

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



2018

Bc. Hynek ŘEHOŘEK

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**



**Bc. Hynek ŘEHOŘEK**

**ANALÝZA DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE ROZHLEDNY  
VELKÝ KOSÍŘ**

**Diplomová práce**

Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

---

Praha 2018

Jméno a příjmení autora:	Bc. Hynek Řehořek
Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor	Konstrukce pozemních staveb (NC)
Akademický rok	2017/2018
Zadávací katedra	Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Název diplomové práce	Analýza dřevěné konstrukce rozhledny Velký Kosíř
Název DP v angličtině	Analysis of the wooden construction of the lookout tower Velký Kosíř

### **Anotace v češtině**

Diplomová práce se zabývá posouzením stávající konstrukce dřevěné rozhledny „Velký Kosíř“ a předmětem práce je též alternativní návrh úprav konstrukce, spojů a detailů v případech, kdy bylo shledáno nevyhovující stávající řešení. Výsledný návrh je tedy koncipován jako nové řešení s použitím vhodného modřínového řeziva.

### **Klíčová slova v češtině**

Dřevěná konstrukce, modřínové dřevo, rozhledna

### **English annotation**

The diploma thesis deals with the assessment of the existing construction of the wooden observation tower "Velký Kosíř" and the subject of the thesis is also an alternative design of modifications of the structure, joints and details in cases where the existing solution was found to be inadequate. The resulting design is therefore conceived as a new solution using the appropriate larch timber.

### **Keywords**

Wooden construction, larch wood, lookout tower

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci zaměřenou na téma *Analýza dřevěné konstrukce rozhledny Velký Kosíř*, jsem vypracoval samostatně pod dohledem vedoucího diplomové práce a s využitím odborné literatury a jiných informačních zdrojů, které jsou citovány a uvedeny v závěrečné části této diplomové práce.

V Praze dne: 7.1.2018

.....

(Podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Karlovi Mikešovi, Ph.D. za jeho cenné rady, odborný přístup a značnou trpělivost při zpracování této diplomové práce.

V Praze dne: 7.1.2018

.....  
(Podpis autora)



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Řehořek Jméno: Hynek Osobní číslo: 410792

Zadávací katedra: K134

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: ANALÝZA DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE ROZHLEDKY VEL. KON.

Název diplomové práce anglicky: ANALYSIS OF THE TIMBER STRUCTURE OF LOOKOUT

Pokyny pro vypracování: VEL. KOSÍŘ

- PROVEDTE ANALÝZU STÁVAJÍCÍHO STAVU ROZHLEDKY  
STANOVTE ZATÍŽENÍ OD DÍLCÍCH ZATĚŽOVACÍCH STÁVŮ  
& KOMBINACÍ A VYPRACUJTE 3D MODEL KONSTRUKCE  
PRO PROSTOROVOU ANALÝZU PRVKŮ I SPOJŮ

Seznam doporučené literatury:

KUKLÍK P. : DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE, PŘÍKLADY A REVIZI

BLASS H.J. - STECK G. : KAPIT. VÝPOČET A POSUZ DK

Jméno vedoucího diplomové práce: \_\_\_\_\_

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018

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

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

2.10.2017

Datum převzetí zadání

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Hynek Řehořek

Název diplomové práce: ANALÝZA DŘEV. KONSTR. DOZHLEDNÝ VELKÝ KOSÍŘ

Základní část: STATICKÁ ČÁST - OCELOVÉ A DŘEV. KOE podíl: 100 %

Formulace úkolů: - stanovení zatížení, kombinace, 3D model, analýza pomocí SW (globální analýza, stabilita výprčet), posouzení a návrh opatření pro jedn. prvky a spoje

Podpis vedoucího DP: .....

Datum: 2.10.2017

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

## Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

# Obsah

1. Úvod.....	10
1.1. Popis konstrukce.....	10
1.2. Analýza stávající konstrukce.....	11
1.2.1. Materiál .....	11
1.2.2 Závady a následné poruchy způsobené chybným provedením .....	12
1.2.3. Rozbor chování konstrukce schodiště .....	12
2. Zatížení .....	16
2.1. Zatížení větrem.....	16
2.2. Zatížení sněhem.....	17
2.3. Střešní konstrukce.....	18
2.3.1. Zatížení stálé.....	18
2.3.2. Zatížení užité .....	18
2.4. Plošina .....	18
2.4.1.Zatížení stálé.....	18
2.4.2. Zatížení užité .....	19
2.5. Zatížení schodiště .....	19
2.5.1. Zatížení stálé.....	19
2.5.2. Užité zatížení .....	20
3. Model.....	21
3.1. Konstrukce jednotlivých prvků modelu .....	21
3.2. Zatížení modelu .....	25
3.2.1. Zatěžovací stavy .....	25
3.2.2. Kombinace zatížení.....	25
3.2.3. Zatížení větrem .....	26
3.3. Rozpor model/realizace.....	27
3.3.1. Střešní konstrukce .....	27
3.3.2.Konstrukce schodiště.....	28
3.3.3. Ocelové věnce.....	29
3.3.4. Ocelová táhla .....	29
4. Funkce estetického pláště.....	32
4.1.Inspirace Martin Rajniš .....	32
4.1.1. Princip zenové architektury.....	32
4.1.2. Ukázka tvorby – podobnost konstrukcí s konstrukcí rozhledny.....	32



5. Návrh a posouzení jednotlivých konstrukčních prvků .....	34
5.1. Střešní konstrukce.....	34
5.1.1. Stanovení kombinace zatížení pro střešní konstrukci .....	34
5.1.2. Stanovení zatěžovací šířky .....	35
5.1.3. Návrh a posouzení střešního trámu.....	36
5.1.4. Návrh a posouzení vzpěry – označení 2 .....	39
5.1.5. Návrh a posouzení vzpěry – označení 3.....	41
5.1.6. Návrh a posouzení trémové výměny .....	43
5.1.7. Návrh a posouzení sloupu zastřešení.....	44
5.2. Konstrukce plošiny .....	46
5.2.1. Návrh a posouzení - vodorovný nosník plošiny - označení 4.....	47
5.2.2. Návrh a posouzení výměny - označení 5.....	48
5.2.3. Návrh a posouzení věnce plošiny.....	50
5.3. Posouzení pláště rozhledny.....	53
5.4. Posouzení hlavních sloupů.....	54
5.4.1. Vnitřní síly.....	54
5.4.2. Určení vzpěrné délky – lineární bifurkační analýza LBA: .....	54
5.4.3. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 1 .....	55
5.4.4. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 2 .....	57
5.4.5. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 3 .....	59
5.4.6. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 4 .....	61
5.5. Posouzení vzpěr plošiny .....	64
5.6. Posouzení konzoly schodiště .....	65
5.6.1. Konzolový nosník.....	65
5.6.2. Vzpěra schodiště.....	67
5.6.3. Posouzení schodišťových stupňů .....	69
5.6.4. Posouzení schodnice .....	70
5.7. Posouzení střešního záklopu .....	71
5.8. Posouzení pochozích prken plošiny.....	73
6. Porovnání původního a nového návrhu.....	75
6.1. Výkaz materiálu původní návrh.....	75
6.2. Výkaz materiálu nový návrh.....	75
6.3. Grafické porovnání návrhů – objemy řeziva.....	76
6.3.1. Původní návrh.....	76

6.3.2. Nový návrh.....	76
6.4. Shrnutí.....	77
7. Návrh a posouzení konstrukčních detailů.....	78
7.1. Přípoj paždík sloup - jednostřížný.....	78
7.2. Přípoj sloup/sloup - dvojtřížný.....	81
7.3. Schodiště .....	83
7.3.1. Přípoj konzola/sloup .....	83
7.3.2. Přípoj konzola/vzpěra.....	86
7.3.3. Přípoj vzpěra / sloup .....	88
7.4. Plošina .....	90
7.4.1. Přípoj vzpěra plošiny – sloup .....	90
7.4.2. Přípoj vzpěra věnec plošiny/sloup.....	92
7.5. Návrh přípoje okrajová výměna střecha / vedlejší nosník střecha .....	95
7.6. Návrh přípoje střešní výměna / hlavní nosník .....	96
7.7. Přípoj hlavní střešní nosník / sloup .....	98
7.7.1. Posudek přípoje ocelového plechu na svislý sloup.....	98
7.7.2. Posouzení přípoje ocelového plechu na vodorovný nosník.....	100
8. Závěr .....	103
9. Seznam obrázků.....	105
10. Seznam grafů .....	107
11. Seznam tabulek .....	107
12. Seznam použité literatury .....	108
13. Seznam použitých norem.....	109

# 1. Úvod

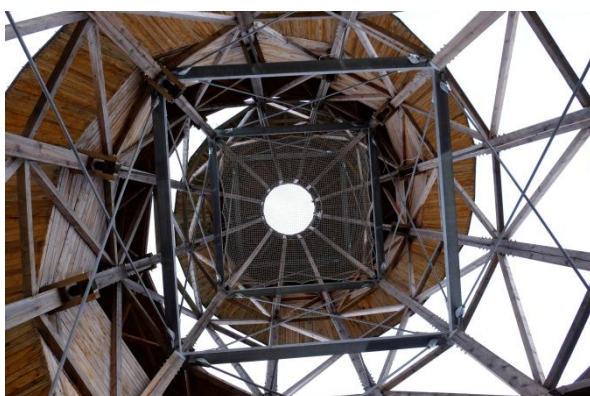
## 1.1. Popis konstrukce

Stávající konstrukce rozhledny se nachází na vrcholu kopce Velký Kosíř, v nadmořské výšce 442 m.n.m.. Výstavba byla započata v roce 2012 a pro veřejnost byla rozhledna otevřena 22.6.2013. Velký Kosíř je významný vrch v geomorfologickém podcelku Bouzovská vrchovina – nejnižším podcelku Zábřežské vrchoviny, ležící 9km severozápadně od Prostějova a 15km jihozápadně od Olomouce. Jeho vrcholová část náleží ke katastru obce Slatinky, okres Prostějov. jméno kopce pochází z protáhlého tvaru, který připomíná kosu. [1]

Jedná se o montovanou příhradovou dřevěnou konstrukci se ztužujícími ocelovými prvky, založení je na monolitickém železobetonovém základu. Půdorys je kruhový, řez lichoběžníkový – komolý kužel.



Obrázek 1: Foto stávajícího stavu



Obrázek 2: Pohled na nosnou část konstrukce

Samotnou konstrukci tvoří 12 hlavních svislých nosných prvků, z nichž čtyři jsou ve čtyřech výškových úrovních svázané ocelovými věnci. Tyto věnce jsou mezi sebou propojeny ocelovými táhly, která zajišťují ztužení konstrukce v příčném směru. Ostatní svislé nosné prvky jsou propojeny pomocí „výpletu“ z dřevěných hranolů, které zároveň tvoří optický plášť konstrukce.

Na vrcholu konstrukce je osazena plošina, která je tvořena 12ti hlavními nosníky, řazenými do hvězdicového tvaru a 12ti doplňkovými nosníky, které jsou umístěny na trámové výměně, nesené hlavními nosníky.

Konstrukce zastřešení je řešena podobně jako konstrukce plošiny a zatížení z ní je přenášeno pomocí 12ti vzpěr přímo do hlavních svislých prvků rozhledny. Kolem rozhledny se spirálovitě vine vykonzolované dřevěné točité schodiště.

Rozhledna je nyní z technických důvodů pro veřejnost zcela uzavřena.

## 1.2. Analýza stávající konstrukce

Konstrukce byla navržena architektem bez podpory statika a byly provedeny pouze zjednodušené základní výpočty pro stanovení základních dimenzí prvků, dimenze styčníků a spojů nebyly řešeny vůbec. Při bližším přezkoumání konstrukce, bylo zjištěno několik závad v provádění, rozpor skutečného stavu s projektovou dokumentací a chyby v projektové dokumentaci.

### 1.2.1. Materiál

Dle mého pohledu bylo na konstrukci použito nevhodné smrkové řezivo, které je vlivem povětrnosti vystaveno střídání vlhkosti a teploty, což spolu s volbou velkých průřezů a použitím dřeva ze zimní těžby, vede k velkým výsušným trhlinám v místech konstrukčních spojů a začínající degradaci dřeva vlivem vlhkosti. Protože je tato diplomová práce založena na novém, alternativním návrhu konstrukce jako celku, byla pro tento účel zvolena dřevina, která má vyšší obsah pryskyřice a tudíž vykazuje lepší odolnost proti povětrnosti. takové vlastnosti má například dřevo modřínové, které je polotvrdé, obsahuje značné množství pryskyřice, kterou je rovnoměrně prosyceno, je velmi trvanlivé a dobře odolává střídání vlhkosti i bez předchozích konzervačních opatření. Je to dřevo světle žluté barvy, stářím červená, až hnědně, je velmi pružné a vhodné na konstrukční prvky. [2] Jako nevýhoda se může jevit cena řeziva, která je o 10% - 15% vyšší oproti řezivu smrkovému. Vzhledem k úspoře potřebnému množství řeziva, díky výhodám které modřín nabízí, ať už jde o výše uvedené vlastnosti, nebo hodnoty návrhové meze pevnosti v ohybu, kdy modřín dosahuje hodnot okolo 40MPa a smrk 24MPa (měřeno při 20% vlhkosti), což povede k menším průřezům a úspoře materiálu, dojde v konečném výsledku k poklesu nákladů na výstavbu. Z výše uvedeného je patrné, že použití smrkového dřeva na tento druh konstrukce je zcela nevhodné a s přihlédnutím k výhodám modřínového dřeva i nepochopitelné.

druh dřeva	mez pevnosti v ohybu při vlhkosti (MPa)		druh dřeva	mez pevnosti v ohybu při vlhkosti (MPa)	
	w = 12%	w <sup>3</sup> 30%		w = 12%	w <sup>3</sup> 30%
modřín	112	62	dub	108	68
borovice	86	50	jasan	123	75
smrk	80	44	buk	109	65
jedle	69	41	bříza	110	60

Tabulka 1: Mez pevnosti v ohybu pro vybrané dřeviny

druh dřeva	mez pevnosti v tahu ve směru vláken (MPa)		druh dřeva	mez pevnosti v tahu ve směru vláken (MPa)	
	w = 12%	w <sup>3</sup> 30%		w = 12%	w <sup>3</sup> 30%
modřín	125	96	dub	132	100
borovice	103	79	jasan	145	109
smrk	103	79	buk	123	92
jedle	79	61	bříza	139	106

Tabulka 2: Pevnost v tahu ve směru vláken pro vybrané dřeviny

[3]

### 1.2.2 Závady a následné poruchy způsobené chybným provedením

Původní projekt, který měl autor této diplomové práce k dispozici se nezabýval návrhem a posouzením spojů a detailů. Důsledkem tohoto stavu bylo nedodržení osových vzdáleností jednotlivých spojovacích prvků, zkonstruování „čtyřstržných“ spojů, které nyní vykazují vzhledem k použité dimenzi spojovacích prostředků značné deformace.



Obrázek 3: „čtyřstržný“ deformovaný spoj



Obrázek 4: Výsušné trhliny v místě spojovacích prostředků



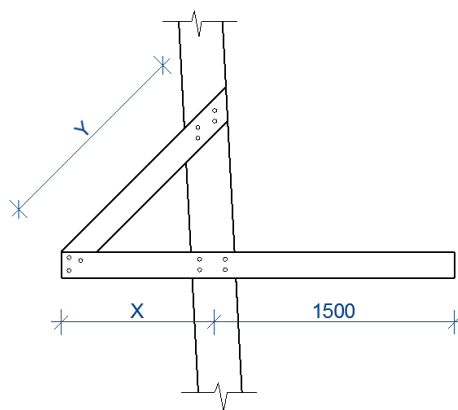
Obrázek 6: Nedodržení osových vzdáleností spojovacích prvků



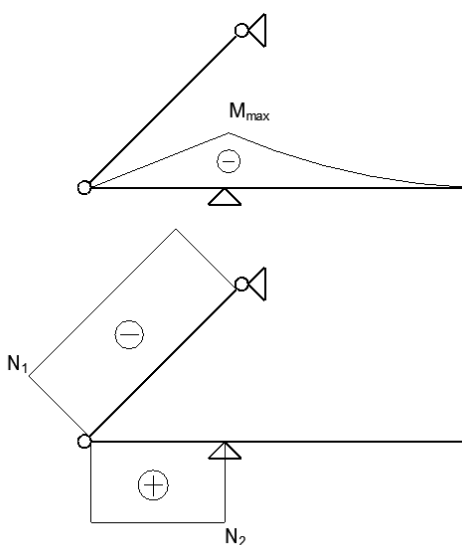
Obrázek 5: Nedodržení osových vzdáleností spojovacích prvků

### 1.2.3. Rozbor chování konstrukce schodiště

Nejzávažnější z uvedených poruch je chybné provedení upevnění spirálovitého schodiště, které neplní svoji statickou funkci a byly na něm zaznamenány nadměrné deformace. (viz. obrázek 3)



Obrázek 7: Geometrie konstrukce



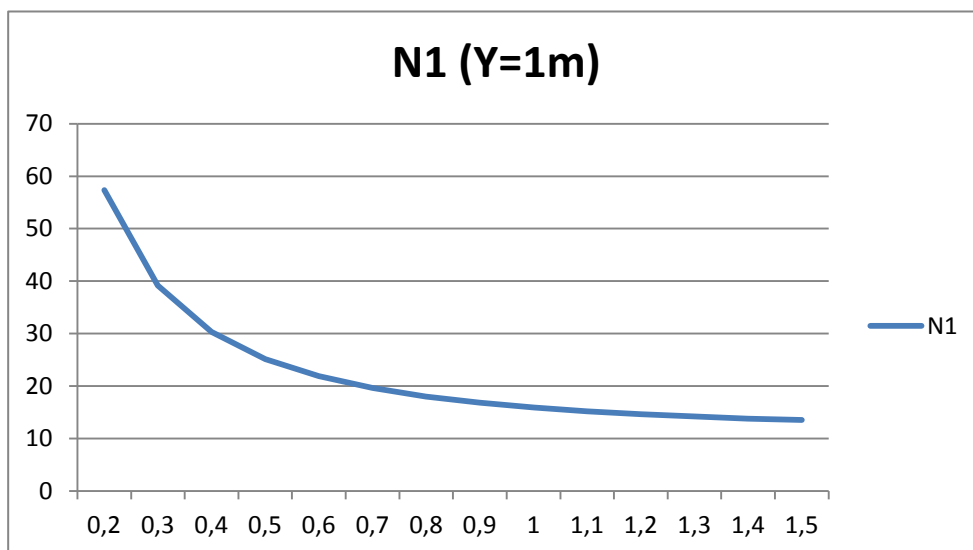
Obrázek 8: Průběhy vnitřních sil

X[m]	N1 [kN] fixní Y=1m
0,2	57,36
0,3	39,15
0,4	30,29
0,5	25,15
0,6	21,86
0,7	19,61
0,8	18
0,9	16,8
1	15,9
1,1	15,2
1,2	14,6
1,3	14,2
1,4	13,8
1,5	13,5

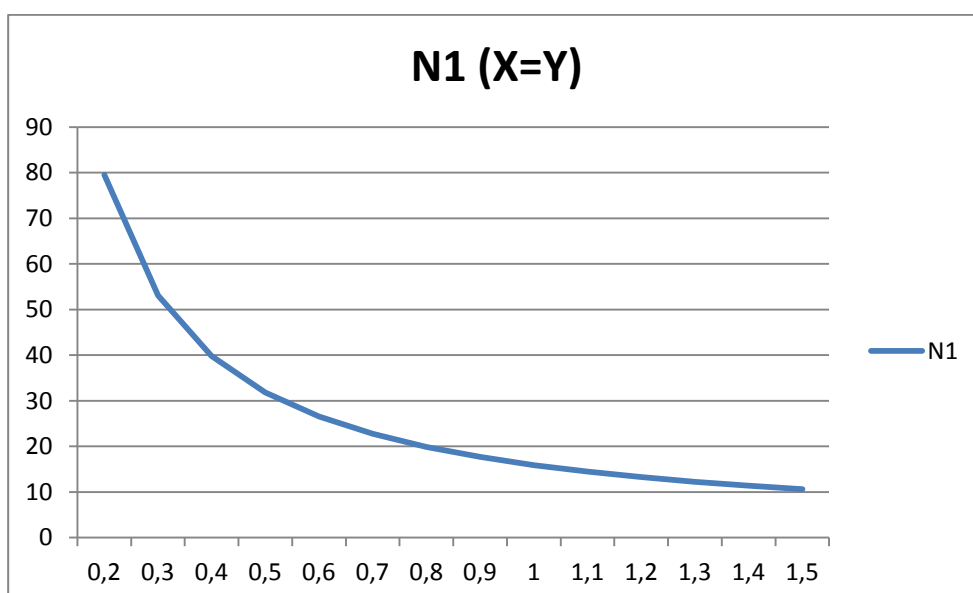
Tabulka 3: Hodnoty normálové síly Y fixní

X=Y [m]	N1 [kN]
0,2	79,54
0,3	53,03
0,4	39,77
0,5	31,81
0,6	26,51
0,7	22,72
0,8	19,88
0,9	17,67
1	15,9
1,1	14,46
1,2	13,25
1,3	12,23
1,4	11,36
1,5	10,6

Tabulka 4: Hodnoty normálové síly X=Y



Graf 1.: Průběh normálové síly ve vzpěře pro Y=1m



Graf 2.: Průběh normálové síly ve vzpěře pro Y=X

Z výše uvedeného je patrné, že vzpěra, která má geometrii menší jak  $\sim Y=0,8$  m a  $X=0,8$  m vykazuje vysoké hodnoty normálových sil a tím souvisejí i vysoké požadavky na spojovací prostředky vzpěry. Neoptimálnější se tedy jeví poměr ramen 1:0,8. Z důvodu jednoduchosti provádění je vhodné zachovat úhel sklonu vzpěry na hodnotě  $45^\circ$  a upravit pouze délku vzpěry a to minimálně na hodnotu 1,2 m, tímto opatřením se dostaneme v grafu 2 za strmě klesající křivku a hodnota normálové síly se bude pohybovat pod 20 kN.

Další nalezené vady nejsou nebezpečné a nebrání provozu, jedná se pouze o estetické detaily, ošetření spojů proti vlhkosti, popřípadě nesrovnalosti v projektové dokumentaci (sklon hlavních nosných svislých prvků, chybné výškové kóty,...)

Tato práce se bude dále zabývat novým návrhem výše zmíněné rozhledny, který eliminuje nedostatky v projektové dokumentaci, jako je hlavně nepřiložený návrh spojů a detailů. Dále se zaměří na dimenzi jednotlivých prvků, které budou porovnány se skutečným stavem.



## 2. Zatížení

### 2.1. Zatížení větrem

Vzhledem k umístění stavby, která se nachází ve větrné oblasti II, byla výchozí základní rychlost větru  $v_{b,0}$  stanovena na 25 m/s a dále byla stavba zařazena do kategorie terénu II.

*Výpočet základního středního tlaku větru:*

$$\begin{aligned}q_b &= \frac{1}{2} \rho v_{b,0}^2 \\v_{b(0)} &= 25 \text{ m/s} && \text{(oblast II)} \\q_b &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 25^2 = 375 \text{ N / m}^2 \\C_{e(z)} &= 3,1 && \text{(h=28,3m)}\end{aligned}$$

*Základní tlak větru na vnější konstrukce:*

$$\begin{aligned}W_{ei} &= q_b \cdot C_{e(z)} \cdot C_{pe} \\W_{ei} &= 0,375 \cdot 3,1 \cdot C_{pe} = 1,1625 \cdot C_{pe} \\C_{pe} &\dots \text{součinitel tlaků a sil, uvažován } C_{pe,10} \text{ (rámy, průvlaky, sloupy)}\end{aligned}$$

*Součinitele vnějších tlaků pro ploché střechy – doporučené hodnoty:*

$$\begin{aligned}C_{pe,10} \text{ (D)} &= +0,8 \\C_{pe,10} \text{ (E)} &= -0,7 \\C_{pe,10} \text{ (F)} &= -1,8 \\C_{pe,10} \text{ (G)} &= -1,2 \\C_{pe,10} \text{ (H)} &= +0,7 \\C_{pe,10} \text{ (I)} &= +0,2\end{aligned}$$

*Charakteristické hodnoty zatížení větrem:*

$$\begin{aligned}W_{e(D)} &= 0,8 \cdot 1,1625 = -0,93 \text{ kN/m}^2 \\W_{e(E)} &= -0,7 \cdot 1,1625 = -0,81 \text{ kN/m}^2 \\W_{e(F)} &= -1,8 \cdot 1,1625 = -2,09 \text{ kN/m}^2 \\W_{e(G)} &= -1,2 \cdot 1,1625 = +1,39 \text{ kN/m}^2 \\W_{e(H)} &= 0,7 \cdot 1,1625 = -0,81 \text{ kN/m}^2 \\W_{e(I)} &= 0,2 \cdot 1,1625 = +0,23 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Převedení zatížení větrem na jednotlivé prvky					
zatížení větrem				0,375 kN/m <sup>2</sup>	
název	šířka [m]	výška [m]	průměr [m]	liniové zatížení na kci [kN/m]	
Střech vzpěry šikmé	0,2	0,2	0,2		0,075
Střecha vzpěry svislé	0,14	0,24	0,19		0,07125
Střecha sloupky	0,14	0,14	0,14		0,0525
Sloup sekce 1	0,35	0,35	0,35		0,13125
Sloup sekce 2	0,28	0,28	0,28		0,105
Slop sekce 3	0,24	0,24	0,24		0,09
Vzpěry u plošiny	0,16	0,24	0,2		0,075
Věvec	0,24	0,24	0,24		0,09
Výplet	0,12	0,12	0,12		0,045
Táhla	0,05	0,05	0,05		0,01875

Tabulka 5: Převod zatížení od větru

## 2.2. Zatížení sněhem

Dle ČSN EN 1992-1-3:2005/Z1:2006 byla zvolena sněhová oblast 2

$$s_k = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,70 = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

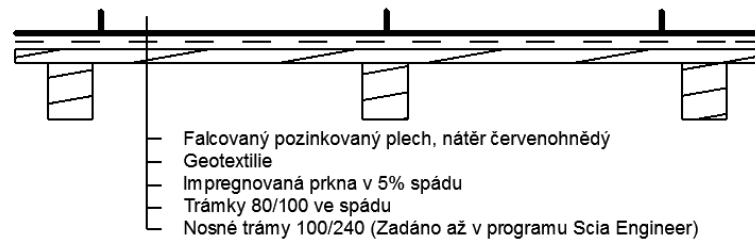
$$s_d = \lambda_f \cdot s_k = 0,7 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$\mu_i$  pro střechy se sklonem  $\alpha = 0^\circ \div 30^\circ \mu_i = 0,8$

Ce ,Ct Dle NAD ČR:  $C_e = 1,0$   
 $C_t = 1,0$

## 2.3. Střešní konstrukce

### 2.3.1. Zatížení stálé



Obrázek 9: Schéma skladby střešní konstrukce

Skladba konstrukce střechy:		charakteristické	$\lambda_f$	návrhové
Falcovaný pozinkovaný plech	80.0,003	0,240 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,324 kN/m <sup>2</sup>
impregnovaná prkna	4,5.0,024	0,108 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,146 kN/m <sup>2</sup>
Vlastní tíha trámky		0,300 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,405 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma$	0,648 kN/m <sup>2</sup>	$\Sigma$	0,875 kN/m <sup>2</sup>

### 2.3.2. Zatížení užité

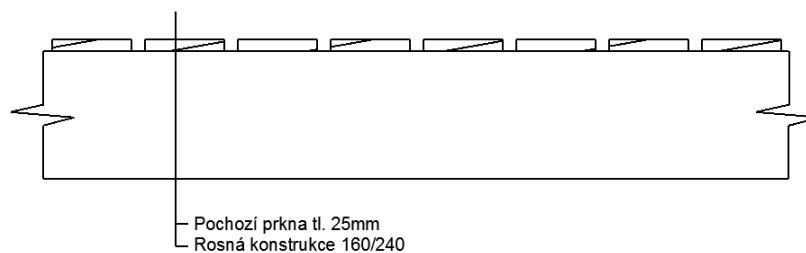
montážník (střecha kategorie H)	0,4	kN/m <sup>2</sup>	1,5	0,6	kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----	-------------------	-----	-----	-------------------

Pozn.: Zatížení montážníkem uvažováno dle ČSN EN 1991-1-1 jako doporučená hodnota

[4]

## 2.4. Plošina

### 2.4.1. Zatížení stálé



Obrázek 10: Schéma skladby podlahy

Skladba:		charakteristické	$\lambda_f$	návrhové
Pochozí prkna	5,5.0,035	0,193 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,289 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma$	0,193 kN/m <sup>2</sup>	$\Sigma$	0,289 kN/m <sup>2</sup>

Pozn.: Do stálého zatížení skladbou plošiny není započítána nosná konstrukce z důvodu modelování v programu Scia Engineer, kde je tato konstrukce zavedena do výpočtu jako zatěžovací stav „vlastní tíha“

## 2.4.2. Zatížení užité

a) Dle ČSN EN 1991-1-1 TAB.1 byla konstrukce plošiny zařazena do kategorie C5: Plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní síně, sportovní haly, včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště.

Zvolena doporučená charakteristická hodnota:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

Výpočtová hodnota užitého zatížení:

$$q_d = q_k \cdot \lambda_f$$

$$q_d = 5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

b) Zatížení zábradlí kategorie C →  $q_k = 1 \text{ kN/m}'$

## 2.5. Zatížení schodiště

### 2.5.1. Zatížení stálé

Vlastní tíha konstrukce schodiště, která bude do výpočtu zavedena jako liniové zatížení, byla spočtena přes objem použitého materiálu.

Název	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]	$\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Tíha [kN]
Trám střecha	1,5	0,12	0,18	4,5	0,1458
Sloupek	2,5	0,12	0,18	4,5	0,243
Stup./podstup.	1,5 (8x)	0,035	0,2	4,5	0,378
Trám střecha	1	0,12	0,18	4,5	0,0972
Trámky	1 (4x)	0,08	0,08	4,5	0,1152
					0,979 kN

Charakteristická hodnota zvolena 0,979 kN, převedeno na liniové zatížení v délce 1,5 m o zatěžovací šířce 2,5 m → 2,44 kN/m'.

Výpočtová hodnota liniového zatížení  $2,44 \cdot 1,35 = 3,67 \text{ kN/m}'$ , zatížení od sněhu bude do modelu zavedeno jako osamělé břemeno, působící na okraji konzoly.

### 2.5.2. Užiténé zatížení

Dle ČSN EN 1991-1-1 TAB.1 byla konstrukce schodiště zařazena do kategorie A.

$q_k$  z důvodu možnosti shromáždění velkého množství lidí volena dle národní přílohy a to hodnotou  $3 \text{ kN/m}^2$

Zvolená charakteristická hodnota:

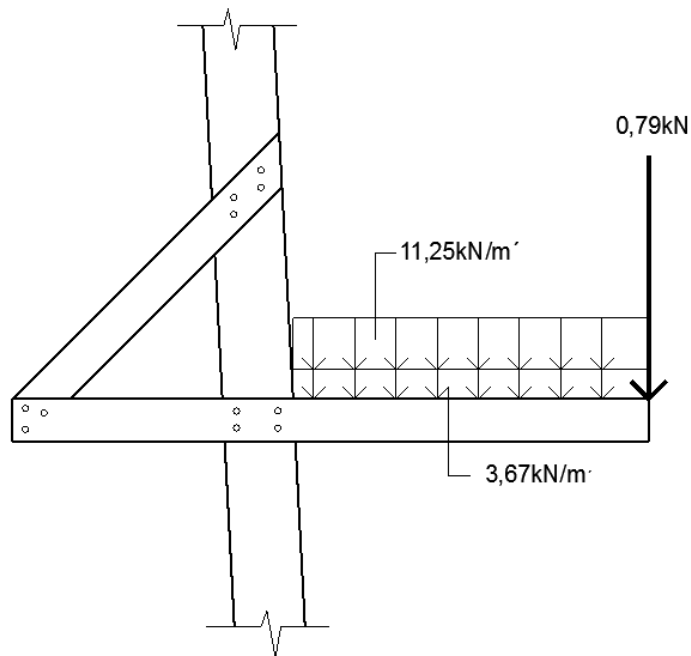
$$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

Výpočtová hodnota užiténého zatížení:

$$q_d = q_k \cdot \lambda_f$$

$$q_d = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

Charakteristická hodnota zatížení  $3 \text{ kN}$ , převedeno na liniové zatížení v délce  $1,5 \text{ m}$  přes zatěžovací šířku  $2,5 \text{ m} \rightarrow 7,5 \text{ kN/m}'$  (výpočtová hodnota liniového zatížení  $11,25 \text{ kN/m}'$ )



Obrázek 11: Schéma zatížení schodišťové konzoly

## 3. Model

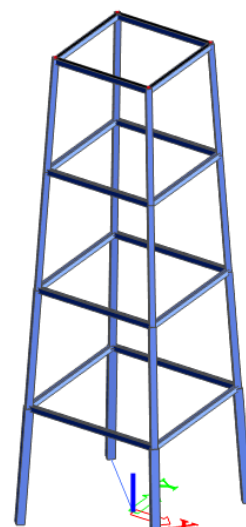
### 3.1. Konstrukce jednotlivých prvků modelu

Jako jeden z prvních kroků bylo zvoleno vytvořit v programu Scia Engineer podrobný 3D model konstrukce dle projektové dokumentace. Vzhledem ke složitosti konstrukce a zejména pro názornost postupu, bude součástí této práce vyobrazení postupného modelování konstrukce rozhledny s popisem jednotlivých prvků. Díky podrobnému 3D modelu bude možné získat odpovídající hodnoty vnitřních sil a přiblížit chování konzoly schodiště. Model konstrukce bude využit též pro ověření hodnot vzpěrných délek v rámci řešení kritických sil získaných z výpočtu pomocí lineární stability.

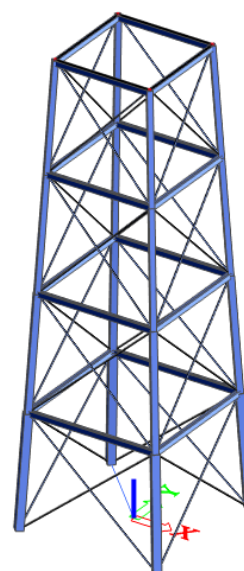
Nejprve byla vytvořena základní kostra rozhledny, kterou tvoří čtyři dřevěné nosníky, propojené ocelovými věnci. Ocelové věnce jsou dimenze 2x UPE 240, dřevěné nosníky ve sklonu 86° jsou rozděleny do čtyř sekcí, každá sekce disponuje rozdílným průřezem:

Sekce 1 -	350/350 mm
Sekce 2 -	280/280 mm
Sekce 3 a 4 -	250/250 mm

Osazení ztužujících táhel o průměru 50 mm. Táhla spolu s ocelovými věnci zajišťují tuhost konstrukce při výstavbě. Táhla probíhají diagonálně a propojují jednotlivé ocelové věnce.

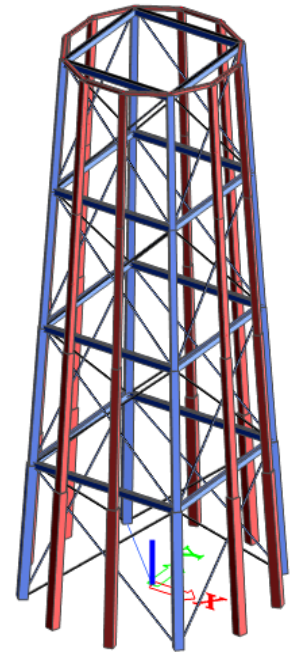


Obrázek 12: Model - hlavní nosníky

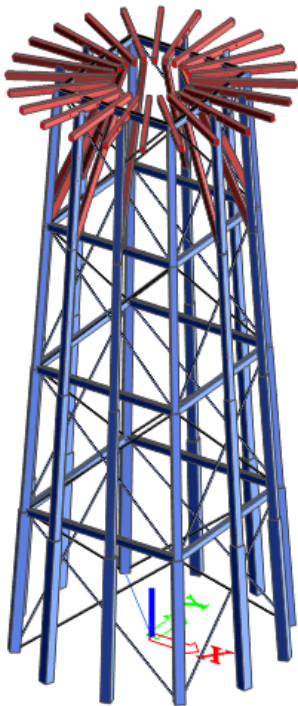


Obrázek 13: Model - hlavní nosníky

Osazení osmi vedlejších sloupů, které jsou ve vrcholu provázány pomocí dřevěného věnce o průřezu 120/120 mm. Dimenze vedlejších sloupů je shodná se sloupy hlavními. Sekce sloupů jsou mezi sebou propojeny ocelovými plechy s tloušťkou 12 mm a ocelovými svorníky. V modelu byl tento spoj uvažován jako vetknutý a to z důvodu jeho dimenze, masivnosti a charakteru vnitřních sil, působících ve sloupech.



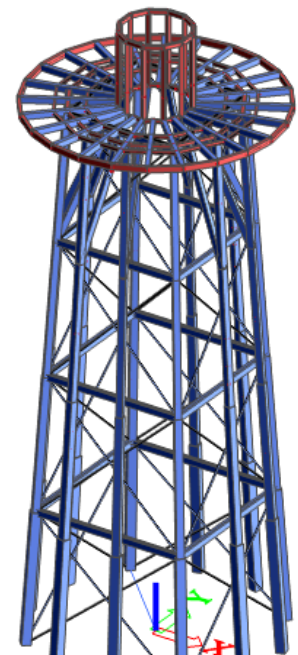
Obrázek 14: Model - vedlejší nosníky



Obrázek 16: Model - plošina

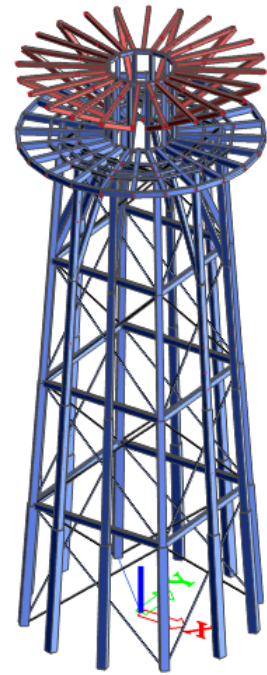
V další fázi bylo na vrchol věže umístěno 24 nosníků plošiny o rozměrech 160/240 mm, z nichž polovina je podepřena vzpěrami o stejném průřezu. Vzpěry jsou opřeny o ocelový věnec ve třetím patře rozhledny.

Jednotlivé nosníky plošiny jsou provázány pomocí trámových výměn a dřevěných věnců o průřezech 120/240 mm. Dále byly osazeny sloupy střešní konstrukce, které mají průřez 160/240 mm a ve vrcholu jsou svázány ocelovým věncem UPE 240.

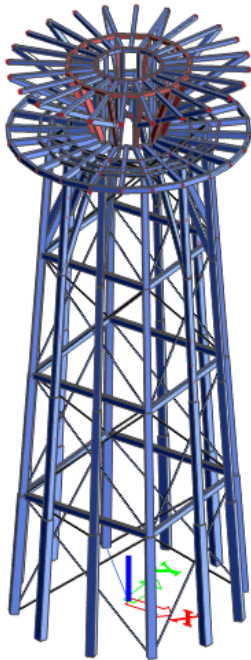


Obrázek 15: Model - věnec + střecha

V další části byla konstrukce opatřena střešními nosníky o průřezu 140/240 mm, přičemž každý druhý nosník je na svém konci podepřen dřevěnou vzpěrou o rozměrech 200/200 mm, nepodepřené nosníky působí jako samostatné konzoly.



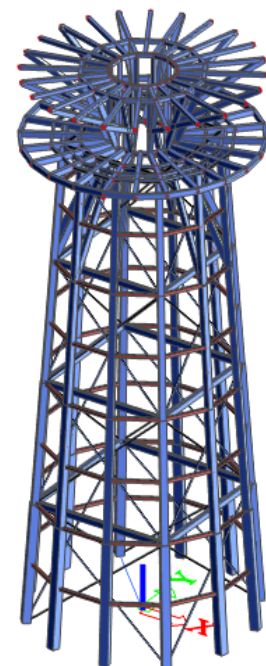
Obrázek 17: Model - Střešní nosníky a vzpěry



Obrázek 18: Model - ztužující věnec + vzpěry

Dále byly střešní nosníky, které nemají konzolové působení, podepřeny v 1/3 svého rozpětí vzpěrami o rozměrech 140/240 mm, které zmenšují rozpětí nosníku a přenášejí zatížení od střechy přímo do vzpěr, podpírajících plošinu. Současně byla střešní konstrukce opatřena v místě dodatečných vzpěr ztužujícím dřevěným věncem, který má rozměr 140/160 mm a zároveň slouží jako trámová výměna pro konzolové střešní nosníky, čímž zkracuje jejich délku a zmenšuje moment na konzole.

Osazení vodorovnými paždíky, které probíhají vždy ve výšce ocelových věnců a v polovině této výšky. Paždíky jsou dřevěné trámký o průřezu 150/150 mm a jsou pomocí dvou šroubů připevněny ke každému z 12ti sloupů.



Obrázek 19: Model - ztužující věnec + vzpěry



Dále byla konstrukce doplněna o diagonální paždíky, které dle původní představy architekta plnily pouze estetický účel. Paždíky probíhají diagonálně mezi jednotlivými sloupy a spojují výškové úrovně, které byly vytvořeny pomocí vodorovných paždíků. Ve skutečnosti ale paždíky významně spolupůsobí s nosnými sloupy a jsou poměrně značně zatížené.



Obrázek 21: model - konzola schodiště

45°. Křížení konzoly s hlavním nosným sloupem bylo v modelu zjednodušeně navrženo jako kloubové křížení, avšak na reálné konstrukci je proveden tesařský spoj tzv. kámpování, který spoj zařadí do kategorie částečného vetknutí a napomáhá ve statickém působení schodiště. Pokud je ale tento spoj zanedbán a dimenze schodiště bude navržena pro kloubové křížení, pak se v tomto konkrétním případě jedná o stranu bezpečnou.

Jako další a poslední součást modelu byla provedena část konstrukce schodiště, která v tomto modelu má pouze vedlejší funkci pro zavedení zatížení. jedná se o trámký velikosti 200/200 mm, které jsou kloubově připojeny ke konstrukci rozhledny. Veškeré nežádoucí rotace prvků v tomto modelu byly zachyceny pomocí fiktivních podpor, které zabraňují pouze rotaci kolem vlastní osy prvku.



Obrázek 22: model - konstrukční prvky schodiště

## 3.2. Zatížení modelu

Veškeré zatížení bylo již stanoveno v kapitole 2, této práce. Tato kapitola se bude zabývat ukázkou aplikace zatížení na model.

### 3.2.1. Zatěžovací stavy

Jméno	Typ působení	Skupina zařížení	Typ zařížení	Spec	Směr	Působení	Rídící zat. stav
Vlastní tíha	Stálé	LG1	Vlastní tíha		-Z		
Vlastní tíha doplňkové kce	Stálé	LG1	Standard				
Sníh	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Vítr střecha	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Vítr X	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Vítr Y	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Montážník	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Užitné plošina	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
Užitné schodiště	Proměnné	LG2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný

Tabulka 6: Zatěžovací stavy

### 3.2.2. Kombinace zatížení

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
C01	Obálka - únosnost	Vlastní tíha	1,35
		Sníh	1,50
		Montážník	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
C02	Obálka - únosnost	Vlastní tíha	1,35
		Vítr střecha	1,50
		Vítr X	1,50
		Užitné plošina	1,50
		Užitné schodiště	1,50
C03	Obálka - únosnost	Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha	1,35
		Vítr střecha	1,50
		Vítr Y	1,50
		Užitné plošina	1,50
		Užitné schodiště	1,50
C04	Obálka - únosnost	Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha	1,35
		Sníh	1,50
		Vítr střecha	1,50
		Vítr Y	1,50
		Užitné plošina	1,50
C05	Obálka - únosnost	Užitné schodiště	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha	1,35
		Sníh	1,50
		Vítr střecha	1,50
		Vítr Y	1,50
C06	Lineární - únosnost	Montážník	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha	1,35
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
C07	Lineární - únosnost	Vlastní tíha	1,35
		Sníh	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
C08	Lineární - únosnost	Vlastní tíha	1,35
		Montážník	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35
C09	Lineární - únosnost	Vlastní tíha	1,35
		Sníh	1,50
		Montážník	1,50
		Vlastní tíha doplňkové kce	1,35

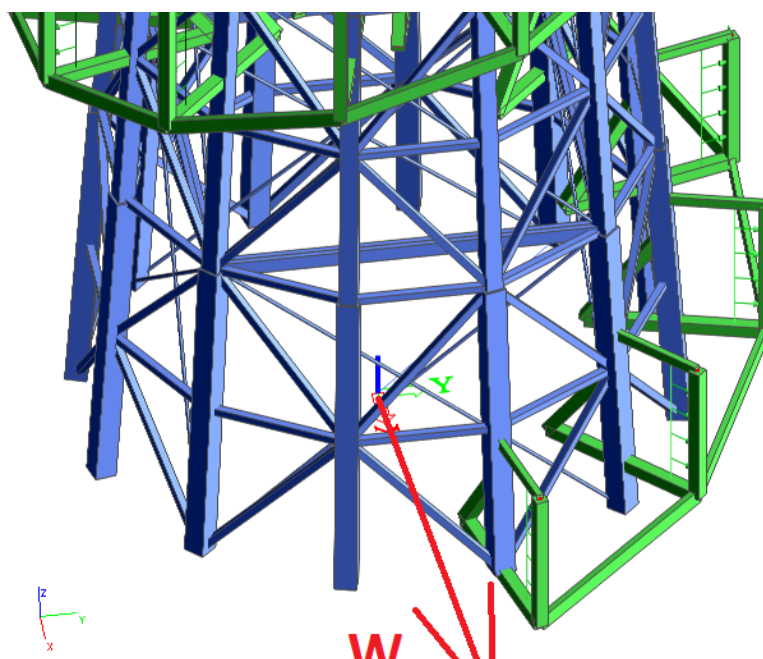
Tabulka 7: Kombinace zatížení

Pozn.: V programu Scia Engineer nebylo využito vztahů pro kombinace v rámci MSÚ 6.10a a 6.10b, neboť vlastní hmotnost konstrukce je poměrně malá a rozdíl mezi zjednodušeným vztahem 6.10 a vztahy 6.10a ,6.10b nebyl významný

### 3.2.3. Zatížení větrem

Zatížení na model bylo zaváděno dle obvyklých kritérií v souladu s ČSN EN 1991-1-1. Vzhledem k typu a charakteru konstrukce bylo ale nutné zaměřit se na zatížení větrem, které bylo převedeno na liniové zatížení, působící na jednotlivé prvky konstrukce, respektive na jejich průmět v daném směru – data o převodu viz kapitola 2.1.

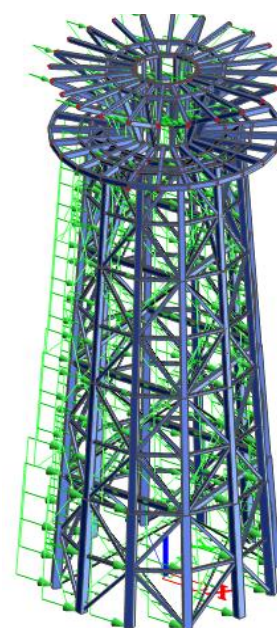
Zatížení od větru na konstrukci schodiště bylo namodelováno s přihlédnutím na možnost „naplnění“ schodišťového prostoru větrem. V daném směru bylo zavedeno zatížení, které směrem od osy směru působení větru klesalo. Směr působení tohoto zatížení nebyl totožný se směrem větru, ale působil kolmo na vnitřní plášť schodiště.



Obrázek 23: Ukázka naplnění schodiště při působení větru

### 3.2.3.4. Směry zatížení

Zatížení od větru bylo aplikováno ve směru „X“ a ve směru „Y“. Toto zatížení částečně aktivuje ocelová táhla, která začnou přenášet tahové síly. Pokud ale zatížení od větru působí diagonálně, tedy ve směru „XY“, nedojde k aktivaci ocelové konstrukce a značnou část zatížení od větru přebírají paždíky, které tvoří plášť rozhledny. Kvůli převodu zatížení na směr „XY“ byl vytvořen druhý konstrukční model, s pootočeným souřadným systémem o 45°. Po této úpravě došlo k deaktivaci táhel a k přenosu zatížení od větru na konstrukci pláště.

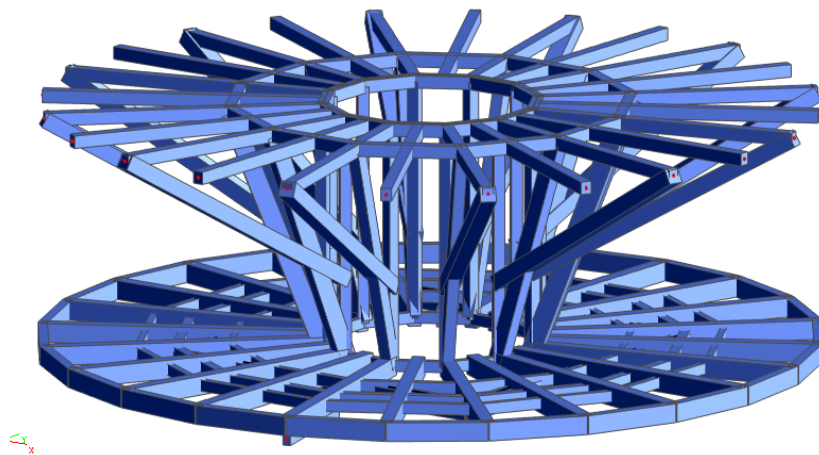


### 3.3. Rozpor model/realizace

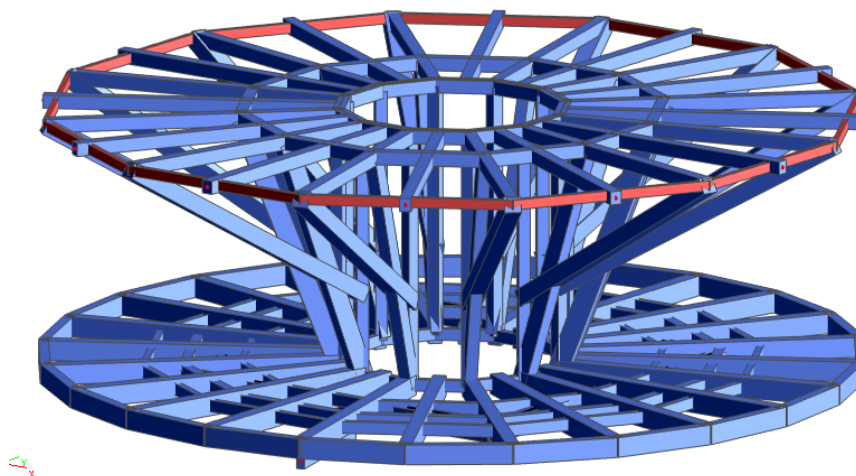
V této kapitole budou postupně popsány jednotlivé poznatky, které objasnil konstrukční model. Budou zde uvedeny rozpory v reálném a předpokládaném chování konstrukce, možnosti vhodných úprav a případné alternativní řešení bude na modelu porovnáno s navrženou konstrukcí. Vzhledem k tomu, že při návrhu konstrukce rozhledny nebyl z finančních důvodů proveden numerický model konstrukce, projektant použil pouze zjednodušené výpočty a úvahy, které v některých případech vedly k neekonomickým řešením, avšak byly na straně bezpečné.

#### 3.3.1. Střešní konstrukce

Střešní konstrukce byla uvažována jako nosník s převislým koncem, toto však platí pouze pro polovinu nosníků, pokud na okraj střechy bude umístěna trémová výměna, která bude podpírat konzolové nosníky a část zatížení převede na nosníky, které jsou podepřené vzpěrami, několikanásobně se zmenší momentové účinky a zefektivní se konstrukce. Podrobný návrh střešního nosníku je proveden v kapitole 5.2.



Obrázek 24: Původní návrh střešní konstrukce

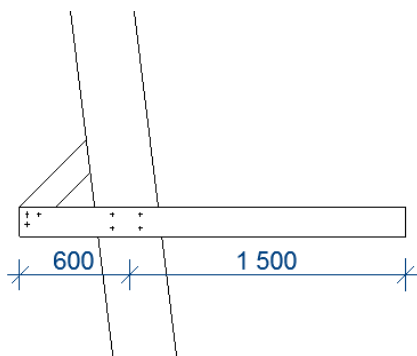


Obrázek 25: Alternativní návrh Střešní konstrukce

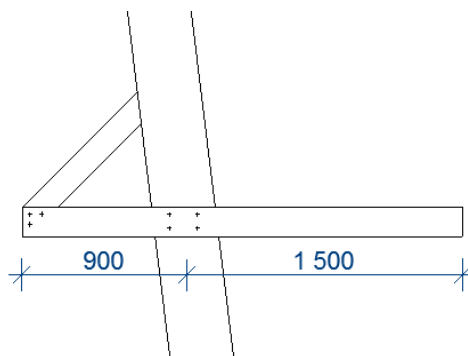
### 3.3.2. Konstrukce schodiště

Nosná konstrukce schodiště, jako konzolového nosníku se vzpěrou, byla ve stávající konstrukci od začátku poddimenzována a společně s chybami při provádění došlo k nadměrným deformacím. Této problematice se podrobně věnovala kapitola 1.2.3., zde budou pouze uvedena data z původního a alternativního modelu.

*Původní návrh konstrukce:*



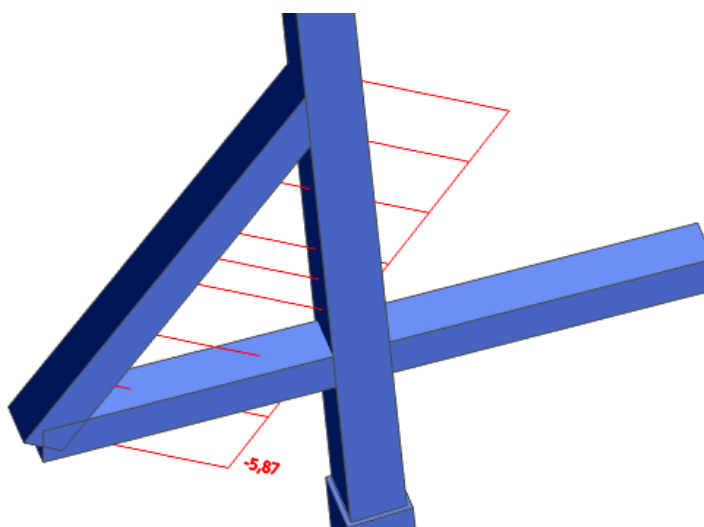
*Nový návrh konstrukce:*



Obrázek 26: Porovnání konzoly schodiště

Konstrukce schodiště byla původně navržena jako částečně uzavřený prostor a při zatížení větrem se tento prostor zaplnil a vyvozoval velké vnitřní síly v konstrukci. V alternativním návrhu, bude konstrukce schodiště nezastřešená a bude na vnější straně opatřena zábradlím o výšce 1200 mm.

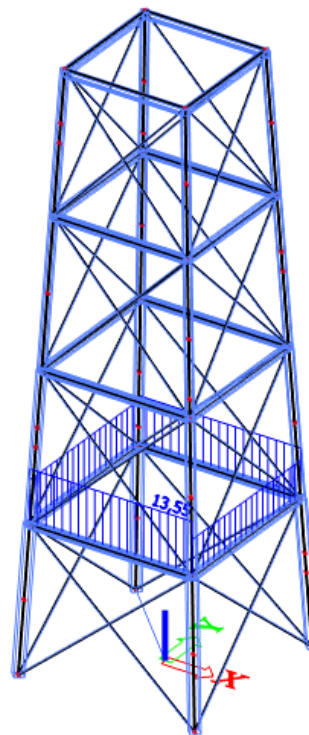
Těmito úpravami, byla snížena normálová síla ve vzpěře z 9,62 kN na hodnotu 5,87 kN. Dále prováděcí firma v místě opření vzpěry o hlavní nosný sloup vzpěru připevnila 2x stavebními hřebíky 4x100, kdy došlo k prokluzu ve spoji a k objemové změně hlavního sloupu, což zapříčinilo pokles schodiště. V novém návrhu je nezbytné ošetření tohoto detailu, vhodné je například použití tesařského spoje, tzv. zapaštění.



Obrázek 27: Normálová síla ve vzpěře schodiště

### 3.3.3. Ocelové věnce

Při návrhu původní konstrukce rozhledny bylo předpokládáno, že věnce zachytí normálové síly z táhel, které vznikají při působení větru. Při analýze pomocí 3D modelu se ukázalo, že konstrukce při působení větru působí jinak, než bylo předpokládáno a v ocelových věncích vznikají tahové síly o maximální hodnotě 13,55 kN. V rámci nově navržených úprav pomocí komplexního 3D modelu se tato práce bude zabývat přerozdělením zatížení na táhla a novou dimenzí ocelových věnců, u kterých je navrhována i změna materiálu, popřípadě jejich odstranění viz. kapitola 4.

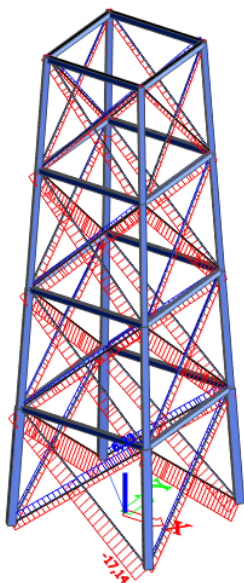


Obrázek 28: Maximální normálová síla ve věnci

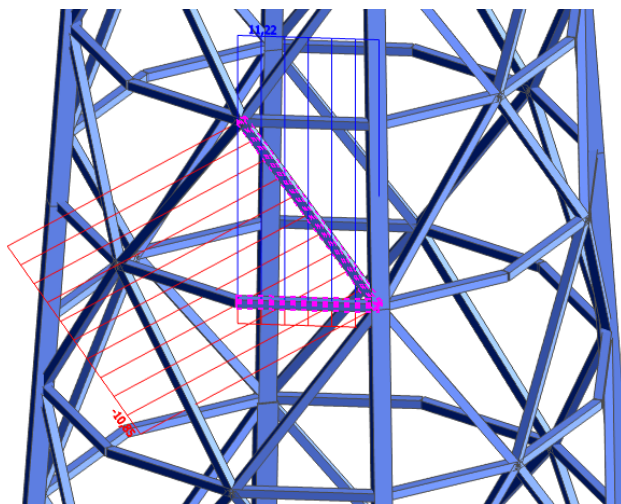
### 3.3.4. Ocelová táhla

Navržená ocelová táhla o průměru 50 mm byla v době průzkumu zcela volná a nepřenášela tahové síly. Vlivem deformací původní předepnutí zcela vymizelo, táhla jsou uvolněná a nespoluúčastní. Zatížení od větru je nyní přenášeno vnějším dřevěným pláštěm, který měl plnit pouze estetickou funkci.

Na obrázku níže jsou vyobrazeny vnitřní síly při kombinaci zatížení, tlak ve většině táhel dosahuje hodnoty 17,14 kN, tah ve dvojici táhel nabývá hodnoty 6,33 kN. Naproti tomu je obrázek vpravo, na kterém je vyobrazen plášť rozhledny, přenášející tahové a tlakové normálové síly, které se pohybují okolo hodnoty 11 kN.



Obrázek 30: Tlakové napětí v táhlech



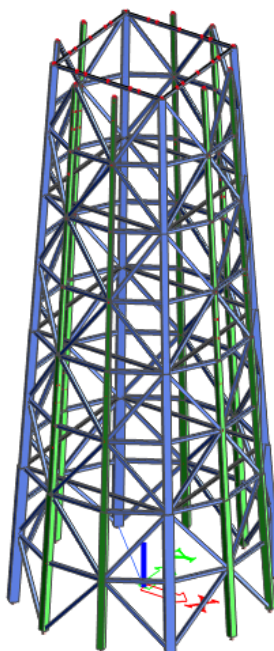
Obrázek 29: Přenos zatížení pláštěm

Plášť rozhledny na tyto síly není navržen, jednotlivé prvky jsou k nosným sloupům připevněny dvojicí vrutů o rozměru 6,0 x 100 mm a zapuštěním. Vzhledem ke geometrii pláště, tvoří konstrukce tuhou skořápku, která přebírá značnou část zatížení od větru.



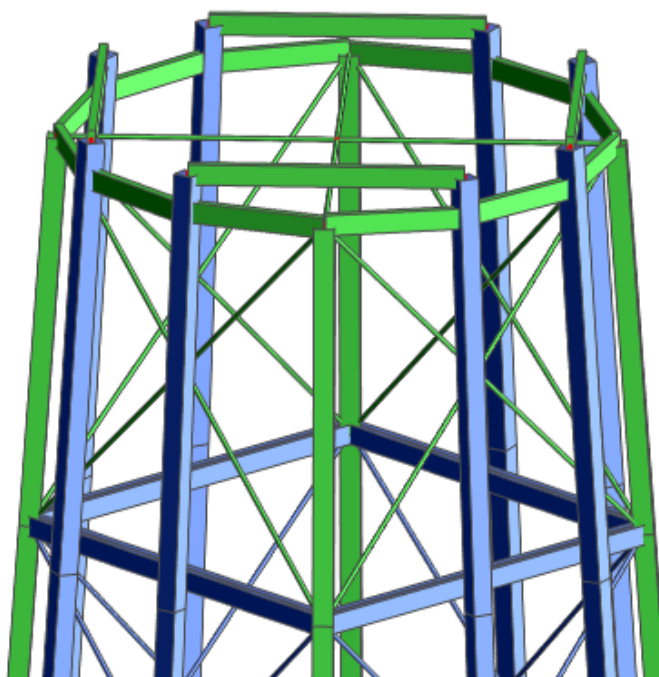
Obrázek 31: Uchycení pláště rozhledny

V numerickém modelu bylo vytvořeno několik variant, které snižovaly normálové síly v plášti. Jako první možnost byl zmenšen průřez osmi vedlejších sloupů na průřez 150/150 mm, tím se zmenšila tuhost pláště a došlo k přerozdělení sil. Původní hodnota maximální tlakové normálové síly v plášti byla 10,85 kN a síla v táhlech se pohybovala okolo hodnoty 6,33 kN. Po aplikaci výše uvedeného řešení se hodnota normálové síly v plášti snížila na 8,56 kN a maximální síla v táhle nabývala hodnoty 8,23 kN, Plášť tudíž stále disponuje velkou tuhostí a tato úprava neřeší daný problém.



Obrázek 32: Použití subtilních sloupů

Jako další se nabízí oddílatování hlavních nosných sloupů, ocelových věnců a táhel od zbytku konstrukce rozhledny. Pro tento účel je vytvořen model, ve kterém dochází ke zkrácení hlavních nosných sloupů o 30 cm. Na vedlejších sloupech je vytvořen překlad, který přenáší zatížení z plošiny pouze do vedlejších sloupů, tím je zajištěno snížení normálové síly v hlavních sloupech a dochází k lepší aktivaci táhel. Spolupůsobení jádra a nosné konstrukce rozhledny zajišťuje ocelový věnec, umístěný pod plošinou.



Obrázek 33: Pohled na konstrukční řešení oddílatování jádra

Toto opatření sníží sílu v táhlech z hodnoty 6,33 kN na hodnotu 5,2 kN a síla v plášti se zvýší z hodnoty 10,85 kN na hodnotu 20,3 kN. Dochází k přerozdělení zatížení a opatření má negativní účinek.

Jako další možnost je úplné odstranění ocelových táhel o průměru 50mm a ocelových věnců o průřezu 2x UPE240, tím je veškeré zatížení od větru přeneseno do konstrukce pláště, který nyní musí být na tyto síly nadimenzován. Maximální normálová síla v plášti nabývá hodnoty -26,75 kN, což je o 84% víc, než byla původní hodnota normálové síly. Podrobný návrh a posouzení pláště bude proveden v kapitole 5.

konstrukce	původní hodnoty [kN]	subtilní sloupy [kN]	oddílatované jádro [kN]	odstranění táhel [kN]
táhlo	6,33	8,23	5,2	-
plášť	10,85	8,56	20,3	26,75

Tabulka 8: Porovnání vnitřních sil při různých úpravách modelu



## 4. Funkce estetického pláště

Odstranění ocelových prvků z konstrukce rozhledny je velice radikální řešení, avšak volba geometrie pláště k tomuto řešení vedla. Tímto typem konstrukce se v roce 2014 začal zabývat Prof. Ing. Arch. Martin Rajniš, který použil filozofii zenové architektury a aplikoval ji na několik svých děl.

### 4.1. Inspirace Martin Rajniš

Počátky jeho tvorby charakterizují stavby velkých měřítek (obchodní dům Máj, nákupní centrum Nový Smíchov, výstavní pavilony aj.). Postupně se začal věnovat navrhování menších objektů, u nichž je hlavním stavebním materiálem dřevo.

Typické pro jeho tvorbu jsou stavby ze skládaného dřeva (obytné stodoly, věže, rozhledny, pyramidy ap.). Za výjimečný přínos světové architektury v oblasti udržitelného vývoje získal v roce 2014 cenu Global Award for Sustainable Architecture francouzské nadace Locus.

#### 4.1.1. Princip zenové architektury

- inspiruje se přírodou a čerpá z její dokonalých systémů, tvarů, barev a konstrukcí
- využívá rozhraní mezi vnějším světem a interiérem stavby, k vytvoření menších prostorů, které spolu „komunikují“ a umožňují přirozený pozvolný přechod
- vychází z přírodních cyklů a přizpůsobuje se proměnlivosti tím, že vytváří stavbu přizpůsobivou změnám, které tyto cykly přinášejí
- pracuje s jednoduchou dispozicí, čistými liniemi, jemným světlem
- přináší harmonii soulad a prostor, ve kterém můžete zpomalit, zklidnit roztěkanou mysl a dosáhnout vnitřního klidu
- oceňuje kvalitu a potenciál přírodních materiálů

#### 4.1.2. Ukázka tvorby – podobnost konstrukcí s konstrukcí rozhledny

**2014** *Artefakt - strukturální konstrukce*

Autor: Huť architektury Martin Rajniš

Spolupráce: Luboš Loibl, studenti FA ČVUT  
Praha FUA TUL Liberec,  
FA VUT Brno

Investor: Městská část Praha 14

Realizace: 6/2014

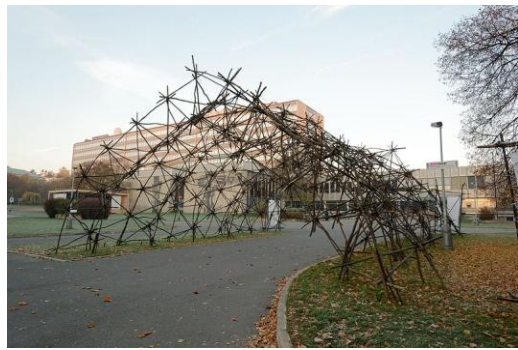


**2015**      *Dóm chaosu*

Autor:      Huť architektury Martin  
Rajniš,      Martin Rajniš, Tomáš Kosnar,  
Jiří Táborský, ;Martin Blažek

Adresa:      Thákurova, Dejvice, Praha 6

Realizace:    15.-18.10.2015



**2016**      *Sloní břich*

Autor:      Martin Rajniš

Adresa:      Brno, Uměleckoprůmyslové  
muzeum, 2016

Realizace:    2016



[6]

Tento typ konstrukce není podpírán sloupovým nosným systémem a má samonosnou funkci, i tak lze předpokládat totožné statické působení na konstrukci rozhledny, která se geometrií a charakterem výše uvedeným konstrukcím přibližuje. Konstrukce profesora Rajniše se vyznačují velkou prostorovou tuhostí, ale malou trvanlivostí vzhledem k tomu, že vždy pracuje pouze s neopracovaným přírodním materiálem. Tento nedostatek je v případě rozhledny Velký Kosíř eliminován a volba samonosného pláště je v tomto konkrétním případě velice vhodná.

Proto volím pro nový návrh rozhledny alternativu, ve které jsou odstraněny ocelové prvky a veškeré vodorovné zatížení přenáší pouze plášť konstrukce rozhledny.

## 5. Návrh a posouzení jednotlivých konstrukčních prvků

### Použité materiály:

#### *Řezivo modřín C40*

hustota	$\rho$	=	600	kg/m <sup>3</sup>
ohyb	$f_{mk}$	=	40	MPa
tah II s vlákny	$f_{t0k}$	=	24	MPa
tah kolmo k vláknům	$f_{t90k}$	=	0,4	MPa
tlak II s vlákny	$f_{c0k}$	=	26	MPa
tlak kolmo k vláknům	$f_{c90k}$	=	2,9	MPa
smyk	$f_{vk}$	=	4	MPa
modul pružnosti II s vlákny	$E_{0mean}$	=	14	GPa
	$E_{0,05}$	=	9,4	GPa
průměr modulu pružnosti	$E_{90mean}$	=	0,47	GPa
průměr modulu ve smyku	$G_{mean}$	=	0,88	GPa

#### *Ocel B500B*

minimální mez kluzu	$f_{yk}$	=	500	MPa
minimální mez pevnosti	$f_{tk}$	=	550	MPa
třída tažnosti			B	

### 5.1. Střešní konstrukce

#### 5.1.1. Stanovení kombinace zatížení pro střešní konstrukci

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left. \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10b)$$

[5]

<i>Dosazení do kombinačních stavů</i>	G	=	-0,648	kN/m <sup>2</sup>
	Q	=	-0,400	kN/m <sup>2</sup>
	SN	=	-0,700	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(D)}$	=	-0,930	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(E)}$	=	-0,810	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(F)}$	=	-2,090	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(G)}$	=	+1,390	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(H)}$	=	-0,820	kN/m <sup>2</sup>
	$W_{e(I)}$	=	+0,230	kN/m <sup>2</sup>

Výpočet kombinací zatížení		
OZN.	VÝPOČET	HODNOTA ZATÍŽENÍ [kg/m <sup>2</sup> ]
K 1 :	$0,648*1,35+0,4*1,5$	1,475
K 2 :	$0,648*1,35+0,81*0,9$	1,604
K 3 :	$0,648*1,35+0,7*1,5+0,81*0,9$	2,654
K 4 :	$0,648*1+0,7*1,5+0,81*0,9$	2,427
K 5 :	$0,648*1,35+0,7*0,75$	1,400
K 6 :	$0,648*1,35+0,81*1,5$	2,090
K 7 :	$0,648*1,35+0,7*0,75+0,81*1,5$	2,615
K 8 :	$0,648*1+0,81*1,5$	1,863
K 9 :	$0,648*1+0,7*0,75+0,81*1,5$	2,388

Tabulka 9: Výpočet kombinací zatížení

Pozn.1.: Z důvodu potřeb výpočtu kombinací je nutná redukce nerovnoměrného zatížení větrem, kdy toto zatížení bylo transformováno na rovnoměrné spojitě zatížení vyvolávající stejnou hodnotu momentu, jako zatížení původní.

Pozn.2.: Vzhledem ke geometrii střechy byly zanedbány rohové oblasti střechy a kvůli sklonu a otvoru ve střešní konstrukci byla hodnota účinku sání větru v modelu navýšena o 10%

Jako nejneprůzračnější kombinace zatížení pro návrh a posouzení zjednodušeného modelu konstrukce zastřešení je dle výše uvedeného kombinace K3, tedy stálé zatížení, neredukované zatížení sněhem a redukované zatížení větrem. Tato kombinace zatížení bude dále použita pro návrh a posouzení střešní krokve. Tato hodnota zatížení bude na konstrukci vzhledem k její geometrii aplikována jako lichoběžníkové zatížení a hodnota stálého zatížení vlastní tíhou krokve bude zavedena jako rovnoměrné stálé zatížení.

### 5.1.2. Stanovení zatěžovací šířky

Poloměr vnějšího kruhu (okap/okap)  $d_1 = 9,8$  m

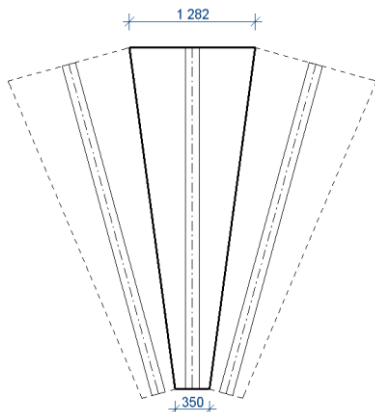
Poloměr vnitřního kruhu (vrchol/vrchol)  $d_2 = 2,74$  m

Obvody  $O_1 = 30,78$  m

$O_2 = 8,607$  m

Zatěžovací šířky (24 polí)  $Z_1 = 1,282$  m

$Z_2 = 0,350$  m



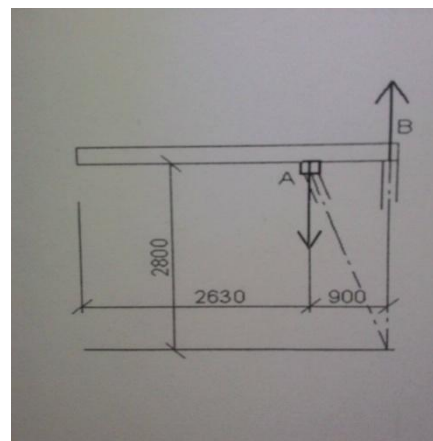
Obrázek 34: Zobrazení zatěžovací šířky

### 5.1.3. Návrh a posouzení střešního trámu

(Původní statický výpočet obsahuje rozpor s projektovou dokumentací a skutečným provedením konstrukce.) Projektant uvažoval nosníky stříšky jako samostatné konzolové nosníky, které působí do podpor dvojicí proti sobě působících sil. V projektové dokumentaci je ale část nosníků střechy podepřena vzpěrou, která z nosníku s převislým koncem vytváří staticky neurčitý nosník o dvou polích, s rozdílným momentovým působením. Tato úvaha vedla k návrhu nosníku o rozměrech 140/240 mm. V další části bude proveden statický výpočet nosníku s podepřením a nosníku konzolového s přerozděleným zatížením.

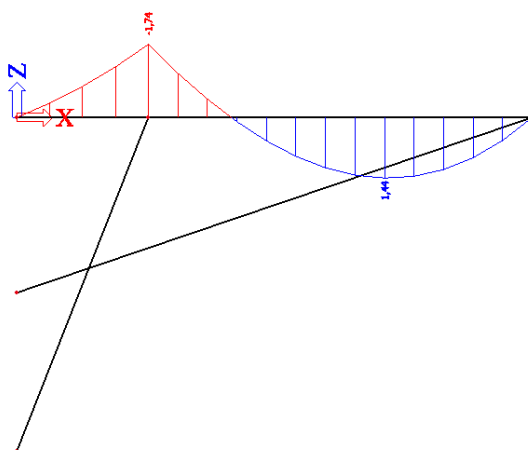


Obrázek 36: Skutečný stav střešní kce

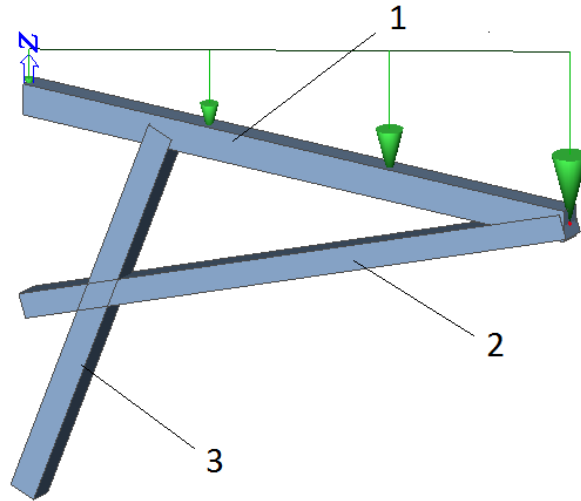


Obrázek 35: Foto střešní kce ze statického výpočtu

V programu Scia Engineer byl v novém návrhu proveden výpočet momentu na staticky neurčitém nosníku o dvou polích, byl použit zjednodušený model se zavedením pružnosti podpor s hodnotou 0,5 MN. [13] Z následujícího obrázku je patrné, že maximální moment na střešním nosníku nabývá hodnoty 1,74 kNm, tahová normálová síla na nosníku nabývá hodnoty 8,03 kN a maximální relativní průhyb je 9,21 mm.



Obrázek 37: Průběh momentu na střešním nosníku

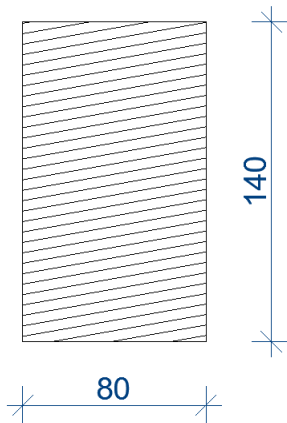


Obrázek 38: Označení prvků ve výpočtu

### Vnitřní síly

$$\begin{aligned} M_y &= 5,26 \text{ kNm} \\ N &= 14,22 \text{ kN} > 0 \rightarrow \text{tahová síla} \\ V_z &= 7,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Parametry průřezu



$$\begin{aligned} A &= b \cdot h = 0,08 \cdot 0,14 = 0,0112 \text{ m}^2 \\ I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,08 \cdot 0,14^3 = 18,29 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\ I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,14 \cdot 0,08^3 = 5,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\ W_y &= \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,08 \cdot 0,14^2 = 0,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ W_z &= \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,14 \cdot 0,08^2 = 0,149 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,52 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 40,41 \text{ mm} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,97 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 23,08 \text{ mm} \\ k_y &= 1 \\ k_z &= 1 \end{aligned}$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 5,12 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 15,4 \cdot 10^6}}{2,63 \cdot 192 \cdot 10^6} = 126 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu:  $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{126 \cdot 10^6}} = 0,564$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,9$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 2
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{14220}{0,0112} = 1,27 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5260}{261 \cdot 10^{-6}} = 20,1 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 26}{1,3} = 18 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 28,1 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,27}{1,18} + \frac{20,1}{1,28 \cdot 1} = 0,787$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,27}{1,18} + 0,9 \cdot \frac{20,1}{1,28 \cdot 1} = 0,716$$

$0,328 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,76 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 7810}{2 \cdot 0,67 \cdot 80 \cdot 140} = 1,56 \text{ MPa} < 2,76 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

---

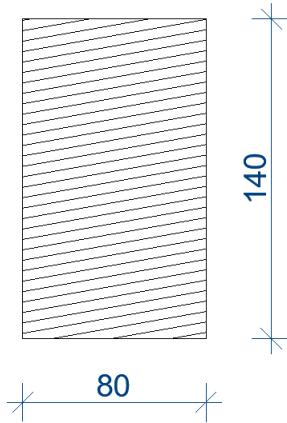
Pozn.1.: Při výpočtu střešního trámu jako konzolového nosníku je návrhový moment 10x vyšší, než u výše uvedeného výpočtu a průhyby na okraji konzoly dosahují hodnot 60mm. Z tohoto důvodu je výhodné zajistit pomocí trámové výměny umístěné na okraji střechy spolupůsobení jednotlivých nosníků, potlačit konzolové působení a navrhnout dimenze vzpěr (označení 2) na vzniklé zatížení.

Pozn.2.: Ve všech následujících výpočtech budou uvažovány třídy provozu 2 a 3. Třída provozu 2 je navržena na konstrukce zakryté bedněním a konstrukce, které nejsou vystaveny přímému působení povětrnostních podmínek. Třída provozu 3 je stanovena na konstrukce přímo vystavené povětrnostním podmínkám.

### 5.1.4. Návrh a posouzení vzpěry - označení 2

Vnitřní síly	N	=	-15,28 kN
	M	=	2,13 kNm
	V <sub>Z</sub>	=	4,1 kN

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,08 \cdot 0,14 = 0,0112 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,08 \cdot 0,14^3 = 18,29 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,14 \cdot 0,08^3 = 5,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,08 \cdot 0,14^2 = 0,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,14 \cdot 0,08^2 = 0,149 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,52 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 40,41 \text{ mm} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,97 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 23,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= \frac{Ly}{i_y} = \frac{3,73}{0,0404} = 92,3 \\
 \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{92,3}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,55 \\
 k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,55 - 0,3)) + 1,55^2 = 1,76 \\
 k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,76 + \sqrt{1,76^2 - 1,55^2}} = 0,386
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose z

štíhlostní poměr - osa z

$$\begin{aligned}
 \lambda_z &= \frac{Lz}{i_z} = \frac{3,73}{0,0231} = 161 \\
 \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{161}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 2,7 \\
 k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,7 - 0,3)) + 2,7^2 = 4,27 \\
 k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{4,27 + \sqrt{4,27^2 - 2,7^2}} = 0,132 \\
 k_{cz,min} &= \min(0,289; 0,132) = 0,132
 \end{aligned}$$

#### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 5,97 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 15,4 \cdot 10^6}}{3,27 \cdot 261 \cdot 10^6} = 88,8 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{88,8 \cdot 10^6}} = 0,671$$

$$\text{Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu} \rightarrow k_{crit} = 1$$



### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,9$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 2
materiál	Masivní dřevo

#### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-15280}{0,0112} = -1,36 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{2130}{261 \cdot 10^{-6}} = 8,15 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 26}{1,3} = 18 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 28,1 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,36}{0,132 \cdot 18} + \frac{8,15}{1,28,1} = 0,865$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,36}{0,132 \cdot 18} + 0,9 \cdot \frac{8,15}{1,28,1} = 0,836$$

$0,865 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,76 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

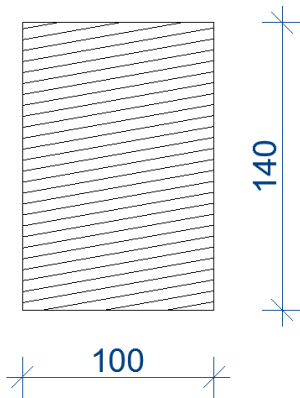
$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4100}{2 \cdot 0,67 \cdot 80 \cdot 140} = 0,81 \text{ MPa} < 2,76 \text{ MPa}$$

$\rightarrow$  průřez vyhovuje na smyk

### 5.1.5. Návrh a posouzení vzpěry - označení 3

Vnitřní síly	N	=	-27,3	kN
	M	=	4,5	kNm
	V <sub>Z</sub>	=	4,3	Kn

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,1 \cdot 0,14 = 0,014 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,1 \cdot 0,14^3 = 22,86 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,14 \cdot 0,1^3 = 11,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,1 \cdot 0,14^2 = 0,3266 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,14 \cdot 0,1^2 = 0,233 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{22,86 \cdot 10^{-6}}{0,014}} = 40,4 \text{ mm} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{11,66 \cdot 10^{-6}}{0,014}} = 28,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= \frac{L_y}{i_y} = \frac{2,45}{0,0404} = 60,6 \\
 \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{60,6}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,01 \\
 k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,01 - 0,3) + 1,19^2) = 1,05 \\
 k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 1,01^2}} = 0,756
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose z

štíhlostní poměr - osa z

$$\begin{aligned}
 \lambda_z &= \frac{L_z}{i_z} = \frac{2,46}{0,0289} = 84,9 \\
 \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{84,9}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,42 \\
 k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,42 - 0,3) + 1,42^2) = 1,57 \\
 k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,57 + \sqrt{1,57^2 - 1,42^2}} = 0,45 \\
 k_{cz,min} &= \min(0,756; 0,45) = 0,45
 \end{aligned}$$

## Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 11,7 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 2,6 \cdot 10^{-6}}}{2,45 \cdot 327 \cdot 10^6} = 197 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{197 \cdot 10^6}} = 0,451$$

$$\text{Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu} \rightarrow k_{crit} = 1$$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,9$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 2
materiál	Masivní dřevo

## Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-27300}{0,014} = -1,95 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{4500}{327 \cdot 10^{-6}} = 13,8 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 26}{1,3} = 18 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,8 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 28,1 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,95}{0,45 \cdot 18} + \frac{13,8}{1,28 \cdot 28,1} = 0,731$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,95}{0,45 \cdot 18} + 0,9 \cdot \frac{13,8}{1,28 \cdot 28,1} = 0,682$$

$$0,731 \leq 1 \rightarrow \text{průřez vyhovuje na ohyb}$$

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,76 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

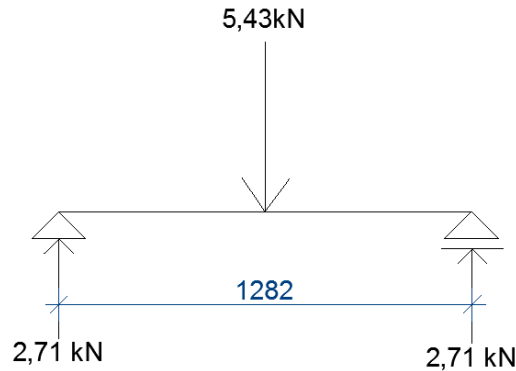
Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4300}{2 \cdot 0,67 \cdot 100 \cdot 140} = 0,68 \text{ MPa} < 2,76 \text{ MPa}$$

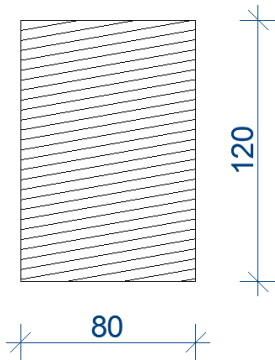
$$\rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

### 5.1.6. Návrh a posouzení trémové výměny



Moment nabývá hodnoty 1,73 kNm

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,08 \cdot 0,12 = 0,0096 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,08 \cdot 0,12^3 = 11,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,12 \cdot 0,08^3 = 5,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,08 \cdot 0,12^2 = 0,192 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,12 \cdot 0,08^2 = 0,128 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,52 \cdot 10^{-6}}{0,0096}} = 34,64 \text{ mm} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,12 \cdot 10^{-6}}{0,0096}} = 23,09 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{1730}{192 \cdot 10^{-6}} = 9,01 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,8 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 28,1 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$s = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{9,01}{1,28 \cdot 1} = 0,32$$

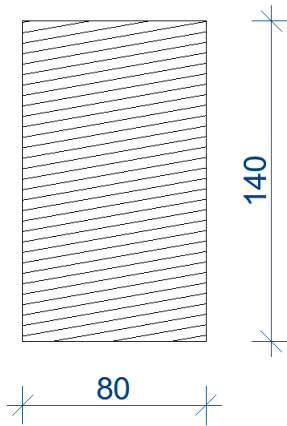
$0,32 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje

Pozn.: Průřez volen podobný průřezu střešního nosníku

### 5.1.7. Návrh a posouzení sloupu zastřešení

Vnitřní síly	N	=	-9,35 kN
	M	=	1,48 kNm
	V <sub>z</sub>	=	1,49 kN

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,08 \cdot 0,14 = 0,0112 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,08 \cdot 0,14^3 = 18,29 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,14 \cdot 0,08^3 = 5,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,08 \cdot 0,14^2 = 0,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,14 \cdot 0,08^2 = 0,149 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,52 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 40,41 \text{ mm} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,97 \cdot 10^{-6}}{0,0112}} = 23,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{3,1}{0,0404} = 76,7$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{76,7}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,28$$

$$\begin{aligned}
 k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,28 - 0,3)) + 1,28^2 = 1,37
 \end{aligned}$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,37 + \sqrt{1,37^2 - 1,28^2}} = 0,537$$

#### Součinitel vzpěru k ose z

štíhlostní poměr - osa z

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{3,1}{0,0231} = 134$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{134}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 2,25$$

$$\begin{aligned}
 k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,25 - 0,3)) + 2,25^2 = 3,12
 \end{aligned}$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,12 + \sqrt{3,12^2 - 2,25^2}} = 0,189$$

$$k_{cz,min} = \min(0,537; 0,189) = 0,189$$

#### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 5,97 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 15,4 \cdot 10^6}}{3,1 \cdot 261 \cdot 10^6} = 107 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{107 \cdot 10^6}} = 0,612$$

$$\text{Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu} \rightarrow k_{crit} = 1$$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

#### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-9350}{0,0112} = -0,835 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{1480}{261 \cdot 10^{-6}} = 5,66 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 21,8 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,835}{0,189 \cdot 18} + \frac{5,66}{1,21 \cdot 8} = 0,575$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,835}{0,189 \cdot 18} + 0,7 \cdot \frac{5,66}{1,21 \cdot 8} = 0,497$$

$0,575 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1490}{2 \cdot 0,67 \cdot 80 \cdot 140} = 0,297 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

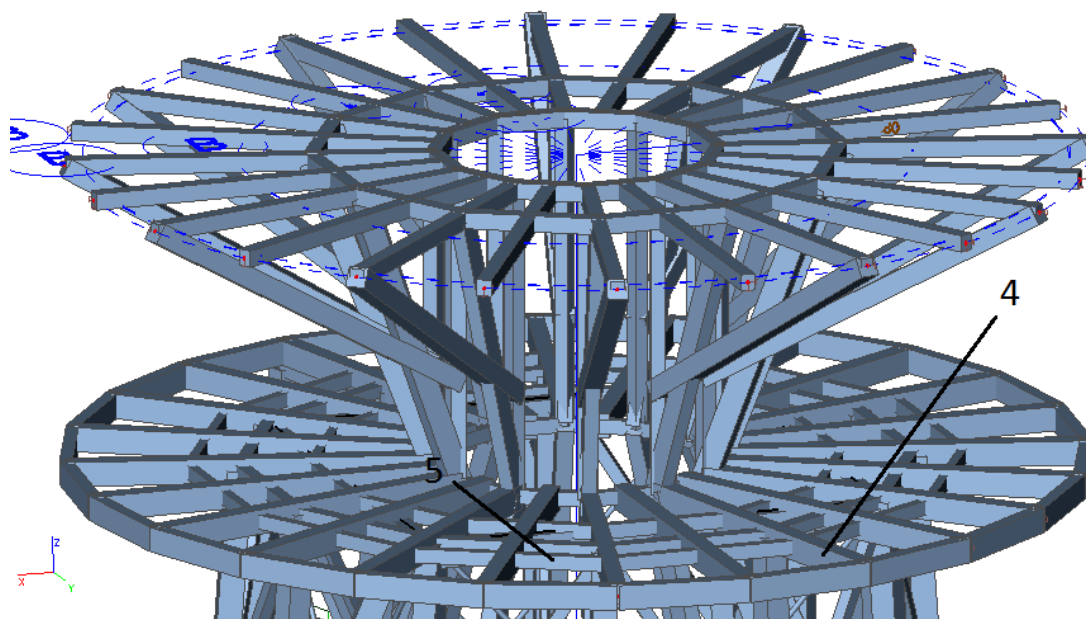
označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
4	střešní nosník	140/160	80/140
5	Vzpěra	200/200	80/140
6	Vzpěra svislá	140/240	100/140
-	Výměna	140/160	80/120
-	Sloupek zastřešení	160/240	80/140

Tabulka 10: Porovnání prvků střešní konstrukce

Z výše uvedeného je patrné, že po změně materiálu řeziva a statického působení střešního nosníku došlo ke značné úspoře materiálu.

Jako další bude celá konstrukce podrobně vymodelována v programu Scia Engineer a bude podrobena dalšímu zkoumání, ve kterém se tato práce bude postupně zabývat vnitřními silami v jednotlivých prvcích v různých zatěžovacích stavech, přiblíží chování konzoly schodiště, podrobí konstrukci lineární bifurkační analýze.

## 5.2. Konstrukce plošiny

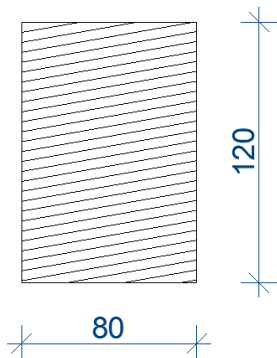


Obrázek 39: Označení důležitých prvků na plošině

### 5.2.1. Návrh a posouzení - vodorovný nosník plošiny - označení 4

<b>Vnitřní síly</b>	N	=	27,3 kN / Tah
	M	=	4,5 kNm
	V <sub>Z</sub>	=	4,3 kN

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,08 \cdot 0,12 = 0,0096 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,08 \cdot 0,12^3 = 11,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,12 \cdot 0,08^3 = 5,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,08 \cdot 0,12^2 = 0,192 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,12 \cdot 0,08^2 = 0,128 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{11,52 \cdot 10^{-6}}{0,0096}} = 34,64 \text{ mm} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,12 \cdot 10^{-6}}{0,0096}} = 23,09 \text{ mm} \\
 k_y &= 1 \\
 k_z &= 1
 \end{aligned}$$

#### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 5,12 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^6}}{0,778 \cdot 192 \cdot 10^6} = 475 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{475 \cdot 10^6}} = 0,29$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

#### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

#### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{848}{0,0096} = 0,0883 \text{ MPa}$$



Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{2740}{192 \cdot 10^{-6}} = 14,3 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,05 \cdot 40}{1,3} = 22,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,0883}{1,14} + \frac{14,3}{1,22,5} = 0,64$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,0883}{1,14} + 0,7 \cdot \frac{14,3}{1,22,5} = 0,45$$

$0,64 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,76 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

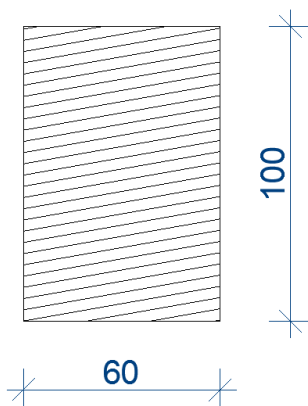
$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4300}{2 \cdot 0,67 \cdot 100 \cdot 120} = 0,80 \text{ MPa} < 2,76 \text{ MPa}$$

$\rightarrow$  průřez vyhovuje na smyk

## 5.2.2. Návrh a posouzení výměny - označení 5

Vnitřní síly	N	=	-6,07 kN
	M	=	0,61 kNm
	V <sub>Z</sub>	=	0,57 kN

Parametry průřezu



$$A = b \cdot h = 0,06 \cdot 0,1 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,06 \cdot 0,1^3 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,1 \cdot 0,06^3 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,06 \cdot 0,1^2 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,1 \cdot 0,06^2 = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-6}}{0,006}} = 28,8 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-6}}{0,006}} = 16,3 \text{ mm}$$

### Součinitel vzpěru k ose y

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa y} \quad \lambda_y &= \frac{Ly}{iy} = \frac{1,93}{0,0288} = 66,8 \\ \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{66,8}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,12 \\ k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,12 - 0,3)) + 1,12^2 = 1,17 \\ k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,17 + \sqrt{1,17^2 - 1,01^2}} = 0,669\end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa z} \quad \lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{0,956}{0,0173} = 55,2 \\ \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{55,2}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,924 \\ k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,924 - 0,3)) + 0,924^2 = 0,958 \\ k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,958 + \sqrt{0,958^2 - 0,924^2}} = 0,826 \\ k_{cz,min} &= \min(0,669; 0,826) = 0,669\end{aligned}$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

*Kritické napětí v ohybu:*

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 4,51 \cdot 10^{-6}}}{0,965 \cdot 100 \cdot 10^6} = 267 \text{ MPa}$$

*Poměrná štíhlost v ohybu:*

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{267 \cdot 10^6}} = 0,387$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

*Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:*

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-6070}{0,006} = -1,01 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{610}{100 \cdot 10^{-6}} = 6,1 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,08 \cdot 40}{1,3} = 23,4 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$s = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,01}{0,669 \cdot 14} + \frac{6,1}{1,23 \cdot 23,4} = 0,369$$

$$s_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,01}{0,669 \cdot 14} + 0,7 \cdot \frac{6,1}{1,23 \cdot 23,4} = 0,291$$

$0,369 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

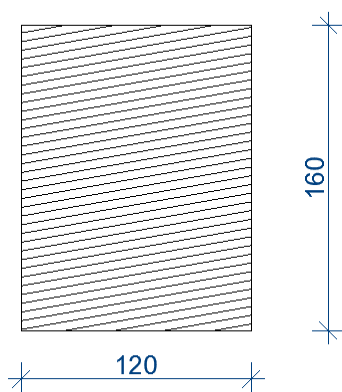
$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 570}{2 \cdot 0,67 \cdot 60 \cdot 100} = 0,21 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

Pozn.: Průřez 60/100 mm s využitím 37% volen z důvodu roztečí spojovacích prvků

### 5.2.3. Návrh a posouzení věnce plošiny

<b>Vnitřní síly</b>	N	=	-9,43 kN
	M	=	7,44 kNm
	Vz	=	4,23 kN

**Parametry průřezu**



$$A = b \cdot h = 0,12 \cdot 0,16 = 0,0192 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,12 \cdot 0,16^3 = 40,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,16 \cdot 0,12^3 = 23,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,12 \cdot 0,16^2 = 0,512 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,16 \cdot 0,12^2 = 0,384 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{40,96 \cdot 10^{-6}}{0,0192}} = 51,5 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{23,04 \cdot 10^{-6}}{0,0192}} = 34,6 \text{ mm}$$

### Součinitel vzpěru k ose y

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa y} \quad \lambda_y &= \frac{Ly}{iy} = \frac{3,25}{0,0462} = 70,4 \\ \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{70,4}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,18 \\ k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,18 - 0,3)) + 1,18^2 = 1,24 \\ k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 1,18^2}} = 0,618\end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa z} \quad \lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{3,25}{0,0346} = 93,8 \\ \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{93,8}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,57 \\ k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,57 - 0,3)) + 1,57^2 = 1,8 \\ k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1,18^2}} = 0,375 \\ k_{cz,min} &= \min(0,618; 0,375) = 0,375\end{aligned}$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

*Kritické napětí v ohybu:*

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 49,8 \cdot 10^{-6}}}{3,25 \cdot 5,12 \cdot 10^6} = 184 \text{ MPa}$$

*Poměrná štíhlost v ohybu:*

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{184 \cdot 10^6}} = 0,466$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

*Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:*

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-9430}{0,0192} = -0,491 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7440}{512 \cdot 10^{-6}} = 14,5 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$s = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,491}{0,375 \cdot 14} + \frac{14,5}{1,23} = 0,768$$

$$s_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,491}{0,375 \cdot 14} + 0,7 \cdot \frac{14,5}{1,23} = 0,566$$

$0,768 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4230}{2 \cdot 0,67 \cdot 120 \cdot 160} = 0,493 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa}$$

$\rightarrow$  průřez vyhovuje na smyk

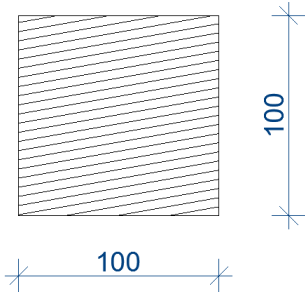
označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
4	Nosník plošiny	160/240	80/120
5	Výměna	120/240	60/100
-	Věvec plošiny	2xUPE240	120/160

Tabulka 11: Porovnání prvků střešní konstrukce

### 5.3. Posouzení pláště rozhledny

Vnitřní síly N = -26,75 kN

#### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,1 \cdot 0,1^3 = 8,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,1 \cdot 0,1^3 = 8,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,166 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,166 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_{y,z} &= \sqrt{\frac{I_{y,z}}{A}} = \sqrt{\frac{8,33 \cdot 10^{-6}}{0,01}} = 28,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### Součinitel vzpěru k ose y,z

$$\begin{aligned}
 \text{štíhlostní poměr - osa y,z} \quad \lambda_{y,z} &= \frac{L_y}{i_y} = \frac{3,55}{0,0288} = 123 \\
 \lambda_{rel,y,z} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{123}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 2,06 \\
 k_{y,z} &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,06 - 0,3)) + 2,06^2 = 2,71 \\
 k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,71 + \sqrt{2,71^2 - 2,06^2}} = 0,224
 \end{aligned}$$

#### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

#### Výpočet napětí

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 26}{1,3} = 18 \text{ MPa}$$

Únosnost:

$$N_{rd} = k_{cmin} \cdot A \cdot f_{c,0,d} = 0,224 \cdot 18 \cdot 0,01 = 40,3$$

Posouzení:

$$s = \frac{N_{ed}}{N_{rd}} = \frac{26,75}{40,3} = 0,496$$

$0,663 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na vzpěr

označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
-	Prvek pláště	150/150	100/100

Tabulka 12: Porovnání prvků střešní konstrukce

## 5.4. Posouzení hlavních sloupů

Ke stanovení vzpěrné délky se využívá lineární stabilitní výpočet v programu SCIA, který stanoví součinitel kritického zatížení  $k$ . Následně je nutné provést stabilitní výpočet pro určení vzpěrné délky.

Využití stabilitního výpočtu v programu Scia:

Stabilitní výpočet počítá globální (vlastní) tvary vybočení konstrukce pod určitým zatížením. Navíc se spočte poměr kritického a skutečného zatížení. Stabilitní výpočet se používá pro zjištění mechanismu ztráty stability konstrukce, k výpočtu vzpěrných délek potřebných při posudcích ocelových a dřevěných prvků, k ověření nutnosti výpočtu podle teorie druhého řádu apod. Tento modul pomáhá stanovit globální vzpěrné tvary a zatížení, při němž ke ztrátě stability dochází.

### 1. Vlastní tvar vybočení

Jako první dochází ke ztrátě stability pláště, který následně zvětší vzpěrné délky pro hlavní nosné sloupy a dojde k jejich deformaci. Deformace hlavních nosných sloupů má za následek posun vzpěr podporujících vyhlídkovou plošinu, která poté podlehně druhotné deformaci. Koeficient  $k$  je pro první vlastní tvar vybočení roven hodnotě 2,86 [-]. Druhý a třetí vlastní tvar vybočení je podobného charakteru a koeficient  $k$  pro tyto případy nabývá hodnot 4,43 [-] a 6,48 [-].



Obrázek 40: 1. Vlastní tvar vybočení

### 5.4.1. Vnitřní síly

sekce	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	Mx [kNm]	Vz [kN]
1	115,87	14,31	0,84	0,44	11,29
2	95,01	8,82	0,68	0,32	10,89
3	60,04	6,81	0,82	0,24	12,26
4	44,55	7,21	0,88	0,15	18,18

Tabulka 13: Vnitřní síly hlavních sloupů

### 5.4.2. Určení vzpěrné délky – lineární bifurkační analýza LBA:

Koeficient  $k$  je poměr mezi kritickým a návrhovým zatížením. Po vymodelování konstrukce a nadefinování zatěžovacích stavů je určena nejnižší hodnota koeficientu  $k$  pro daný typ vybočení. V tomto případě je  $k = 2,86 [-]$

Stanovení kritické síly, při které dojde k vybočení sloupu:

$$N_{CR} = k \cdot N_{SD}$$

$N_{CR}$  – je kritická síla v prutu, při které dojde k vybočení ideální konstrukce

$N_{SD}$  – je návrhová osová síla v daném prutu

Dále pro prvky ze dřeva platí:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{c,0,k}}{N_{CR}}}$$

Parametr  $\lambda_{rel,c}$  se nazývá poměrná štíhlost a v ČSN EN 1995-1-1 je vyjádřena vztahem:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \rightarrow \lambda = \pi \cdot \frac{\lambda_{rel,c}}{\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} \rightarrow l_{cr} = \lambda \cdot i_y$$

[6]

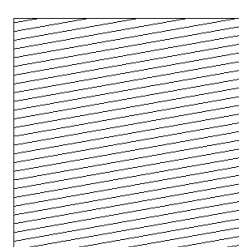
### 5.4.3. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 1

Vzpěrné délky sloupu sekce 1

$$L_y = 7,91 \text{ m}$$

$$L_z = 2,36 \text{ m}$$

Parametry průřezu



$$250$$

$$A = b \cdot h = 0,25 \cdot 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,25 \cdot 0,25^3 = 325,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,25 \cdot 0,25^3 = 325,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,25 \cdot 0,25^2 = 2,604 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,25 \cdot 0,25^2 = 2,604 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{325,5 \cdot 10^{-6}}{0,0625}} = 72,2 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{325,5 \cdot 10^{-6}}{0,0625}} = 72,2 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{7,91}{0,0722} = 110$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{110}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,83$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,83 - 0,3)) + 1,83^2 = 2,26$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,26 + \sqrt{2,26^2 - 1,83^2}} = 0,28$$



## Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa z} \quad \lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{2,36}{0,0722} = 32,8 \\ \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{32,8}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,548 \\ k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,548 - 0,3)) + 0,548^2 = 0,663 \\ k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,663 + \sqrt{0,663^2 - 0,548^2}} = 0,966\end{aligned}$$

## Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 326 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 550 \cdot 10^{-6}}}{5,4 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3}} = 272 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{272 \cdot 10^6}} = 0,384$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

## Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-115870}{0,0625} = -1,85 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{14310}{2,6 \cdot 10^{-3}} = 5,5 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,85}{0,28 \cdot 14} + \frac{5,5}{1,21 \cdot 5} = 0,739$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{-1,85}{0,28 \cdot 14} + 0,7 \cdot \frac{5,5}{1,21 \cdot 5} = 0,667$$

$0,739 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 11290}{2 \cdot 0,67 \cdot 250 \cdot 250} = 0,40 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

Pozn.: Vzhledem k návrhu prvků na využití do 80% z důvodu výsušných trhlin, časové degradace a požární odolnosti byly ve výpočtu zanedbány účinky od vnitřních sil  $M_x$ ,  $M_z$  a  $V_y$ , využití od těchto hodnot se mění v desetínách procent

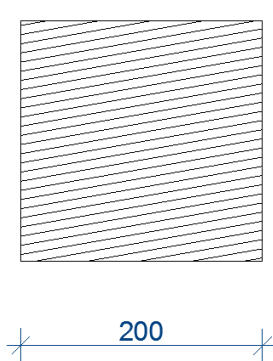
#### 5.4.4. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 2

Vzpěrné délky sloupu sekce 2

$$L_y = 4,965 \text{ m}$$

$$L_z = 1,930 \text{ m}$$

Parametry průřezu



$$\begin{aligned} A &= b \cdot h = 0,2 \cdot 0,2 = 0,04 \text{ m}^2 \\ I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,2 \cdot 0,2^3 = 133,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\ I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,2 \cdot 0,2^3 = 133,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\ W_y &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,2 \cdot 0,2^2 = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ W_z &= \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,2 \cdot 0,2^2 = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{133,33 \cdot 10^{-6}}{0,04}} = 57,7 \text{ mm} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{133,33 \cdot 10^{-6}}{0,04}} = 57,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{4,965}{0,0577} = 86$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{86}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,44$$

$$\begin{aligned} k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,44 - 0,3)) + 1,44^2 = 1,59 \end{aligned}$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,59 + \sqrt{1,59^2 - 1,44^2}} = 0,439$$

### Součinitel vzpěru k ose z

štíhlostní poměr – osa z  $\lambda_z = \frac{Lz}{iz} = \frac{1,93}{0,0577} = 33,4$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{33,4}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,56$$

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

$$= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,56 - 0,3)) + 0,56^2 = 0,67$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,56^2}} = 0,964$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 133 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 225 \cdot 10^{-6}}}{5,41 \cdot 33 \cdot 10^{-3}} = 218 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \frac{\sqrt{f_{m,y,k}}}{\sqrt{\sigma_{m,crit}}} = \frac{\sqrt{40 \cdot 10^6}}{\sqrt{218 \cdot 10^6}} = 0,429$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-95010}{0,04} = -2,38 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{8820}{1,33 \cdot 10^{-3}} = 6,62 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{2,38}{0,439 \cdot 14} + \frac{6,62}{1,21,5} = 0,71$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{2,38}{0,439 \cdot 14} + 0,7 \cdot \frac{6,62}{1,21,5} = 0,625$$

$0,710 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 10890}{2 \cdot 0,67 \cdot 200 \cdot 200} = 0,60 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

Pozn.: Vzhledem k návrhu prvků na využití do 80% z důvodu výsušných trhlin, časové degradace a požární odolnosti byly ve výpočtu zanedbány od vnitřních sil  $M_x$ ,  $M_z$  a  $V_y$ , využití od těchto hodnot se mění v desetinách procent

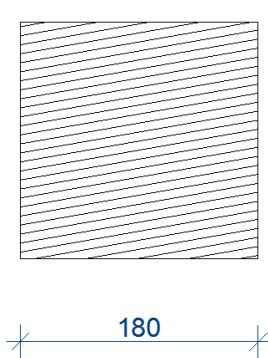
### 5.4.5. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 3

Vzpěrné délky sloupu sekce 3

$$L_y = 4,95 \text{ m}$$

$$L_z = 1,84 \text{ m}$$

Parametry průřezu



$$A = b \cdot h = 0,18 \cdot 0,18 = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,18 \cdot 0,18^3 = 87,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,18 \cdot 0,18^3 = 87,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,18 \cdot 0,18^2 = 0,972 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,18 \cdot 0,18^2 = 0,972 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{87,47 \cdot 10^{-6}}{0,0324}} = 51,95 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{87,47 \cdot 10^{-6}}{0,0324}} = 51,95 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y  $\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{4,95}{0,052} = 95,3$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{95,3}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,59$$

$$\begin{aligned}
k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \\
&= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,59 - 0,3) + 1,59^2) = 1,84 \\
k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,84 + \sqrt{1,84^2 - 1,59^2}} = 0,364
\end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}
\text{štíhlostní poměr - osa z} \quad \lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{1,84}{0,052} = 35,4 \\
\lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{35,4}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,593 \\
k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \\
&= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,593 - 0,3) + 0,593^2) = 0,69 \\
k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,69 + \sqrt{0,69^2 - 0,593^2}} = 0,958
\end{aligned}$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 87,5 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 148 \cdot 10^{-6}}}{5,4 \cdot 972 \cdot 10^{-6}} = 196 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{196 \cdot 10^6}} = 0,452$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-60041}{0,0324} = -1,85 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{6810}{972 \cdot 10^{-6}} = 7,01 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,85}{0,364 \cdot 14} + \frac{7,01}{1,21,5} = 0,716$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,85}{0,364 \cdot 14} + 0,7 \cdot \frac{7,01}{1,21,5} = 0,63$$

$0,716 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 12260}{2 \cdot 0,67 \cdot 180 \cdot 180} = 0,84 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

Pozn.1.: Vzhledem k návrhu prvků na využití do 80% z důvodu výsušných trhlin, časové degradace a požární odolnosti byly ve výpočtu zanedbány od vnitřních sil  $M_x$ ,  $M_z$  a  $V_y$ , využití od těchto hodnot se mění v desetinách procent

Pozn.2.: Sloup sekce 3 je nutné z důvodu provedení napojení jednotlivých částí sloupů a estetických důvodů navrhout z průřezu 200/200 – návaznost na sekci 4

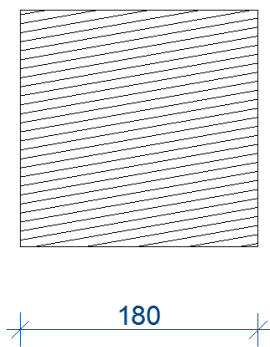
#### 5.4.6. Návrh a posouzení průřezu sloupu sekce 4

Vzpěrné délky sloupu sekce 4

$$L_y = 7,239 \text{ m}$$

$$L_z = 2,218 \text{ m}$$

Parametry průřezu



$$A = b \cdot h = 0,18 \cdot 0,18 = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,18 \cdot 0,18^3 = 87,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,18 \cdot 0,18^3 = 87,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,18 \cdot 0,18^2 = 0,972 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,18 \cdot 0,18^2 = 0,972 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{87,47 \cdot 10^{-6}}{0,0324}} = 51,95 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{87,47 \cdot 10^{-6}}{0,0324}} = 51,95 \text{ mm}$$

### Součinitel vzpěru k ose y

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa y} \quad \lambda_y &= \frac{Ly}{iy} = \frac{7,24}{0,052} = 139 \\ \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{139}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 2,33 \\ k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,33 - 0,3)) + 2,33^2 = 3,32 \\ k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,32 + \sqrt{3,32^2 - 2,33^2}} = 0,176\end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}\text{štíhlostní poměr - osa z} \quad \lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{2,22}{0,052} = 42,7 \\ \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{42,7}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,715 \\ k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,715 - 0,3)) + 0,715^2 = 0,776 \\ k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,776 + \sqrt{0,776^2 - 0,715^2}} = 0,927\end{aligned}$$

### Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 87,5 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 148 \cdot 10^{-6}}}{5,4 \cdot 972 \cdot 10^{-6}} = 196 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{196 \cdot 10^6}} = 0,452$$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-44550}{0,0324} = -1,38 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7210}{972 \cdot 10^{-6}} = 7,42 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$s = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,38}{0,176 \cdot 14} + \frac{7,42}{1,21 \cdot 21,5} = 0,930$$

$$s_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,38}{0,176 \cdot 14} + \frac{7,42}{1,21 \cdot 21,5} = 0,839$$

$0,93 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 18180}{2 \cdot 0,67 \cdot 180 \cdot 180} = 1,25 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{průřez vyhovuje na smyk}$$

Pozn.1.: Průřez 180/180 mm vyhovuje s využitím na 93%, vzhledem k časové degradaci konstrukce a požární odolnosti bude průřez sekce 4 navýšen na průřez 200/200 mm

Pozn.2.: Vzhledem k návrhu prvků na využití do 80% z důvodu výsušných trhlin, časové degradace a požární odolnosti, byly ve výpočtu zanedbány od vnitřních sil  $M_x$ ,  $M_z$  a  $V_y$ , využití od těchto hodnot se mění v desetinách procent

označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
-	Sloup sekce 1	350/350	250/250
-	Sloup sekce 2	300/300	220/220
-	Sloup sekce 3	250/250	200/200
-	Sloup sekce 4	250/250	200/200

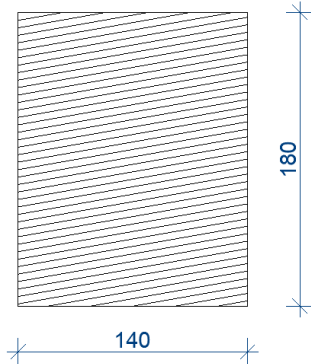
Tabulka 14: Porovnání navržených sloupů



## 5.5. Posouzení vzpěr plošiny

Vnitřní síly  $N = -44,29 \text{ kN}$

### Parametry průřezu



$$\begin{aligned}
 A &= b \cdot h = 0,14 \cdot 0,18 = 0,0252 \text{ m}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,14 \cdot 0,18^3 = 68,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 I_z &= \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,18 \cdot 0,14^3 = 41,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 W_y &= \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 0,14 \cdot 0,18^2 = 0,756 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 W_z &= \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 0,18 \cdot 0,14^2 = 0,588 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{68,04 \cdot 10^{-6}}{0,0252}} = 51,9 \text{ m} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{41,16 \cdot 10^{-6}}{0,0252}} = 40,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose y,z

štíhlostní poměr - osa y

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= \frac{Ly}{i_y} = \frac{5,71}{0,0404} = 141 \\
 \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{141}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 2,37 \\
 k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,37 - 0,3) + 2,37^2) = 3,4 \\
 k_{cy} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,4 + \sqrt{3,4^2 - 2,37^2}} = 0,171
 \end{aligned}$$

### Součinitel vzpěru k ose z

štíhlostní poměr - osa z

$$\begin{aligned}
 \lambda_z &= \frac{Lz}{i_z} = \frac{5,71}{0,052} = 110 \\
 \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ock}}{E_{0,05}}} = \frac{110}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 1,84 \\
 k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\
 &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,84 - 0,3) + 1,84^2) = 2,27 \\
 k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,27 + \sqrt{2,27^2 - 1,84^2}} = 0,278
 \end{aligned}$$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

### Výpočet napětí

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Únosnost:

$$N_{rd} = k_{cmin} \cdot A \cdot f_{c,0,d} = 0,171 \cdot 14 \cdot 180 = 60,3 \text{ MPa}$$

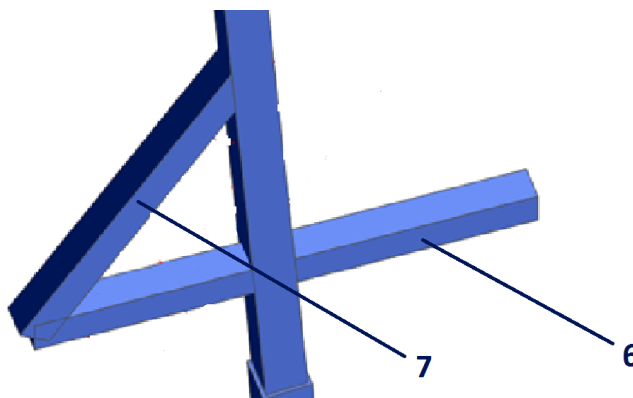
Posouzení:

$$s = \frac{N_{ed}}{N_{rd}} = \frac{44,29}{60,3} = 0,734 \quad 0,734 \leq 1 \rightarrow \text{průřez vyhovuje na vzpěr}$$

označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
-	Vzpěra plošiny	160/240	140/180

Tabulka 15: Porovnání vzpěr plošiny

## 5.6. Posouzení konzoly schodiště

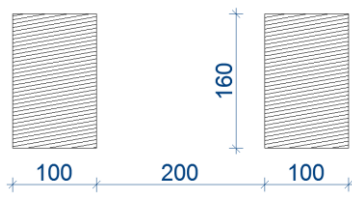


Obrázek 41: Označení prvků schodiště

### 5.6.1. Konzolový nosník

Vnitřní síly	$M_y$	=	12,58	kNm	
	$N$	=	9,55	kN	> 0 → tahová síla
	$V_z$	=	7,53	kN	

## Parametry průřezu



$$A = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 0,1 \cdot 0,16 = 0,032 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{6} b \cdot h^3 = \frac{1}{6} 0,1 \cdot 0,16^3 = 68,26 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{6} h \cdot b^3 = \frac{1}{6} 0,16 \cdot 0,1^3 = 26,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{3} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{3} 0,1 \cdot 0,16^2 = 0,853 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{3} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{3} 0,16 \cdot 0,1^2 = 0,533 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{68,26 \cdot 10^{-6}}{0,032}} = 46,18 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{26,66 \cdot 10^{-6}}{0,032}} = 28,86 \text{ mm}$$

$$k_y = 1$$

$$k_z = 1$$

## Součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{W_y \cdot L_{ef}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 10^9 \cdot 26,66 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-5}}}{1,5 \cdot 0,583 \cdot 10^{-3}} = 429,9 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu:  $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^6}{429,9 \cdot 10^6}} = 0,305$

Součinitel používaný pro příčnou torzní stabilitu  $\rightarrow k_{crit} = 1$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení

Krátkodobé

modifikační součinitel

$k_{mod} = 0,7$  (tab. 3.1)

třída provozu

Třída provozu 3

materiál

Masivní dřevo

## Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{9550}{0,032} = 0,298 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{12580}{853 \cdot 10^{-6}} = 14,7 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,01 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$S_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,298}{1,14} + \frac{14,7}{1,21,5} = 0,706$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,298}{1,14} + 0,7 \cdot \frac{14,7}{1,21,5} = 0,5$$

$0,706 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na ohyb

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad k_{cr} = 0,67$$

$$\tau_{vd} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 7530}{2 \cdot 0,67 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 160} = 0,526 \text{ MPa} < 2,76 \text{ MPa}$$

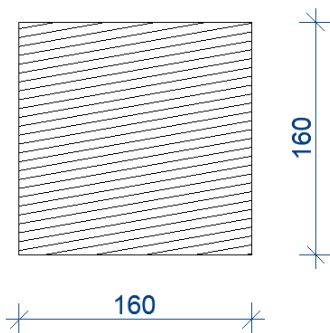
$\rightarrow$  průřez vyhovuje na smyk

## 5.6.2. Vzpěra schodiště

Vnitřní síly

$$N = -5,87 \text{ kN}$$

Parametry průřezu



$$A = b \cdot h = 0,16 \cdot 0,16 = 0,0256 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,16 \cdot 0,16^3 = 54,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 0,16 \cdot 0,16^3 = 54,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} b \cdot h^3 = \frac{1}{6} 0,16 \cdot 0,16^2 = 0,682 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h \cdot b^3 = \frac{1}{6} 0,16 \cdot 0,16^2 = 0,682 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{54,61 \cdot 10^{-6}}{0,0256}} = 46,2 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{54,61 \cdot 10^{-6}}{0,0256}} = 46,2 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěru k ose y

štíhlostní poměr - osa y

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{1,27}{0,0462} = 27,5$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{27,5}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,46$$

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

$$= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,46 - 0,3)) + 0,46^2 = 0,614$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,614 + \sqrt{0,614^2 - 0,46^2}} = 0,98$$

## Součinitel vzpěru k ose z

$$\begin{aligned}\lambda_z &= \frac{Lz}{iz} = \frac{1,27}{0,0462} = 27,5 \\ \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0ck}}{E_{0,05}}} = \frac{27,5}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 10^6}{9,4 \cdot 10^9}} = 0,46 \\ k_z &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,46 - 0,3) + 0,46^2) = 0,614 \\ k_{cz} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,614 + \sqrt{0,614^2 - 0,46^2}} = 0,98\end{aligned}$$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo

## Výpočet napětí

Návrhová napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-5870}{0,0256} = -0,229 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40}{1,3} = 21,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$s = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,229}{0,98 \cdot 14} = 0,016$$

$0,016 \leq 1 \rightarrow$  průřez vyhovuje na vzpěr

Pozn.1.: Návrh průřezu 160/160 mms využitím 1,6 % je z důvodu provedení detailu napojení na konzolu, kde je potřebná šířka vzpěry 160mm, aby byl odstraněn čtyřstřížný spoj, rozhodujícím faktorem pro dimenzaci tohoto detailu bude návrh styků

Pozn.2.: Průřez 160/160 mm je navržen pro sloup sekce 3 a 4, pro sekce 1 a 2 bude průřez navýšen dle vzorce  $a=b=c-40$ mm, přičemž  $a,b$  je hrana vzpěry a  $c$  je rozměr sloupu

označení prvku	název	původní průřez	optimalizovaný průřez
-	Konzolový nosník	2x 100/200	2x 80/160
-	Vzpěra schodiště	100/200	160/160

Tabulka 16: Porovnání vzpěr plošiny

### 5.6.3. Posouzení schodišťových stupňů

Materiál schodišťových stupňů v původním i novém návrhu bude dub, který má velmi dobrou odolnost proti mechanickému poškození a vynikající trvanlivost

*Zatížení stálé:*

Název	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]	q [kN/m <sup>3</sup> ]	Tíha [kN]
Stupnice	1	1	0,045	6,8	0,306

Výpočtová hodnota liniového zatížení  $0,306 \cdot 1,35 = 0,413 \text{ kN/m}^2$ , zatížení od sněhu není zavedeno z důvodu kombinace s užitným zatížením.

*Užitné zatížení:*

$q_k$  z důvodu možnosti shromáždění velkého množství lidí volena dle národní přílohy a to hodnotou  $3 \text{ kN/m}^2$

Zvolená charakteristická hodnota:

$$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

Výpočtová hodnota užitného zatížení:

$$q_d = q_k \cdot \lambda_f$$

$$q_d = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

*Celkové rovnoměrné spojitě zatížení:*

$$q_k = 0,316 + 3 = 3,316 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 0,316 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5 = 4,926 \text{ kN/m}^2$$

*Maximální rozpět:*

$$l = 1500 \text{ mm}$$

*Rovnoměrné spojitě zatížení :*

$$f_d = q_d \cdot 0,3 = 4,926 \cdot 0,3 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

*Maximální moment:*

$$M_{ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = 0,125 \cdot 3,02 \cdot 1,5^2 = 0,415 \text{ kNm}$$

*Průřezový modul:*

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 35^2 = 61250 \text{ mm}^3$$

*Výpočtové ohybové napětí:*

$$\sigma_d = \frac{M_{ed}}{W_y} = \frac{0,415 \cdot 10^6}{61250} = 6,775 \text{ MPa}$$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení

Krátkodobé

modifikační součinitel

$k_{mod} = 0,7$  (tab. 3.1)

třída provozu

Třída provozu 3

materiál

Masivní dřevo

typ dřeva

D40 (EN 338)

pevnost v talku rovnoběžně s vlákny

$f_{c,0,k} = 26 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost v ohybu:  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$

Posouzení:  $s = \frac{\sigma_d}{f_{m,d}} = \frac{6,775}{14} = 0,48$

→ Schodišťové stupně D40 tl. 35mm vyhovují na ohyb

#### 5.6.4. Posouzení schodnice

Průřez schodnice: 50/200 mm

Zatížení stálé:

Název	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]	$q$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Tíha [kN]
Stupnice	1	1	0,045	6,8	0,306

Výpočtová hodnota liniového zatížení  $0,306 \cdot 1,35 = 0,413 \text{ kN/m}^2$ , zatížení od sněhu není zavedeno z důvodu kombinace s užitným zatížením.

Užitné zatížení:

$q_k$  z důvodu možnosti shromáždění velkého množství lidí volena dle národní přílohy a to hodnotou  $3 \text{ kN/m}^2$

Zvolená charakteristická hodnota:  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$

Výpočtová hodnota užitého zatížení:  $q_d = q_k \cdot \lambda_f$   
 $q_d = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$

Celkové rovnoměrné spojitě zatížení:  $q_k = 0,316 + 3 = 3,316 \text{ kN/m}^2$   
 $q_d = 0,316 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5 = 4,926 \text{ kN/m}^2$

Převod na šikmé zatížení -  $\alpha = 35^\circ$ :  $q_{d\alpha} = q_d \cdot \cos \alpha = 4,926 \cdot \cos 35 = 4,035 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířka:  $l_b = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ m}$

Celkové zatížení na nosník:  $q_{d\alpha C} = q_{d\alpha} \cdot l_b = 4,035 \cdot 0,75 = 3,026 \text{ kN/m}$

Maximální rozpětí:  $l = 2500 / \cos \alpha = 2500 / \cos 35^\circ = 3,05 \text{ m}$

Maximální moment:  $M_{ed} = \frac{1}{8} \cdot q_{d\alpha C} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 3,026 \cdot 3,05^2 = 3,49 \text{ kNm}$

Průřezový modul:  $w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 50 \cdot 200^2 = 333333 \text{ mm}^3$

Výpočtové ohybové napětí:  $\sigma_d = \frac{M_{ed}}{w_y} = \frac{3,49 \cdot 10^6}{333333} = 10,47 \text{ MPa}$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo
typ dřeva	C24 (EN 338)
pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 21$ MPa
pevnost za ohybu	$f_{myk} = 24$ MPa

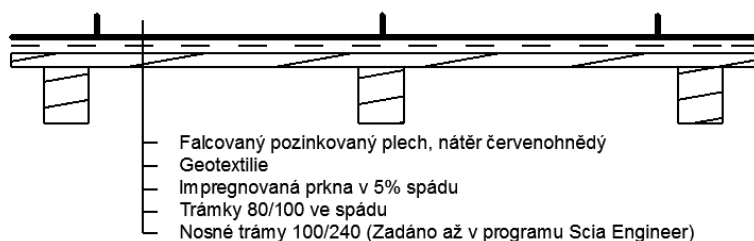
Návrhová pevnost v ohybu:  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 1,24}{1,3} = 12,923$  MPa

Posouzení:  $s = \frac{\sigma_d}{f_{m,d}} = \frac{10,47}{12,923} = 0,81$

→ Schodnice C24 50/ 200 mm vyhovuje na ohyb

## 5.7. Posouzení střešního záklopu

Zatížení stálé:



Obrázek 42: Schéma skladby střešní konstrukce

Skladba konstrukce střechy:		charakteristické	$\lambda_f$	návrhové
Falcovaný pozinkovaný plech	80.0,003	0,240 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,324 kN/m <sup>2</sup>
impregnovaná prkna	4,5.0,024	0,108 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,146 kN/m <sup>2</sup>
Vlastní tíha trámkový		0,300 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,405 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma$	0,648 kN/m <sup>2</sup>	$\Sigma$	0,875 kN/m <sup>2</sup>

Zatížení užité:

montážník (střecha kategorie H)	0,4 kN/m <sup>2</sup>	1,5	0,6 kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----------------------	-----	-----------------------

Pozn.: Zatížení montážníkem uvažováno dle ČSN EN 1991-1-1 jako doporučená hodnota



### Zatížení sněhem:

Dle ČSN EN 1992-1-3:2005/Z1:2006 byla zvolena sněhová oblast 2

$$s_k = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,70 = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

$$s_d = \lambda_f \cdot s_k = 0,7 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$\mu_i$  Pro střechy se sklonem  $\alpha = 0^\circ \div 30^\circ \mu_i = 0,8$

$c_e, c_t$  Dle NAD ČR:  $c_e = 1,0$

$c_t = 1,0$

### Celkové rovnoměrné spojité zatížení:

$$q_k = 0,648 + 0,4 + 1,05 = 2,098 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 0,648 \cdot 1,35 + 0,4 \cdot 1,5 + 1,05 \cdot 1,5 = 3,05 \text{ kN/m}^2$$

---

Pozn.: Střešní záklop bude vytvořen z prken o minimální šířce 150 mm a tloušťce 18 mm. Posudek bude proveden pro krajní prkno, s přepočtem zatížení na šířku prkna 150 mm.

Maximální rozpětí krajních prken:  $l = 1282 \text{ mm}$

Rovnoměrné spojité zatížení:  $f_d = q_d \cdot 0,15 = 3,05 \cdot 0,15 = 0,4575 \text{ kN/m}$

Maximální moment:  $M_{ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = 0,125 \cdot 0,4575 \cdot 1,282^2 = 0,0944 \text{ kNm}$

Průřezový modul:  $w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 18^2 = 8100 \text{ mm}^3$

Výpočtové ohybové napětí:  $\sigma_d = \frac{M_{ed}}{w_y} = \frac{0,0944 \cdot 10^6}{8100} = 11,65 \text{ MPa}$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,9$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 2
materiál	Masivní dřevo
typ dřeva	C24 (EN 338)
pevnost v talku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$
pevnost za ohybu	$f_{myk} = 24 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05} = 7,4 \text{ GPa}$

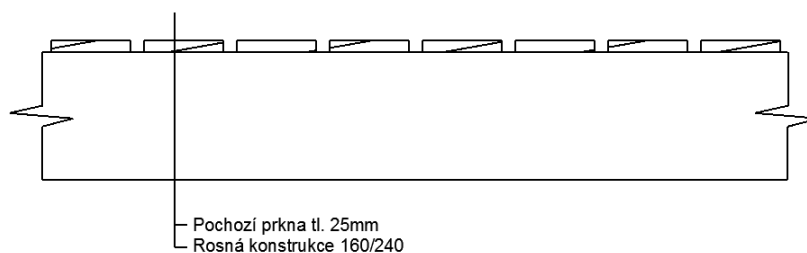
Návrhová pevnost v ohybu:  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_n \cdot f_{m,y,k}}{Y_m} = \frac{0,9 \cdot 1,24}{1,3} = 16,615 \text{ MPa}$

Posouzení:  $s = \frac{\sigma_d}{f_{m,d}} = \frac{11,654}{16,615} = 0,701$

→ prkna C24 tl. 18mm vyhovují na ohyb

## 5.8. Posouzení pochozích prken plošiny

Zatížení stálé:



Obrázek 43: Schéma skladby podlahy

Skladba:		charakteristické	$\lambda_f$	návrhové
Pochozí prkna	5,5.0,035	0,193 kN/m <sup>2</sup>	1,35	0,289 kN/m <sup>2</sup>
		$\Sigma$ 0,193 kN/m <sup>2</sup>	$\Sigma$	0,289 kN/m <sup>2</sup>

Zatížení užité:

Dle dle ČSN EN 1991-1-1 TAB.1 byla konstrukce plošiny zařazena do kategorie C5: Plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní sítě, sportovní haly, včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště.

Zvolena doporučená charakteristická hodnota:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

Výpočtová hodnota užitého zatížení:

$$q_d = q_k \cdot \lambda_f$$

$$q_d = 5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

Celkové rovnoměrné spojitě zatížení:

$$q_k = 0,193 + 5 = 5,193 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 0,193 \cdot 1,35 + 5 \cdot 1,5 = 7,76 \text{ kN/m}^2$$

Pozn. : Pochozí část plošiny bude vytvořena z prken o minimální šířce 150 mm a tloušťce 30mm. Posudek bude proveden pro krajní prkno, s přepočtem zatížení na šířku prkna 150 mm.

<i>Maximální rozpětí krajních prken:</i>	$l$	$= 1282 \text{ mm}$
<i>Rovnoměrné spojitě zatížení :</i>	$f_d$	$= q_d \cdot 0,15 = 7,76 \cdot 0,15 = 1,164 \text{ kN/m'}$
<i>Maximální moment:</i>	$M_{ed}$	$= \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = 0,125 \cdot 1,164 \cdot 1,282^2 = 0,239 \text{ kNm}$
<i>Průřezový modul:</i>	$w_y$	$= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 30^2 = 22500 \text{ mm}^3$
<i>Výpočtové ohybové napětí:</i>	$\sigma_d$	$= \frac{M_{ed}}{w_y} = \frac{0,239 \cdot 10^6}{22500} = 10,622 \text{ MPa}$

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

třída trvání zatížení	Krátkodobé
modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
třída provozu	Třída provozu 3
materiál	Masivní dřevo
typ dřeva	C24 (EN 338)
pevnost v talku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05} = 7,4 \text{ GPa}$

*Návrhová pevnost v ohybu:*  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 1,24}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$

*Posouzení:*  $s = \frac{\sigma_d}{f_{md}} = \frac{10,622}{12,92} = 0,822$

→ prkna C24 tl. 30mm vyhovují na ohyb

## 6. Porovnání původního a nového návrhu

### 6.1. Výkaz materiálu původní návrh

Název	b	h	Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	
Sloup sekce 1	350	350	350/350	C24	45,32	64,77	2935,7	90,68	370	7,93	
Paždík	150	150	150/150	C24	8,35	520,63	4334,2	312,38	370	11,71	
Sloup sekce 2	300	300	300/300	C24	33,3	66,15	2202,8	79,38	370	5,95	
Sloup sekce 3	250	250	250/250	C24	23,12	66,15	1529,7	66,15	370	4,13	
Vzpěra	160	240	160/240	C24	14,21	62,84	892,8	50,27	370	2,41	
Sloup sekce 4	250	250	250/250	C24	23,12	63,27	1463,1	63,27	370	3,95	
Plošina vodorovný	160	240	160/240	C24	14,21	85,28	1211,7	68,22	370	3,27	
Plošina výměna	80	140	80/140	C24	4,14	8,51	35,3	3,74	370	0,10	
Plošina podlaha	80	140	80/140	C24	4,14	38,94	161,4	17,13	370	0,44	
Plošina okraj	120	240	120/240	C24	10,65	30,7	327,1	22,10	370	0,88	
Sloupek střecha	160	240	160/240	C24	7,25	36,42	264,1	20,40	370	0,91	
Nosník střecha	140	240	140/240	C24	12,43	39,06	485,6	29,69	370	1,31	
Výměna střecha	140	160	140/160	C24	8,28	84,38	699,3	50,63	370	1,89	
Schodiště konzola	200	200	2x 100/200	C24	14,8	214,68	3177,3	171,74	370	8,59	
Vzpěra schodiště	100	200	100/200	C24	7,4	30,96	229,1	18,58	370	0,62	
						<b>Σ</b>	1412,74	19949,3	1064,36	-	53,92

Tabulka 17: Výkaz materiálu původní

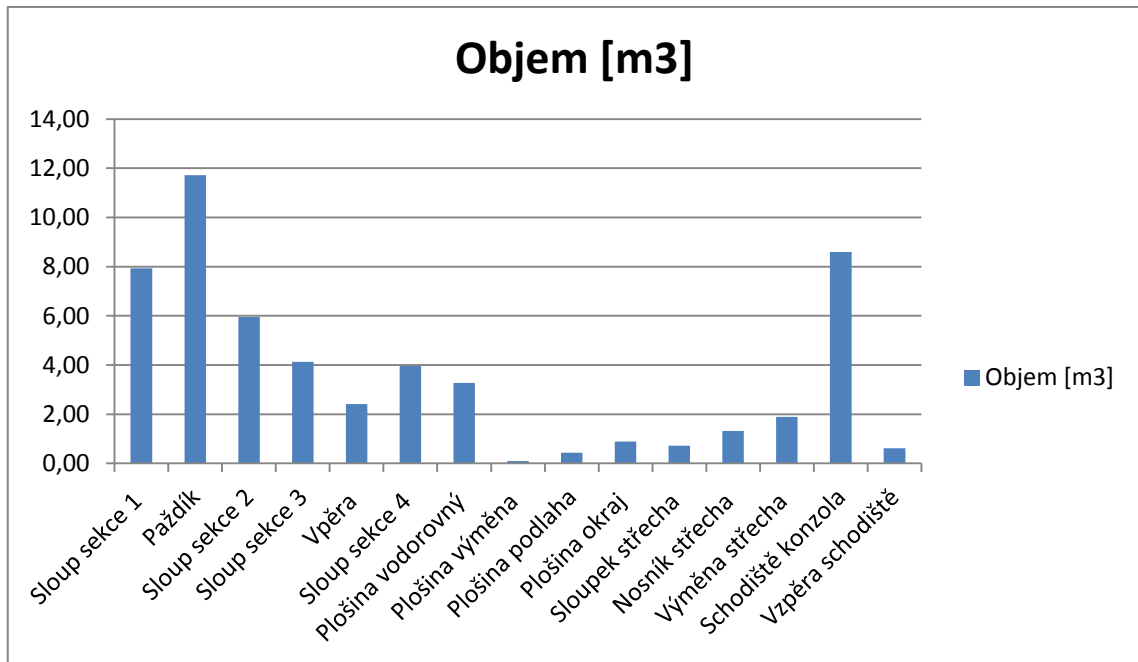
### 6.2. Výkaz materiálu nový návrh

Název	b	h	Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	
Sloup sekce 1	250	250	250/250	C40	37,5	64,77	151,8	64,77	600	4,05	
Paždík	120	120	120/120	C40	8,64	520,63	64,8	249,90	600	7,50	
Sloup sekce 2	220	220	220/220	C40	29,04	66,15	93,0	58,21	600	3,20	
Sloup sekce 3	200	200	200/200	C40	24	66,15	63,5	52,92	600	2,65	
Vpěra	120	180	120/180	C40	12,96	62,84	17,6	37,70	600	1,36	
Sloup sekce 4	200	200	200/200	C40	24	63,27	60,7	50,62	600	2,53	
Plošina vodorovný	80	120	80/120	C40	5,76	85,28	4,7	34,11	600	0,82	
Plošina výměna	60	100	60/100	C40	3,6	8,51	0,2	2,72	600	0,05	
Plošina podlaha	60	100	60/100	C40	3,6	38,94	0,8	12,46	600	0,23	
Plošina okraj	80	120	80/120	C40	5,76	30,7	1,7	12,28	600	0,29	
Sloupek střecha	80	140	80/140	C40	11,76	36,42	8,4	20,40	600	0,71	
Nosník střecha	80	140	100/140	C40	8,4	39,06	4,6	18,75	600	0,55	
Výměna střecha	140	160	140/160	C40	13,44	100,54	30,3	60,32	600	2,25	
Schodiště konzola	200	160	2x 100/160	C40	19,2	214,68	131,9	154,57	600	6,87	
Vzpěra schodiště	160	160	160/160	C40	15,36	30,96	12,2	19,81	600	0,79	
Větec plošina	120	160	120/160	C40	11,52	20,1	4,4	11,26	600	0,39	
						<b>Σ</b>	1449,00	650,6	860,81	-	34,24

Tabulka 18: Výkaz materiálu nový

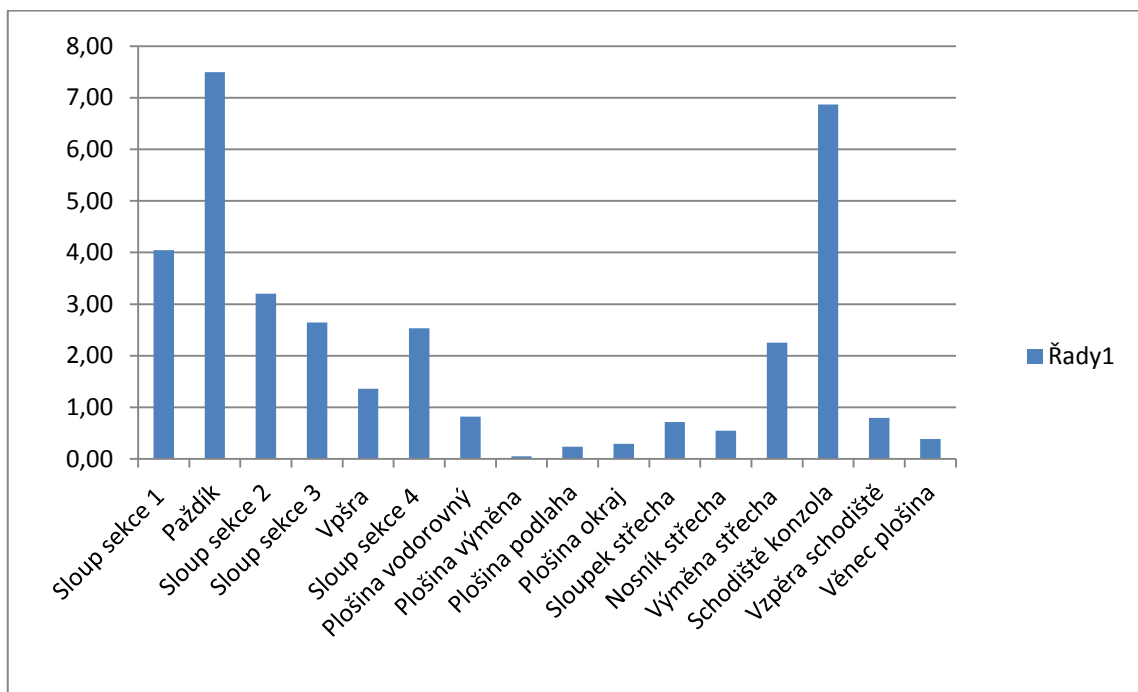
### 6.3. Grafické porovnání návrhů – objemy řeziva

#### 6.3.1. Původní návrh



Graf 3.: Grafické porovnání použitého řeziva – původní návrh

#### 6.3.2. Nový návrh



Graf 4.: Grafické porovnání použitého řeziva – nový návrh

## 6.4. Shrnutí

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že novým návrhem se zmenšila nátěrová plocha celé konstrukce z 1064 na 849 m<sup>2</sup>, což je snížení o 20,2%. V případě kdyby obě konstrukce měly být opatřeny bezbarvým impregnačním nátěrem proti vlhkosti Osmo WR, znamenalo by to, při aktuální ceně impregnace 609 Kč/ 1L bez DPH a vydatnosti 200ml / m<sup>2</sup>, cenovou úsporu 25 699 Kč, pouze za materiál, bez započítání ceny práce za aplikaci. Na původní konstrukci by bylo spotřebováno 212 litrů impregnačního nátěru a na nově navrženou konstrukci by bylo spotřebováno 169,8 litrů impregnace.

Pokud se zaměřím na samotný materiál, v původním návrhu bylo potřeba 53,92m<sup>3</sup> smrkového řeziva třídy pevnosti C24, což při průměrné ceně řeziva 5400 Kč/m<sup>3</sup> bez DPH znamená, celkovou cenu pouze za řezivo 391 168 Kč bez DPH. Oproti tomu v novém návrhu, ve kterém bylo použito modřínového řeziva a využití průřezů se pohybovalo okolo 75%, byla spotřeba materiálu 34,23 m<sup>3</sup> modřínového řeziva. Při aktuální ceně 6400 Kč/m<sup>3</sup> bez DPH, bude cena řeziva v novém návrhu 216 640 Kč bez DPH.

Celkový rozdíl v ceně při započítání ceny za materiál a impregnaci, je cena původního návrhu 520 276 Kč bez DPH a cena nového optimalizovaného návrhu 320 048 Kč. Při procentuálním porovnání obou návrhů se jedná o snížení nákladů na použité řezivo o 38,5%.

---

Pozn.1.: Výše uvedené shrnutí je provedeno bez schodiště tj. bez schodišťových stupňů, jejich podepření, konstrukce zastřešení a zábradlí. Je předpokládána stejná spotřeba materiálu jak v původním, tak v novém návrhu.

Pozn.2.: V návrhu se objevují různé průřezy s různým cenovým ohodnocením ve velkém rozsahu, proto byla cena řeziva stanovena jako průměr a to průměr vážený z použitých průřezů, přes jejich objemy.

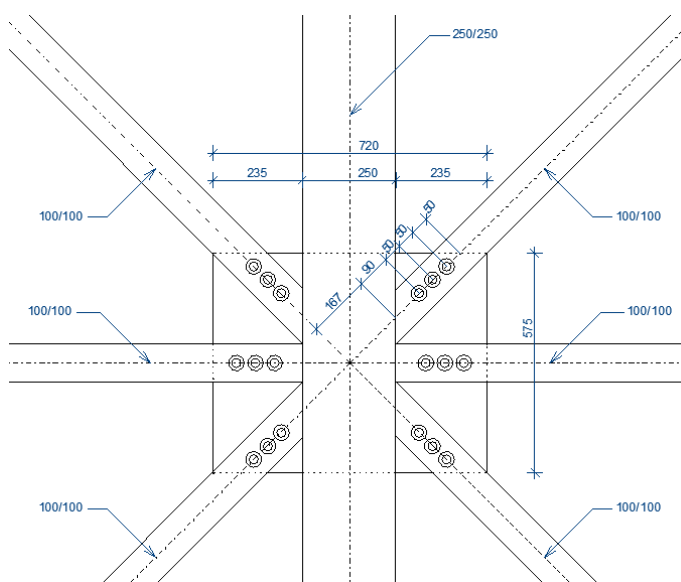
## 7. Návrh a posouzení konstrukčních detailů

### 7.1. Přípoj paždík sloup - jednostřížný



Obrázek 44: Návrhové vnitřní síly pláště

Vzhledem k velikosti normálových sil, působících v plášti konstrukce, bude nutná úprava daného spoje. Použitý spoj přenáší velmi dobře tlakovou normálovou sílu kontaktem, ale problém nastává v momentě, kdy v prvku začne působit normálová síla tahová. Z tohoto důvodu musí být spoj opatřen ocelovou deskou, na kterou budou připevněny diagonály pomocí závitových tyčí. Návrh přípoje diagonály na desku bude proveden na nejnepříznivější kombinaci zatížení, tedy na tahovou normálovou sílu, která nabývá hodnoty 16,09 kN a předpokladem výpočtu bude přenesení tahové síly pouze svorníky a tlakové síly kontaktem.



Obrázek 45: Schéma napojení pláště na sloup

## Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26 MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40 MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4 GPa

## Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 100 mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 5 mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 100 mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 14 mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 2

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otláčení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 14) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 42,3 MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 · $f_u$ · $d^{2,6}$ = 0,3 · 800 · 12 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 229 kNm

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d}$	= 16,1 kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha$	= 0°
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma$	= 1,3



## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnosti:

$$F_{v,a,Rk} = 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_w \cdot d = 0,4 \cdot 42,3 \cdot 10^6 \cdot 0,05 \cdot 0,014 = 23,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,b,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 229 \cdot 42,3 \cdot 10^6 \cdot 0,014} = 18,9 \text{ kN}$$

$$F_{v,c,Rk} = f_{h,k} \cdot t_w \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_w^2}} - 1 \right) \\ = 42,3 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 0,014 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 229}{42,3 \cdot 10^6 \cdot 0,014 \cdot 0,1^2}} - 1 \right) = 27,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,d,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{229 \cdot 42,3 \cdot 10^3 \cdot 0,014} = 26,8 \text{ kN}$$

$$F_{v,e,Rk} = f_{h,k} \cdot t_w \cdot d = 42,3 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,014 = 59,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min(F_{v,a,Rk}; F_{v,b,Rk}) = \min(23,7; 18,9) = 18,9 \text{ kN}$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 18949}{1,3} = 20,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{16090}{20406} = 0,788$$

$$0,788 \leq 1 \rightarrow \text{spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M14}$$

Diagonály budou ke sloupu připojeny pomocí pásovinové oceli průřezu 5/40, viz. projektová dokumentace – detail přípoj diagonála/sloup

## Posudek oceli na tah:

$$F_{vrd} = A \cdot f_y / Y_m = 5 \cdot 40 \cdot 355 / 1,3 = 54 \,615 \text{ N}$$

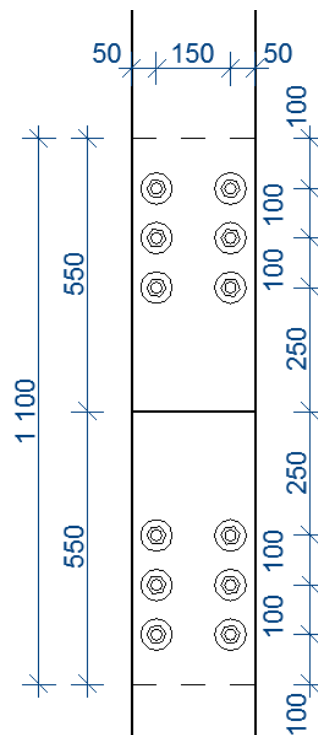
$$F_{ved} = 16,09 \text{ kN}$$

$$s = F_{ved} / F_{vrd} = 16 \,090 / 54 \,615 = 0,29 \leq 1$$

→ pásovina 5/40 vyhovuje na tah

## 7.2. Přípoj sloup/sloup - dvojstřížný

Předpoklad výpočtu přípoje sloup / sloup: tlakové síly se přenesou pomocí kontaktu, spojení sloupu je dimenzováno jako kloubové, prostorová tuhost zajištěna pláštěm konstrukce. Vlastní přípoj bude navržen na maximální tahovou sílu a ve spoji bude použit ocelový plech a tloušťce 12 mm. Největší tahová síla ve sloupech nastane při minimálně zatížené konstrukci svislým zatížením a plném zatížení větrem. Tah při této kombinaci nabývá hodnoty 48,6 kN. Výpočet proveden jako dvojstřížný spoj pro libovolnou tloušťku desky jako střední prvek dvojstřížného spoje.



Obrázek 46: Schéma přípoj sloup/sloup

### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 200	mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 12	mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 100	mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 16	mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 4	

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otláčení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 16) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 41,3 MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 · $f_u$ · d <sup>2,6</sup> = 0,3 · 800 · 16 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 324 kNm

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d}$	= 48,6 kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha$	= 0°
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma$	= 1,3

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost - f;g;h (8.11):

$$F_{v,f,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 0,5 \cdot 41,3 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,016 = 33,04 \text{ kN}$$

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right)$$
$$= 41,3 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 0,016 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 324}{12,3 \cdot 10^6 \cdot 0,016 \cdot 0,1^2}} - 1 \right) = 41,66 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{324 \cdot 41,3 \cdot 10^6 \cdot 0,016} = 33,65 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,f,Rk}; F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}) = \min (33,04; 41,66; 33,65) = 33,65 \text{ kN}$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 4 \cdot 33650}{1,3} = 72,47 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{48660}{72470} = 0,671$$

$0,671 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 4x svorník M16

**Posudek plechu 12/200 na tah:**

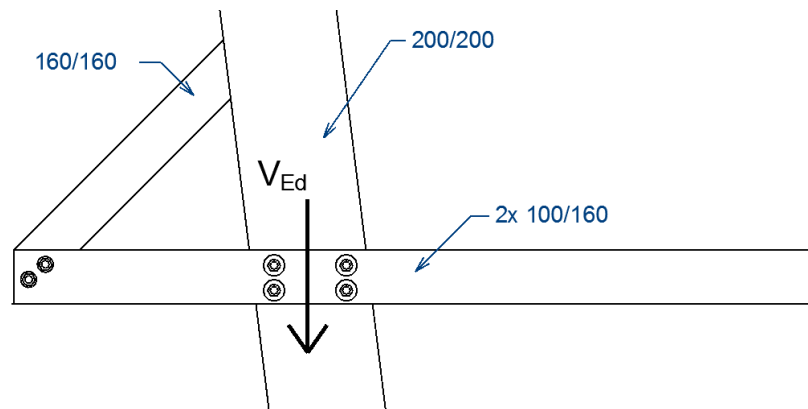
$$F_{vrd} = A \cdot f_y / Y_m = 12 \cdot 200 \cdot 355 / 1,3 = 655384 \text{ N}$$

$$F_{ved} = 48,66 \text{ kN}$$

$$s = F_{ved} / F_{vrd} = 48\,660 / 655\,384 = 0,07 \leq 1$$

$\rightarrow$  plech 12/200 vyhovuje na tah

### 7.3. Schodiště



Obrázek 47: Schéma přípoje konzola/sloup

Jako první bude navržen přípoj konzoly na sloup, bude uvažován jako dvojitřížný spoj dřevo-dřevo, v němž působí síla  $V_{Ed}$  o velikosti 24,37 kN. Ve výpočtu bude zanedbáno zapaštění konzoly a předpokladem bude, že veškeré účinky zatížení přenesou spojovací prvky.

#### 7.3.1. Přípoj konzola/sloup

##### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

## Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

### Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 160 mm
Tloušťka prvku 1	$t_1$	= 100 mm
Tloušťka prvku 2	$t_2$	= 200 mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 24 mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 2

### Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 830 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otačení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 24) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 37,39 MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 · $f_u$ · $d^{2,6}$ = 0,3 · 830 · 24 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 930 kNm

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

### Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d}$	= 23,37 kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha$	= 0°
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma$	= 1,3

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost – g;h;j;k (8.7):

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 37,39 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,024 = 34,98 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 37,39 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,024 = 59,82 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} F_{v,j,Rk} &= 1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left( \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right) \\ &= 1,05 \cdot \frac{37,39 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 24}{2+1} \cdot \left( \sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot (2+1) \cdot 930}{37,39 \cdot 10^6 \cdot 0,024 \cdot 0,1^2}} - 1 \right) = 23,009 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{v,k,Rk} &= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} \\ &= 1,15 \cdot \sqrt{930 \cdot 37,39 \cdot 10^6 \cdot 0,024} = 33,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{v,1,Rk} &= \min (F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}; F_{v,j,Rk}; F_{v,k,Rk}) \\ &= \min (34,98; 59,82; 23,01; 33,58) = 23,01 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\beta = f_{h,1k} / f_{h,1k} = 37,39 / 37,39 = 1$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 1,22 \cdot 23,01}{1,3} = 34,79 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min (n_b; (n_b^{0,9} \cdot a_1 / (13 \cdot d))^{0,25}) = \min (2; 1,22) = 1,4$$

$$a_1 = 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

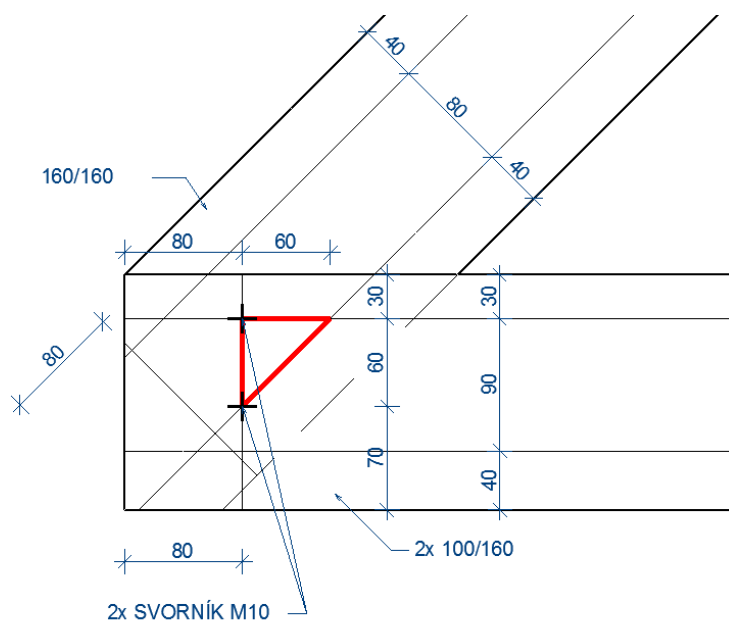
Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{23,37}{34,79} = 0,704$$

$0,704 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M16

### 7.3.2. Přípoj konzola/vzpěra

Tento přípoj bude navržen jako dvojitřizný svorníkový spoj dřevo-dřevo, spojující průřez 2x100/160 mm a 160/160 mm. V přípoji působí síla 5,87 kN pod úhlem 45°. Nejprve budou zkontrolovány rozteče, vzhledem ke geometrii konstrukce je nutné posouzení roztečí a vzdáleností od okrajů pro spojovací prvky. V tomto typu přípoje se nabízí použití jednoho svorníku a vytvoření kloubového přípoje, avšak použití pouze jednoho svorníku je nebezpečné a při jeho poškození by došlo ke kolapsu konstrukce, proto budou navrženy minimálně dva svorníky s pevností 5.6, s menším průměrem a budou navrženy jejich rozteče a vzdálenosti od okrajů.



Obrázek 48: Návrh roztečí a vzdáleností od okrajů

### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 160	mm
Tloušťka prvku 1	$t_1$	= 100	mm
Tloušťka prvku 2	$t_2$	= 160	mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 10	mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 2	

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 500 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otláčení $f_{h1k}$	$f_{h,k}$	= 0,082 . (1 - 0,01 . d) . $\rho_k$ = 0,082.(1-0,01. 10).600. 10 <sup>6</sup> = 29,52 MPa

Pevnost dřeva v otláčení  $f_{h2k}$

$$f_{ha,k} = \frac{f_{h0k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 10 = 1,5$$

(pro jehličnaté dřevo)

$$f_{ha,k} = \frac{29,52}{1,5 \cdot \sin^2 45 + \cos^2 45} = 23,62$$

$$\beta = f_{h,1k} / f_{h,2k} = 29,52 / 23,62 = 1,25$$

$$\begin{aligned} \text{Moment únosnosti spojovacího prostředku } M_{y,Rk} &= 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} \\ &= 0,3 \cdot 500 \cdot 10^{2,6} \cdot 10^{-3} \\ &= 59,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d} = 5,87 \text{ kN}$
Úhel síly a směru vláken	$\alpha = 45^\circ$
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma = 1,3$

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost – g;h;j;k (8.7):

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 29,52 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,01 = 23,616 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 23,62 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,01 = 23,620 \text{ kN}$$

$$F_{v,j,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left( \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right)$$

$$= 1,05 \cdot \frac{29,52 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10}{2 + 1,25} \cdot \left( \sqrt{2 \cdot 1,25 \cdot (1 + 1,25) + \frac{4 \cdot 1,25 \cdot (2 + 1,25) \cdot 59,719}{29,52 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot 0,1^2}} - 1 \right) = 9,208 \text{ kN}$$



$$F_{v,k,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d}$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,25}{1 + 1,25}} \cdot \sqrt{59,719 \cdot 29,52 \cdot 10^6 \cdot 0,01} = 6,44 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}; F_{v,j,Rk}; F_{v,k,Rk})$$

$$= \min (23,62; 23,616; 9,208; 6,44) = 6,44 \text{ kN}$$

### Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 1,47 \cdot 6,44}{1,3} = 10,19 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min (n_b; (n_b^{0,9} \cdot a_1 / (13 \cdot d))^{0,25}) = \min (2; 1,22) = 1,4$$

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = (4 + \cos 45) \cdot 10 = 47,07 \text{ mm}$$

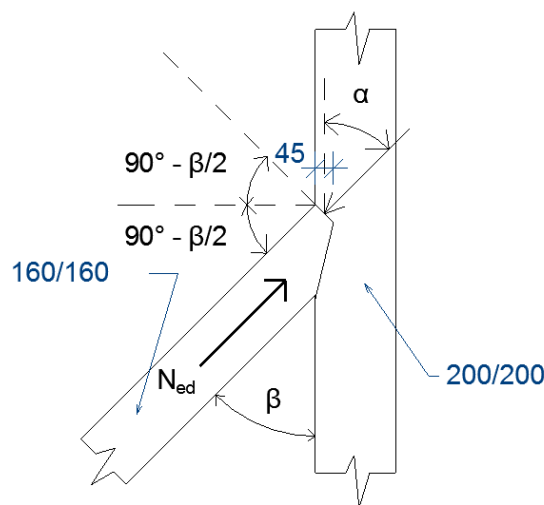
Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{5,87}{10,19} = 0,576$$

$0,576 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M10

### 7.3.3. Přípoj vzpěra / sloup

Vzhledem k aktuálnímu poškození konstrukce, které je mimo jiné zapříčiněno právě tímto nesprávně provedeným spojem, je nutné jeho posouzení. Přípoj bude navržen jako tesařský jednoduchý polozapuštěný spoj, který bude zajištěn 2x vrut 10 x 200mm.



Obrázek 49: Schéma přípoje vzpěra/sloup

### Posouzení jednoduchého šikmého zapuštění:

*Materiálové parametry:*

tah kolmo k vláknům	$f_{t90k}$	=	0,4	MPa
tlak II s vlákny	$f_{c0k}$	=	26	MPa
tlak kolmo k vláknům	$f_{c90k}$	=	2,9	MPa

*Geometrie:*

šikmý prvek zapuštění svírá se svislým úhel  $\beta = 45^\circ$

*Zatížení:*

V ose šikmého prvku působí návrhová síla  $N_{ed} = 5,87$  kN

### Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

*Návrhová pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně a kolmo k vláknům:*

$$f_{c0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{26}{1,3} = 14 \text{ MPa}$$

$$f_{c90d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{2,9}{1,3} = 1,56 \text{ MPa}$$

*Návrhová pevnost v tlaku šikmo k vláknům: ( $k_{c90} = 1$ )*

$$f_{c\alpha,d} = \frac{f_{c0d}}{k_{90} \cdot f_{c0d}} \cdot \frac{f_{c0d}}{\sin^2 45 + \cos^2 45} = \frac{14}{3,14 \cdot \sin^2 22,5 + \cos^2 22,5} = 8,507 \text{ MPa}$$

*Návrhová pevnost dřeva ve smyku:*

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

*Posouzení zapuštění na otláčení a usmyknutí:*

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cdot \cos^2 \alpha}{b \cdot t_z} = \frac{5870 \cdot \cos^2 22,5^\circ}{160 \cdot 45} = 0,695 \text{ MPa} < 8,507 \text{ MPa}$$

$$T_{v,d} = \frac{N_d \cdot \cos^2 \alpha}{b \cdot l_z} = \frac{5870 \cdot \cos^2 22,5^\circ}{55 \cdot 45} = 2,020 \text{ MPa} < 2,15 \text{ MPa}$$

→Šikmé jednoduché zapuštění vyhovuje

---

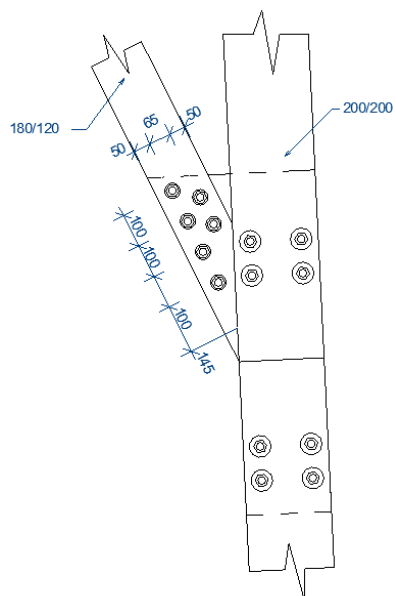
Pozn.: Minimální vzdálenost zapuštění od konce sloupu (včetně napojené sloup / sloup) je stanovena na 55mm, při dodržení této vzdálenosti zapuštění vyhovuje na usmyknutí

[7]

## 7.4. Plošina

### 7.4.1. Přípoj vzpěra plošiny – sloup

Ve vzpěře působí tlaková normálová síla 46,55 kN, vzhledem ke geometrii přípoje resp. k malému úhlu mezi sloupem a vzpěrrou, bude předpoklad výpočtu uvažovat, že může dojít k příčným objemovým změnám sloupu, popřípadě usmyknutí a proto bude přípoj navržen jako bezkontaktní a to tak, že svorníky budou přenášet normálovou sílu o hodnotě 46,55 kN.



Obrázek 50: Scéma přípoj vzpěra plošiny/sloup

### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 180	mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 12	mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 60	mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 12	mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 6	

### Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800	MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600	kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otlacení	$f_{h,k}$	= 0,082 . (1 - 0,01 . d) . $\rho_k$ = 0,082 . (1-0,01.12).600 . 10 <sup>6</sup> = 43,3	MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 . $f_u$ . $d^{2,6}$ = 0,3.800.12 <sup>2,6</sup> .10 <sup>-3</sup> = 153	kNm

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

### Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d} = 46,6$ kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha = 0^\circ$
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma = 1,3$

### Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost - f;g;h (8.11):

$$F_{v,f,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 43,3 \cdot 10^6 \cdot 0,06 \cdot 0,012 = 31,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right)$$
$$= 43,3 \cdot 10^3 \cdot 0,06 \cdot 0,012 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 153}{43,3 \cdot 10^6 \cdot 0,012 \cdot 0,06^2}} - 1 \right) = 16,4 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{153 \cdot 43,3 \cdot 10^6 \cdot 0,012} = 20,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,f,Rk}; F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}) = \min (31,2; 16,4; 20,5) = 16,4 \text{ kN}$$

### Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

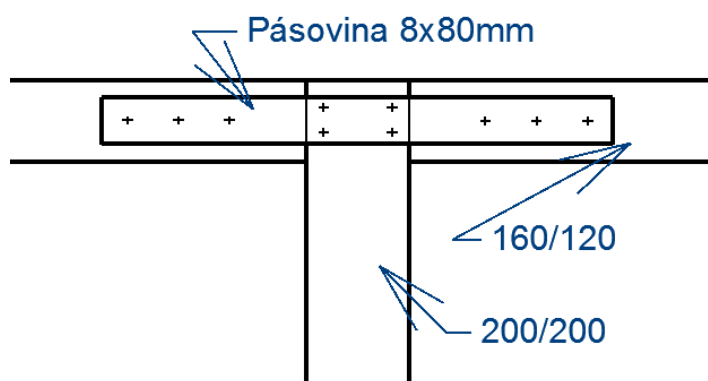
$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 6 \cdot 16393}{1,3} = 52,961 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{46550}{52961} = 0,879$$

$0,879 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 6x svorník M12

#### 7.4.2. Přípoj vzpěra věnec plošiny/sloup



Obrázek 51: Schéma přípoje věnec/sloup

Předpoklad výpočtu – tah přenášen svorníky a ocelovým plechem, tlak přenášen dotykem dřevěných prvků. Spoj uvažován jako jednostřížný ocel/dřevo.

#### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

#### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 160	mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 8	mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 120	mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 14	mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 3	

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otláčení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 8) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 45,3 MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 · $f_u$ · d <sup>2,6</sup> = 0,3 · 800 · 8 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 53,5 kNm

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d}$	= 8,16 kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha$	= 0°
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma$	= 1,3

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost – c,d,e (8.11):

$$F_{v,c,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,12 \cdot 0,008 = 43,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,d,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right)$$

$$= 45,3 \cdot 10^3 \cdot 0,12 \cdot 0,008 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 53,5}{45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008 \cdot 0,12^2}} - 1 \right) = 18,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,e,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 53,5 \cdot 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008} = 14,322 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,f,Rk}; F_{v,g,Rk}; F_{v,g,Rk}) = \min (43,5; 18,6; 14,322) = 14,322 \text{ kN}$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 14322}{1,3} = 15,423 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{8160}{15423} = 0,529$$

$0,529 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M8

## Posudek plechu 8/100 na tah:

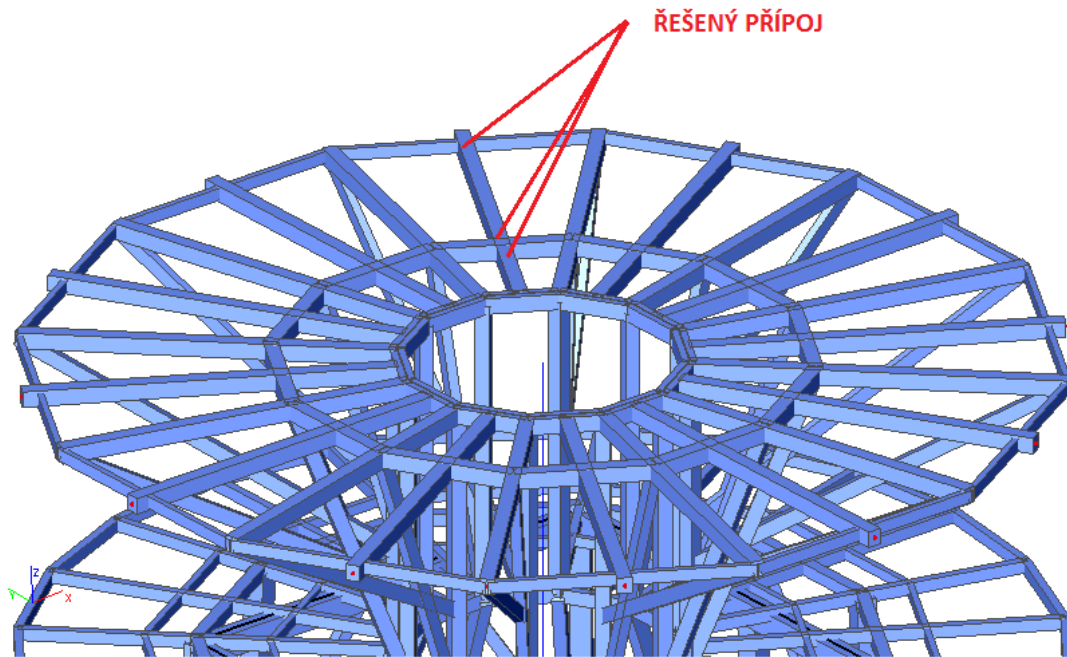
$$F_{vrd} = A \cdot f_y / Y_m = 8 \cdot 100 \cdot 355 / 1,3 = 218\,461 \text{ N}$$

$$F_{ved} = 8,16 \text{ kN}$$

$$s = F_{ved} / F_{vrd} = 8,16 / 218461 = 0,037 \leq 1$$

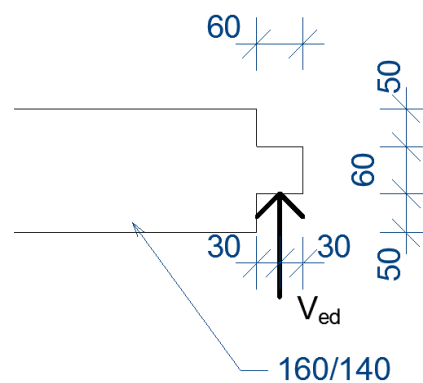
$\rightarrow$  plech 8/100 vyhovuje na tah

## 7.5. Návrh přípoje okrajová výměna střecha / vedlejší nosník střecha



Obrázek 52: Lokalizace přípoje výměna střecha / nosník střecha

Přípoj bude navržen jako tesařský spoj tzv. čepování. Čep bude zatížen posouvající silou. Doplňkový střešní nosník je navržen ze dvou částí, které jsou začepovány do trámových výměň, maximální posouvající síla, která působí v tomto typu spoje na střešním nosníku, je rovna hodnotě 6,52 kN.



Obrázek 53: Schéma čepového přípoje střecha

*Materiálové parametry:*

tah kolmo k vláknům	$f_{t90k}$	=	0,4	MPa
tlak II s vlákny	$f_{c0k}$	=	26	MPa
tlak kolmo k vláknům	$f_{c90k}$	=	2,9	MPa



Návrhová pevnost dřeva ve smyku:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům:

$$f_{c90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{2,9}{1,3} = 1,56 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí v místě čepu:

$$k_v = \frac{k_n \cdot (1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h} \cdot (\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})} = \frac{5}{\sqrt{160} \cdot (\sqrt{\frac{60}{160} \cdot (1 - \frac{60}{160})} + 0,8 \cdot \frac{30}{160} \cdot \sqrt{\frac{160}{60} - (\frac{60}{160})^2})} = 0,574$$

Posouzení čepu nosníku na smyk a otláčení:

$$T_d < k_v \cdot f_{v,d} = 0,574 \cdot 2,15 = 1,23 \text{ MPa}$$

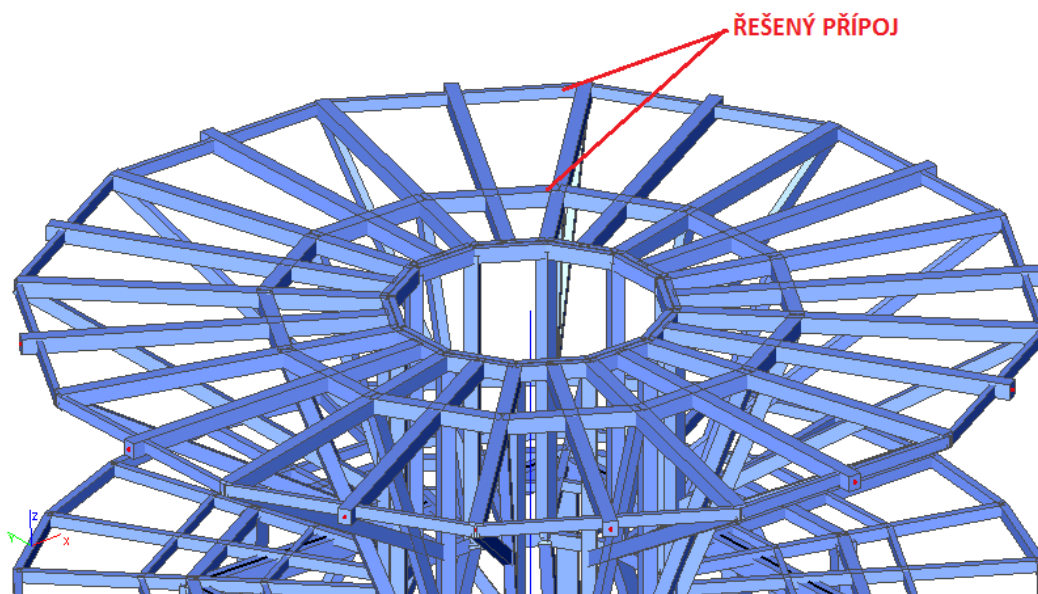
$$\sigma_{c,90,d} < k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,156 = 1,56 \text{ MPa}$$

$$T_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 1,5 \cdot \frac{6520}{140 \cdot 60} = 1,162 \text{ MPa} < 1,23 \text{ MPa}$$

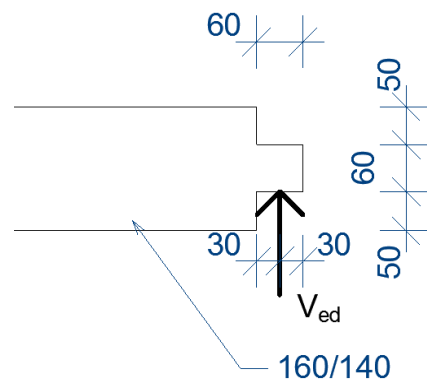
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{b \cdot l} = \frac{6520}{140 \cdot 60} = 0,776 \text{ MPa} < 1,56 \text{ MPa}$$

Čep nosníku vyhovuje.

## 7.6. Návrh přípoje střešní výměna / hlavní nosník



Obrázek 54: Lokalizace přípoje střešní výměna / hlavní nosník



Obrázek 55: Schéma čepového přípoje střecha 2

Síla působící ve spoji:

$$V_{ed} = 3,26 \text{ kN}$$

Materiálové parametry:

tah kolmo k vláknům	$f_{t90k}$	=	0,4	MPa
tlak II s vlákny	$f_{c0k}$	=	26	MPa
tlak kolmo k vláknům	$f_{c90k}$	=	2,9	MPa

Návrhová pevnost dřeva ve smyku:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům:

$$f_{c90d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} = 0,7 \cdot \frac{2,9}{1,3} = 1,56 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí v místě čepu:

$$k_v = \frac{k_n \cdot (1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h} \cdot (\sqrt{\alpha} \cdot (1 - \alpha) + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})} = \frac{5}{\sqrt{160} \cdot (\sqrt{\frac{60}{160}} \cdot (1 - \frac{60}{160}) + 0,8 \cdot \frac{30}{160} \cdot \sqrt{\frac{160}{60} - (\frac{60}{160})^2})} = 0,574$$

Posouzení čepu nosníku na smyk a otláčení:

$$T_d < k_v \cdot f_{v,d} = 0,574 \cdot 2,15 = 1,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} < k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,1 \cdot 1,56 = 1,56 \text{ MPa}$$

$$T_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 1,5 \cdot \frac{3260}{140 \cdot 60} = 0,582 \text{ MPa} < 1,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{b \cdot l} = \frac{3260}{140 \cdot 60} = 0,388 \text{ MPa} < 1,56 \text{ MPa}$$

Čep nosníku vyhovuje.

## 7.7. Přípoj hlavní střešní nosník / sloup



Obrázek 56: Lokalizace přípoje střešní nosník / sloup

Ve vyobrazeném přípoji působí síla 2,89 kN, přípoj bude upraven tak, aby odpovídal výpočetnímu schématu dřevo-ocel-dřevo. Tato úprava je provedena z estetického důvodu. Posudek bude proveden pro přípoj na svislém prvku. Svorníky ve vodorovném nosníku jsou pouze konstrukční, kdy zatížení je přenášeno kontaktem, respektive opřením vodorovného prvku o dřevěný věnec. Dřevěný věnec působí přes ocelový plech tl. 10mm tahem na svislé sloupy.

### 7.7.1. Posudek přípoje ocelového plechu na svislý sloup

#### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26	MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40	MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4	GPa

#### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 140	mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 8	mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 70	mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 8	mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 2	

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otažení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 8) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 45,3 MPa
Moment únosnosti spojovacího prostředku $M_{y,Rk}$		= 0,3 · $f_u$ · d <sup>2,6</sup> = 0,3 · 800 · 8 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 53,5 kNm

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d} = 2,89$ kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha = 0^\circ$
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma = 1,3$

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost - f;g;h (8.11):

$$F_{v,f,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,07 \cdot 0,008 = 10,1 \text{ kN}$$

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right)$$
$$= 45,3 \cdot 10^3 \cdot 0,07 \cdot 0,008 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 53,5}{45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008 \cdot 0,07^2}} - 1 \right) = 11,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{53,5 \cdot 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008} = 10,1 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,f,Rk}; F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}) = \min (10,1; 11,6; 10,1) = 10,1 \text{ kN}$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 10122}{1,3} = 10,9 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2,89}{10,9} = 0,265$$

$0,265 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M8

## Posudek plechu 12/140 na tah:

$$F_{vrd} = A \cdot f_y / Y_m = 8 \cdot 140 \cdot 355 / 1,3 = 305\,846 \text{ N}$$

$$F_{ved} = 2,89 \text{ kN}$$

$$s = F_{ved} / F_{vrd} = 2,89 / 305,846 = 0,0095 \leq 1$$

$\rightarrow$  plech 8/140 vyhovuje na tah

## 7.7.2. Posouzení přípoje ocelového plechu na vodorovný nosník

### Materiálové charakteristiky

Typ dřeva C40 (EN338):

Pevnost rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	= 26 MPa
Pevnost za ohybu rovnoběžně s vlákny	$f_{m,y,k}$	= 40 MPa
Yongův modul (5% kvantil)	$E_{0,05}$	= 9,4 GPa

### Posouzení prvku na extrémní kombinaci zatížení

Geometrie přípoje:

Výška prvku	$h$	= 140 mm
Tloušťka ocelové desky	$t_s$	= 8 mm
Tloušťka dřevěného prvku	$t_w$	= 70 mm
Průměr spojovacího prostředku	$d$	= 8 mm
Počet účinných spojovacích prostředků	$n_b$	= 2

## Materiálové charakteristiky spoje

Pevnost prostředku v tahu	$f_u$	= 800 MPa
Měrná objemová hmotnost dřeva	$\rho$	= 600 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost dřeva v otláčení	$f_{h,k}$	= 0,082 · (1 - 0,01 · d) · $\rho_k$ = 0,082 · (1 - 0,01 · 8) · 600 · 10 <sup>6</sup> = 45,3 MPa
Moment únosnosti spoj. prostředku	$M_{y,Rk}$	= 0,3 · $f_u$ · d <sup>2,6</sup> = 0,3 · 800 · 8 <sup>2,6</sup> · 10 <sup>-3</sup> = 53,5 kNm

## Modifikační součinitel pro dřevo dle Eurokódu 5, tab.2.3, 3.1

Třída trvání zatížení	Krátkodobé
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,7$ (tab. 3.1)
Třída provozu	Třída provozu 3
Materiál	Masivní dřevo

## Zatížení

Síla působící ve spoji	$F_{v,e,d}$	= 2,89 kN
Úhel síly a směru vláken	$\alpha$	= 90°
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma$	= 1,3

## Únosnost jednoho spojovacího prostředku

Charakteristické dílčí únosnost - f;g;h (8.11):

$$F_{v,f,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d = 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,07 \cdot 0,008 = 10,1 \text{ kN}$$

$$F_{v,g,Rk} = f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right)$$
$$= 45,3 \cdot 10^3 \cdot 0,07 \cdot 0,008 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 53,5}{45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008 \cdot 0,07^2}} - 1 \right) = 11,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,h,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{53,5 \cdot 45,3 \cdot 10^6 \cdot 0,008} = 10,1 \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rk} = \min (F_{v,f,Rk}; F_{v,g,Rk}; F_{v,h,Rk}) = \min (10,1; 11,6; 10,1) = 10,1 \text{ kN}$$

## Posouzení únosnosti spoje

Únosnost celého spoje:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot n_b \cdot F_{v,Rk}}{Y_m} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 10122}{1,3} = 10,9 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$s = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2,89}{10,9} = 0,265$$

$0,265 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na únosnost, návrh 2x svorník M8

## Posouzení vzniku trhlin kolmo na vlákna

Namáhání kolmo na vlákna:

$$F_{90,Ed} = F_{v,Ed} \cdot \sin \alpha = 2890 \cdot \sin 90 = 2,89 \text{ kN}$$

Únosnost na roztržení:

$$F_{90,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot 14 \cdot t_w \cdot w}{Y_m} \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} = \frac{0,7 \cdot 14 \cdot 0,07 \cdot 10^3 \cdot 1}{1,3} \cdot \sqrt{\frac{0,05 \cdot 10^3}{1 - \frac{0,05}{0,14}}} = 4,65 \text{ kN}$$

Jednotkové posouzení:

$$s = \frac{F_{90,Ed}}{F_{90,Rd}} = \frac{2,89}{4,65} = 0,621$$

$0,621 \leq 1 \rightarrow$  spoj vyhovuje na namáhání kolmo k vláknům

## 8. Závěr

Novým návrhem byla konstrukce rozhledny značně zefektivněna. Jak již bylo uvedeno v kapitole 6, cena impegnovaného řeziva původní konstrukce byla 520 276 Kč bez DPH a cena v novém návrhu byla 320 048 Kč bez DPH. Pokud do tohoto porovnání zahrneme odstranění vnitřní ocelové konstrukce, bude efektivita návrhu ještě navýšena. Pro přehlednost je uvedena tabulka výkazu materiálu pro ocel.

Název	Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
Věnc p. 1,2,3	2x UPE240	S355	15,4	85,86	5190,3	72,12	7850	0,661
Táhlo RD 50	50mm	S355	15,4	250,376	3857,2	39,225	7850	0,491

Tabulka 19.: Výkaz materiálu ocel

Při jednotkové ceně 661,57 Kč/m' bez DPH UPE profilu, je celková cena za věnce 113 604 Kč a cena za táhla při jednotkové ceně 558,6 Kč/m' (aktuální cena firmy FERONA), je celková cena táhel 139 860 Kč. Pokud k těmto cenám bude připočtena cena žárového zinkování, která se pohybuje okolo hodnoty 22,99Kč za 1kg oceli, bude celková cena za povrchovou úpravu táhel 88 677Kč a věnců 119 324 Kč bez DPH.

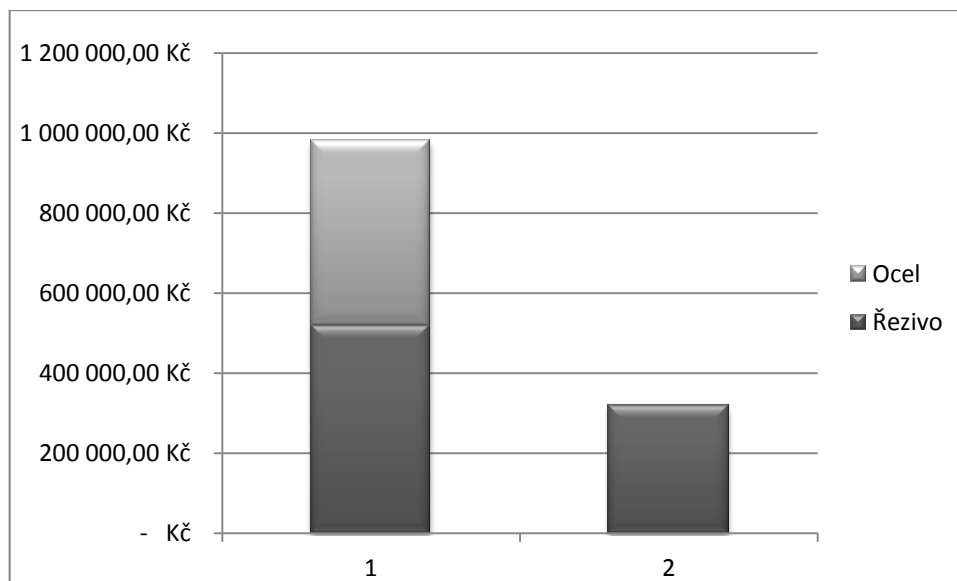
Název	jednotková cena [Kč/m']	cena za materiál [Kč]	jednotková cena povrchové úpravy [Kč/kg]	cena povrchové úpravy [Kč]	celková cena [Kč]
Věnc p. 1,2,3	661,57	113604	22,9	119324	232928
Táhlo RD 50	558,6	139860	22,9	88677	228537
celková cena za ocel [Kč]					461465

Tabulka 20.: Cena oceli bez DPH

Po sečtení všech nákladů na materiál původní konstrukce, je celková cena 981 741Kč bez DPH a to pouze za materiál. Cena za nově navrženou konstrukci je vypočítána v kapitole 6 a je 320 048 Kč bez DPH.

Celkové náklady na materiál byly novým návrhem sníženy o 67,4 %





**Graf 5.: Grafické porovnání cen návrhů**

---

Pozn.: Ve výpočtu původní ceny konstrukce nejsou zahrnuty náklady na dopravu, montáž, svařování a zámečnické detaily, kdy by se cena navýšila cca o 10%. V ceně nového návrhu nejsou zahrnuty ceny za ocelové pásoviny a jejich svařování, které byly navrženy v přípoji plášť/sloup a ve spojích věnců. Stanovení ceny je pouze za materiál a slouží pouze pro orientační porovnání obou návrhů.

## 9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Foto stávajícího stavu.....	10
Obrázek 2: Pohled na nosnou část konstrukce .....	10
Obrázek 6: Nedodržení osových vzdáleností.....	12
Obrázek 3: „čtyřstřížný“ deformovaný spoj .....	12
Obrázek 4: Výsušné trhliny .....	12
Obrázek 5: Nedodržení osových vzdáleností spojovacích prvků .....	12
Obrázek 7: Geometrie konstrukce.....	13
Obrázek 8: Průběhy vnitřních sil .....	13
Obrázek 9: Schéma skladby střešní konstrukce .....	18
Obrázek 10: Schéma skladby podlahy .....	18
Obrázek 11: Schéma zatížení schodišťové konzoly .....	20
Obrázek 12: Model - hlavní nosníky .....	21
Obrázek 13: Model - hlavní nosníky .....	21
Obrázek 14: Model - vedlejší nosníky .....	22
Obrázek 15: Model - věnce + střecha .....	22
Obrázek 16: Model - plošina .....	22
Obrázek 17: Model - Střešní nosníky a vzpěry .....	23
Obrázek 18: Model – ztužující věnec + vzpěry .....	23
Obrázek 19: Model - ztužující věnec + vzpěry .....	23
Obrázek 20: model - diagonální pažďíky .....	24
Obrázek 21: model - konzola schodiště .....	24
Obrázek 22: model - konstrukční prvky schodiště.....	24
Obrázek 23: Ukázka naplnění schodiště při působení větru .....	26
Obrázek 24: Původní návrh střešní konstrukce .....	27
Obrázek 25: Alternativní návrh Střešní konstrukce .....	27
Obrázek 26: Porovnání konzoly schodiště .....	28
Obrázek 27: Normálová síla ve vzpěře schodiště .....	28
Obrázek 28: Maximální normálová síla ve věnci.....	29
Obrázek 29: Tlakové napětí v táhlech.....	29
Obrázek 30: Přenos zatížení pláštěm.....	29
Obrázek 31: Uchycení pláště rozhledny .....	30
Obrázek 32: Použití subtilních sloupů.....	30
Obrázek 33: Pohled na konstrukční řešení oddílatování jádra .....	31
Obrázek 34: Zobrazení zatěžovací šířky .....	35
Obrázek 36: Skutečný stav střešní kce .....	36
Obrázek 35: Foto střešní kce ze statického .....	36
Obrázek 37: Průběh momentu na střešním nosníku .....	36
Obrázek 38: Označení prvků ve výpočtu .....	37
Obrázek 39: Označení důležitých prvků na plošině .....	46
Obrázek 40: 1. Vlastní tvar vybočení.....	54
Obrázek 41: Označení prvků schodiště .....	65
Obrázek 42: Schéma skladby střešní konstrukce .....	71
Obrázek 43: Schéma skladby podlahy .....	73

Obrázek 45: Schéma napojení pláště na sloup .....	78
Obrázek 44: Návrhové vnitřní síly pláště .....	78
Obrázek 46: Schéma přípoj sloup/sloup .....	81
Obrázek 47: Schéma přípoje konzola/sloup .....	83
Obrázek 48: Návrh roztečí a vzdáleností od okrajů .....	86
Obrázek 49: Schéma přípoje vzpěra/sloup .....	88
Obrázek 50: Scéma přípoj vzpěra plošiny/sloup .....	90
Obrázek 51: Schéma přípoje věnec/sloup .....	92
Obrázek 52: Lokalizace přípoje výměna střecha / nosník střecha .....	95
Obrázek 53: Schéma čepového přípoje střecha .....	95
Obrázek 54: Lokalizace přípoje střešní výměna / hlavní nosník .....	96
Obrázek 55: Schéma čepového přípoje střecha 2 .....	97
Obrázek 56: Lokalizace přípoje střešní nosník / sloup .....	98

## 10. Seznam grafů

Graf 1: Průběh normálové síly ve vzpěře pro $Y=1m$ .....	14
Graf 2: Průběh normálové síly ve vzpěře pro $Y=X$ .....	14
Graf 3.: Grafické porovnání použitého řeziva – původní návrh.....	76
Graf 4.: Grafické porovnání použitého řeziva – nový návrh.....	76
Graf 5.: Grafické porovnání cen návrhů.....	104

## 11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Mez pevnosti v ohybu pro vybrané dřeviny .....	11
Tabulka 2: Pevnost v tahu ve směru vláken pro vybrané dřeviny .....	11
Tabulka 3: Hodnoty normálové síly $Y$ fixní.....	13
Tabulka 4: Hodnoty normálové síly $X=Y$ .....	13
Tabulka 5: Převod zatížení od větru.....	17
Tabulka 6: Zatěžovací stavy.....	25
Tabulka 7: Kombinace zatížení.....	25
Tabulka 8: Porovnání vnitřních sil při různých úpravách modelu.....	31
Tabulka 9: Výpočet kombinací zatížení.....	35
Tabulka 10: Porovnání prvků střešní konstrukce.....	46
Tabulka 11: Porovnání prvků střešní konstrukce.....	42
Tabulka 12: Porovnání prvků střešní konstrukce.....	43
Tabulka 13: Vnitřní síly hlavních sloupů.....	54
Tabulka 14: Porovnání navržených sloupů.....	63
Tabulka 15: Porovnání vzpěr plošiny.....	65
Tabulka 16: Porovnání vzpěr plošiny.....	68
Tabulka 17: Výkaz materiálu původní.....	75
Tabulka 18: Výkaz materiálu nový.....	75
Tabulka 19: Výkaz materiálu ocel.....	103
Tabulka 20: Cena oceli bez DPH.....	103

## 12. Seznam použité literatury

- [1] Velký Kosíř. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2007 - [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Velk%C3%BD\\_Kos%C3%AD%C5%99?veaction=edit](https://cs.wikipedia.org/wiki/Velk%C3%BD_Kos%C3%AD%C5%99?veaction=edit)
- [2] Navrhování dřevěných konstrukcí. *Stavskola.cz* [online]. Praha: Ing. Roman Rázl, 2000 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.stavskola.cz/vyukove-prezentace>
- [3] Pevnost vybraných dřevin. In: *Is.mendelu.cz: e-knihovna* [online]. Brno: Ing. Matěj Sluka, 2009 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9190](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9190) [4] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1): Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha : ČNI, 2004.
- [5] Teorie zatížení - Tabulky. *Fce.vutbr.cz* [online]. Brno: Petr Šimůnek, 2008 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/01\\_cv1\\_zatizeni\\_teorie\\_t abulk%20y.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/01_cv1_zatizeni_teorie_tabulk%20y.pdf)
- [6] ŘEHOŘEK, Hynek. *Analýza stavající konstrukce: Sloní noha Horní Maxov*. Praha, 2016. Semestrální práce. ČVUT FSv. Vedoucí práce Ing. Karel MIKEŠ, Ph.D.
- [7] Wald, F. a kol.: K navrhování ocelových dřevěných a skleněných konstrukcí, podpora modelování dřevěných konstrukcí, strana 126-134, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2012
- [8] Kuklík, P.: "Timber Structures 1", ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03614-3
- [9] Blass, H. J. et al.: "STEP 1 - Timber Engineering", Centrum Hout, The Netherlands, 1995
- [10] Kuklík, P.: "Timber Structures 1", ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03614-3
- [11] F.WALD, J.MAREŠ, Z. SOKOL, Czech Technical University, Departement of Steel Structures, 166 29 Czech Republic, <http://cihla.fsv.cvut.cz/~wald/>
- [12] M.DRDÁCKÝ, Institute of theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Science of the Czech Republic, Prosecká 76, 190 00 Praha 9, Czech republic, [drdacky@itam.cas.cz](mailto:drdacky@itam.cas.cz)
- [13] LATHUILLIERE, Damien, Octavian POP, Fazia FOUCHAL a Jean-Francois BOCQUET. Spreading of transverse compressive stresses in glued laminated timber. *HAL* [online]. 2017, 2017(11), 10 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01599802>

### 13. Seznam použitých norem

HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.

EN 1993-1-1 (2005) (English): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1

ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1): Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha : ČNI, 2004.

ČSN EN 1995 -1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná