \cdot 2 \cdot 13,137 = 52,548 \text{ kN}$$

- Návrhová hodnota únosnosti všech kolíků ve dvojstřížném spoji

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{52,548}{1,3} = 28,295 \text{ kN}$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$F_{v,Rd} \geq F_{dc}$$

$$39,661 \text{ kN} > 38,144 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

11.4.3 VZDÁLENOSTI SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ

- Kolmo k vláknům:

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 200 \text{ mm}$$

- Zatížený konec:

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) = 84 \text{ mm}$$

$$\rightarrow a_{3,t} = 100 \text{ mm}$$

- Nezatížený okraj:

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \rightarrow a_{4,c} = 150 \text{ mm}$$

PŘENOS TLAKOVÉ SÍLY

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{cd}}{A_{net}} = \frac{77,986 \cdot 10^3}{(220 \cdot 500 - 8 \cdot 500)} = 0,736 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,736 \text{ MPa} \leq f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

→ tlaková síla přenesena kontaktem

11.4.4 POSOUZENÍ DUTÉHO KRUHOVÉHO PROFILU

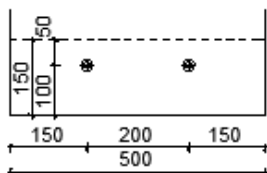
TR Ø40 x 6 mm, ocel S235, L=100 mm

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d - 2 \cdot 6)^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} - \frac{\pi \cdot 28^2}{4} = 641 \text{ mm}^2$$

a) NAMÁHÁNÍ TLAKOVOU SILOU

- Únosnost trubky v tlaku

$$N_{cRd} = A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 641 \cdot \frac{235}{1,15} = 130,987 \text{ kN}$$



VLIV VZPĚRU

- Štíhlostní poměr

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$i = \frac{r}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{100}{10} = 10$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{10}{\varepsilon \cdot 93,9} = 0,106$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,106 - 0,2) + 0,106^2]$$

$$\phi = 0,483$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,483 + \sqrt{0,483^2 - 0,106^2}} = 1,048 \approx 1,0$$

→ vliv vzpěru se neuvažuje

$$N_{cRd} = 130,987 \text{ kN} \geq N_{cd} = 77,986 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11.4.5 NÁVRH CHEMICKÉ KOTVY

Vodorovné příčné síly jsou přenášeny kotvami

Kotevní šroub HAS M12 (5.8)

- Únosnost

$$N_{Rd} = 25,3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 15,2 \text{ kN}$$

- Vnitřní síly

$$V_z = 2,712 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,062 \text{ kN}$$

$$F_d = \sqrt{V_z^2 + V_y^2} = \sqrt{12,936^2 + 0,869^2} = 12,965 \text{ kN}$$

Navrženy 4 kotvy:

$$N_{Rd} = 4 \cdot 25,3 = 101,2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 101,2 \text{ kN} \geq N_{ed} = 77,986 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Rd} = 4 \cdot 15,2 = 60,8 \text{ kN} \geq F_d = 12,965 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11.4.6 POSOUZENÍ SVARU

$$l_1 = 500 \text{ mm}$$

$$a_1 = 5 \text{ mm}$$

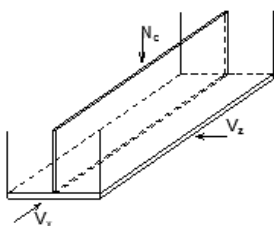
$$A_w = 2 \cdot 5 \cdot 500 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$V_{ed} = V_y = 0,869 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = V_z = 12,728 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{12,728 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 5000} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 1,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_{Mw}} = \frac{510}{15} = 340 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$



Statický výpočet

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_w} = \frac{0,869 \cdot 10^3}{5\,000} = 0,174 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{1,8^2 + 3 \cdot 1,8^2 + 3 \cdot 0,174^2} = 3,613 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 3,613 \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{510}{0,8 \cdot 1,5} = 425 \text{ MPa}$$

3,613 ≤ 425 MPa VYHOVUJE

12 ZÁVĚR

Statický návrh a posouzení bylo provedeno podle normativních dokumentů uvedených výše (viz kapitola 2). Navržená konstrukce včetně jejích detailů vyhoví na zatížení a jeho účinky uvedené v kapitole 7.

Poslední strana statického výpočtu:

--Konec statického výpočtu--



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
THE ROOFING OF AMPHITHEATRE IN VIZOVICE

TECHNICKÁ ZPRÁVA – ŘEŠENÉ VARIANTY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ludmila Kuchtová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2017

Obsah

1	ÚVOD.....	2
2	POUŽITÁ LITERATURA.....	2
3	TVAROVÉ USPOŘÁDÁNÍ KONSTRUKCE	2
4	GEOMETRIE.....	3
5	VARIANTY A JEJICH POPIS	5
5.1	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE	5
5.1.1	RÁMOVÝ ROH.....	5
5.1.2	KLOUBOVÉ ULOŽENÍ STOJKY I PŘÍČLE.....	7
5.1.3	V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK.....	9
5.2	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE.....	11
5.2.1	DŘEVO	11
5.2.2	OCEL	14
6	ZÁVĚR.....	16

1 ÚVOD

Náplní bakalářské práce bylo navrhnout a posoudit konstrukci zastřešení jeviště přírodního amfiteátru ve Vizovicích. K porovnání bylo vytvořeno pět variant (čtyři v dřevěném provedení, jedna z oceli), a následně jedna vybrána a detailně zpracována.

2 POUŽITÁ LITERATURA

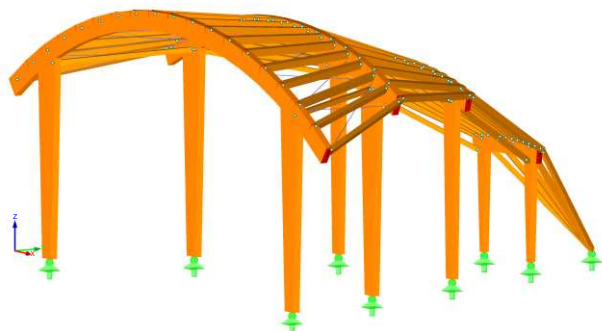
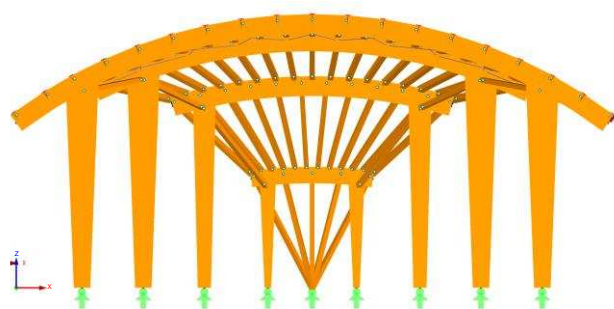
- ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 – Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1995-1-1 – Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1995-1 (Petr Kulík, Anna Kuklíková)
- NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1993-1-1 A ČSN EN 1993-1-8 (prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. a spol.)

3 TVAROVÉ USPOŘÁDÁNÍ KONSTRUKCE

Ve všech variantách byla zachována identická geometrie konstrukce, kdy zastřešení bylo řešeno pomocí zakřivených nosníků. Rovněž byly zachovány vzdálenosti příčných vazeb i rozložení vaznic. Modifikaci konstrukce tedy představuje rozdílný způsob uložení sloupů podpírajících zakřivené nosníky a uložení samotných nosníků na ně.

Zastřešení bylo řešeno nad trojúhelníkovým půdorysem (15,0 x 18,0 m), což vedlo k rozdílnosti příčných vazeb a pracnosti statického návrhu. Přístřešek byl navržen tak, že v podélném směru klesá až k zemi. Vzhledem k takovému tvarovému řešení na konstrukci bylo nahlíženo v každém směru odlišně (viz Statický výpočet).

Konstrukce zastřešení sestává ze čtyř příčných vazeb osově vzdálených 4 m. Poslední pole (3 m) je tvořeno vaznicemi uloženými až u země, které zde mají kromě funkce nosné (střešní plášť) také funkci stabilizační a podílejí se tak na ztužení konstrukce v podélném směru. Prostorovou tuhost konstrukce spolu s příčným ztužidlem zajišťuje šikmé bednění účinně připojené k vaznicím.



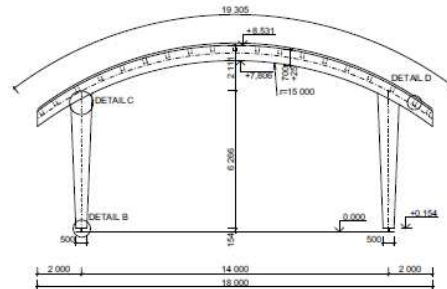
4 GEOMETRIE

Zastřešení je řešeno zakřivenými nosníky nad trojúhelníkovým půdorysem, v důsledku toho je tedy každá příčná vazba jiná. Konstrukce v podélném směru klesá až k zemi, kde je kloubově uložena.

Hlavní rozměry konstrukce:

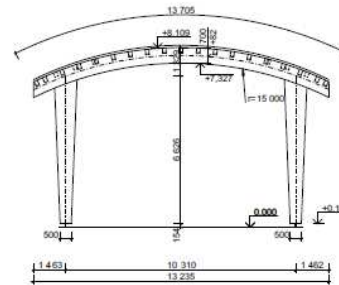
- První příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 18 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 14 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 19,305 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,266 \text{ m}$



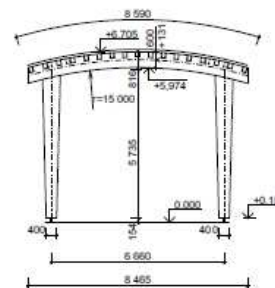
- Druhá příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 13,235 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 10,310 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 13,703 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,626 \text{ m}$



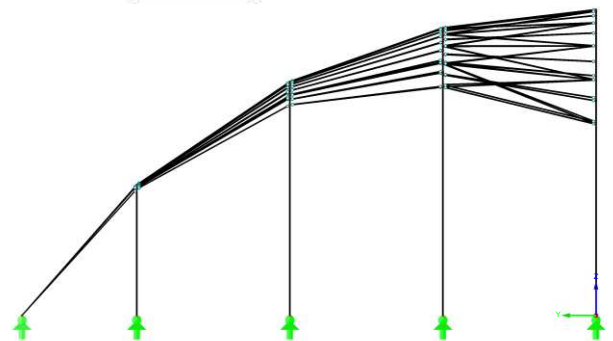
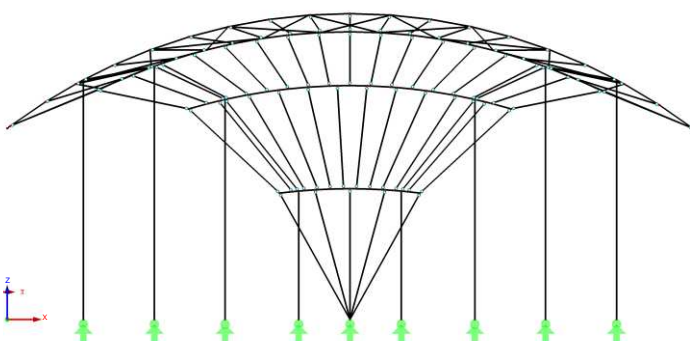
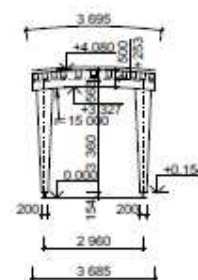
- Třetí příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 8,465 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 6,660 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 8,580 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 5,755 \text{ m}$

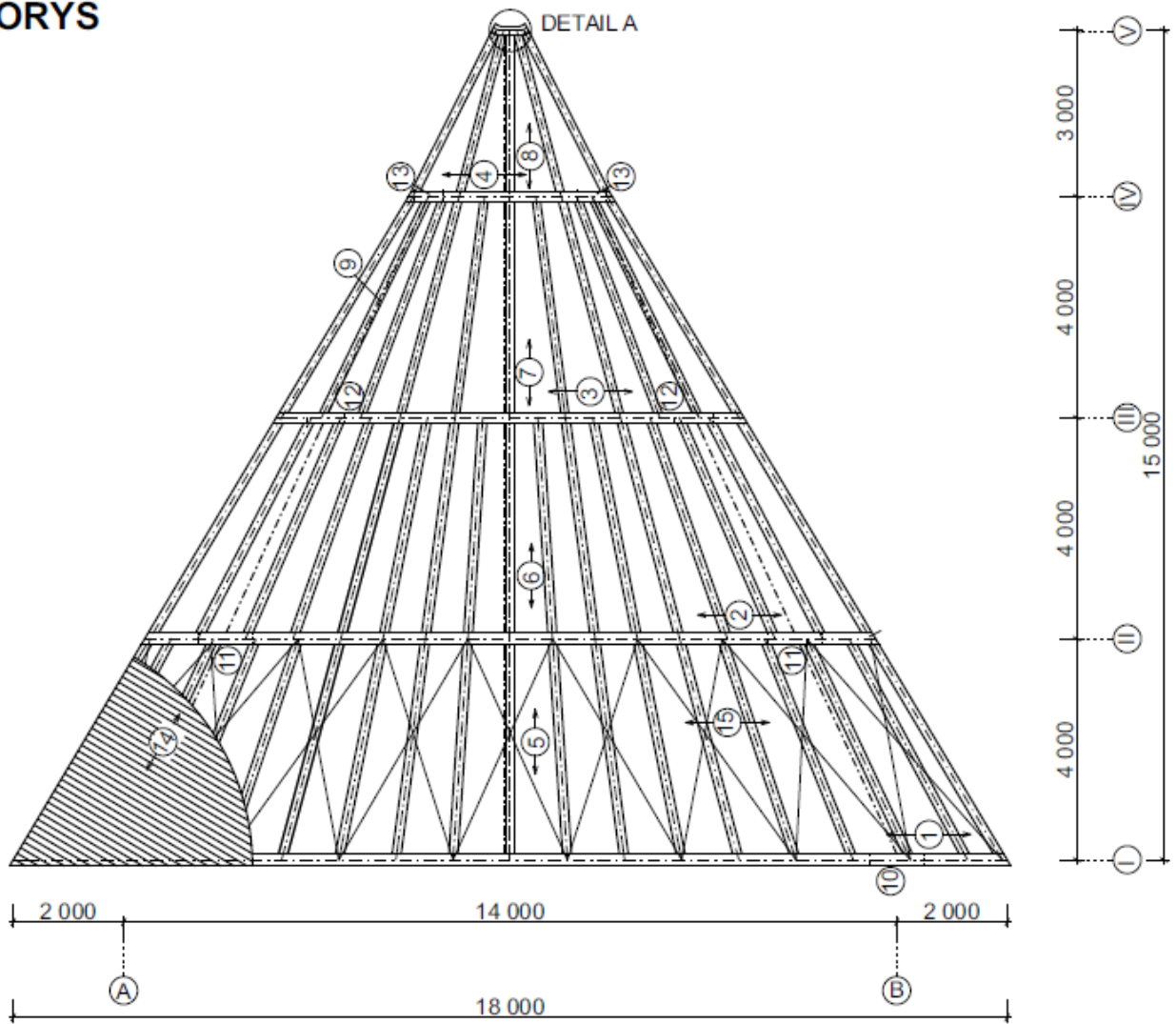


- Čtvrtá příčná vazba:

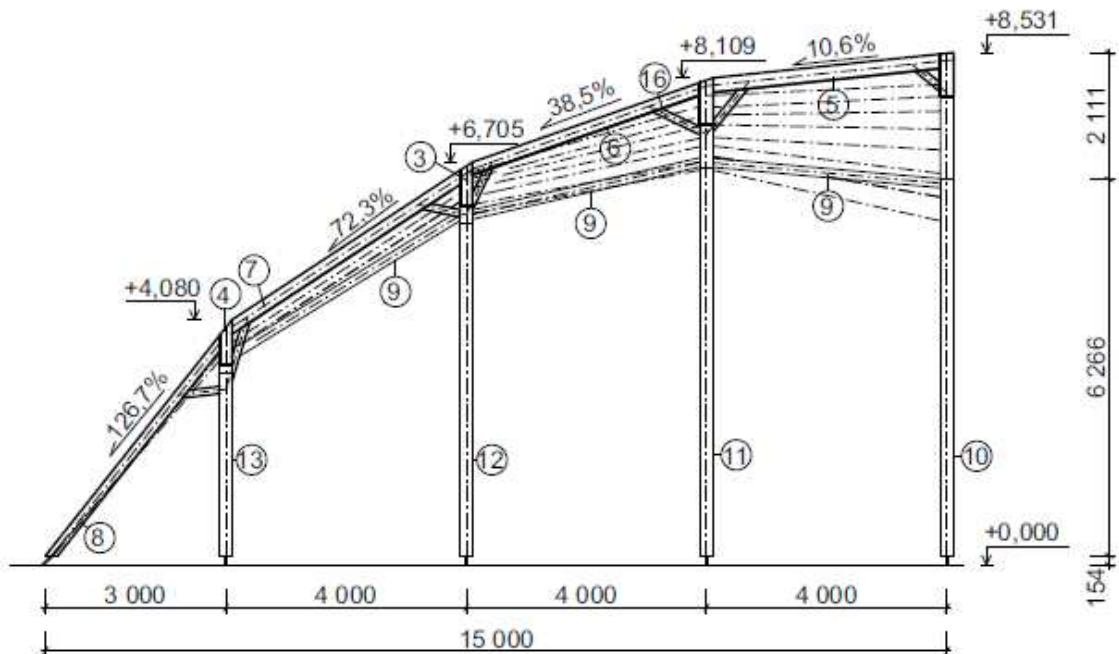
Rozpětí oblouku: $b = 3,685 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 2,960 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 3,750 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 3,360 \text{ m}$



PŮDORYS
 1:100



ŘEZ VRCHOLOVOU VAZNICÍ



5 VARIANTY A JEJICH POPIS

VARIANTA	PROVEDENÍ
DŘEVO	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – RÁMOVÝ ROH
	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – KLOUBOVÉ ULOŽENÍ PŘÍČLE A STOJKY
	OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE –V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK
	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE
OCEL	OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE

Dřevěné varianty jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a rostlého dřeva třídy C24. Pro příčná ztužidla byla použita ocel S235 a pro spojovací prostředky ocel S355.

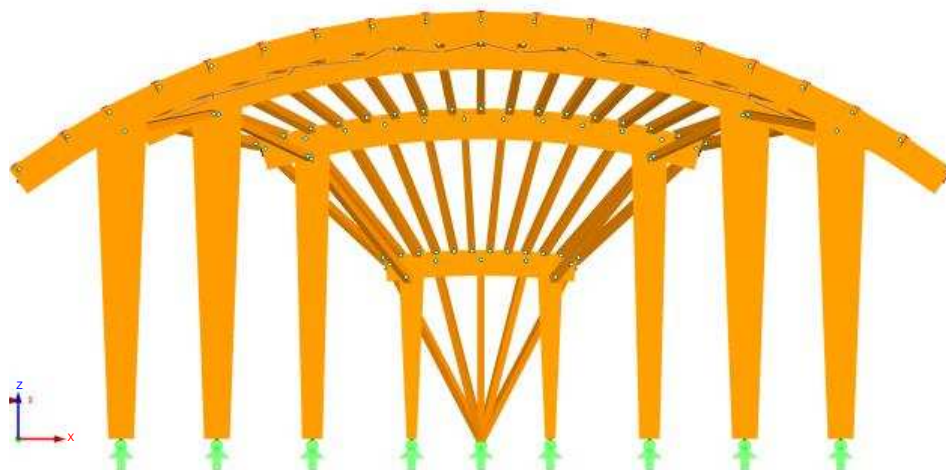
Ocelová varianta je navržena z oceli S235.

Přístřešek sestává ze 4 příčných vazeb, každá z nich je tvořena příčlím a dvěma stojkami. Způsob kotvení konstrukce se odvíjí od varianty provedení. Zatížení je do jednotlivých vazeb vnášeno přes střešní plášť (štípaný šindel a prkna C24) a vaznice (C24). Působení vaznic je jako prutový kloubově uložený prostý nosník. V podélném směru však spolu se vzpěrkami zajišťují také prostorovou tuhost celého konstrukčního systému.

5.1 OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE

5.1.1 RÁMOVÝ ROH

Příčnou vazbu konstrukce tvoří příčel konstantního průřezu z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h, která je tuze spojena se dvěma stojkami stejného materiálu s lineárním náběhem (náběh oboustranně od osy prvku). Montážní spoj v rámovém rohu byl proveden pomocí středního vloženého plechu a spoje kolíkového typu uspořádaného do dvou soustředných kružnic. (viz Statický výpočet, Posouzení vybraných detailů – Rámový roh). Tato varianta byla vybrána jako a popsána v samostatné technické zprávě.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Technická zpráva řešených variant

a) VYUŽITÍ PRŮŘEZU

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x700	69 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	37 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	72 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	41 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	82 %
PŘÍČEL	200x600	62 %
STOJKA	200x400 – 200x700	35 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	60 %
STOJKA	200x200 – 200x500	18 %

b) SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m^3]	HMOTNOST
VAZNICE	3,33	1,396 t
PŘÍČEL	3,26	1,097 t
STOJKA	2,3	0,850 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m^3]	HMOTNOST
VAZNICE	2,41	1,003 t
PŘÍČEL	2,11	0,782 t
STOJKA	2,48	0,919 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

TŘETÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m^3]	HMOTNOST
VAZNICE	1,54	0,643 t
PŘÍČEL	1,01	0,382 t
STOJKA	1,38	0,511 t
TRÁMKY	0,23	0,095 t

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m^3]	HMOTNOST
VAZNICE	0,53	0,220 t
PŘÍČEL	0,37	0,135 t
STOJKA	0,54	0,199 t

CELKEM	SPOTŘEBA [m^3]	HMOTNOST [t]
C24	8,62	3,525
GL24h	13,45	4,875

c) GLOBÁLNÍ DEFORMACE

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	11,5 mm
u_y	14,7 mm
u_z	13,7 mm

d) JEDNOTKOVÝ POSUDEK

PRVNÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb
PŘÍČEL	0,69	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,37	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,15	Ohyb a tlak *

DRUHÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb
PŘÍČEL	0,62	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,41	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,15	Ohyb a tlak *

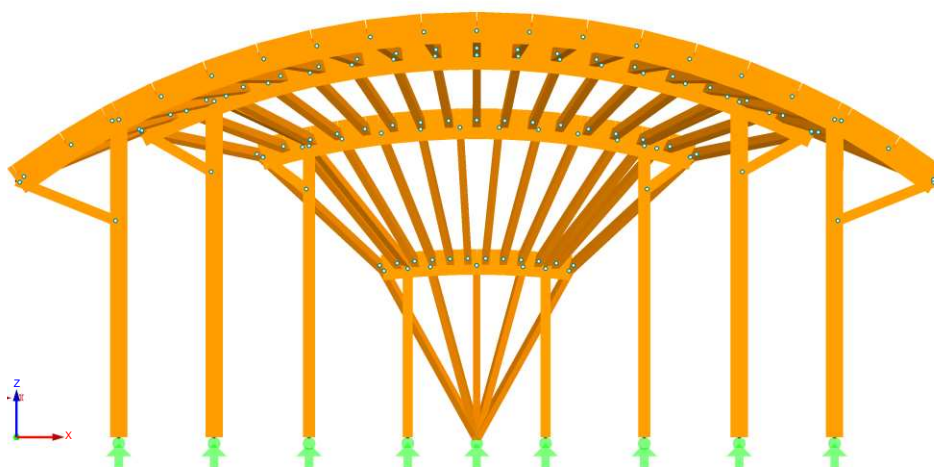
TŘETÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,82	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,62	Smyk - posouvající síla
STOJKA	0,35	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,15	Ohyb a tlak *

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tlak *
PŘÍČEL	0,69	Smyk - posouvající síla
STOJKA	0,18	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,15	Ohyb a tlak *

* O dimenzi prvku rozhoduje vzpěr okolo obou os

5.1.2 KLOUBOVÉ ULOŽENÍ STOJKY I PŘÍČLE

Příčnou vazbu konstrukce tvoří rovněž příčel konstantního průřezu z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h, avšak ta není se stojkami pevně spojena, ale je k nim kloubově připojena. Příčel tedy nespolutůsobí se stojkami tak jako u předchozí varianty, kdy vytváří rámovou konstrukci, ale působí jako prostě uložený zakřivený nosník. Stojky byly navrženy konstantního průřezu z rostlého jehličnatého dřeva pevnostní třídy C24. Kvůli navýšení prostorové tuhosti byly navrženy vzpěrky ve dvou třetinách výšky stojky, které zajišťují stabilitu celé konstrukce v příčném směru a zároveň snižují hodnoty ohybových momentů v příčli. Snižování hodnot ohybových momentů vede i k menšímu využití průřezu, a tak k jeho možnému zmenšení. Z estetického hlediska však navržené vzpěrky mohou působit rušivým dojmem.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Technická zpráva řešených variant

a) VYUŽITÍ PRVKŮ

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x600	52 %
STOJKA	220x340	90 %
VZPĚRKA	160x220	12 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	68 %
STOJKA	220x340	85 %
VZPĚRKA	160x220	12 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %
PŘÍČEL	200x600	61 %
STOJKA	200x240	73 %
VZPĚRKA	160x200	15 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	60 %
STOJKA	150x200	46 %

b) SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	3,26	1,396 t
PŘÍČEL	2,541	0,942 t
STOJKA	0,937	0,394 t
VZPĚRKA	0,211	0,058 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	2,41	1,003 t
PŘÍČEL	2,11	0,782 t
STOJKA	0,991	0,417 t
VZPĚRKA	0,203	0,046 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

TŘETÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	1,54	0,643 t
PŘÍČEL	1,01	0,382 t
STOJKA	0,551	0,232 t
VZPĚRKA	0,096	0,032 t
TRÁMKY	0,23	0,095 t

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	0,53	0,220 t
PŘÍČEL	0,37	0,135 t
STOJKA	0,202	0,085

CELKEM	SPOTŘEBA[m ³]	HMOTNOST [t]
C24	11,761	4,789
GL24h	6,031	2,241

c) GLOBÁLNÍ DEFORMACE

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u _x	26,9 mm
u _y	15,2 mm
u _z	22,2 mm

d) JEDNOTKOVÝ POSUDEK

PRVNÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb
PŘÍČEL	0,52	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,90	Ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,28	Dvouosý ohyb a tlak *
VZPĚRKA	0,12	Jednoosý ohyb a tah

DRUHÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,68	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,85	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,28	Dvouosý ohyb a tlak *
VZPĚRKA	0,12	Jednoosý ohyb a tah

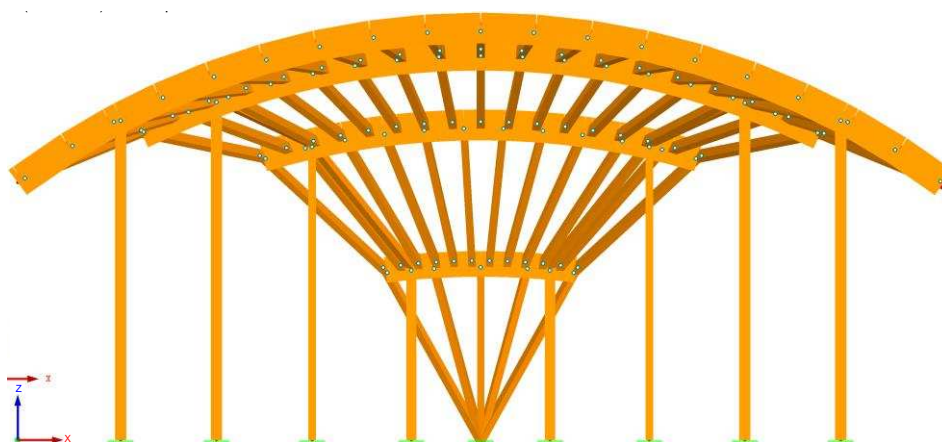
TŘETÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,82	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,61	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,73	Ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,28	Dvouosý ohyb a tlak *
VZPĚRKA	0,15	Jednoosý ohyb a tah

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,91	Dvouosý ohyb a tlak *
PŘÍČEL	0,61	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,46	Tlak *
TRÁMKY	0,28	Dvouosý ohyb a tlak *

* O dimenzi prvku rozhoduje vzpěr okolo obou os

5.1.3 V PATĚ VETKNUTÝ SLOUPEK

Příčná vazba je tvořena stejně jako v předchozí variantě, kdy příčel působí jako prostě uložený zakřivený nosník kloubově připojený ke stojkám konstantního průřezu. Příčel je navržena z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a stojky z rostlého jehličnatého dřeva pevnostní třídy C24. Rozdílem mezi těmito variantami je způsob uložení v patě sloupku, přičemž tato varianta uvažuje s vetknutím. Vetknutí zajišťuje tuhost konstrukce v horizontální rovině, avšak u dřevěných konstrukcí je obtížné ho docílit a není tedy zcela běžnou součástí statických návrhů.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Technická zpráva řešených variant

a) VYUŽITÍ PRVKŮ

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x600	88 %
STOJKA	220x220	59 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	85 %
STOJKA	220x220	48 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %
PŘÍČEL	200x600	61 %
STOJKA	200x150	82 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	57 %
STOJKA	150x200	35 %

b) SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	3,26	1,396 t
PŘÍČEL	2,541	0,942 t
STOJKA	0,607	0,155 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	2,41	1,003 t
PŘÍČEL	2,11	0,782 t
STOJKA	0,641	0,270 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t

TŘETÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	1,54	0,643 t
PŘÍČEL	1,01	0,382 t
STOJKA	0,344	0,145 t
TRÁMKY	0,23	0,095 t

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	0,53	0,220 t
PŘÍČEL	0,37	0,135 t
STOJKA	0,202	0,085 t

CELKEM	SPOTŘEBA[m ³]	HMOTNOST [t]
C24	10,967	4,26
GL24h	6,031	2,241

c) GLOBÁLNÍ DEFORMACE

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u _x	27,9 mm
u _y	16,3 mm
u _z	37,9 mm

d) JEDNOTKOVÝ POSUDEK

PRVNÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,88	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,59	Ohyb a tah
TRÁMKY	0,33	Dvouosý ohyb a tlak *

DRUHÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,85	Dvouosý ohyb a tlak *
STOJKA	0,48	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,33	Dvouosý ohyb a tlak *

TŘETÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,82	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,61	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,82	Ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,33	Dvouosý ohyb a tlak *

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,91	Dvouosý ohyb a tlak *
PŘÍČEL	0,57	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,35	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,33	Dvouosý ohyb a tlak *

* O dimenzi prvku rozhoduje vzpěr okolo obou os

5.2 OBLOUKOVÁ PŘÍHRADOVÁ KONSTRUKCE

5.2.1 DŘEVO

Tato alternativa kombinuje dva typy vazníků, a to tak, že v prvních dvou příčných vazbách byl navržen příhradový vazník z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a ve zbylých dvou vazbách byl ponechán plnostěnný zakřivený nosník ze stejného materiálu a stejné pevnostní třídy. Důvodem takového opatření je tvarové řešení konstrukce, které má vliv na velikost rozpětí oblouků a vzdálenost podpor. V případě navrhované konstrukce je rozpětí třetí a čtvrté příčné vazby tak malé, že návrh příhradoviny by byl maximálně nevhodný. Dolní pás vazníku je zajištěn proti vybočení z roviny podélnými ztužidly ze dřeva třídy GL24h. Stojky jsou vytaženy až k hornímu pásu vazníku, kde jsou kloubově připojeny, taktéž je k nim z každé strany připojen i dolní pás vazníku. Vzhledem ke kombinovanému návrhu se tato varianta nejeví jako vhodná jak z estetického, tak konstrukčního hlediska.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Technická zpráva řešených variant

a) VYUŽITÍ PRŮŘEZŮ

PRVNÍ POLE			DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %	VAZNICE	160x200	83 %
HORNÍ PÁS	150x150	43 %	HORNÍ PÁS	200x150	66 %
DOLNÍ PÁS	150x200	66 %	DOLNÍ PÁS	150x150	57 %
DIAGONÁLA	120x150	46 %	DIAGONÁLA	120x150	46 %
SVISLICE	120x150	36 %	SVISLICE	120x150	36 %
STOJKY	200x200	70 %	STOJKY	200x200	91 %

TŘETÍ POLE			ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	83 %	VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x600	52 %	PŘÍČEL	200x500	57 %
STOJKA	200x200	73 %	STOJKA	150x150	65 %

b) SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE			DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST	PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	3,33	1,396 t	VAZNICE	2,41	1,003 t
HORNÍ PÁS	0,44	0,161 t	HORNÍ PÁS	0,4	0,149 t
DOLNÍ PÁS	0,52	0,192 t	DOLNÍ PÁS	0,27	0,105 t
DIAGONÁLA	0,51	0,199 t	DIAGONÁLA	0,3	0,131 t
SVISLICE	0,19	0,075 t	SVISLICE	0,18	0,065 t
STOJKY	0,5	0,210 t	STOJKY	0,53	0,223 t
ZTUŽIDLA	1,56	0,579 t	TRÁMKY	0,2	0,084 t
TRÁMKY	0,2	0,084 t			

TŘETÍ POLE			ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST	PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	1,54	0,643 t	VAZNICE	0,53	0,220 t
PŘÍČEL	1,01	0,382 t	PŘÍČEL	0,37	0,135 t
STOJKA	0,46	0,193 t	STOJKA	0,15	0,063 t
TRÁMKY	0,23	0,095			

CELKEM	SPOTŘEBA[m ³]	HMOTNOST [t]
C24	10,08	4,299
GL24h	5,75	2,048

c) **GLOBÁLNÍ DEFORMACE**

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u_x	27,3 mm
u_y	16,1 mm
u_z	13,0 mm

d) **JEDNOTKOVÝ POSUDEK**

PRVNÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
HORNÍ PÁS	0,43	Dvouosý ohyb a tah
DOLNÍ PÁS	0,66	Dvouosý ohyb a tah
SVISLICE	0,36	Ohyb a tlak *
DIAGONÁLA	0,46	Ohyb a tlak *
STOJKA	0,70	Dvouosý ohyb a tah
ZTUŽIDLA	0,07	Ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,42	Ohyb a tlak *

DRUHÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
HORNÍ PÁS	0,66	Dvouosý ohyb a tlak *
DOLNÍ PÁS	0,57	Dvouosý ohyb a tah
SVISLICE	0,36	Ohyb a tlak *
DIAGONÁLA	0,46	Ohyb a tlak *
STOJKA	0,91	Dvouosý ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,42	Ohyb a tlak *

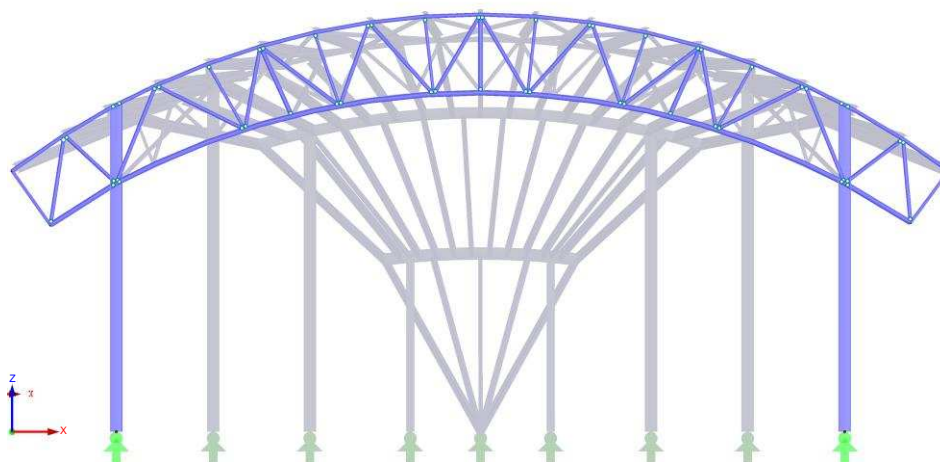
TŘETÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,83	Dvouosý ohyb a tah
PŘÍČEL	0,52	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,73	Osový tlak *
TRÁMKY	0,42	Ohyb a tlak *

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,91	Dvouosý ohyb a tlak *
PŘÍČEL	0,56	Smyk – posouvající síla
STOJKA	0,65	Osový tlak *
TRÁMKY	0,42	Ohyb a tlak *

* O dimenzi prvku rozhoduje vzpěr okolo obou os

5.2.2 OCEL

Stejně jako v předchozí variantě dochází i zde ke kombinaci dvou typů vazníku, kdy se v prvních dvou příčných vazbách vyskytuje příhradový vazník z oceli S235 z dutých kruhových profilů a ve třetí a čtvrté vazbě je nahrazen plnostěnným dvojose symetrickým skruženým ocelovým profilem z řady IPE (ocel S235). Stojka byla rovněž navržena z řady IPE. Nevýhodou této varianty je i hmotnost související s použitým materiálem a jeho nesourodost s charakterem účelu navrhované konstrukce, která má zastřešovat jeviště amfiteátru v přírodě.



a) VYUŽITÍ PRŮŘEZŮ

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 200	82 %
HORNÍ PÁS	TR 76,1x3,2	65 %
DOLNÍ PÁS	TR 101,6x3,2	63 %
DIAGONÁLA	TR 76,1x2,6	92 %
SVISLICE	TR 101,6x3,2	82 %
STOJKY	IPE 240	76 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 200	83 %
HORNÍ PÁS	TR 101,6x3,2	73 %
DOLNÍ PÁS	TR 60,3x3,2	52 %
DIAGONÁLA	TR 76,1x2,6	92 %
SVISLICE	TR 101,6x3,2	82 %
STOJKY	IPE 240	80 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 180	58 %
PŘÍČEL	IPE 220	72 %
STOJKA	IPE 240	70 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	IPE 160	64 %
PŘÍČEL	IPE 240	76 %
STOJKA	IPE 160	78 %

b) SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE			DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA	HMOTNOST	PRVEK	KUBATURA	HMOTNOST
VAZNICE	0,2	1,829 t	VAZNICE	0,17	1,671 t
HORNÍ PÁS	0,01	0,111 t	HORNÍ PÁS	0,01	0,107 t
DOLNÍ PÁS	0,017	0,134 t	DOLNÍ PÁS	0,005	0,049 t
DIAGONÁLA	0,008	0,150 t	DIAGONÁLA	0,008	0,099 t
SVISLICE	0,005	0,043 t	SVISLICE	0,003	0,026 t
STOJKY	0,05	0,385 t	STOJKY	0,05	0,406 t
ZTUŽIDLA	0,01	0,461 t	TRÁMKY		0,066 t
TRÁMKY	0,005	0,065 t			

TŘETÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	0,17	1,119 t
PŘÍČEL	0,01	0,226 t
STOJKA	0,05	0,353 t
TRÁMKY	0,01	0,074 t

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	0,06	0,476 t
PŘÍČEL	0,01	0,114 t
STOJKA	0,01	0,106 t

CELKEM	SPOTŘEBA [m ³]	HMOTNOST [t]
S235	0,873	7,964

c) GLOBÁLNÍ DEFORMACE

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u _x	28,1 mm
u _y	18,9 mm
u _z	11,1 mm

d) JEDNOTKOVÝ POSUDEK

PRVNÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,82	Dvouosý ohyb
HORNÍ PÁS	0,65	Ohyb, smyk, osová síla
DOLNÍ PÁS	0,63	Tah
SVISLICE	0,82	Ohyb, smyk, osová síla
DIAGONÁLA	0,92	Stabilita – vzpěr
STOJKA	0,76	Stabilita – ohyb a tlak
ZTUŽIDLA	0,87	Ohyb a tlak
TRÁMKY	0,37	Ohyb a tlak *

DRUHÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,54	Dvouosý ohyb
HORNÍ PÁS	0,73	Ohyb a tlak *
DOLNÍ PÁS	0,52	Ohyb a tlak *
SVISLICE	0,82	Ohyb a tlak *
DIAGONÁLA	0,90	Ohyb a tlak *
STOJKA	0,80	Ohyb a tlak *
TRÁMKY	0,37	Ohyb a tlak *

TŘETÍ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,58	Dvouosý ohyb
PŘÍČEL	0,72	Stabilita – ohyb a tlak
STOJKA	0,70	Stabilita – vzpěr
TRÁMKY	0,37	Ohyb a tlak *

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	η	ROZHODUJÍCÍ POSUDEK
VAZNICE	0,64	Dvouosý ohyb a tlak
PŘÍČEL	0,76	Dvouosý ohyb
STOJKA	0,78	Stabilita – vzpěr
TRÁMKY	0,37	Ohyb a tlak *

* O dimenzi prvku rozhoduje vzpěr okolo obou os

6 ZÁVĚR

Výsledkem uvedeného porovnání bylo posouzení a vyhodnocení rozdílů mezi variantními řešeními a výběr jedné z varianty k detailnímu zpracování. Všechny posuzované alternativy byly optimalizovány s ohledem na hospodárnost konstrukce. Zohledněna byla ale také proveditelnost (připojitelnost prvků), která mnohdy vedla na malé využití průřezů prvků posuzovaných na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Porovnávané alternativy vykazují rozdíly také z hlediska deformací, kdy nejmenší deformace byly zaznamenány u plnostěnné obloukové konstrukce ve variantě s rámovým rohem.

Co do spotřeby materiálu se jako nejvíce vyhovující jevila příhradová oblouková konstrukce v ocelovém provedení. Tato varianta však k detailnímu zpracování nebyla vybrána.

Při výběru konstrukčního řešení by nejspíš rozhodovala také finanční náročnost daného provedení, estetické a architektonické hledisko.

V rámci této práce byla vybrána varianta dřevěná, jelikož se jedná o konstrukci umístěvanou do přírody, a to varianta „Rámový roh“.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH

THE ROOFING OF AMPHITHEATRE IN VIZOVICE

TECHNICKÁ ZPRÁVA – VYBRANÁ VARIANTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ludmila Kuchtová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2017

Obsah

1	ÚVOD.....	2
2	POUŽITÁ LITERATURA.....	2
3	ZÁKLADNÍ INFORMACE O KONSTRUKCI.....	2
3.1	GEOMETRIE.....	2
3.2	ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE.....	3
4	OPLÁŠTĚNÍ.....	4
5	VYBRANÁ VARIANTA	4
5.1	POPIS	4
5.2	DISPOZICE.....	5
5.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	6
5.4	PRVKY	6
5.4.1	PŘÍČEL	6
5.4.2	VAZNICE.....	7
5.4.3	STOJKY	9
5.4.4	PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO	10
5.4.5	PODÉLNÉ ZTUŽIDLO.....	10
5.4.6	VYUŽITÍ PRVKŮ	11
5.4.7	SPOTŘEBA MATERIÁLU	11
5.4.8	GLOBÁLNÍ DEFORMACE.....	12
6	PROVÁDĚNÍ – MONTÁŽ	12
7	DOPRAVA.....	12
8	OCHRANA DŘEVA	12

1 ÚVOD

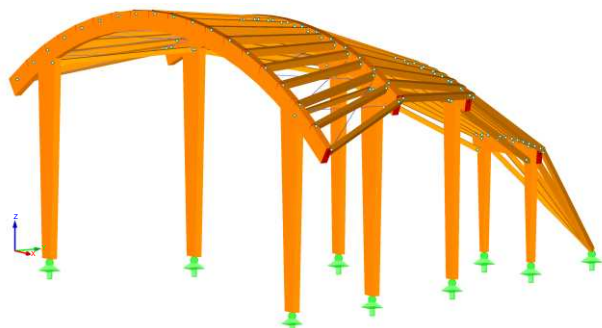
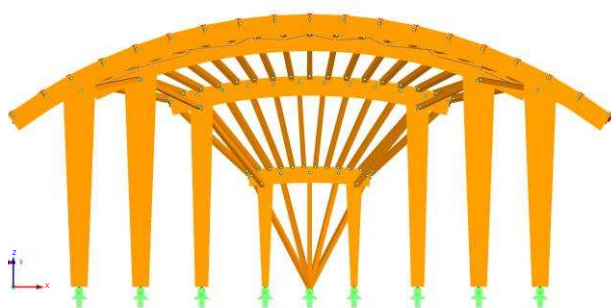
Náplní bakalářské práce bylo navrhnout a posoudit konstrukci zastřešení jeviště přírodního amfiteátru ve Vizovicích. K porovnání bylo vytvořeno pět variant (čtyři v dřevěném provedení, jedna z oceli) a následně byla jedna z nich vybrána a detailně zpracována. Pro detailní zpracování byla vybrána dřevěná plnostěnná varianta „Rámový roh“.

2 POUŽITÁ LITERATURA

- ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 – Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1995-1-1 – Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1995-1 (Petr Kulík, Anna Kuklíková)
- NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ PŘÍRUČKA K ČSN EN 1993-1-1 A ČSN EN 1993-1-8 (prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. a spol.)

3 ZÁKLADNÍ INFORMACE O KONSTRUKCI

Půdorysný tvar konstrukce je trojúhelníkový o rozměrech 18 m (šířka) x 15 m (délka), uvažovaná výška ve výpočtech je 9 m. Přístřešek byl navržen tak, že v podélném směru klesá až k zemi. Základní nosnou konstrukci přístřešku tvoří 4 příčné vazby, tj. stojky a příčle, v osové vzdálenosti 4 m. Poslední pole (rozpětí 3 m) je tvořeno vaznicemi uloženými až u země, které zde mají kromě funkce nosné (střešní plášť) také funkci stabilizační a podílejí se tak na ztužení konstrukce v podélném směru. Prostorovou tuhost konstrukce spolu s příčným ztužidlem zajišťuje šikmé bednění, které je účinně připojeno k vaznicím.



3.1 GEOMETRIE

Zastřešení je řešeno zakřivenými nosníky nad trojúhelníkovým půdorysem, v důsledku toho je tedy každá příčná vazba jiná. Konstrukce v podélném směru klesá až k zemi, kde je kloubově uložena.

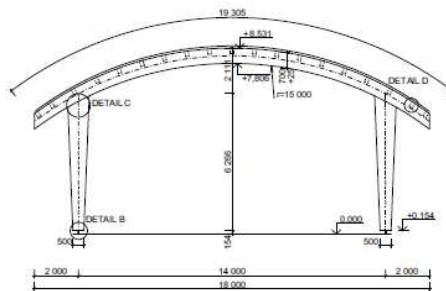
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH

Technická zpráva – vybraná varianta

Hlavní rozměry konstrukce:

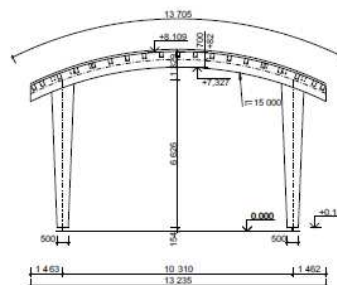
- První příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 18 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 14 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 19,305 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,266 \text{ m}$



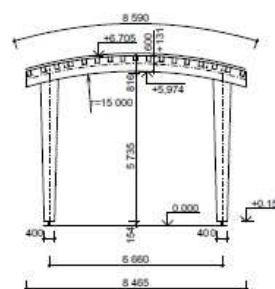
- Druhá příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 13,235 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 10,310 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 13,703 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 6,626 \text{ m}$



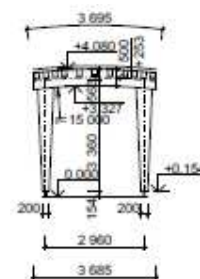
- Třetí příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 8,465 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 6,660 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 8,580 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 5,755 \text{ m}$



- Čtvrtá příčná vazba:

Rozpětí oblouku: $b = 3,685 \text{ m}$
Vzdálenost podpor: $b' = 2,960 \text{ m}$
Poloměr oblouku: $r_{in} = 15 \text{ m}$
Délka oblouku: $L_s = 3,750 \text{ m}$
Výška sloupu: $h_s = 3,360 \text{ m}$



3.2 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Stavba je situována ve Zlínském kraji, konkrétně v obci Vizovice, která spadá do

- Sněhová oblast III, kde $s_k = 1,34 \text{ kN/m}^2$
- Větrná oblast II, kde $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

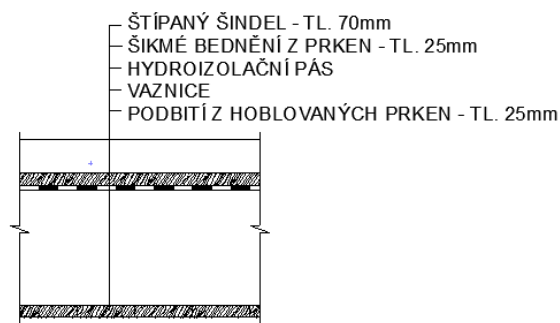
V dané lokalitě nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky na zakládání a zatížení. Vizovice se nenachází ani v seizmické oblasti, ani v poddolovaném území.

Podrobný výpočet zatížení viz. Statický výpočet

4 OPLÁŠTĚNÍ

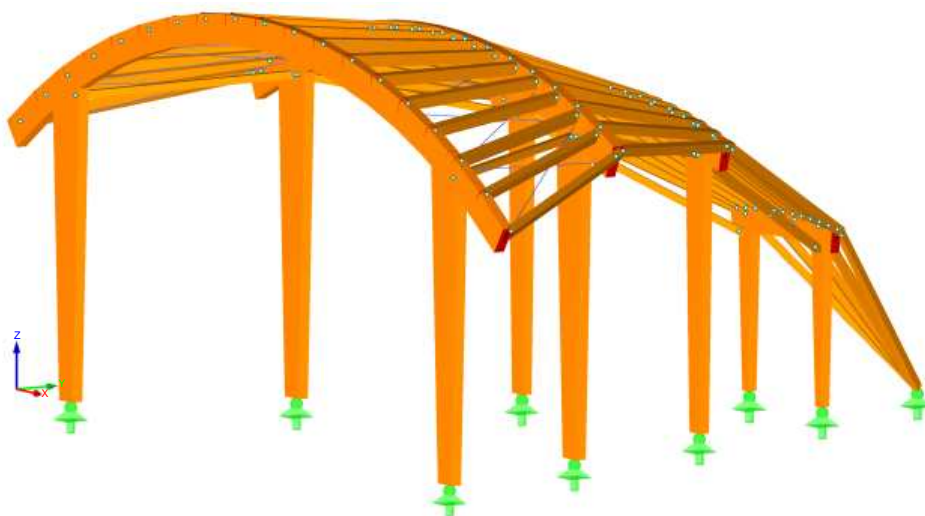
Skladba střešní konstrukce:

- Štípaný šindel tl. 70 mm
- Šikmé bednění z prken tl. 25 mm
- Hydroizolační pás
- Podbití z trojstranně hoblovaných prken tl. 25 mm



5 VYBRANÁ VARIANTA

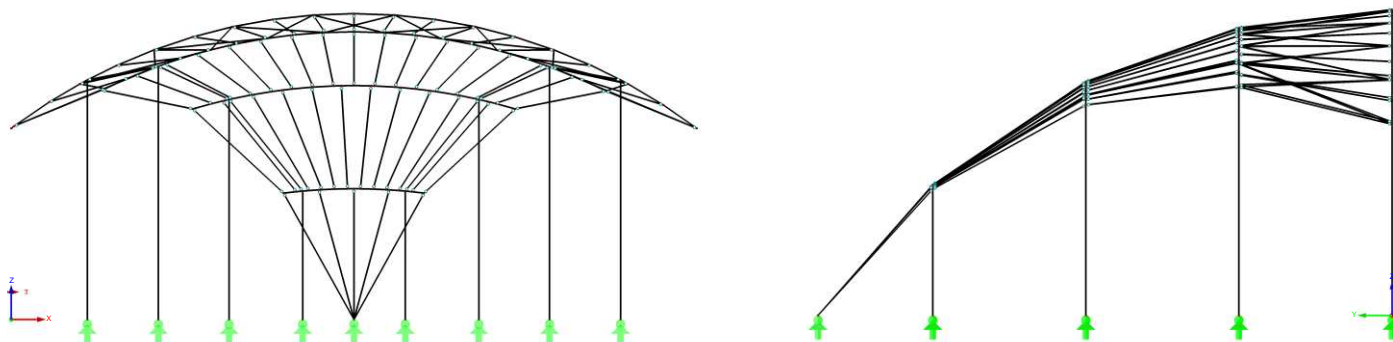
OBLOUKOVÁ PLNOSTĚNNÁ KONSTRUKCE – RÁMOVÝ ROH



5.1 POPIS

Varianta je navržena z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a rostlého dřeva třídy C24. Pro příčná ztužidla byla použita ocel S235 a pro spojovací prostředky ocel S355.

Zatížení je do jednotlivých vazeb vnášeno přes střešní plášť (štípaný šindel a prkna C24) a vaznice (C24).

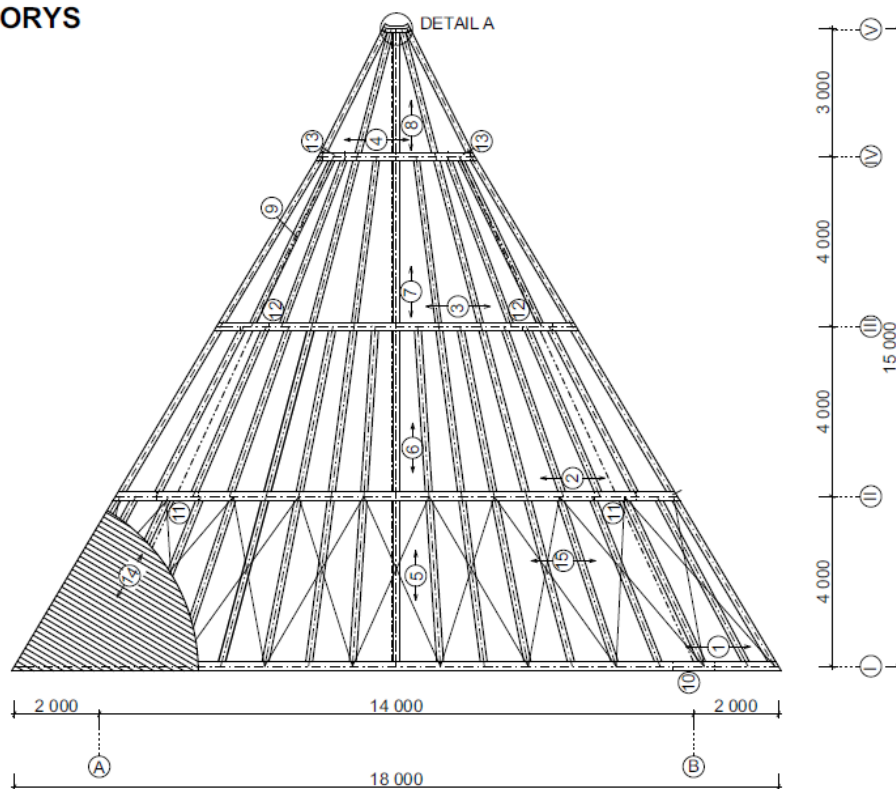


5.2 DISPOZICE

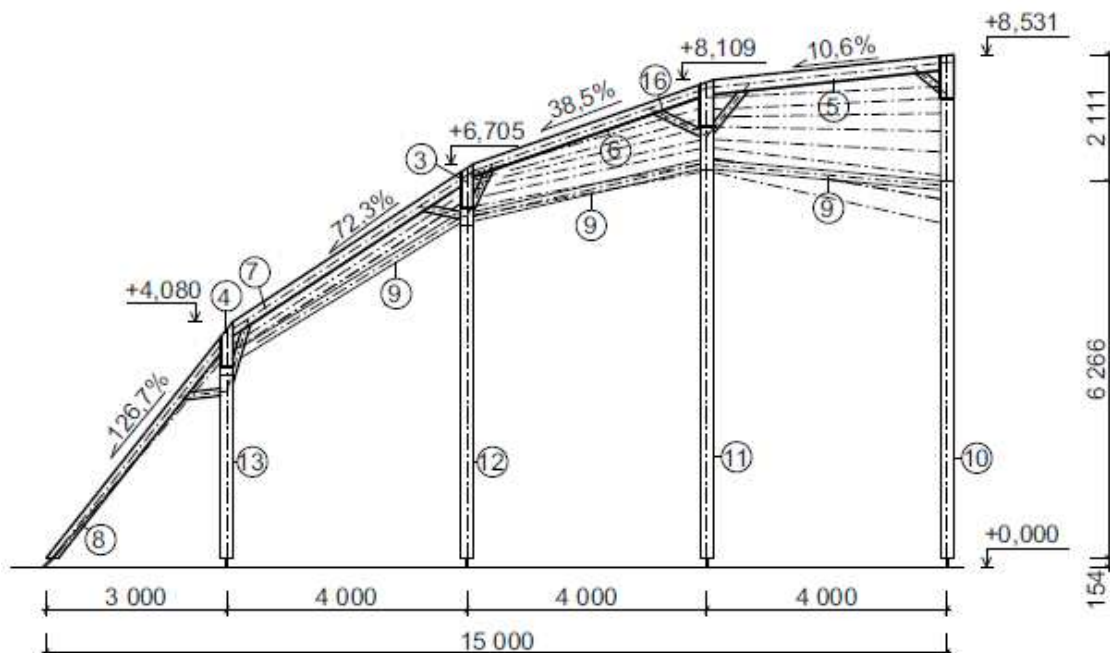
Konstrukce zastřešení sestává ze čtyř příčných vazeb osově vzdálených 4 m. Poslední pole (3 m) je tvořeno vaznicemi uloženými až u země, které zde mají kromě funkce nosné (střešní plášť) také funkci stabilizační a podílejí se tak na ztužení konstrukce v podélném směru.

Výška konstrukce v jejím nejvyšším bodě se rovná 8,631 m.

PŮDORYS
1:100

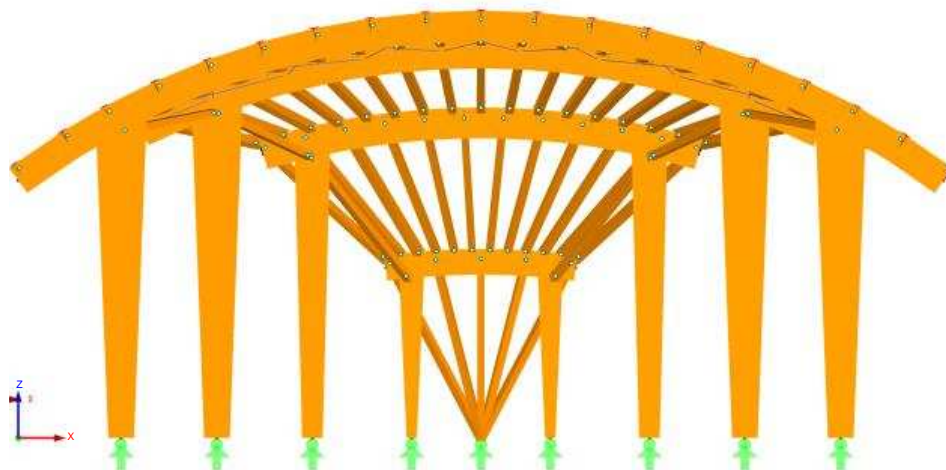


ŘEZ VRCHOLOVOU VAZNICÍ



5.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

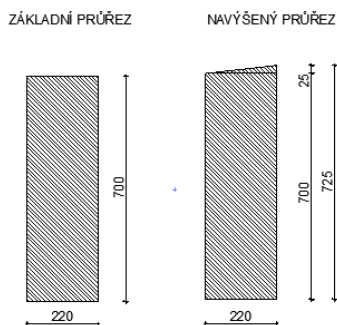
Zastřešení bylo řešeno nad trojúhelníkovým půdorysem (15,0 x 18,0 m), což vedlo k rozdílnosti příčných vazeb. Společné pro všechny vazby ale zůstává jejich konstrukční řešení, a to takové, že příčel (GL24h) je tuze spojena se dvěma stojkami (GL24h) s lineárním náběhem (náběh oboustranně od osy prvku). Montážní spoj v rámovém rohu byl proveden pomocí středního vloženého plechu a spoje kolíkového typu uspořádaného do dvou soustředných kružnic. (viz Statický výpočet, Posouzení vybraných detailů – „Rámový roh“). Stojky jsou v patě kloubově uloženy.



5.4 PRVKY

5.4.1 PŘÍČEL

Příčel je navržena z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h s konstantním průřezem. V návaznosti na rozdílnost příčných vazeb se mění i základní velikost průřezu prvků v jednotlivých vazbách (viz tabulka níže). Z důvodu rovinnosti krytiny byl průřez příčlí oproti základnímu obdélníkovému průřezu uvedenému v tabulkách změněn na pravoúhlý lichoběžníkový, základní výška zůstala nezměněna.

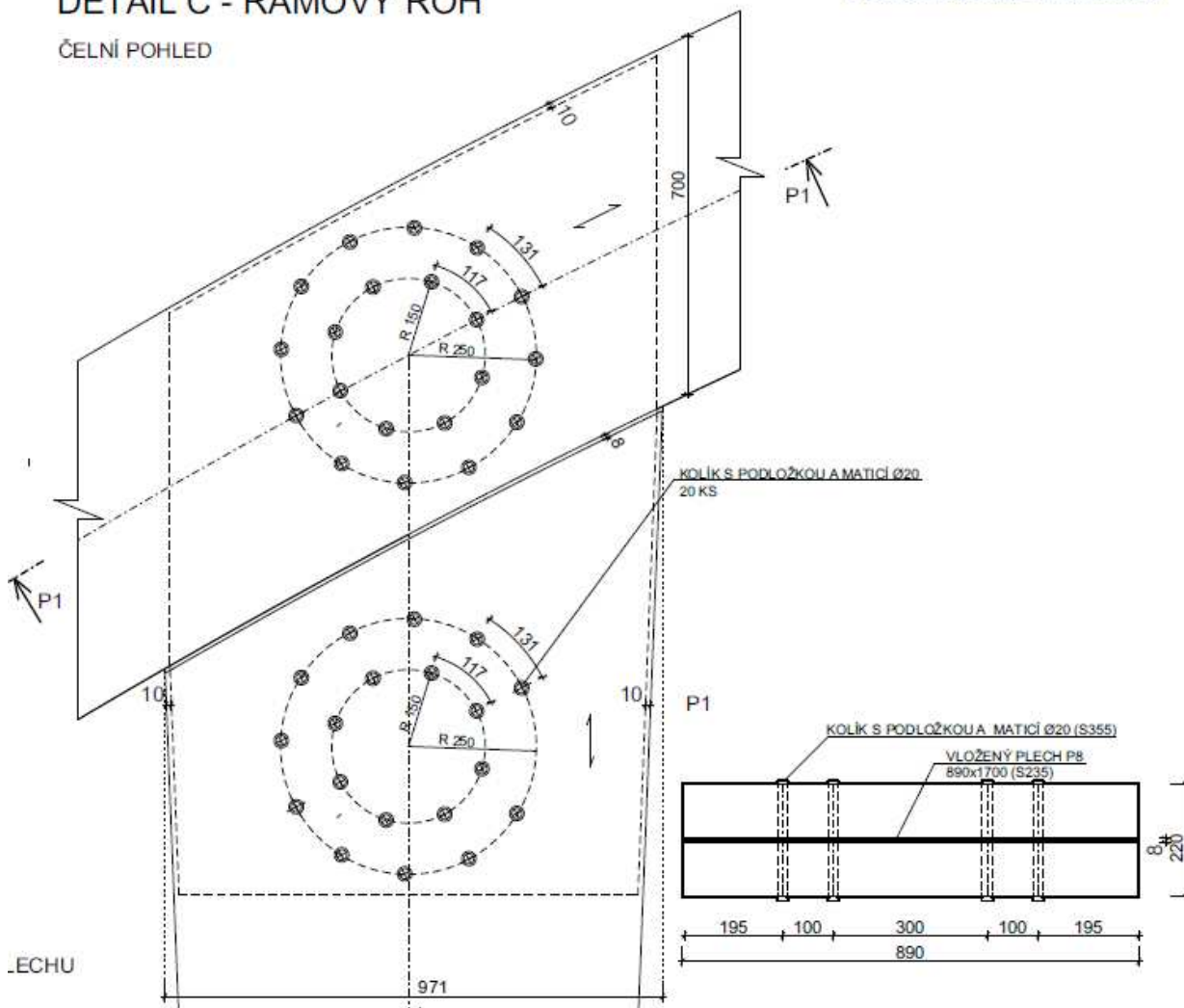


Spojení příčlí a stojek bylo uvažováno jako tuhé (rámový roh) a bylo provedeno pomocí vloženého vnitřního plechu z oceli S235 o tloušťce 8 mm a kolíkového spoje (ocel S355) uspořádaného do dvou soustředných kružnic. Průměr ocelových kolíků $\varnothing=20$ mm, materiál S355. Pro stažení spoje jsou kolíky opatřeny maticemi a podložkami.

DETAIL C - RÁMOVÝ ROH

VÝUKOVÁ VERZE ARCHICADU

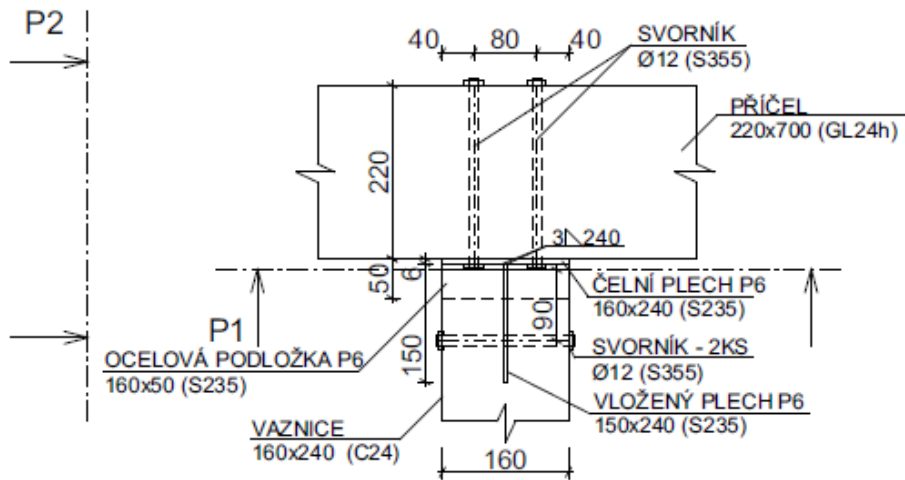
ČELNÍ POHLED



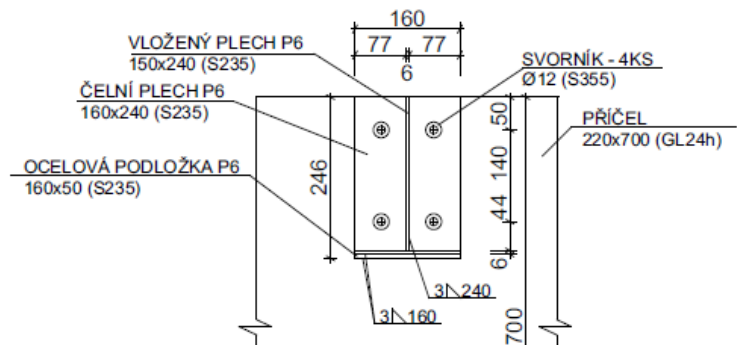
5.4.2 VAZNICE

Vaznice je navržena z rostlého jehličnatého dřeva pevnostní třídy C24 s konstantním průřezem. Vzhledem k tvarovému řešení konstrukce má každý prvek jinou délku a v každém poli také jiný průřez (viz tabulka níže). Vaznice jsou uloženy tak, aby jejich horní hrana lícovala s horní hranou příčle. Tyto dva prvky jsou pak k sobě připojeny pomocí čelní desky (ocel S235) o tloušťce 6 mm, k ní přivařeného středního plechu tloušťky 6 mm (ocel S235) vloženého do vyfrézovaného otvoru ve vaznici. Čelní deska je k příčli připojena pomocí čtyř svorníků Ø12 mm (ocel S355). Vaznice je pak připojena ke střednímu vloženému plechu dvěma svorníky Ø12 mm. K čelní desce je koutovým svarem přivařena podložka z oceli S235.

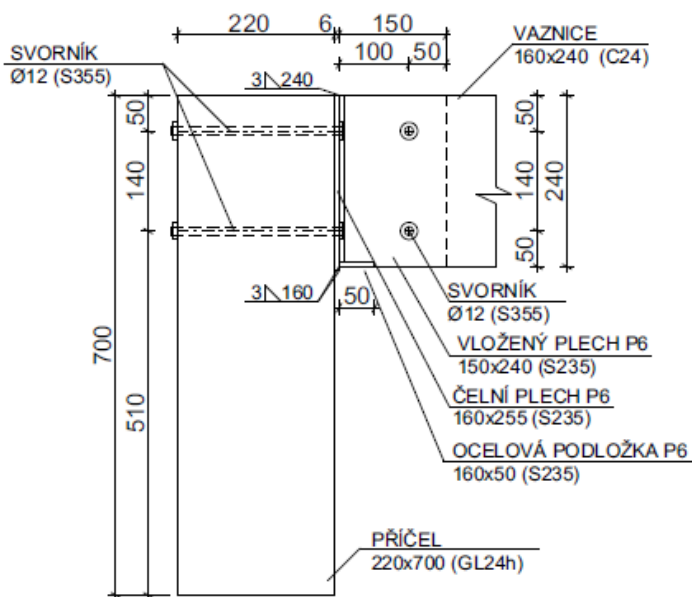
PŮDORYS



ČELNÍ POHLED - P1



BOČNÍ POHLED - P2



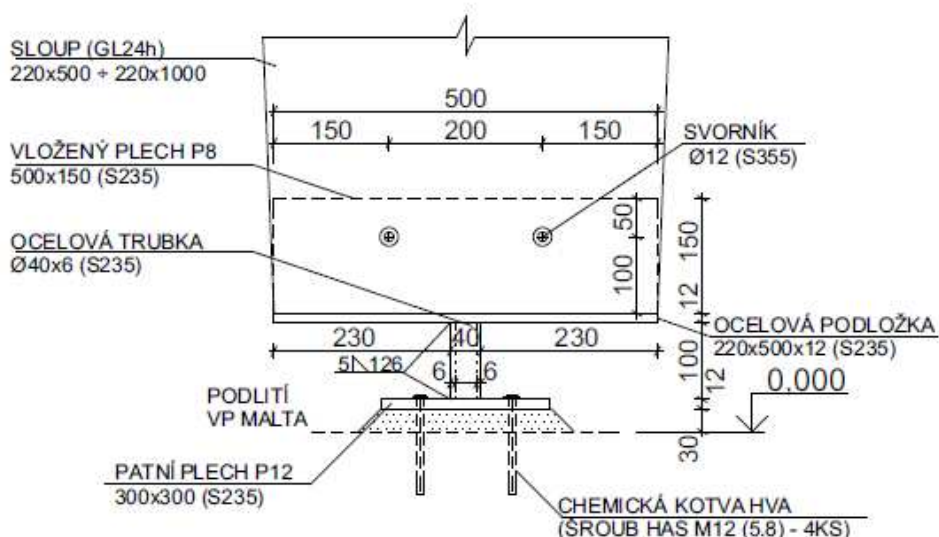
5.4.3 STOJKY

Stojky jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h s lineárním náběhem (náběh oboustranně od osy prvku). Spojky jsou tuze spojeny s příčlí (viz 5.4.1 PŘÍČEL) a v patě kloubově uloženy.

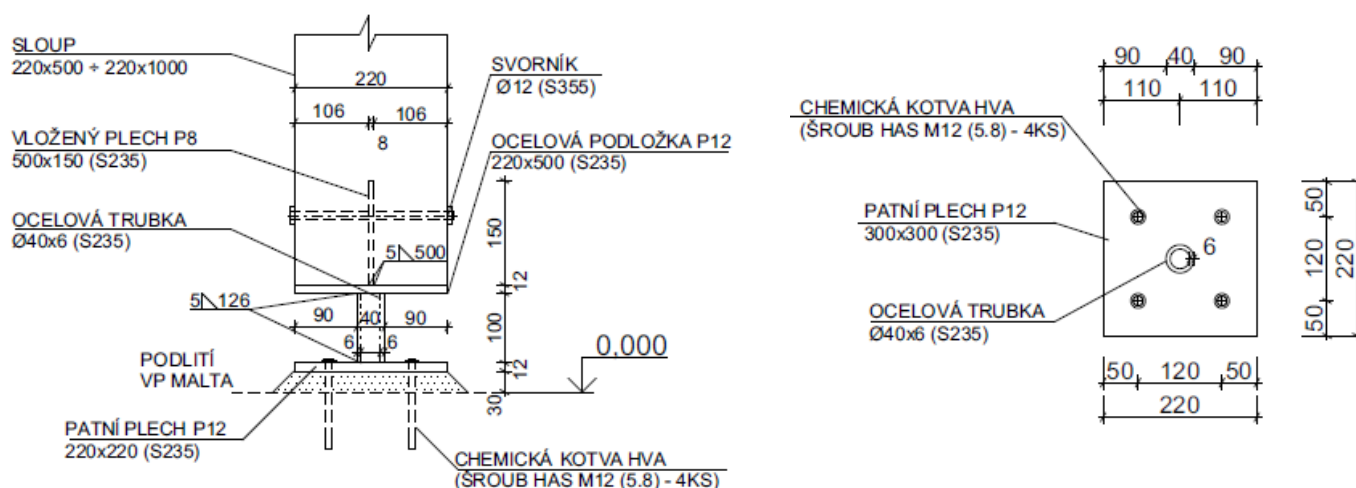
Kotvení je provedeno pomocí dvou svorníků (ocel S355) a středního vloženého plechu tloušťky 8 mm (ocel S235) přivařeného k ocelové (S235) podložce tloušťky 12 mm. Podložka je přivařena k dutému kruhovému profilu (TR Ø40 x 6 mm), který je dlouhý 100 mm kvůli zamezení styku dřevěného prvku s vodou. Kruhový profil je přivařen k patnímu plechu tloušťky 12 mm (ocel S235) připevněnému k podkladu pomocí chemických kotev. Kotvy přenášejí vodorovné příčné síly. Aby byla zajištěna jejich účinnost, musí být otvory v plechu utěsněny tak, aby kotvení šroub nezůstal volný.

Průřezy prvků v jednotlivých vazbách viz tabulka.

ČELNÍ POHLED

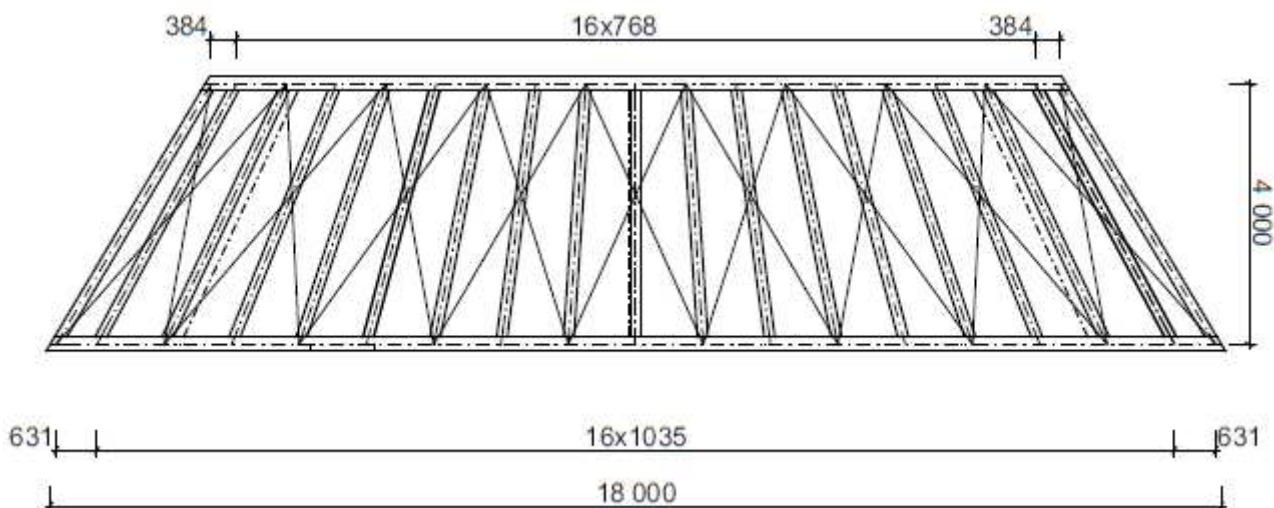


BOČNÍ POHLED



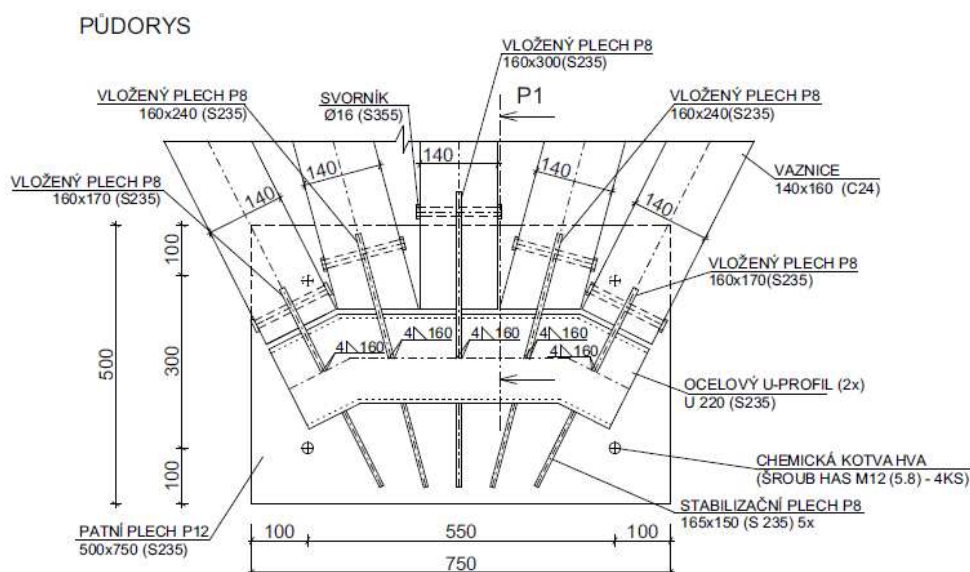
5.4.4 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

Ztužidlo s předpínacím zařízením, zajišťující tuhost konstrukce a přenos sil mezi jednotlivými vazbami, bylo navrženo z oceli S 235 (tyč Ø16) pouze konstrukčně v prvním poli, jelikož konstrukce je vzhledem ke svému tvaru dostatečně funkční a tuhá i bez něj. V konstrukci je příčné ztužidlo umístěno pod vaznicemi.

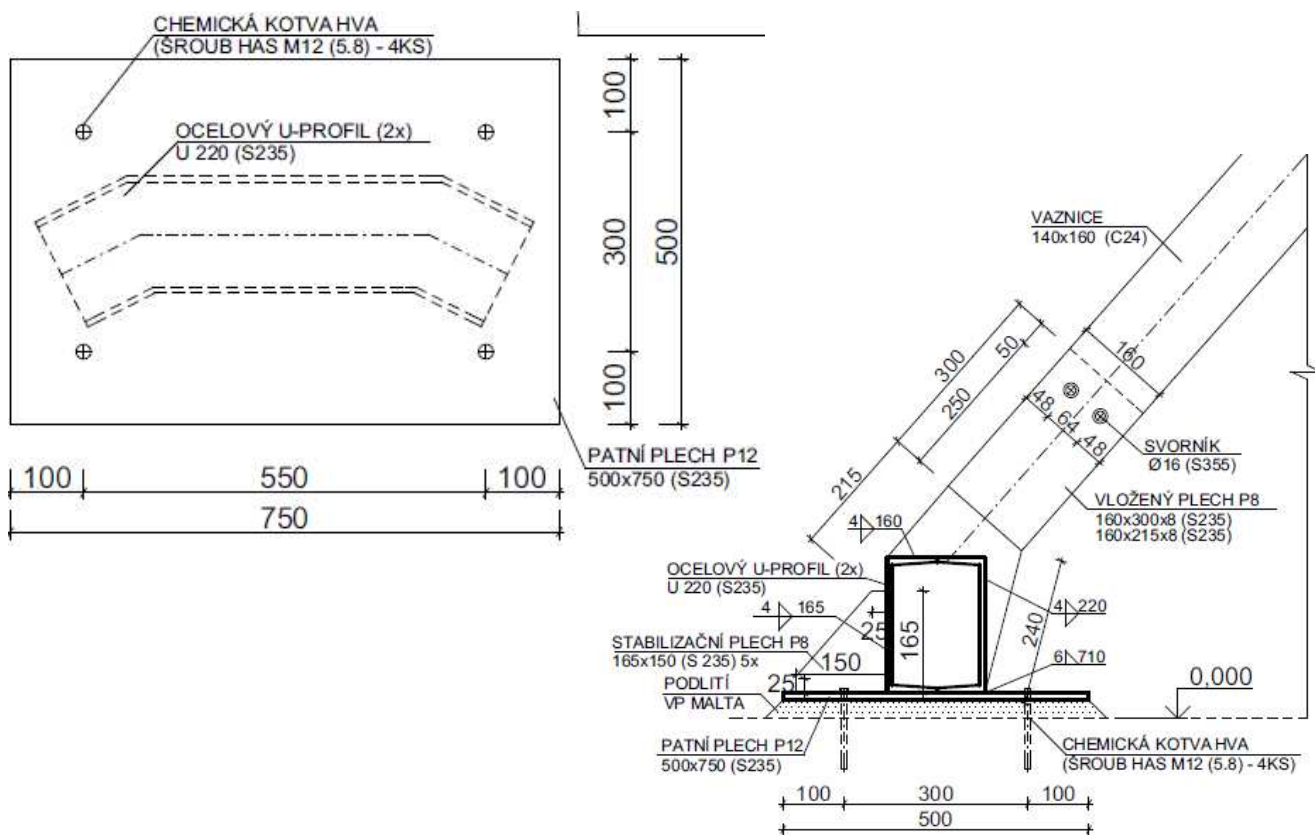


5.4.5 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO

Funkci podélného ztužidla zde zastávají dřevěné vzpěrky umístěné pod úhlem 45°. Jsou navrženy z rostlého jehličnatého dřeva pevnostní třídy C24 o průřezu 120x120 mm. Konstrukce je v tomto směru dále ztužena vlastními vaznicemi ve čtvrtém poli, které jsou uloženy až u země. Kotvení je provedeno pomocí vložených středních plechů tloušťky 8 mm (ocel S235) a svorníků Ø16 (ocel S355). Plech je přivařen ke dvěma do krabice spojeným U-profilům. Ty jsou pak připevněny k patnímu plechu tloušťky 12 mm, zajištěnému chemickými kotvami k podkladu. Prostor mezi vrtem a kotevním šroubem je opět nutné utěsnit. Aby se docílilo požadovaného tvaru konstrukce a byla zajištěna proveditelnost při montáži, bylo navrženo řešení sestávající ze soustavy pěti plechů o různé délce, přičemž prostřední plech byl zvolen jako nejdelší.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – ZASTŘEŠENÍ JEVIŠTĚ AMFITEÁTRU VE VIZOVICÍCH
Technická zpráva – vybraná varianta



5.4.6 VYUŽITÍ PRVKŮ

PRVNÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x240	83 %
PŘÍČEL	220x700	69 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	37 %

DRUHÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	160x200	83 %
PŘÍČEL	220x700	72 %
STOJKA	220x500 – 220x1000	41 %

TŘETÍ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x200	82 %
PŘÍČEL	200x600	62 %
STOJKA	200x400 – 200x700	35 %

ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	DIMENZE	VYUŽITÍ
VAZNICE	140x160	92 %
PŘÍČEL	200x500	60 %
STOJKA	200x200 – 200x500	18 %

5.4.7 SPOTŘEBA MATERIÁLU

PRVNÍ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	3,33	1,396 t
PŘÍČEL	3,26	1,097 t
STOJKA	2,3	0,850 t

DRUHÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA [m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	2,41	1,003 t
PŘÍČEL	2,11	0,782 t
STOJKA	2,48	0,919 t

TŘETÍ POLE			ČTVRTÉ POLE		
PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST	PRVEK	KUBATURA[m ³]	HMOTNOST
VAZNICE	1,54	0,643 t	VAZNICE	0,53	0,220 t
PŘÍČEL	1,01	0,382 t	PŘÍČEL	0,37	0,135 t
STOJKA	1,38	0,511 t	STOJKA	0,54	0,199

5.4.8 GLOBÁLNÍ DEFORMACE

GLOBÁLNÍ DEFORMACE	
u _x	11,5 mm
u _y	14,7 mm
u _z	13,7 mm

6 PROVÁDĚNÍ – MONTÁŽ

Základní prvky příčných vazeb jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva, vaznice a ztužující vzpěrky ze dřeva rostlého. Lepené lamelové prvky byly zpracovány ve výrobě na zpracování dřeva v souladu s ČSN EN 14080 – Požadavky na lepené lamelové dřevo.

POSTUP MONTÁŽE

V rámci předmontáže dojde k tuhému spojení stojek s příčlím a to tak, že se do vyfrézovaného otvoru ve stojce vloží střední plech s přesně vyvrtanými otvory pro umístění kolíků. Ten je pak přichycen kolíky s podložkami a maticemi uspořádanými do dvou soustředných kružnic. Na takto nachystané sloupky se poté osadí vazník s vyfrézovaným otvorem na střední plech a připojí se stejným způsobem jako sloupek k plechu. Vytvořený rám se následně upevní do přichystaného kotvení. To sestává z patního plechu uchyceného k podkladu chemickými kotvami, ocelové trubky, k ní přivařené ocelové podložce s navařeným vnitřním plechem. Celé toto spojení se zajistí dvěma svorníky. Proveďte se zavětrování a stejný postup provádění se zopakuje i pro druhou příčnou vazbu. Hned poté budou osazeny vaznice, pod které se umístí příčné ztužidlo s předpínacím zařízením. Stejným způsobem bude probíhat montáž zbylých vazeb. Na závěr se celá konstrukce zpevní šikmým bedněním, které bude účinně připojeno k vaznicím konvexními hřebíky Ø4X60 mm (2 kusy pro každý provedený spoj).

7 DOPRAVA

Přeprava bude realizována speciální přepravní firmou pro přepravu nadměrných nákladů. Největší rozměr přepravovaného prvku (příčel první vazby) je 19,305 m. Prvky budou přepraveny tahačem s plošinovým přívěsem, který je schopen převézt prvek o maximální délce 22,0 m.

8 OCHRANA DŘEVA

Ochrana dřeva proti biotickým činitelům (plísním, hnilobám a hmyzu) bude provedena dle doporučení v souladu s normou ČSN 49 0600-1 Ochrana koroze dřeva, polotovárů, dílců a přířezů.

Bude použit pozinkovaný spojovací materiál.