

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ NÁSTUPIŠTĚ

Autor:

Hana Kolářová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, vstřícnost, pedagogický a osobní přístup, a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a partnerovi za jejich podporu při mém studiu.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kolářová</u>	Jméno: <u>Hana</u>	Osobní číslo: <u>488295</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Konstrukce zastřešení nástupiště</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Covered railway and bus platform structure</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh nosné ocelové/dřevěné konstrukce, jejích hlavních prvků a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, navržené detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden dle platných evropských norem. Tj. zejména využití částí ČSN EN 1991, ČSN EN 1993 a ČSN EN 1995.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Michal Jandera</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>15.2.2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16.5.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Anotace

Bakalářská práce se zabývá statickým a konstrukčním návrhem zastřešení železničního a autobusového nástupiště. Cílem této práce je navrhnout hlavní nosné prvky konstrukce a vybrané detaily. Konstrukce se skládá ze dvou hlavních částí – objektu A (vlakové nástupiště) a objektu B (autobusové nástupiště). Pro návrh materiálového řešení bylo zvoleno lepené lamelové dřevo a ocelové prvky. Dále práce obsahuje technickou zprávu a výkresovou dokumentaci.

Klíčová slova

ocelová konstrukce, dřevěná konstrukce, statický výpočet, přístřešek, oblouk, pultový nosník, nástupiště

Abstract

The bachelor's thesis deals with the structural design of a roof of a railway and a bus platform. The purpose of this work is to design the main load-bearing elements of the structure and selected details. The structure consists of two main parts – building A (the train platform) and building B (the bus platform). Glued laminated timber and steel elements were chosen as the material for the design. Furthermore, the work contains a technical report and a drawing documentation.

Keywords

steel structure, timber structure, structural design, bus and train shelter, arch structure, pent roof beam, platform

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ NÁSTUPIŠTĚ

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Autor:

Hana Kolářová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

2021

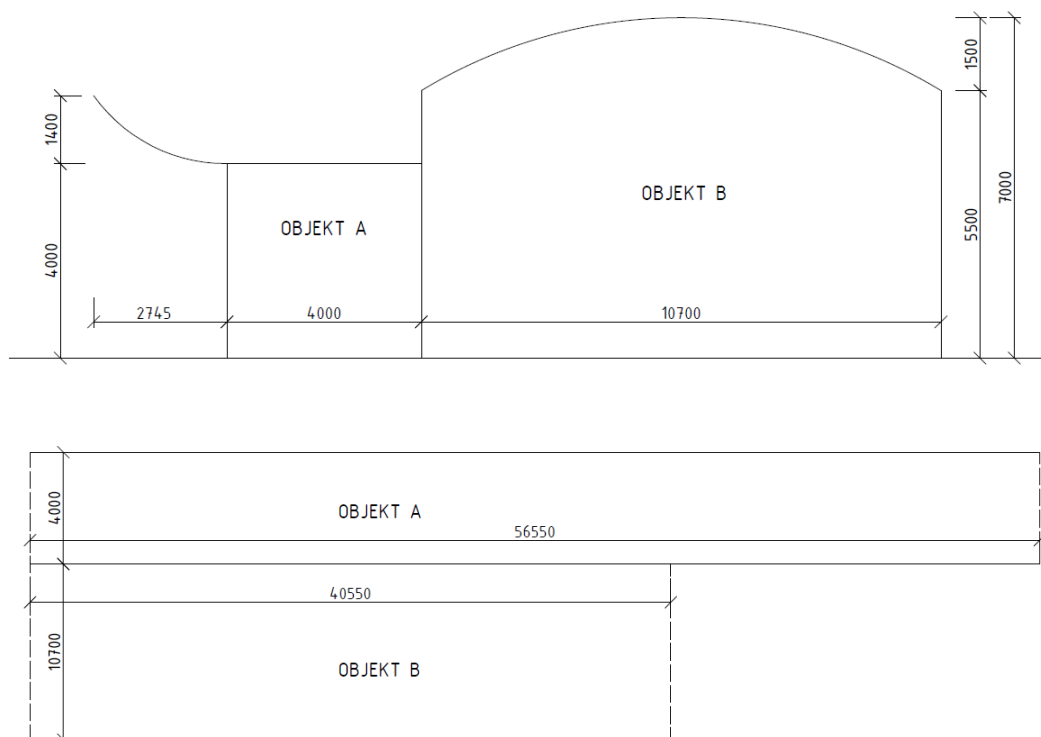
Obsah

1	Popis konstrukce	8
2	Popis nosné konstrukce.....	8
3	Údaje o zatížení	10
3.1	Zatížení sněhem.....	10
3.2	Zatížení větrem.....	10
3.3	Užitné zatížení	10
4	Materiály	10
5	Použité normy	10
6	Výroba konstrukce.....	11
6.1	Ocelová konstrukce	11
6.2	Dřevěná konstrukce	11
7	Montáž konstrukce.....	11
8	Ochrana proti korozi a dřevokazným škůdcům	12
9	Ochrana proti požáru	12
10	Ostatní zdroje	12
11	Použitý software.....	13
12	Přílohy	13

1 Popis konstrukce

Předmětem této bakalářské práce je konstrukční a statický návrh zastřešení železničního a autobusového nástupiště. Hlavním cílem je návrh nosných prvků konstrukce a vybraných detailů. Nástupiště se nachází ve městě Svoboda nad Úpou v okrese Trutnov.

Konstrukce se skládá ze dvou hlavních částí – objektu A (vlakové nástupiště) a objektu B (autobusové nástupiště). Půdorysné rozměry objektu A jsou 4,0 x 56,55 m, výška konstrukce je 4,0 m. Objekt B má půdorysné rozměry 10,7 x 40,55 m a výška objektu je 7,0 m.



2 Popis nosné konstrukce

Hlavní nosnou konstrukci zastřešení nástupiště tvoří ocelové sloupy a dřevěné nosníky. Konstrukce je založena na betonových patkách. Ocelové sloupy jsou vetknuté do základové konstrukce pomocí patního plechu a výztuh, které jsou přivařené ke sloupům. Všechny ocelové sloupy jsou navrženy z kruhového profilu TR 219x12,5.

Nosnou konstrukci zastřešení tvoří dřevěné nosníky – obloukový nosník nad objektem B a pultové nosníky se zakřiveným koncem nad objektem A. Pro materiálové řešení bylo zvoleno lepené lamelové dřevo pevnostní třídy GL 28h. Jednotlivé střešní nosníky jsou od sebe osově vzdáleny 2,0 m. Oblouková konstrukce průřezu 560/240 mm je pnutá na rozpon 10,7 m, vzepětí oblouku je 1,5 m. Pro zachycení vodorovných sil v podporách oblouku je navrženo ocelové táhlo plného kruhového průřezu o průměru 40 mm. Táhlo je kotveno do dřevěného oblouku pomocí ocelové podložky.

Pultový střešní nosník je navržený z průřezu 520/240 mm na rozpon 4,0 m. Zakřivená konzola pultového nosníku má půdorysnou délku 2,745 m a výšku 1,4 m. Dle architektonické studie je navrženo postupné zúžení jejího průřezu. V místě podpory konzoly je průřez nosníku 520/240 mm, který se postupně zužuje směrem k volnému konci na finální průřez 240/240 mm.

Střešní nosníky jsou kloubově uloženy na ocelové průvlaky pomocí svorníkových spojů. Průvlaky jsou navrženy z profilu IPE 400 u objektu B a z profilu IPE 500 u objektu A. Rozpon průvlaků je 8,0 m. Průvlaky jsou kloubově připojeny pomocí šroubů přes stojinu průřezu k navařeným plechům na sloupech.

Střešní plášť objektu je navržený z dřevěných fošen z rostlého dřeva C24. Krytinu střešního pláště tvoří hydroizolační PVC folie. Rozměr dřevěné fošny je 60x120x2000 mm. Fošny budou připevněny k dřevěným nosníkům.

Ztužení střechy objektu B je zajištěno příčnými ztužidly ve střešní rovině. Jsou navržena ocelová ztužidla kruhového průřezu – diagonální ztužidla z plného průřezu o průměru 17 mm, a svislá ztužidla z ocelové trubky průřezu TR 42,4x2,0 mm. Ztužení střechy objektu A je zajištěno dřevěným pláštěm. Svislé ztužení je zajištěno vetknutím sloupů v patě (návrh betonového základu není součástí práce).

Souhrn navržených prvků:

Prvek	Materiál	Průřez	Rozměry	
			šířka b [mm]	výška h [mm]
FOŠNA	rostlé dřevo C24	-	120	60
PULTOVÝ NOSNÍK	lepené lamelové dřevo GL 28h	520/240	240	520
PRŮVLAK OBJEKT A	ocel S235	IPE 500	200	500
SLOUP	ocel S235	TR 219x12,5	-	-
OBLOUK	lepené lamelové dřevo GL 28h	560/240	240	560
PRŮVLAK OBJEKT B	ocel S235	IPE 400	180	400
ZTUŽIDLO DIAGONÁLA	ocel S235	RO 17	-	-
ZTUŽIDLO SVISLICE	ocel S235	TR 42,4x2,0	-	-

3 Údaje o zatížení

3.1 Zatížení sněhem

Sněhová oblast VIII.	$s_k = 3,87 \text{ kPa}$
Typ krajiny:	normální $C_e = 1,0$
Tepelný součinitel:	$C_t = 1,0$

3.2 Zatížení větrem

Větrná oblast II.	základní rychlost větru $v_b = 25 \text{ m/s}$
Základní tlak větru:	$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$
Kategorie terénu III.	$c_e = 1,3$

3.3 Užité zatížení

Střecha – kategorie H	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
-----------------------	-----------------------------

4 Materiály

Konstrukční ocel:	S235JR
Beton:	C20/25 – XC2 – CI 0,4 – D_{max} 22 – S4
Dřevo:	GL28h (nosné prvky konstrukce)
	C24 (střešní plášť konstrukce)
Šrouby:	8.8
Svorníky:	8.8

5 Použité normy

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (2015)
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíhy a užité zatížení pozemních staveb (2004)
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem (2013)
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem (2013)
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2011)
- ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2006)
- ČSN EN 14080 Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky (2013)

6 Výroba konstrukce

6.1 Ocelová konstrukce

Třída následků:	CC2 Střední následky s ohledem na ztráty na lidských životech nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí
Výrobní kategorie:	PC1 Nesvařované dílce vyrobené z výrobků jakékoliv pevnostní třídy oceli
Kategorie použitelnosti:	SC1 Konstrukce a dílce navržené pouze na kvazistatické zatížení (např. pozemní stavby)

→ Třída provedení: **EXC2**

Protikorozní ochrana ocelových prvků bude provedena již během výroby.

Veškeré svařované přípoje budou realizovány během výroby jednotlivých dílců dle výkresové dokumentace.

6.2 Dřevěná konstrukce

Výrobní a skladovací prostory musí být vhodné pro všechny fáze výroby lepených lamelových výrobků. Během výroby lepených lamelových výrobků musí být relativní vlhkost výrobního prostoru při běžném výrobním postupu mezi 40 % a 75 %. Během vytvrzování musí být relativní vlhkost nejméně 30 %. Teplota vzduchu ve výrobních prostorech musí být minimálně 15 °C, při následném vytvrzování musí být teplota vzduchu min. 18 °C.

Během výroby budou ocelová táhla připevněna do dřevěných oblouků dle výkresové dokumentace.

7 Montáž konstrukce

Na začátku montáže budou osazeny ocelové sloupy, které budou přikotveny přes patní vyztužený plech k betonové základové patce. Sloupy budou na stavbu dovezeny s přivařenými patními výztuhami a v horní části sloupu s ocelovými styčníkovými plechy pro realizaci následného šroubovaného přípoje ocelových průvlaků. Pro zajištění správného spolupůsobení mezi patním plechem a betonovým základem se použije cementová zálivka dle stanovené výšky ve výkresové dokumentaci. Ocelové sloupy jsou vetknuté k betonové patce pomocí kotevních šroubů, které rovněž zajišťují přenos posouvajících sil.

Poté budou kloubově připojeny ocelové průvlakky na předem navařené plechy na trubce sloupu a stojinu průřezu průvlaků. Po montáži průvlaků se začnou upevňovat dřevěné nosníky. Veškeré spoje dřevěné konstrukce s ocelovými prvky jsou řešeny kloubovými přípoji pomocí svorníků. Střešní pultové a obloukové nosníky budou umístěny v osové vzdálenosti 2,0 m od sebe dle výkresové dokumentace.

Před realizací střešního pláště je nutná montáž navržených ztužidel ve střešní rovině na objektu B. Dřevěné fošny střešního pláště budou osazeny vedle sebe tak, aby vytvořily souvislý plášť zastřešení konstrukce. Fošny v délce 2,0 m budou připevněny k jednotlivým dřevěným nosníkům.

Veškeré přípoje realizovány na stavbě jsou šroubové.

8 Ochrana proti korozi a dřevokazným škůdcům

Ocelová konstrukce bude chráněna proti korozi. Navržený objekt se nachází v exteriéru, a proto jsou veškeré ocelové prvky vystaveny agresivnímu a vlhkému prostředí.

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

- Stupeň korozní agresivity: C3 – střední
- Předpokládaná životnost: H – velká, více než 15 let
- Příprava povrchu: Sa 2 1/2 – Otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek

Ochrana ocelové konstrukce bude řešena žárovým zinkováním.

Podle ČSN EN 335-1 a ČSN EN 335-2 lze navržené dřevěné prvky zařadit do Třídy ohrožení 3 – dřevo nacházející se v exteriéru nechráněné před působením povětrnosti a vyluhování vody, lze tedy předpokládat možnost napadení dřeva dřevokaznými houbami, plísněmi nebo hmyzem.

Dřevěné konstrukce budou chráněny ochrannými prostředky zvolenými v souladu s ČSN EN 335-1 a ČSN EN 460. Důležitá je preventivní ochrana dřeva. Na veškeré dřevěné prvky konstrukce bude aplikován ochranný impregnační nátěr.

9 Ochrana proti požáru

Požární odolnost konstrukce není potřeba posuzovat vzhledem k charakteru stavby.

10 Ostatní zdroje

SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce - Tabulky*. 3. vydání. Praha 6: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-06032-2.

JANDERA, Michal, Martina ELIÁŠOVÁ a Tomáš VRANÝ. *Ocelové konstrukce 1 - Cvičení*. 3. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015.

Kolektiv autorů, KUKLÍK, Petr, ed. *Příručka 2: Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5*. Praha, 2008.

Dlupal: *Oblasti zatížení sněhem, větrem a zemětřesením* [online]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

Portál ČHMÚ: Mapa zatížení sněhem na zemi [online]. Dostupné z: <https://clima-maps.info/snehovamapa/>

ObchodProDilnu.cz [online]. Dostupné také z: <https://www.obchodprodilnu.cz/>

11 Použitý software

- Dlubal RFEM 5.25
- LTBeamN 1.0.3
- IDEA StatiCa 20.1
- AutoCAD 2018
- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016

12 Přílohy

1. Statický výpočet
2. Výkresová dokumentace
3. Protokoly výpočtů z programu Dlubal RFEM
4. Výstupy z programu LTBeamN
5. Protokol výpočtu z programu IDEA StatiCa

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ NÁSTUPIŠTĚ

STATICKÝ VÝPOČET

Autor:

Hana Kolářová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

2021

Obsah

1. Zadání.....	6
2. Zatížení.....	7
2.1. Zatížení sněhem.....	7
2.2. Zatížení větrem.....	10
3. Návrh střešního pláště.....	12
3.1. Charakteristika materiálu.....	12
3.2. Zatížení.....	12
3.3. Návrh průřezu.....	13
3.4. Mezní stav únosnosti.....	14
3.4.1. Ohybový moment.....	14
3.4.2. Smyk.....	14
3.5. Mezní stav použitelnosti.....	14
3.5.1. Čistý průhyb mezi podpěrami.....	14
4. Návrh pultového střešního nosníku.....	15
4.1. Statické schéma.....	15
4.2. Zatížení.....	15
4.2.1. Zatěžovací stavy.....	16
4.2.2. Kombinace zatížení.....	19
4.3. Charakteristika materiálu.....	20
4.4. Návrh průřezu.....	21
4.5. Posouzení.....	22
4.5.1. MSÚ – Ohybový moment.....	22
4.5.2. MSÚ – Smyk.....	22
4.5.3. MSÚ – Ověření příčné a torzní stability.....	22
4.5.4. MSP – Průhyb.....	23
4.5.5. Úprava průřezu volného konce konzoly.....	23
4.6. Posouzení zakřivené části nosníku.....	25
4.6.1. Napětí v ohybu.....	25
4.6.2. Napětí v tahu kolmo k vláknům.....	26
5. Návrh průvlaku objektu A.....	27
5.1. Statické schéma průvlaku P1.....	27
5.2. Zatížení.....	28
5.3. Návrh průřezu.....	28
5.4. Posouzení.....	30

5.4.1.	MSP – Průhyb	30
5.4.2.	MSÚ – Smyk.....	31
5.4.3.	MSÚ – Klopení	31
5.4.4.	MSÚ – Šikmý ohyb.....	32
6.	Návrh krajního sloupu objektu A.....	33
6.1.	Schéma sloupu S1	33
6.2.	Zatížení	33
6.2.1.	Tření	33
6.2.2.	Působení větru na střešní nosník.....	34
6.2.3.	Imperfekce.....	35
6.2.4.	Zatěžovací stavy.....	36
6.2.5.	Kombinace zatížení	37
6.3.	Návrh průřezu.....	37
6.4.	Posouzení.....	39
6.4.1.	MSP – Vodorovný posun.....	39
6.4.2.	MSÚ – Vzpěrná únosnost	39
6.4.3.	MSÚ – Interakce tlaku a ohybu	40
6.4.4.	MSÚ – Smyk.....	41
7.	Návrh střešního oblouku objektu B	42
7.1.	Statické schéma	42
7.2.	Zatížení	42
7.2.1.	Zatěžovací stavy.....	42
7.2.2.	Kombinace zatížení	46
7.3.	Charakteristika materiálu	47
7.4.	Návrh průřezu dřevěného oblouku a ocelového táhla	47
7.5.	Posouzení dřevěného oblouku.....	49
7.5.1.	MSP – Čistý průhyb mezi podporami.....	49
7.5.2.	MSÚ – Napětí v ohybu	49
7.5.3.	MSÚ – Napětí v tahu kolmo k vláknům	50
7.5.4.	MSÚ – Interakce tlaku a ohybu	51
7.5.5.	MSÚ – Smyk.....	52
7.5.6.	MSÚ – Ověření příčné a torzní stability	52
7.6.	Posouzení ocelového táhla	53
7.6.1.	MSP – Čistý průhyb mezi podporami.....	53
7.6.2.	MSÚ – Tah.....	53

8.	Návrh průvlaku objektu B	54
8.1.	Půdorysné schéma průvlaku P2	54
8.2.	Zatížení	54
8.3.	Návrh průřezu	54
8.4.	Posouzení	56
8.4.1.	MSP – Čistý průhyb mezi podporami	56
8.4.2.	MSÚ – Smyk	57
8.4.3.	MSÚ – Klopení	57
8.4.4.	MSÚ – Šikmý ohyb	58
9.	Návrh krajního sloupu objektu B	59
9.1.	Schéma sloupu S2	59
9.2.	Zatížení	59
9.2.1.	Tření větrem	59
9.2.2.	Imperfekce	60
9.2.3.	Kombinace zatížení	60
9.3.	Návrh průřezu	61
9.4.	Posouzení	62
9.4.1.	MSP – Vodorovný posun	62
9.4.2.	MSÚ – Vzpěrná únosnost	62
9.4.3.	MSÚ – Interakce tlaku a ohybu	63
9.4.4.	MSÚ – Smyk	64
10.	Návrh středového sloupu	65
10.1.	Schéma sloupu S3	65
10.2.	Zatížení	65
10.2.1.	Tření větrem	65
10.2.2.	Imperfekce	66
10.2.3.	Kombinace zatížení	66
10.3.	Návrh průřezu	67
10.4.	Posouzení	69
10.4.1.	MSP – Vodorovný posun	69
10.4.2.	MSÚ – Vzpěrná únosnost	69
10.4.3.	MSÚ – Smyk	70
10.4.4.	MSÚ – Interakce tlaku a ohybu	70
11.	Střešní ztužidla	72
11.1.	Zatížení	72

11.1.1.	Tření	72
11.1.2.	Působení větru na střešní nosník	72
11.1.3.	Imperfekce výztužného systému	73
11.1.4.	Kombinace zatížení	75
11.2.	Návrh a posouzení průřezu diagonály	75
11.3.	Návrh a posouzení průřezu svislice	76
12.	Detaily	78
12.1.	Kloubové připojení průvlaku ke sloupu	78
12.1.1.	Charakteristika materiálu	78
12.1.2.	Únosnost šroubu ve střihu a v otláčení.....	78
12.1.3.	Návrh a posouzení počtu šroubů	79
12.1.4.	Návrh a posouzení svaru	80
12.2.	Vetknutá patka sloupu	81
12.2.1.	Kombinace zatížení	81
12.2.2.	Návrh a posouzení patky	82
12.3.	Přípoj dřevěného vazníku na průvlak	84
12.3.1.	Návrh svorníků	84
12.3.2.	Materiálové vlastnosti	85
12.3.3.	Posouzení spoje na působení šikmé síly.....	85
12.3.4.	Posouzení únosnosti spoje ocel – dřevo	87
12.3.5.	Posouzení na otláčení dřevěného prvku	89
12.4.	Přípoj ocelového táhla	90
12.4.1.	Posouzení na otláčení dřevěného prvku	91
12.4.2.	Posouzení únosnosti ocelové podložky	91

1. Zadání

Konstrukce zastřešení nástupiště ve městě Svoboda nad Úpou

Objekt A

Rozpon: 4 m (+ délka střešní konzoly 2,745 m)

Výška: 4 m (+ výška střešní konzoly 1,4 m)

Délka: 56 m

Sklon krajní části střechy: $\alpha = 29^\circ$

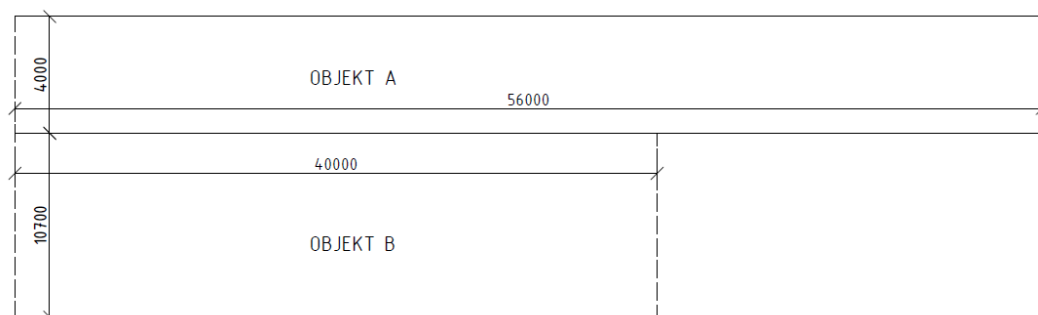
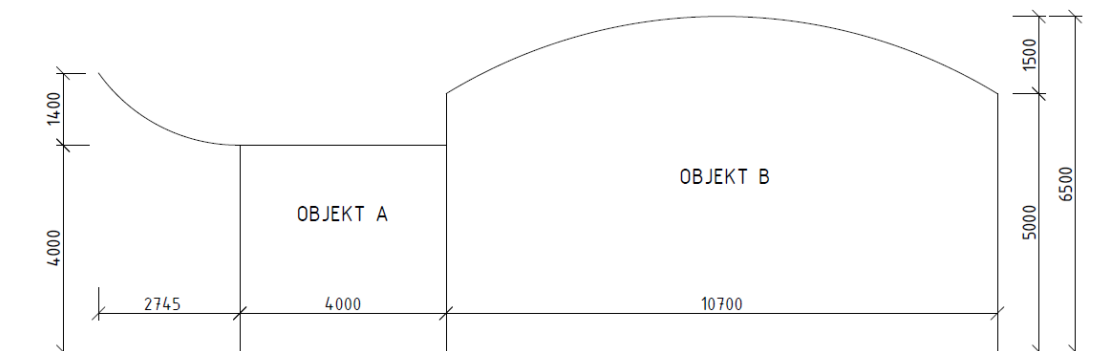
Objekt B

Rozpon: 10,7 m

Výška: 6,5 m (vzepětí střešního oblouku 1,5 m)

Délka: 40 m

Sklon střechy: $\alpha = 15^\circ$



2. Zatížení

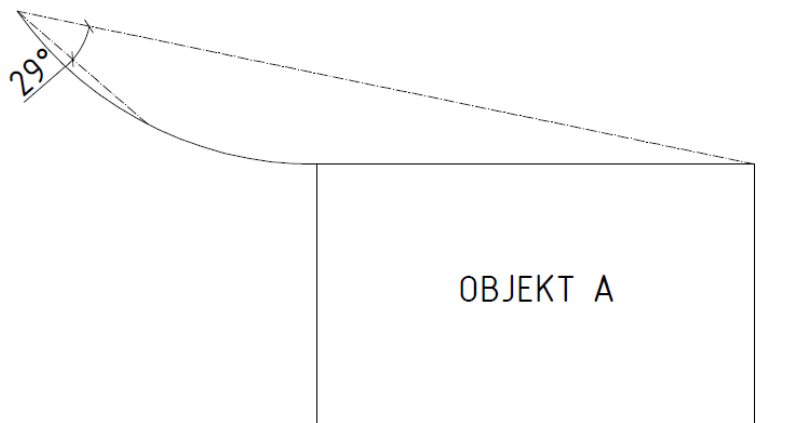
2.1. Zatížení sněhem

Svoboda nad Úpou – VIII. sněhová oblast $s_k = 3,87 \text{ kPa}^1$

Typ krajiny: normální $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel: $C_t = 1,0$

Objekt A



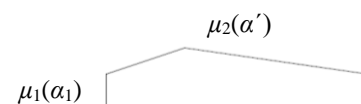
Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechu s úžlabím:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2(\alpha') = 0,8 + 0,8 * \frac{\alpha'}{30}; \quad \alpha' = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$$

$$\alpha' = \frac{29 + 0}{2} = 14,5^\circ$$

$$\mu_2 = 0,8 + 0,8 * \frac{14,5}{30} = 1,20$$



$$s_i = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

$$s_1 = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = \mathbf{3,10 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_2 = 1,2 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = \mathbf{4,64 \text{ kN/m}^2}$$

¹ Portál ČHMÚ – Mapa zatížení sněhem na zemi

Návěj na krajní části objektu A

$$\mu_1 = 0,8$$

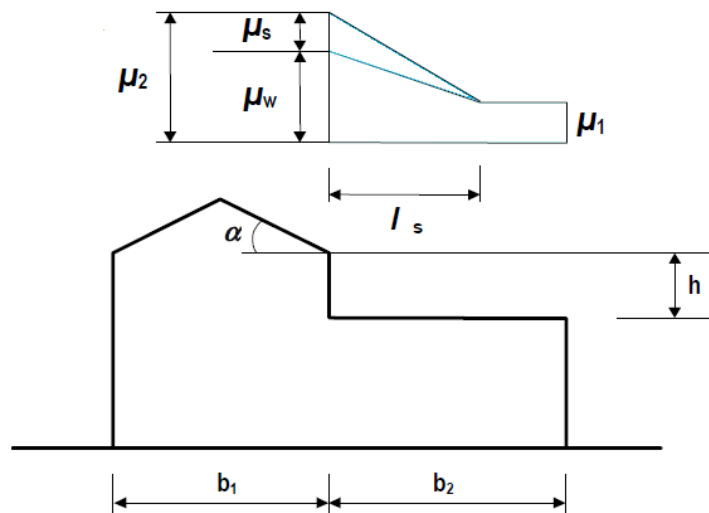
$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

μ_s ... tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy, pro $\alpha \leq 15^\circ$ je $\mu_s = 0$

μ_w ... tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2} * h \leq \gamma * h / s_k$$

Tvarový součinitele zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám



γ ... objemová tíha sněhu, $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$

h ... výška atiky, $h = 1,0 \text{ m}$

$$\mu_w = \frac{10,7 + 4,0}{2} * 1,0 = 7,35 \leq \frac{2,0 * 1,0}{3,87} = 0,52$$

$$\rightarrow \mu_w = 0,52$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 0,52 = 0,52$$

$$s_1 = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = 3,10 \text{ kN/m}^2$$

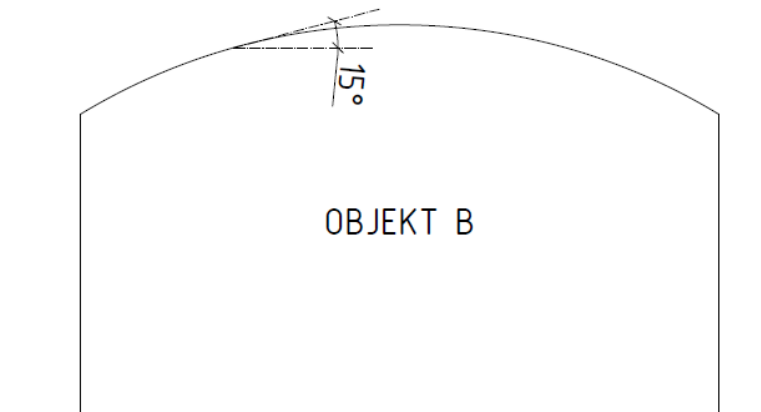
$$s_2 = 0,52 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

Délka návěje:

$$l_s = 2 * h = 2 * 1,0 = 1,0 \text{ m} \quad 5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

$$l_s = 5 \text{ m}$$

Objekt B



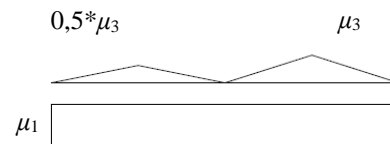
Tvarový součinitel zatížení sněhem pro válcovou střechu:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 * h/b \leq 2,0$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 * 1,5/10,7$$

$$\mu_3 = 1,60 \leq 2,0$$

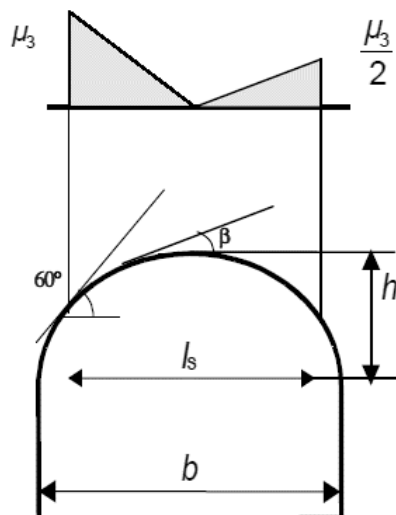


$$s_i = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

$$s_1 = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = 3,10 \text{ kN/m}^2$$

$$s_3 = 1,6 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = 6,19 \text{ kN/m}^2$$

Tvarový součinitel pro válcové střechy dle Národní přílohy



h/b	1/8	1/6	$\geq 1/5$
μ_3	1,45	1,8	2,0

$h/b = 1,5/10,7 = 0,14 \rightarrow \mu_3$ stanovím interpolací mezi hodnotami 1,45 a 1,8

$\rightarrow \mu_3 = 1,58$

$s_4 = 1,58 * 1,0 * 1,0 * 3,87 = 6,11 \text{ kN/m}^2$

2.2. Zatížení větrem

Svoboda nad Úpou – II. větrná oblast

Základní rychlost větru: $v_b = 25 \text{ m/s}$

Základní tlak větru: $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

Objekt B

Maximální dynamický tlak:

$q_p(z) = c_e(z) * q_b \text{ [kN/m}^2\text{]}$

III. kategorie terénu – $c_e(6,5) = 1,3$

$q_p(6,5) = 1,3 * 0,39 = 0,507 \text{ kN/m}^2$

Tlak příčného větru na vnější povrch:

$w_e = q_p(z) * c_{p,net} \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro sedlové přístřešky

Úhel sklonu střechy α	Součinitel plnosti φ	Součinitel celkové síly c_f	Součinitele výsledného tlaku $c_{p,net}$			
			Oblast A	Oblast B	Oblast C	Oblast D
15°	Maximum všech φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Min. $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Min. $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1

Hodnoty součinitele plnosti $\varphi = 0$ nejsou v tomto případě rozhodující.

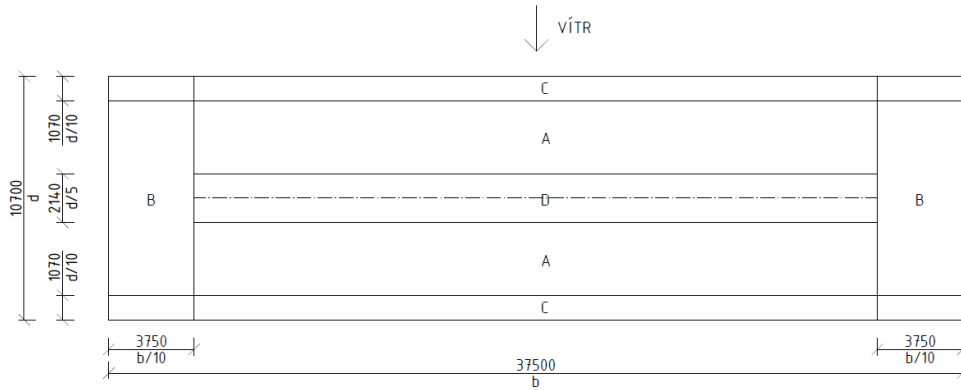
Součinitel celkové síly:

pro maximum všech φ : $F_{Cf} = + 0,4 * 0,507 = + 0,20 \text{ kN/m}^2$

pro minimum $\varphi = 1$: $F_{Cf} = - 1,3 * 0,507 = - 0,66 \text{ kN/m}^2$

Tlak příčného větru:

Oblast	$w_{e,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	
Oblast A	+ 0,46	- 0,66
Oblast B	+ 0,96	- 1,12
Oblast C	+ 0,71	- 0,81
Oblast D	+ 0,20	- 1,07



Objekt A

Maximální dynamický tlak:

$$q_p = c_e(z) * q_b \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

III. kategorie terénu – $c_e(4,0) = 1,3$

$$q_p = 1,3 * 0,39 = 0,507 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na vnější povrch:

$$w_e = q_p(z) * c_{p,net} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro pultové přístřešky

Úhel sklonu střechy α	Součinitel plnosti φ	Součinitel celkové síly c_f	Součinitele výsledného tlaku $c_{p,net}$		
			Oblast A	Oblast B	Oblast C
10°	Maximum všech φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Min. $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Min. $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,6	- 2,7

Hodnoty součinitele plnosti $\varphi = 0$ nejsou v tomto případě rozhodující.

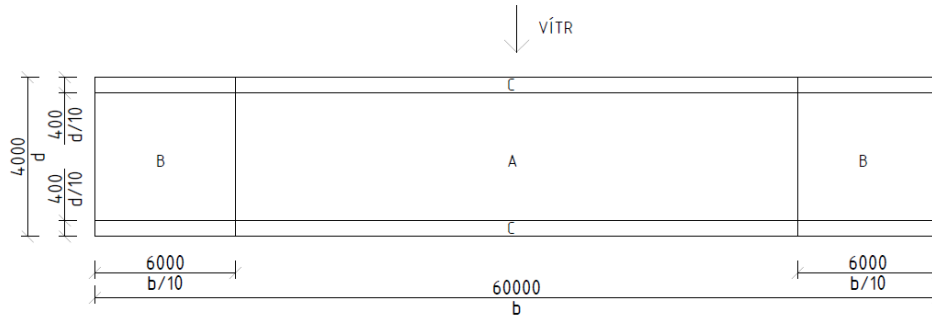
Součinitel celkové síly:

$$\text{pro maximum všech } \varphi: F_{Cf} = + 0,5 * 0,507 = + \mathbf{0,25 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{pro minimum } \varphi = 1: F_{Cf} = - 1,4 * 0,507 = - \mathbf{0,71 \text{ kN/m}^2}$$

Tlak příčného větru:

Oblast	$w_{e,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	
Oblast A	+ 0,61	- 0,81
Oblast B	+ 1,22	- 1,32
Oblast C	+ 0,81	- 1,37



3. Návrh střešního pláště

Navrhuji střešní plášť z dřevěných fošen se střešní krytinou z PVC folie. Volím tuto variantu z důvodu zachování architektonického vzhledu celé konstrukce, jejíž hlavní nosné prvky zastřešení tvoří dřevěné vazníky.

3.1. Charakteristika materiálu

Rostlé dřevo C24, třída provozu 1, krátkodobé zatížení (sníh, vítr)

Charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

Charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}$

Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny $E_{0,\text{mean}} = 11\,500 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu a únosnosti $\gamma_M = 1,3$

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti $k_{\text{mod}} = 0,9$

Součinitel pro zjišťování dotvarování s uvažováním příslušné třídy provozu $k_{\text{def}} = 0,6$

3.2. Zatížení

Zatížení		Charakteristické plošné zatížení g_k [kN/m^2]	Součinitel bezpečnosti γ	Návrhové plošné zatížení g_d [kN/m^2]
Stálé	Vlastní tíha stropnice 420 kg/m^3 * tl. 60 mm	0,25	1,35	0,34
Proměnné	Sníh	6,19	1,50	9,29
	Užitné (kategorie H)	0,75	1,50	1,13

MSÚ – rozhodující kombinace zatížení:

$$\text{stálé} + \text{sníh} + \psi_0 * \text{užitné} = 0,34 + 9,29 + 0,70 * 1,13 = \mathbf{10,42 \text{ kN/m}^2}$$

MSP – rozhodující kombinace zatížení:

$$\text{stálé} + \text{sníh} + \psi_0 * \text{užitné} = 0,25 + 6,19 + 0,70 * 0,75 = \mathbf{6,97 \text{ kN/m}^2}$$

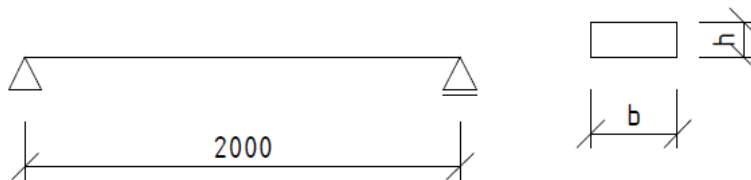
3.3. Návrh průřezu

Návrhové hodnoty pevnosti materiálu:

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{24}{1,3} = \mathbf{16,62 \text{ MPa}}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = \mathbf{1,73 \text{ MPa}}$$

Návrh průřezu:



$$M_{Ed} = W_y * f_{m,d} = \frac{1}{6} * b * h^2 * f_{m,d}$$

$$\rightarrow h_{min} = \sqrt{\frac{6 * M_{Ed}}{b * f_{m,d}}} \text{ [mm]}; \quad b = 1,0 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g_d + q_d) * l^2 \text{ [kNm/m]}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * 10,42 * 2,0^2 = \mathbf{5,21 \text{ kNm/m}}$$

$$h_{min} = \sqrt{\frac{6 * 5,21 * 10^6}{1000 * 16,62}} = 43,37 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \mathbf{h = 60 \text{ mm}}$$

NÁVRH: fošna 60 x 120 mm

3.4. Mezní stav únosnosti

3.4.1. Ohybový moment

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \leq f_{m,d}$$

Pozn.: nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 1000 * 60^2 = 0,6 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{5,21 * 10^6}{0,6 * 10^6} = 8,68 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 16,62 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

3.4.2. Smyk

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * V_{Ed}}{2 * b_{ef} * h} \leq f_{v,d}$$

$\tau_{v,d}$ [MPa] ... návrhové napětí ve smyku

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_d + q_d) * l = \frac{1}{2} * 10,42 * 2,0 = 10,42 \text{ kN}$$

$$b_{ef} = k_{cr} * b; \quad k_{cr} = 0,67 \quad \text{pro rostlé dřevo}$$

$$b_{ef} = 0,67 * 1000 = 670 \text{ mm}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * 10,42 * 10^3}{2 * 670 * 60} = 0,39 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,73 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

3.5. Mezní stav použitelnosti

3.5.1. Čistý průhyb mezi podpěrami

$$w_{net,fin} \leq l/250 \text{ až } l/350$$

$$w_{net,fin} = w_{fin,g} + w_{fin,q} \text{ [mm]}$$

$$w_{inst,i} = \frac{5}{384} * \frac{g_k * l^4}{E_{0,mean} * I_y} \text{ [mm]}$$

$$I_y = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 1000 * 60^3 = 18 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384} * \frac{0,25 * 2000^4}{11\,000 * 18 * 10^6} = 0,26 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384} * \frac{(6,19 + 0,7 * 0,75) * 2000^4}{11\,000 * 18 * 10^6} = 7,07 \text{ mm}$$

$$w_{fin,g} = w_{inst,g} * (1 + k_{def}) \text{ [mm]}$$

$$w_{fin,g} = 0,26 * (1 + 0,6) = \mathbf{0,42 \text{ mm}}$$

$$w_{fin,q} = w_{inst,q} * (1 + \psi_2 * k_{def}) \text{ [mm]}$$

$$\psi_2 = 0 \text{ pro kategorie zatížení H}$$

$$w_{fin,q} = 7,07 * (1 + 0 * 0,6) = \mathbf{7,07 \text{ mm}}$$

$$w_{net,fin} = 0,42 + 7,07 \leq 2000/250$$

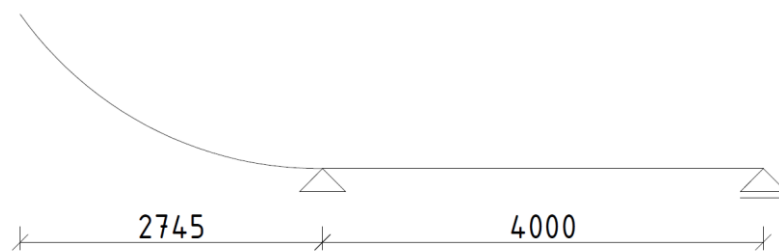
$$w_{net,fin} = \mathbf{7,49 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm}}$$

→ Vyhovuje

4. Návrh pultového střešního nosníku

4.1. Statické schéma

Prostý nosník s převislým koncem



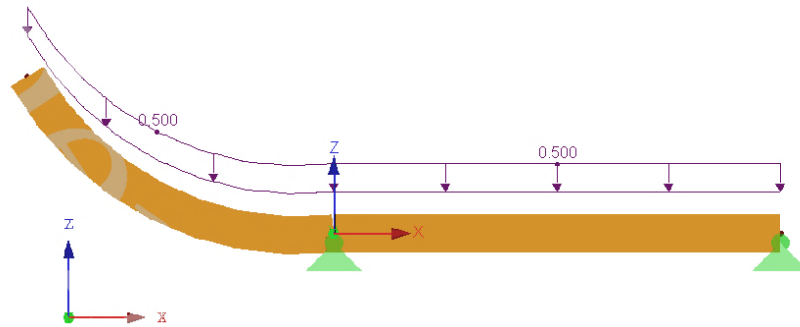
Zatěžovací šířka: $B = 2,0 \text{ m}$

4.2. Zatížení

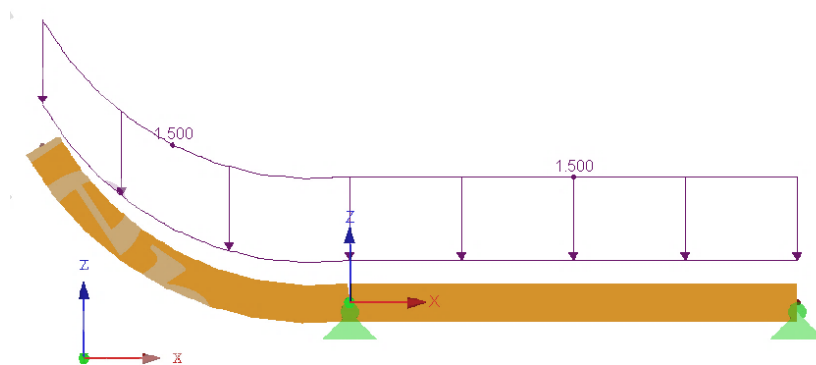
Zatížení		Charakteristické plošné zatížení g_k [kN/m ²]	Zatěžovací šířka B [m]	Charakteristické liniové zatížení g_k [kN/m]
Stálé	Střešní plášť	0,25	2,00	0,50
Proměnné	Užitné (kategorie H)	0,75	2,00	1,50

4.2.1. Zatěžovací stavy

ZS1: Stálé zatížení + vlastní tíha (vypočtena automaticky ve statickém softwaru)



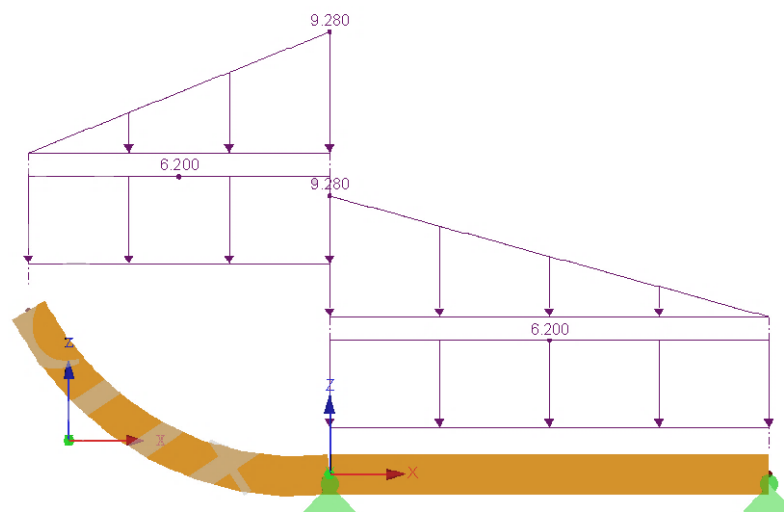
ZS2: Užité zatížení



ZS3: Sníh

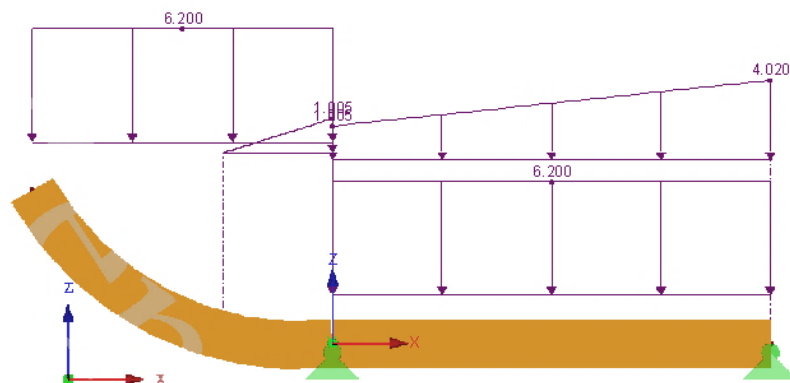
$$f_{s1} = s_1 * B = 3,10 * 2 = 6,20 \text{ kN/m}$$

$$f_{s2} = s_2 * B = 4,64 * 2 = 9,28 \text{ kN/m}$$



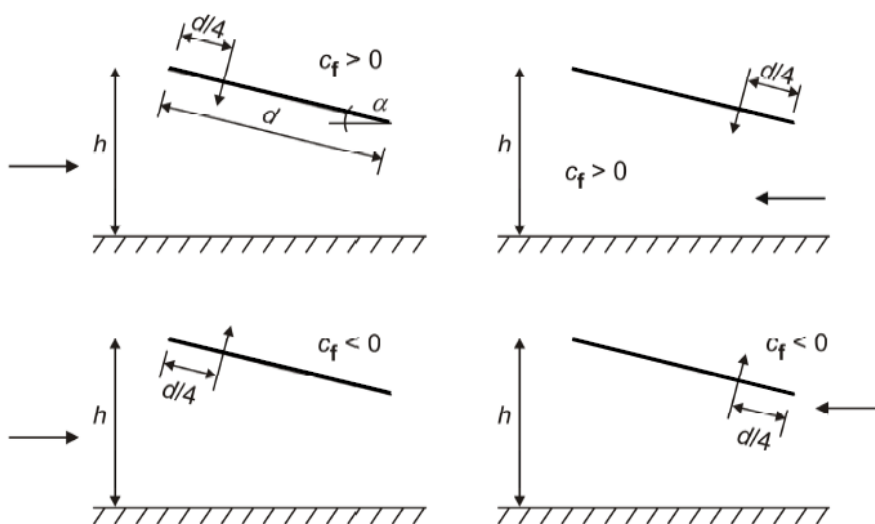
ZS4: Sníh návěj

$$f_{s2,n} = s_{2,n} * B = 2,01 * 2 = 4,02 \text{ kN/m}$$



Vítr

Umístění působičtě celkové síly pro pultové střechy



Celková síla:

$$F_{We} = F_{cf} * L * B \text{ [kN]}$$

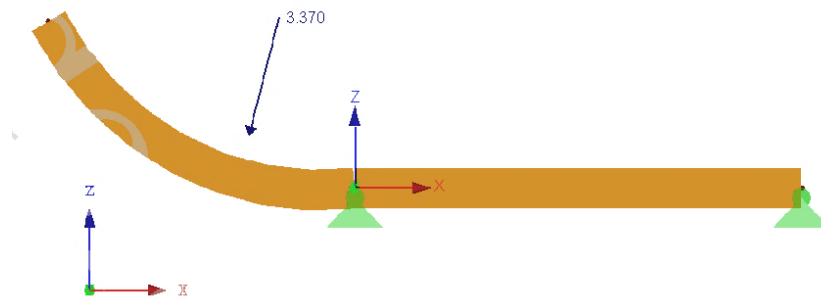
$$F_{We,1} = + 0,25 * (4,0 + 2,745) * 2,0 = + 3,37 \text{ kN}$$

$$F_{We,2} = - 0,71 * (4,0 + 2,745) * 2,0 = - 9,58 \text{ kN}$$

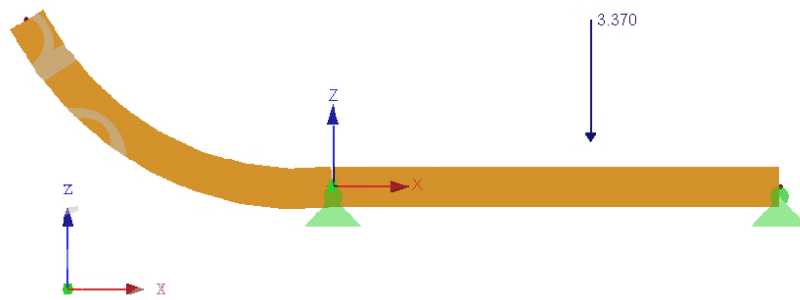
Umístění působičtě síly:

$$\frac{d}{4} = \frac{6,745}{4} = 1,69 \text{ m}$$

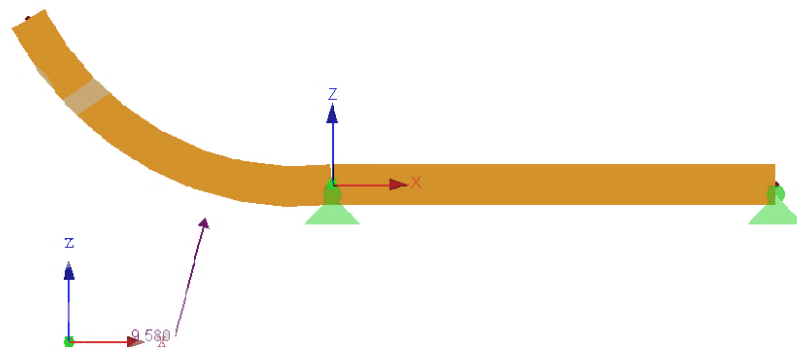
ZS5: Vítr c_{f+} zleva



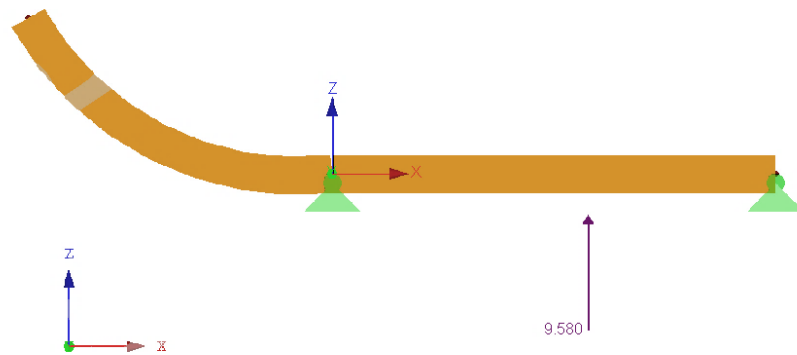
ZS6: Vítr c_{f+} zprava



ZS7: Vítr c_{f-} zleva



ZS8: Vítr c_{f-} zprava



4.2.2. Kombinace zatížení

Základní kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace:

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

Součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení:

užitné zatížení – kategorie H	$\psi_0 = 0,7$
zatížení sněhem	$\psi_0 = 0,5$
zatížení větrem	$\psi_0 = 0,6$

Dílčí součinitel bezpečnosti:

stálé zatížení – nepříznivé	$\gamma_G = 1,35$
stálé zatížení – příznivé	$\gamma_G = 1,00$
hlavní proměnné zatížení – nepříznivé	$\gamma_{Q,1} = 1,50$
vedlejší proměnné zatížení – nepříznivé	$\gamma_{Q,i} = 1,50$

Kombinace zatížení:

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
KZ2	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS5	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS5	Vítr cf+ zleva
KZ3	1,0*ZS1 + 1,5*ZS5	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS5	Vítr cf+ zleva
KZ4	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS6	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS6	Vítr cf+ zprava
KZ5	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS7	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS7	Vítr cf- zleva
KZ6	1,0*ZS1 + 1,5*ZS7	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS7	Vítr cf- zleva
KZ7	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS8	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh

		0,90	ZS8	Vítr cf- zprava
KZ8	1,0*ZS1 + 1,5*ZS8	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS8	Vítr cf- zprava
KZ9	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS4	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh návěj
KZ10	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS4 + 0,9*ZS5	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh návěj
		0,90	ZS5	Vítr cf+ zleva
KZ11	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS4 + 0,9*ZS6	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh návěj
		0,90	ZS6	Vítr cf+ zprava
KZ12	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS4 + 0,9*ZS7	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh návěj
		0,90	ZS7	Vítr cf- zleva
KZ13	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS4 + 0,9*ZS8	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh návěj
		0,90	ZS8	Vítr cf- zprava

→ **Rozhodující kombinace zatížení: KZ2**

4.3. Charakteristika materiálu

Lepené lamelové dřevo GL 28h, třída provozu 1, krátkodobé zatížení (sníh, vítr)

Charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$

Charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$

Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny $E_{0,mean} = 12\,600 \text{ MPa}$

5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny $E_{0,05} = 10\,500 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu a únosnosti $\gamma_M = 1,25$

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti $k_{mod} = 0,9$

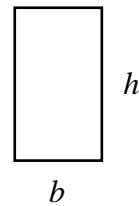
Součinitel pro zjišťování dotvarování s uvažováním příslušné třídy provozu $k_{def} = 0,6$

4.4. Návrh průřezu

Návrh průřezu:

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$h = 520 \text{ mm}$$



Návrhové hodnoty pevnosti materiálu:

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{28}{1,25} = 20,16 \text{ MPa}$$

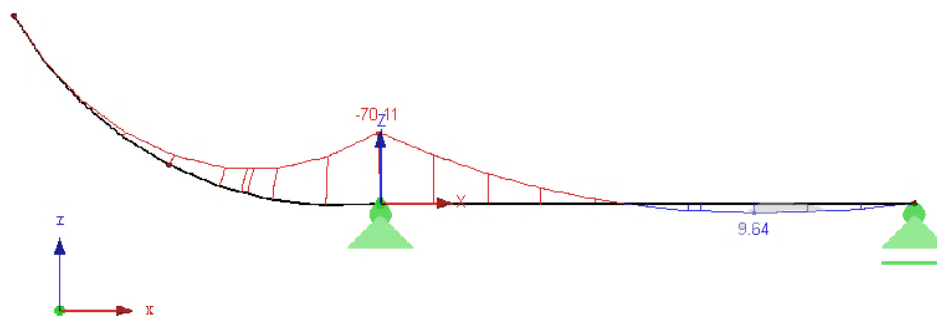
$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{3,5}{1,25} = 2,52 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly:

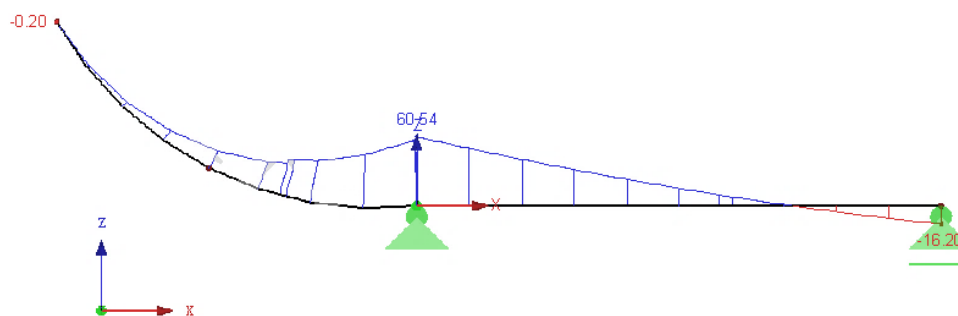
$$M_{Ed} = 70,11 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 60,64 \text{ kN}$$

KZ2 – Průběh ohybového momentu M_y



KZ2 – Průběh posouvajících sil V_z



4.5. Posouzení

4.5.1. MSÚ – Ohybový moment

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \leq f_{m,d}$$

$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 240 * 520^2 = 10816 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{70,11 * 10^6}{10816 * 10^3} = \mathbf{6,48 \text{ MPa}} \leq f_{m,d} = \mathbf{20,16 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje

4.5.2. MSÚ – Smyk

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * V_{Ed}}{2 * b_{ef} * h} \leq f_{v,d}; \quad b_{ef} = k_{cr} * b = 0,67 * 240 = 160,80 \text{ mm}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * 60,64 * 10^3}{2 * 160,8 * 520} = \mathbf{1,09 \text{ MPa}} \leq f_{v,d} = \mathbf{2,52 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje

4.5.3. MSÚ – Ověření příčné a torzní stability

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$\sigma_{m,d}$ [MPa] ... návrhové napětí v ohybu

k_{crit} ... součinitel redukce pevnosti v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability

$$\text{Poměrná štíhlost v ohybu: } \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{149,44}} = \mathbf{0,43}$$

$\sigma_{m,crit}$ [MPa] ... kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d,crit} = \frac{0,78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0,05} \quad \text{pro celistvý obdélníkový průřez}$$

Účinná délka: $l_{ef} = 0,9 * l = 0,9 * 6745 = 6070,50 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,d,crit} = \frac{0,78 * 240^2}{520 * 6070,5} * 10500 = \mathbf{149,44 \text{ MPa}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,43 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$\sigma_{m,d} = \mathbf{6,48 \text{ MPa}} \leq k_{crit} * f_{m,d} = 1 * 20,16 = \mathbf{20,16 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje, spodní pás nosníku není třeba zajistit proti klopení

4.5.4. MSP – Průhyb

Průhyb nosníku:

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{4000}{250} = 16 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 0,98 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 16 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

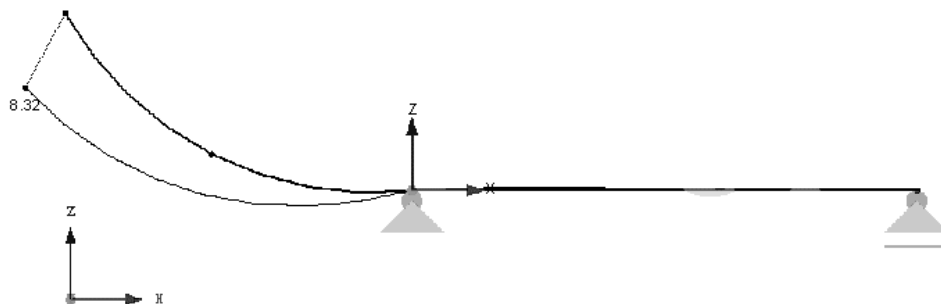
Průhyb konzoly:

$$\delta_{lim} = \frac{2 * l_k}{250} = \frac{2 * 2745}{250} = 21,96 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 8,32 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 21,96 \text{ mm}$$

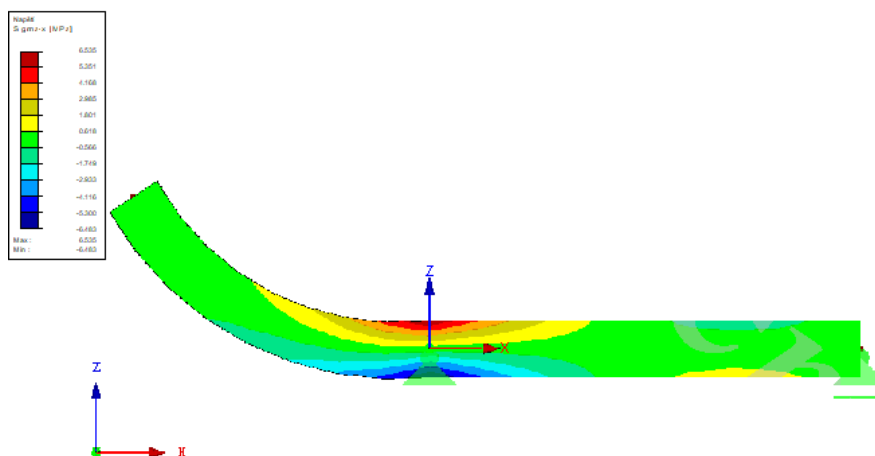
→ Vyhovuje

Maximální průhyb konzoly



4.5.5. Úprava průřezu volného konce konzoly

Vzhledem k průběhu napětí ve střešním nosníku a jeho největší koncentraci v místě levé podpory, lze navrhnout zúžení průřezu nosníku směrem k volnému konci konzoly.

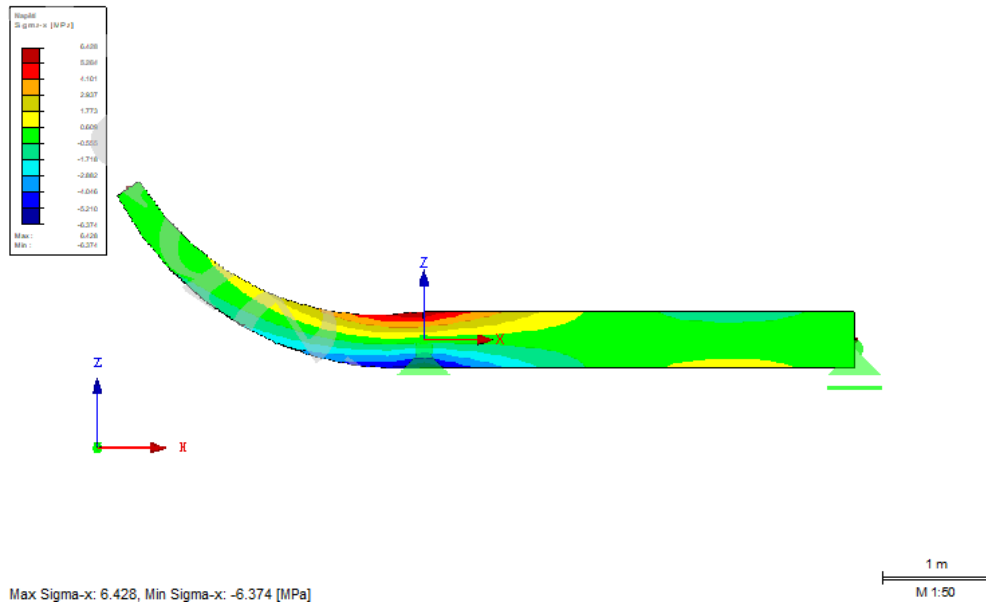


Max Sigma-x: 6.535, Min Sigma-x: -6.483 [MPa]

1 m
M 1:50

Návrhem zúžení průřezu na konci konzoly chci dosáhnout snížení nákladů na dřevěné nosníky a zachovat architektonický návrh. Hledám optimální návrh průřezu mezi průběhem napětí a ekonomickým řešením.

Průběh napětí po zmenšení průřezu na rozměry $b = 240 \text{ mm}$, $h = 240 \text{ mm}$:



Ze statického modelu vyplývá, že je možné snížit průřez střešního nosníku dle požadavků architektonické studie, aniž by došlo k porušení střešního nosníku.

Zmenšení průřezu také kladně ovlivní maximální hodnotu napětí v průřezu, která se nepatrně sníží z původní hodnoty $\sigma_x = 6,535 \text{ MPa}$ na $\sigma_x = 6,428 \text{ MPa}$.

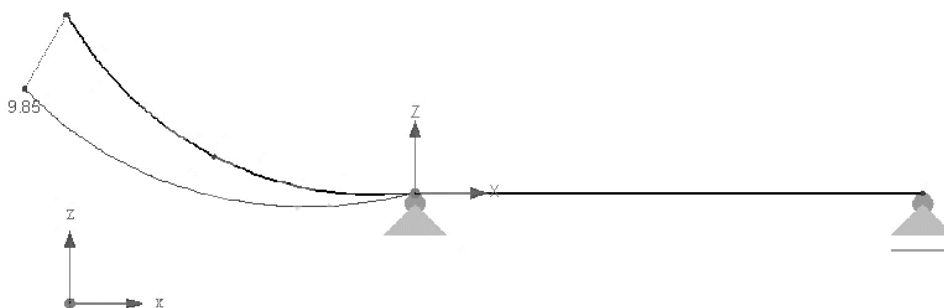
Po změně průřezu je nutné nosník znovu posoudit na průhyb konzoly.

Průhyb konzoly:

$$\delta_x = 9,85 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 21,96 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

Maximální průhyb konzoly po úpravě průřezu



4.6. Posouzení zakřivené části nosníku

4.6.1. Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,ap,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} \quad [MPa]$$

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

$$r = r_{in} + h_{ap}/2 ; \quad h_{ap} = h$$

$$r = 1400 + \frac{520}{2} = \mathbf{1660 \text{ mm}}$$

$$M_{ap,d} = M_{Ed} = \mathbf{68,93 \text{ kNm}}$$

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

$$\alpha_{ap} = 4,91^\circ \quad (\text{vypočteno z rozdílných výšek průřezů na koncích konzoly})$$

$$k_1 = 1 + 1,4 * \operatorname{tg} 4,91 + 5,4 * \operatorname{tg}^2 4,91 = \mathbf{1,16}$$

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

$$k_2 = 0,35 - 8 * \operatorname{tg} 4,91 = \mathbf{-0,34}$$

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

$$k_3 = 0,6 + 8,3 * \operatorname{tg} 4,91 - 7,8 * \operatorname{tg}^2 4,91 = \mathbf{1,26}$$

$$k_4 = 6 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_4 = 6 * \operatorname{tg}^2 4,91 = \mathbf{0,044}$$

$$k_l = 1,16 - 0,34 * \left(\frac{520}{1660}\right) + 1,26 * \left(\frac{520}{1660}\right)^2 + 0,044 * \left(\frac{520}{1660}\right)^3 = 1,178$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} = 1,178 * \frac{6 * 68,93 * 10^6}{240 * 520^2} = \mathbf{7,51 \text{ MPa}}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{1400}{40} = 35 < 240 ; \quad t \dots \text{tloušťka lamely}$$

$$\rightarrow \text{pro } r_{in}/t < 240 : \quad k_r = 0,76 + 0,001 * r_{in}/t$$

$$k_r = 0,76 + 0,001 * 35 = 0,795$$

$$\sigma_{m,ap,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 7,51 \text{ MPa} \leq 0,795 * 20,16 = 16,03 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

4.6.2. Napětí v tahu kolmo k vláknům

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} \leq k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}$$

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

$$k_5 = 0,2 * tg\alpha_{ap} = 0,2 * tg4,91 = 0,017$$

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

$$k_6 = 0,25 - 1,5 * tg4,91 + 2,6 * tg^24,91 = 0,14$$

$$k_7 = 2,1 * tg\alpha_{ap} - 4 * tg^2\alpha_{ap}$$

$$k_7 = 2,1 * tg4,91 - 4 * tg^24,91 = 0,15$$

$$k_p = 0,017 + 0,14 * \left(\frac{520}{1660}\right) + 0,15 * \left(\frac{520}{1660}\right)^2 = 0,076$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = 0,076 * \frac{6 * 68,93 * 10^6}{240 * 520^2} = 0,48 \text{ MPa}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{pro zakřivené nosníky}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} \quad \text{pro lepené lamelové dřevo}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \dots \text{referenční objem}$$

$$V [\text{m}^3] \quad \dots \text{namáhaný objem vrcholové oblasti}$$

$$V \leq 2 * V_b/3 ; V_b \dots \text{celkový objem nosníku}$$

$$V_b = \frac{\beta * \pi}{180} * b * (h_{ap}^2 + 2 * r_{in} * h_{ap})$$

$$V_b = \frac{13 * \pi}{180} * 240 * (520^2 + 2 * 1400 * 520) = 0,094 \text{ m}^3$$

$$V \leq 2 * 0,094/3 = 0,063 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{1 * \pi}{180} * 240 * (520^2 + 2 * 1400 * 520)$$

$$V = 0,0072 \text{ m}^3 \leq 0,063 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{0,0072} \right)^{0,2} = 1,07$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{0,5}{1,25} = \mathbf{0,36 \text{ MPa}}$$

$$\rightarrow k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d} = 1,4 * 1,07 * 0,36 = \mathbf{0,54 \text{ MPa}}$$

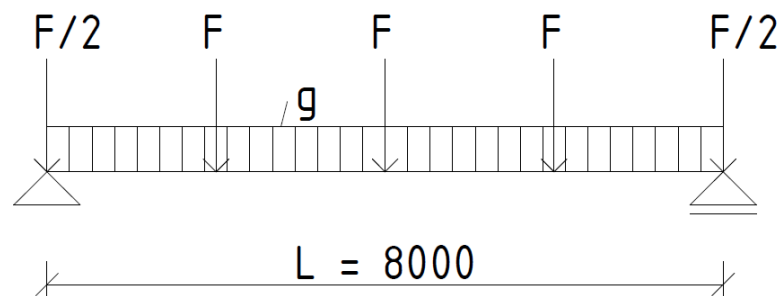
$$\sigma_{t,90,ap,d} = \mathbf{0,48 \text{ MPa}} \leq \mathbf{0,54 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje

5. Návrh průvlaku objektu A

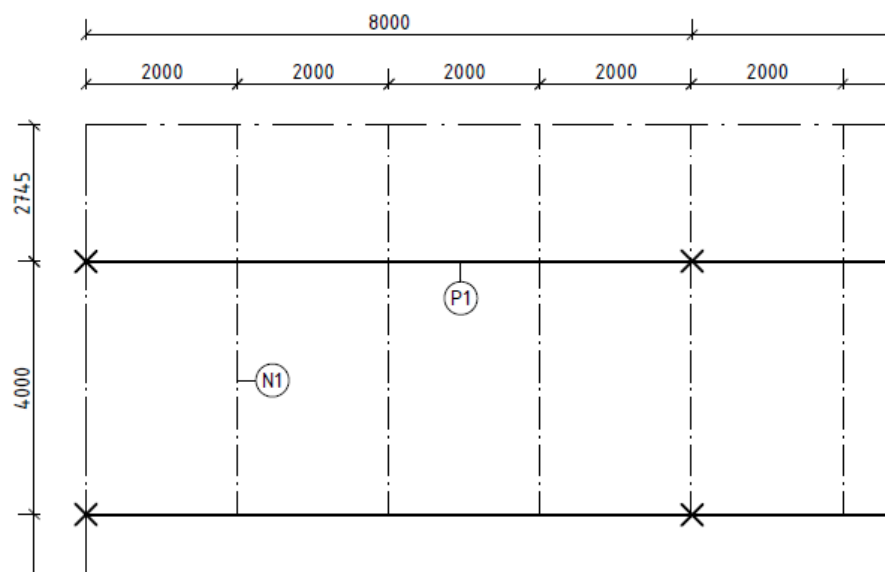
5.1. Statické schéma průvlaku P1

Prostý nosník



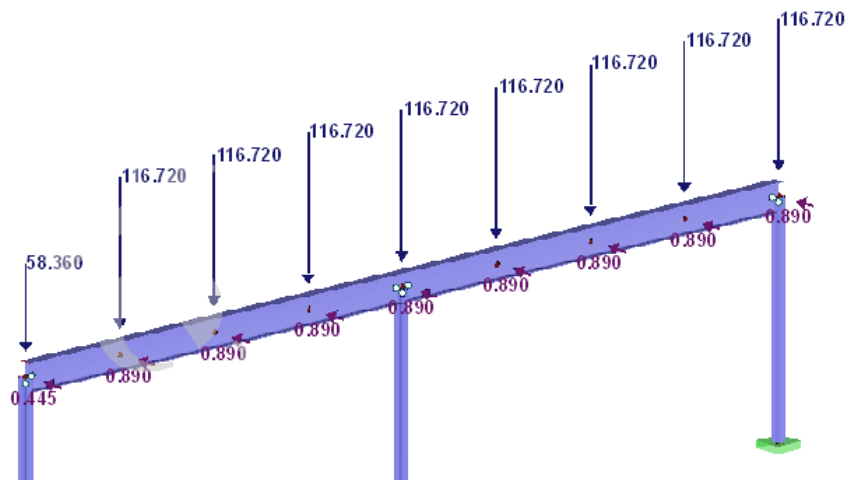
g [kN/m] ... vlastní tíha průvlaku (vypočtena automaticky ve statickém softwaru)

F [kN] ... zatížení od pultového nosníku

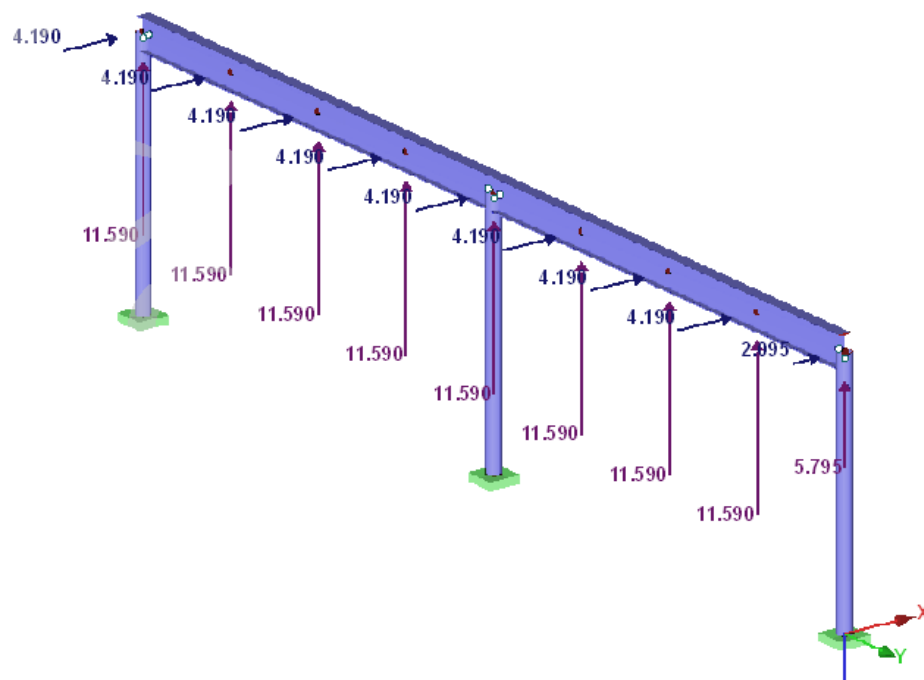


5.2. Zatížení

ZS1 (KZ2): $1,35 \cdot \text{Stálé} + 1,05 \cdot \text{Užitné} + 1,5 \cdot \text{Sníh} + 0,9 \cdot \text{Vítr } c_{f+}$ zleva



ZS2 (KZ6): $1,0 \cdot \text{Stálé} + 1,5 \cdot \text{Vítr } c_{f-}$ zleva



5.3. Návrh průřezu

IPE 500, třída oceli S 235

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A = 11550 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 48200 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 2194 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 204 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$A_{v,z} = 5987 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 2142 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,z} = 335,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 43,1 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

class of section 1 for bending

class of section 3 for compression

Internal forces:

$$M_{y,Ed} = 466,88 \text{ kNm}$$

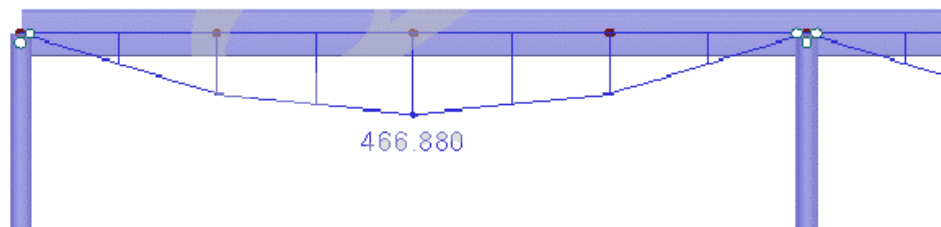
$$M_{y,Ed} = - 46,36 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 175,08 \text{ kN}$$

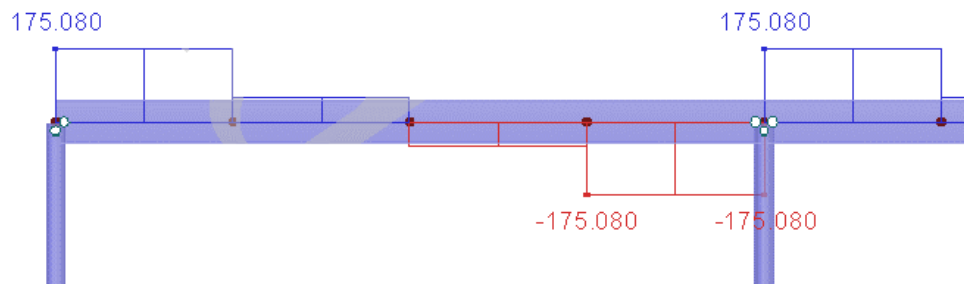
$$M_{z,Ed} = 3,56 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = - 16,76 \text{ kNm}$$

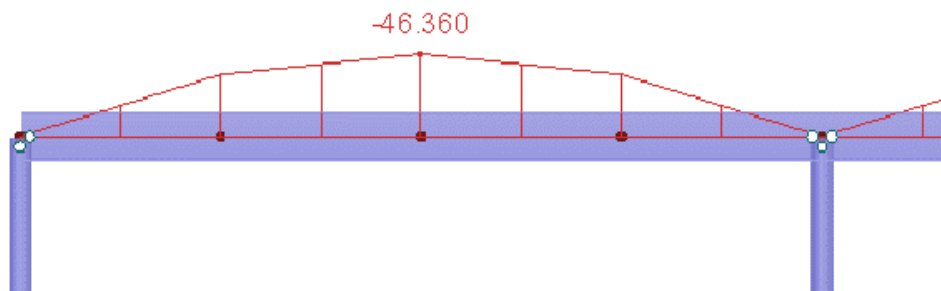
ZS1 – Course of bending moment $M_{y,Ed}$



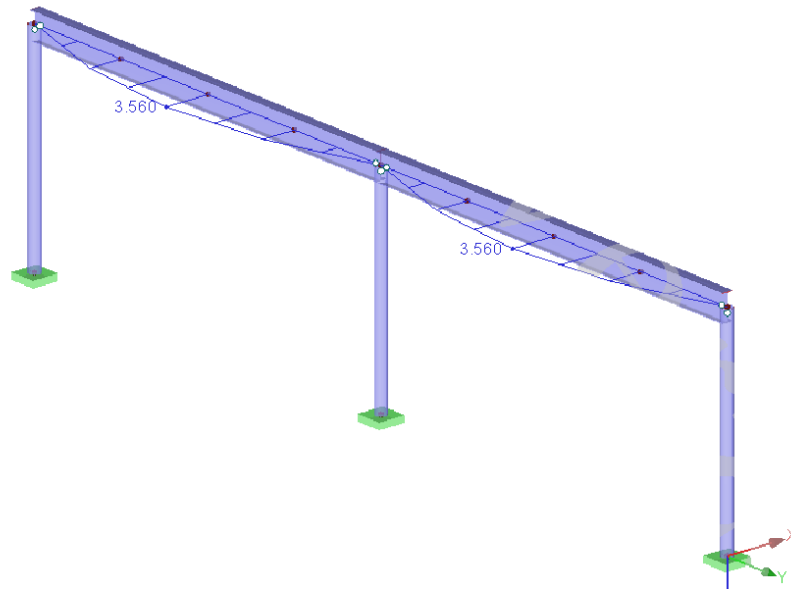
ZS1 – Course of shear force $V_{z,Ed}$



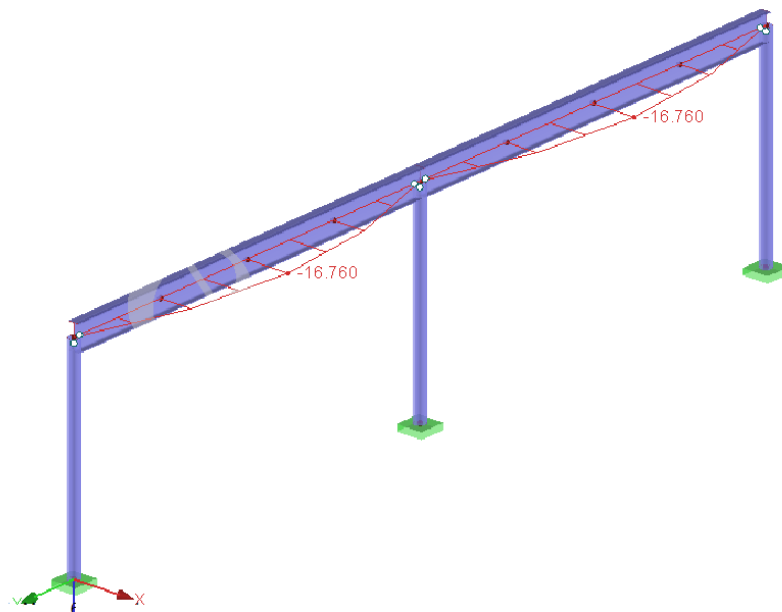
ZS2 – Course of bending moment $M_{y,Ed}$



ZS1 – Průběh ohybového momentu $M_{z,Ed}$



ZS2 – Průběh ohybového momentu $M_{z,Ed}$



5.4. Posouzení

5.4.1. MSP – Průhyb

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 31,30 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

5.4.2. MSÚ – Smyk

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN] ... návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{5987 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 812,30 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 175,08 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = 812,30 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

5.4.3. MSÚ – Klopení

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

$M_{b,Rd}$ [kNm] ... návrhový moment únosnosti nosníku při klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \text{ [kNm]}; \chi_{LT} \dots \text{ součinitel klopení}$$

Křivka klopení:

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

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

α_{LT} ... součinitel imperfekce při klopení

$$h/b > 2 \rightarrow \text{křivka klopení 'b'} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} \leq 4,0; M_{cr} \dots \text{ pružný kritický moment}$$

$$M_{cr} = 3893,40 \text{ kNm} \text{ pro } M_{y,Ed} = 466,88 \text{ kNm} \text{ (vypočteno v softwaru LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2194 * 10^3 * 235}{3893,4 * 10^6}} = 0,36 \leq 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 1,0 * 2194 * 10^3 * \frac{235}{1,0} = 515,59 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 466,88 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 515,59 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

$M_{cr} = -367,74 \text{ kNm}$ pro $M_{y,Ed} = -46,36 \text{ kNm}$ (vypočteno v softwaru LTBeamN)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2194 * 10^3 * 235}{367,74 * 10^6}} = 1,18$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,34 * (1,18 - 0,2) + 1,18^2) = 1,37$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,37 + \sqrt{1,37^2 - 1,18^2}} = 0,49 \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 0,49 * 2194 * 10^3 * \frac{235}{1,0} = 251,11 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 46,36 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 251,11 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

5.4.4. MSÚ – Šikmý ohyb

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$\alpha ; \beta$... konstanty

$$\alpha = 2$$

$\beta = 5 * n$ ale $\beta \geq 1,0$ pro I a H průřezy

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} \rightarrow N_{Ed} = 0 \text{ kN} \rightarrow n = 0$$

$$M_{N,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y = 2194 * 10^3 * 235 = 515,59 \text{ kNm}$$

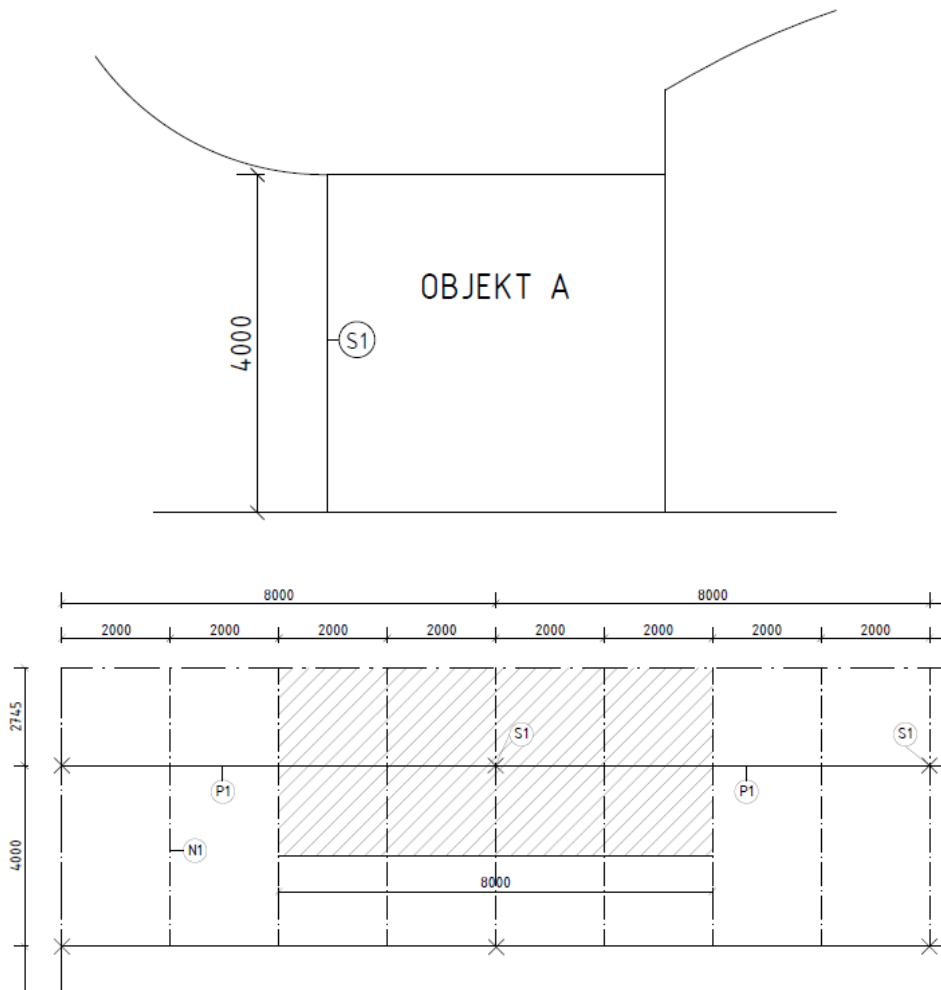
$$M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y = 335,9 * 10^3 * 235 = 78,94 \text{ kNm}$$

$$\left[\frac{466,88}{515,59} \right]^2 + \left[\frac{3,56}{78,94} \right]^1 = 0,87 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje

6. Návrh krajního sloupu objektu A

6.1. Schéma sloupu S1



Výška sloupu: $h = 4,0 \text{ m}$

Zatěžovací šířka: $B = 4,745 \text{ m}$

6.2. Zatížení

6.2.1. Tření

Součinitel tření: $c_{fr} = 0,04$ pro velmi hrubý povrch

Maximální dynamický tlak: $q_p(z) = 0,507 \text{ kN/m}^2$

Referenční plocha tření: $A_{fr} = 2 * d * b \text{ [m}^2\text{]}$

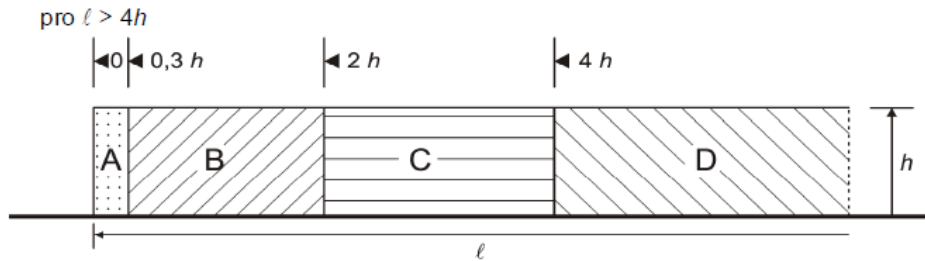
$$d = 8 \text{ m} ; b = 4,745 \text{ m}$$

$$A_{fr} = 2 * 8 * 4,745 = 75,92 \text{ m}^2$$

Třecí síla: $F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr} = 0,04 * 0,507 * 75,92 = 1,54 \text{ kN}$

6.2.2. Působení větru na střešní nosník

Ve výpočtu zatížení větrem je nutné zohlednit působení podélného větru na konzoly střešního nosníku. Pro tento případ budu používat postup dle normy ČSN EN 1991 1-4, kap. 7.4.1 Volně stojící stěny a zděná zábradlí.



$l = 6745 \text{ mm}$... délka nosníku

$h = 520 \text{ mm}$... výška průřezu dřevěného nosníku

Hodnoty součinitele tlaku $c_{p,net}$ pro volně stojící stěny a zděná zábradlí

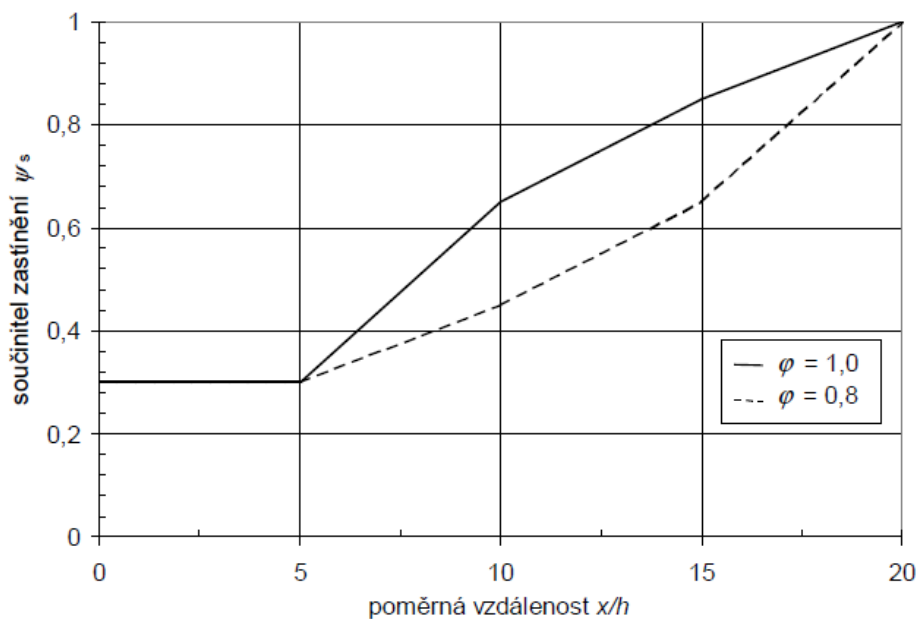
Součinitel plnosti	Oblast		A	B	C	D
$\varphi = 1$	bez vedlejšího průčelí	$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2

Pro výpočet síly podélného větru budu pro zjednodušení návrhu uvažovat pouze oblast D, která je převažující po délce nosníku.

Součinitel zastínění pro stěny a ploty:

$$c_{p,net,s} = \psi_s * c_{p,net}$$

Graf součinitele zastínění ψ_s pro stěny a ploty pro hodnoty φ mezi 0,8 a 1,0



$x = 2000 \text{ mm}$... vzdálenost mezi nosníky

$h = 520 \text{ mm}$... výška průřezu dřevěného nosníku

poměrná vzdálenost $x/h = 3,85 \rightarrow$ součinitel zastínění $\psi_s = 0,3$

Tlak větru:

$$w_{ek} = q_p * \psi_s * c_{p,net} \quad [kN/m^2]$$

$$\text{Oblast D} - w_{ek} = 0,507 * 0,3 * 1,2 = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

Síla podélného větru:

$$F_{w,D} = w_{ek,D} * B * h = 0,18 * 4,745 * 0,52 = \mathbf{0,44 \text{ kN}}$$

6.2.3. Imperfekce

Imperfekce celkového počátečního naklonění konstrukce:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$\phi_0 = 1/200$... základní hodnota

α_h ... redukční součinitel v závislosti na výšce sloupů h

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{4}} = 1 \qquad \frac{2}{3} < \alpha_h \leq 1,0$$

α_m ... redukční součinitel pro počet sloupů v řadě

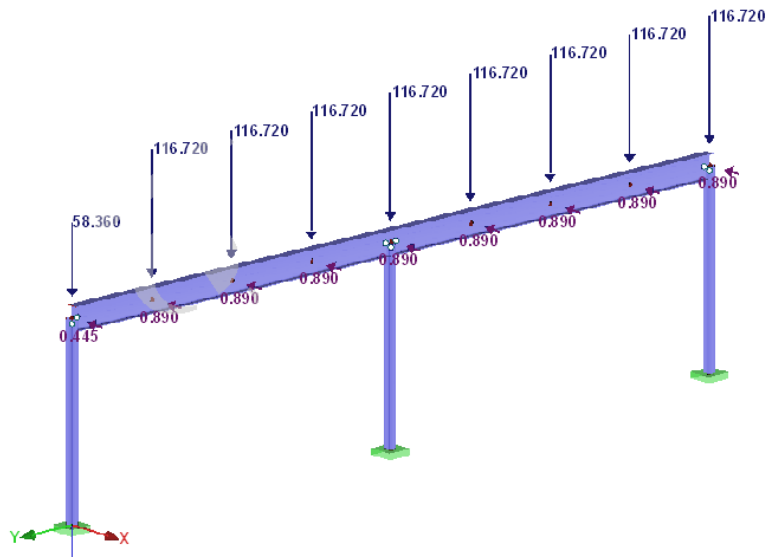
$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} ; \quad m \dots \text{počet sloupů v řadě}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{6}\right)} = 0,76$$

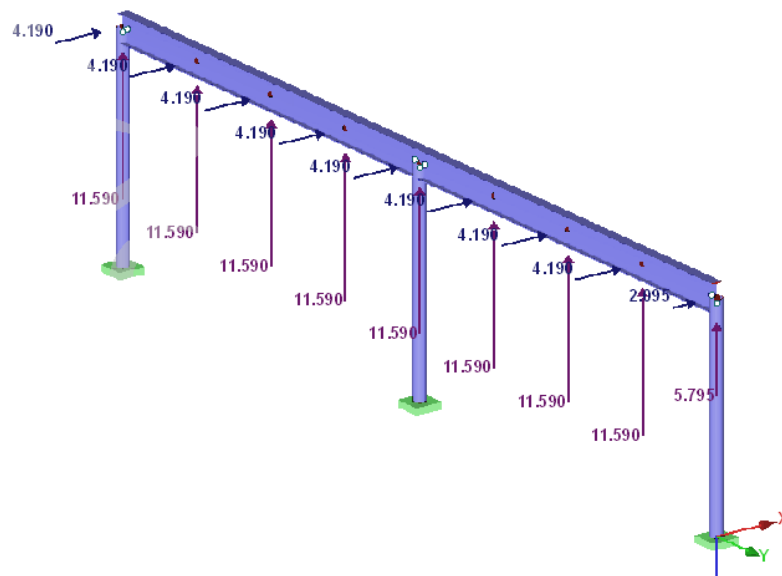
$$\phi = \frac{1}{200} * 1,0 * 0,76 = \mathbf{3,82 * 10^{-3}}$$

6.2.4. Zatěžovací stavy

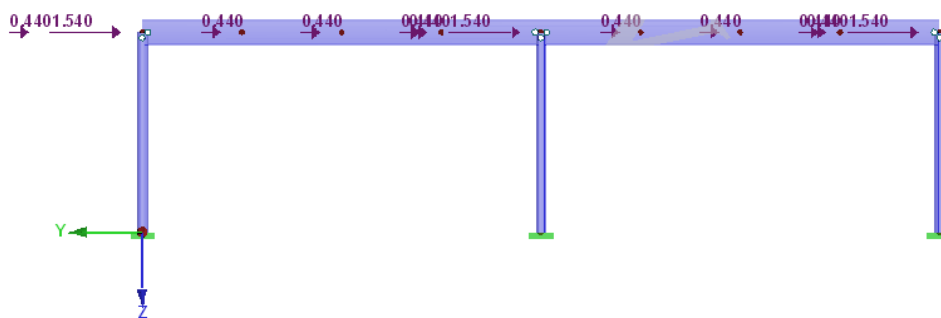
ZS1 – Kombinace zatížení působící na průvlak od horní konstrukce a tlaku větru



ZS2 – Kombinace zatížení působící na průvlak od horní konstrukce a sání větru



ZS3 – Podélný vítr a tření



6.2.5. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení		Zatěžovací stavy	
KZ1	ZS1 + 1,5*ZS3 + ZS4	ZS1	Zatížení od horní konstrukce a střešního pláště, vítr tlak
		ZS3	Podélný vítr + tření
		ZS4	Imperfekce
KZ2	ZS2 + 1,5*ZS3 + ZS4	ZS2	Zatížení od horní konstrukce a střešního pláště, vítr sání
		ZS3	Podélný vítr + tření
		ZS4	Imperfekce

6.3. Návrh průřezu

Navrhují typický sloup vnitřní vazby s působením největšího zatížení.

Návrh průřezu: TR 219 x 12,5 mm

$$A = 8109 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 5163 \text{ mm}^2$$

$$I = 4340 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 534 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i = 73,1 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

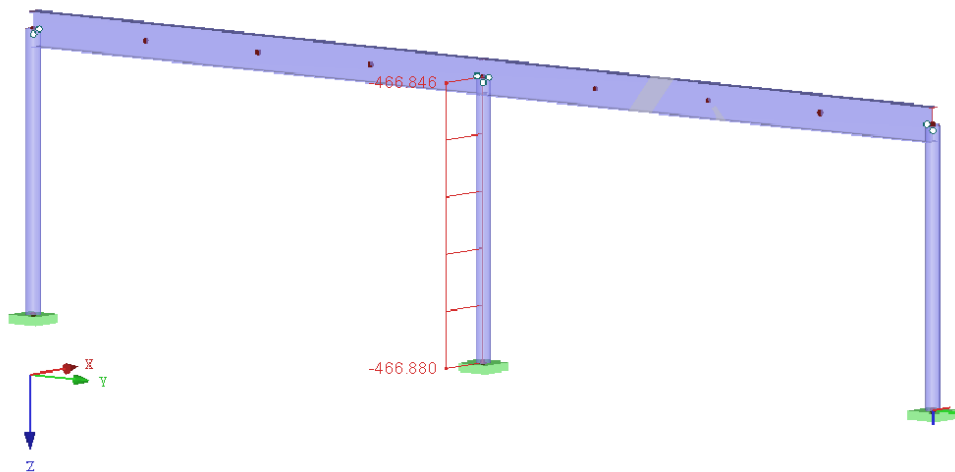
$$\gamma_{M1} = 1,0$$

třída průřezu 1

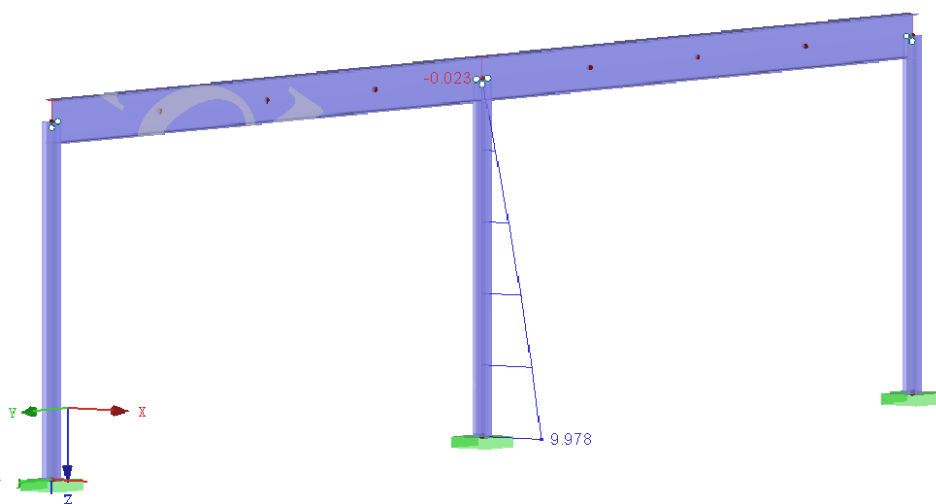
Vnitřní síly:

KZ1	KZ2
$N_{Ed} = - 466,88 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 46,61 \text{ kN}$
$M_{y,Ed} = 9,98 \text{ kNm}$	$M_{y,Ed} = - 65,17 \text{ kNm}$
$M_{z,Ed} = - 21,15 \text{ kNm}$	$M_{z,Ed} = - 16,86 \text{ kNm}$
$V_{y,Ed} = - 4,65 \text{ kN}$	$V_{y,Ed} = - 4,33 \text{ kN}$
$V_{z,Ed} = - 6,08 \text{ kN}$	$V_{z,Ed} = 16,76 \text{ kN}$

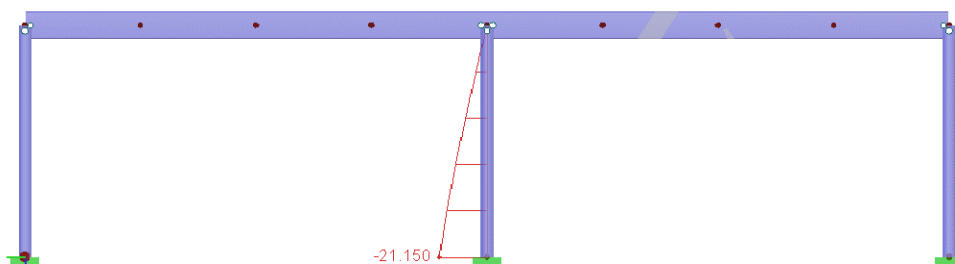
KZ1 – Průběh normálových sil N_{Ed}



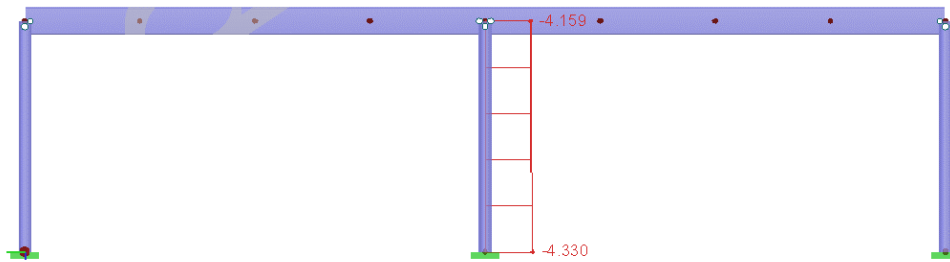
KZ1 – Průběh ohybového momentu $M_{y,Ed}$



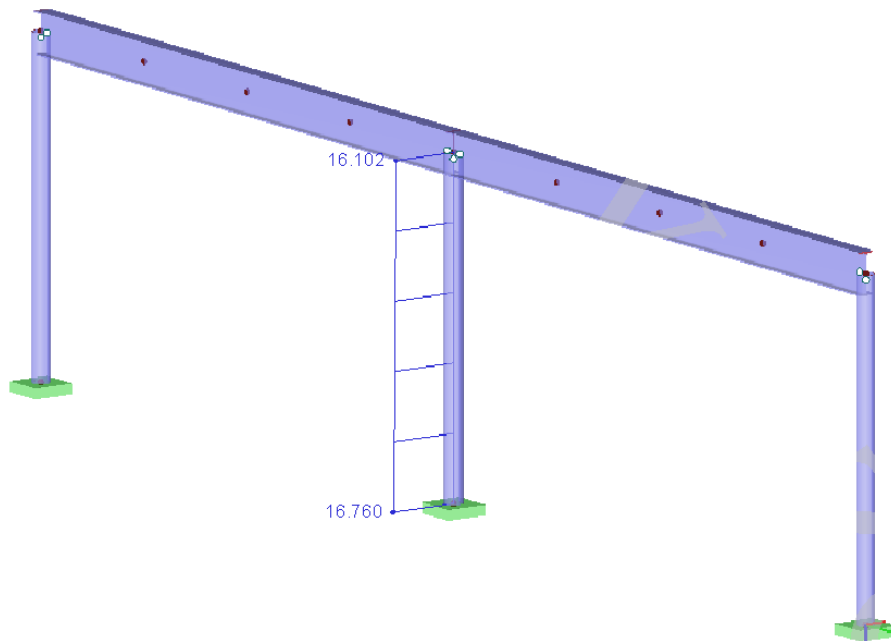
KZ1 – Průběh ohybového momentu $M_{z,Ed}$



KZ2 – Průběh posouvajících sil $V_{y,Ed}$



KZ2 – Průběh posouvajících sil $V_{z,Ed}$



6.4. Posouzení

6.4.1. MSP – Vodorovný posun

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = h/150 = 4000/150 = 26,66 \text{ mm}$$

$$\delta_x = \mathbf{8,80 \text{ mm} \leq 26,66 \text{ mm}}$$

→ Vyhovuje

6.4.2. MSÚ – Vzpěrná únosnost

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

$N_{b,Rd}$ [kN] ... návrhová vzpěrná únosnost tlačného prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \text{ [kN]} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3}$$

χ ... součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \leq 1,0$$

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

α ... součinitel imperfekce

→ duté průřezy → válcované za studena → křivka vzpěrnosti 'c' → $\alpha = 0,49$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}; \quad L_{cr} = \beta * L = 2 * 4,0 = 8,0 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon; \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1} = \frac{8000}{73,1 * 93,9} = 1,17 \rightarrow \chi = \mathbf{0,448} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,448 * 8109 * 235}{1,0} = 853,72 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \mathbf{466,88 \text{ kN}} \leq N_{b,Rd} = \mathbf{706,70 \text{ kN}}$$

→ Vyhovuje

6.4.3. MSÚ – Interakce tlaku a ohybu

Rozhodující kombinace zatížení pro interakci tlaku s ohybem: KZ1

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{9,98^2 + 21,15^2} = \mathbf{23,39 \text{ kNm}}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti:

$$N_{Rk} = A * f_y = 8109 * 235 = 1905,62 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl} * f_y = 534 * 10^3 * 235 = 125,49 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ c_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right\}$$

$\bar{\lambda} = 1,17$; $\chi = 0,448$; $\chi_{LT} = 1,0$ pro kruhové průřezy

$$c_{my} = 0,9 + 0,1 * \alpha_h \rightarrow \alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$c_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left[1 + (1,17 - 0,2) * \frac{466,88}{0,448 * 1905,62/1,0} \right] \\ 0,9 * \left[1 + 0,8 * \frac{466,88}{0,448 * 1905,62/1,0} \right] \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,38 ; 1,29\}$$

$$k_{yy} = 1,29$$

$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$ průřezy třídy 1, které nejsou náchylné ke zkroucení

$$k_{zy} = 0,6 * 1,29 = 0,78$$

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

$$\frac{466,88}{0,448 * 1905,62/1,0} + 1,29 * \frac{23,39}{1,0 * 125,49/1,0} = \mathbf{0,79 \leq 1,0}$$

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

$$\frac{466,88}{0,448 * 1905,62/1,0} + 0,78 * \frac{23,39}{1,0 * 125,49/1,0} = \mathbf{0,69 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}/\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{466,88}{1905,62/1,0} + \frac{23,39}{125,49/1,0} = \mathbf{0,43 \leq 1,0}$$

→ Vyhovuje

6.4.4. MSÚ – Smyk

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

Rozhodující kombinace zatížení pro smyk: KZ2

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{4,33^2 + 16,76^2} = \mathbf{17,31 \text{ kN}}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 5163 * \frac{(235 / \sqrt{3})}{1,0} = 700,50 \text{ kN}$$

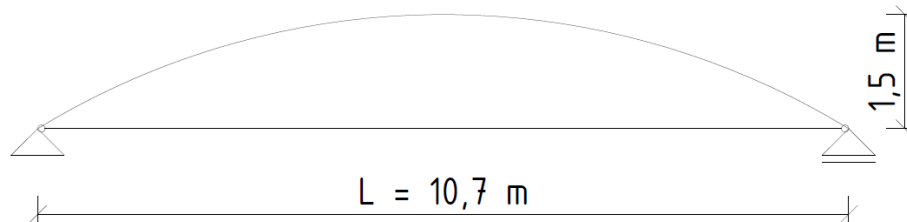
$$V_{Ed} = 17,31 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = 700,50 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

7. Návrh střešního oblouku objektu B

7.1. Statické schéma

Oblouková konstrukce namáhaná tlakem s uzavřeným systémem podepření – zachycení vodorovných sil v podporách ocelovým táhlem.



Zatěžovací šířka: $B = 2,0 \text{ m}$

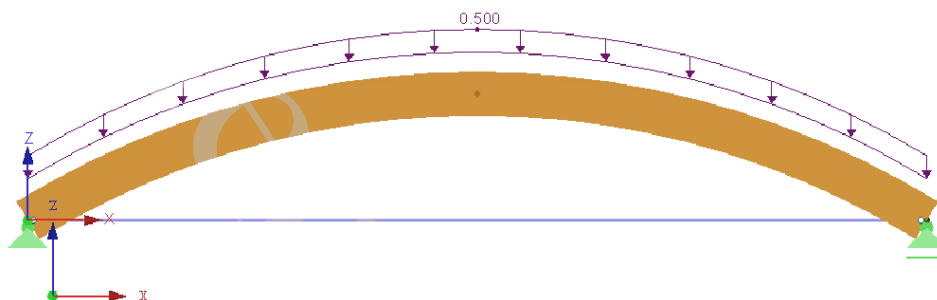
Vzepětí oblouku: $h = 1,5 \text{ m}$

7.2. Zatížení

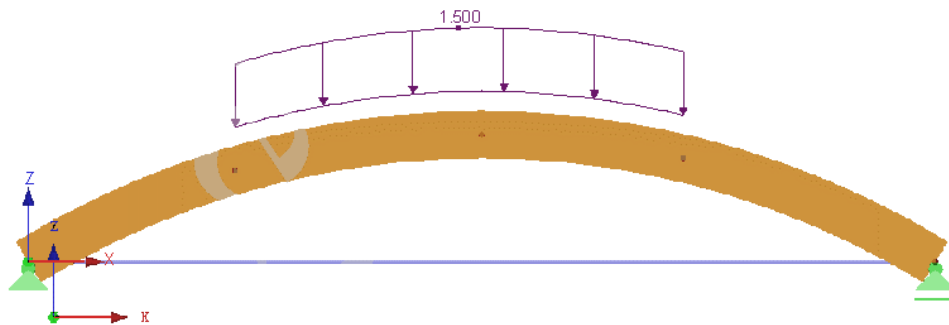
Zatížení		Charakteristické plošné zatížení g_k [kN/m ²]	Zatěžovací šířka B [m]	Charakteristické liniové zatížení g_k [kN/m]
Stálé	Střešní plášť	0,25	2,00	0,50
Proměnné	Užitné (kategorie H)	0,75	2,00	1,50

7.2.1. Zatěžovací stavy

ZS1: Stálé zatížení + vlastní tíha (vypočtena automaticky ve statickém softwaru)

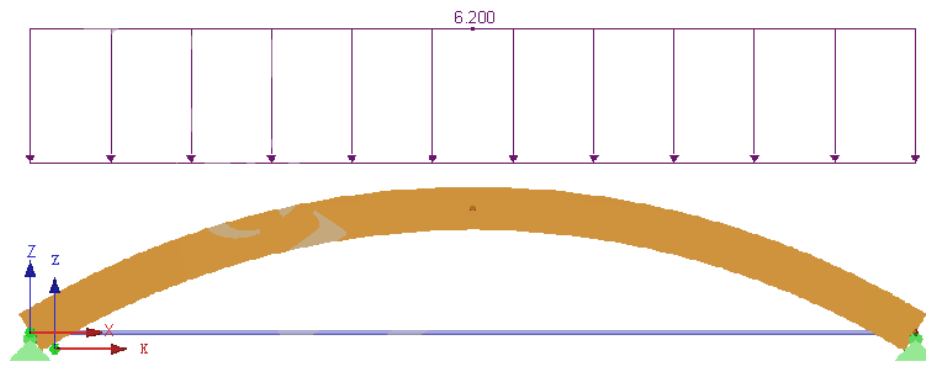


ZS2: Užité zátížení



ZS3: Sníh I.

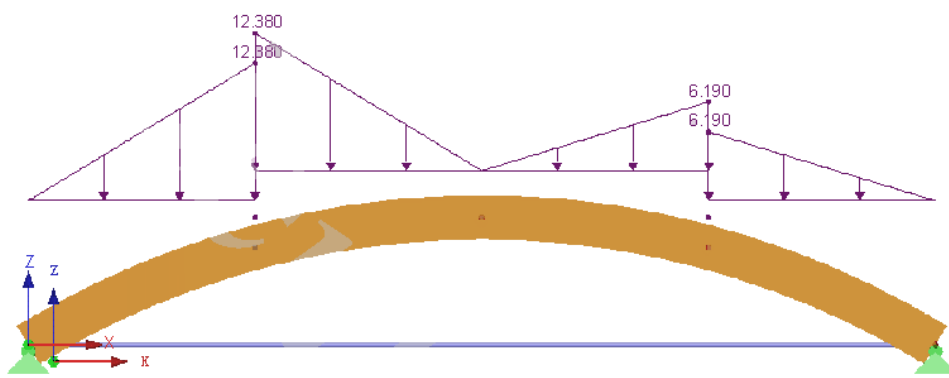
$$f_{s1} = s_1 * B = 3,10 * 2,0 = 6,20 \text{ kN/m}$$



ZS4: Sníh II.

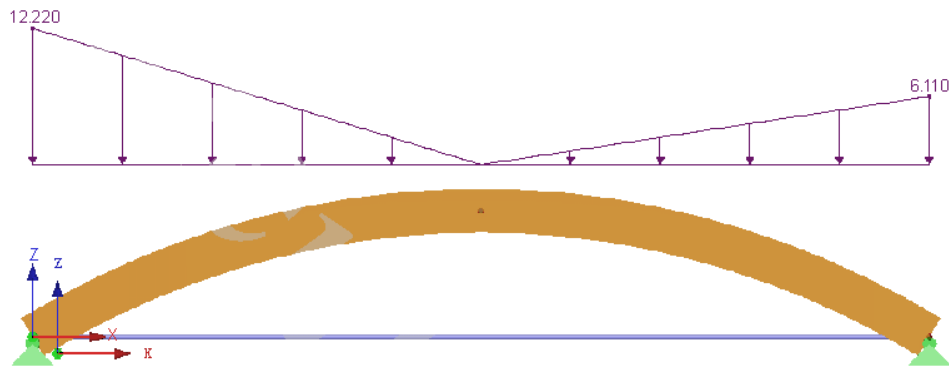
$$f_{s3} = s_3 * B = 6,19 * 2,0 = 12,38 \text{ kN/m}$$

$$l_s = L = 10,70 \text{ m} \rightarrow l_s/4 = 2,675 \text{ m}$$



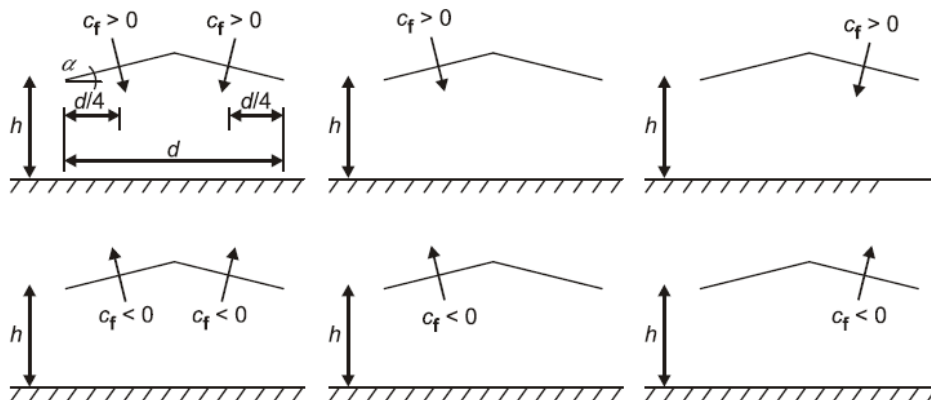
ZS5: Sníh III.

$$f_{s4} = s_4 * B = 6,11 * 2,0 = 12,22 \text{ kN/m}$$



Vítr

Uspořádání zatížení větrem pro sedlové přístřešky



Celková síla:

$$F_{we} = F_{cf} * L * B \text{ [kN]}$$

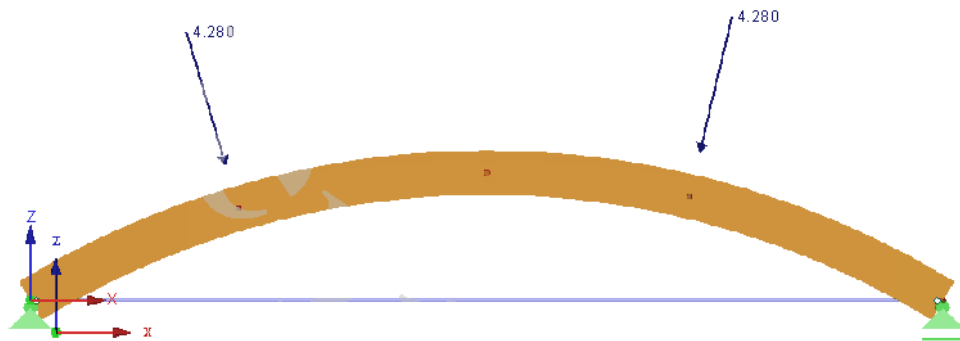
$$F_{cf,1} = +0,20 * 10,7 * 2,0 = + 4,28 \text{ kN}$$

$$F_{cf,2} = -0,66 * 10,7 * 2,0 = -14,12 \text{ kN}$$

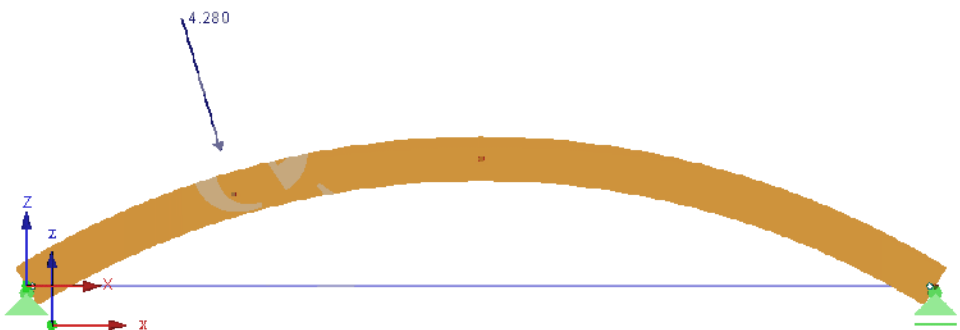
Umístění působivosti síly:

$$d/4 = 10,7/4 = 2,68 \text{ m}$$

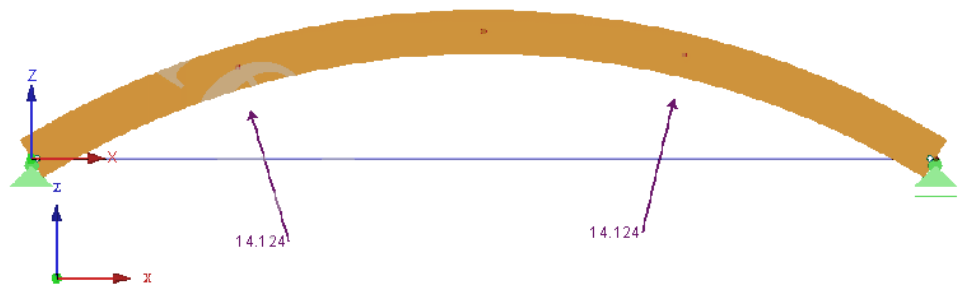
ZS6: Vítr tlak



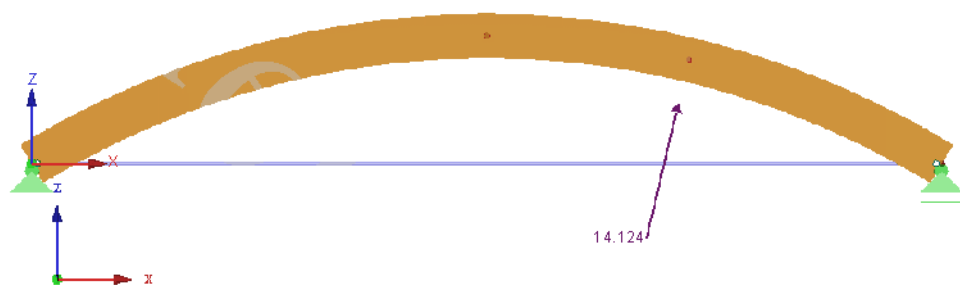
ZS7: Vítr c_{f+} zleva



ZS8: Vítr sání



ZS9: Vítr c_{f-} zprava



7.2.2. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh I.
KZ2	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh I.
		0,90	ZS6	Vítr tlak
KZ3	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS7$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh I.
		0,90	ZS7	Vítr cf+ zleva
KZ4	$ZS1 + 1,5 \cdot ZS8$	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS8	Vítr sání
KZ5	$ZS1 + 1,5 \cdot ZS9$	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS9	Vítr cf- zprava
KZ6	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh II.
KZ7	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4 + 0,9 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh II.
		0,90	ZS6	Vítr tlak
KZ8	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4 + 0,9 \cdot ZS7$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS4	Sníh II.
		0,90	ZS7	Vítr cf+ zleva
KZ9	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS5$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS5	Sníh III.
KZ10	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS5 + 0,9 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS5	Sníh III.
		0,90	ZS6	Vítr tlak
KZ11	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS9$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS5	Sníh I.
		0,90	ZS7	Vítr cf- zprava
KZ12	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS5 + 0,9 \cdot ZS9$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS5	Sníh III.
		0,90	ZS9	Vítr cf- zprava

7.3. Charakteristika materiálu

Lepené lamelové dřevo GL 28h, třída provozu 1, krátkodobé zatížení (sníh, vítr)

Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost ve smyku	$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 28 \text{ MPa}$
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,\text{mean}} = 12\,600 \text{ MPa}$
5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 10\,500 \text{ MPa}$
Dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu a únosnosti	$\gamma_M = 1,25$
Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti	$k_{\text{mod}} = 0,9$
Součinitel pro zjišťování dotvarování s uvažováním příslušné třídy provozu	$k_{\text{def}} = 0,6$

Ocelové táhlo S 235

Mez kluzu oceli	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_{M0} = 1,0$

7.4. Návrh průřezu dřevěného oblouku a ocelového táhla

Návrh průřezu dřevěného oblouku:

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$h = 560 \text{ mm}$$

Návrh průřezu ocelového táhla:

plný kruhový průřez o průměru $d = 40 \text{ mm}$

Návrhové hodnoty pevnosti dřeva:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{28}{1,25} = 20,16 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{3,5}{1,25} = 2,52 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,5}{1,25} = 1,80 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{0,5}{1,25} = \mathbf{0,36 MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{28}{1,25} = \mathbf{20,16 MPa}$$

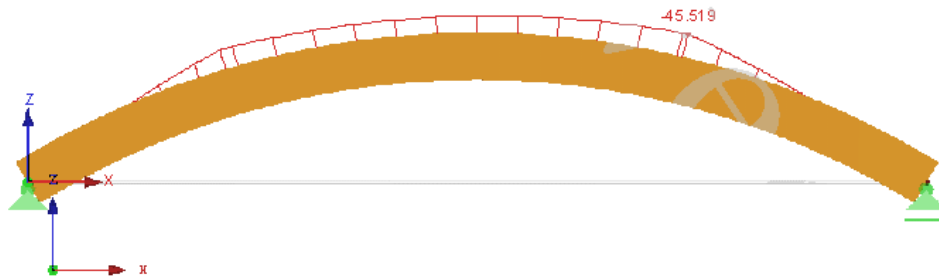
Vnitřní síly:

$$M_{y,Ed} = - 45,52 \text{ kNm}$$

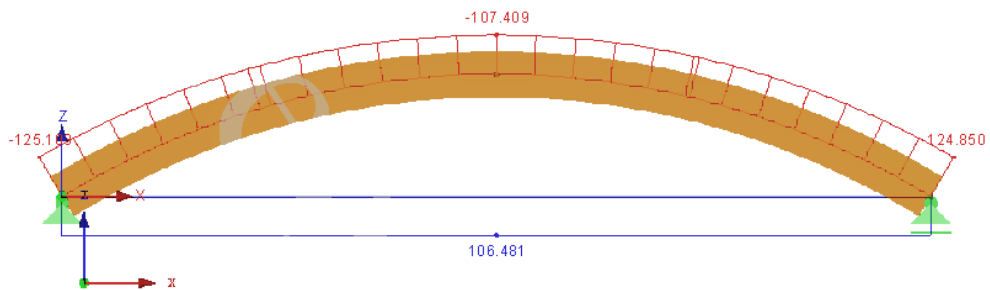
$$N_{Ed} = - 125,10 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 19,64 \text{ kN}$$

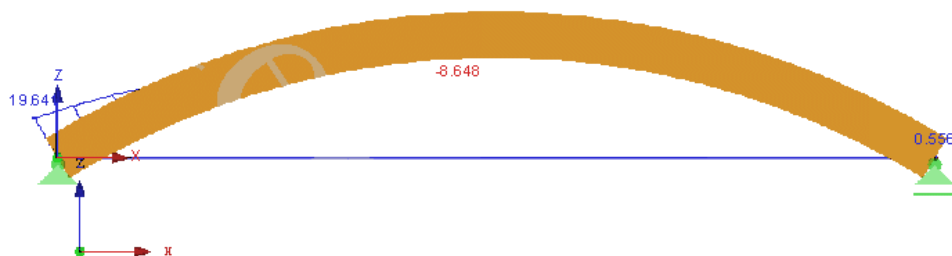
KZ4 – Průběh ohybového momentu $M_{y,Ed}$



KZ2 – Průběh normálových sil N



KZ12 – Průběh posouvajících sil $V_{z,Ed}$



7.5. Posouzení dřevěného oblouku

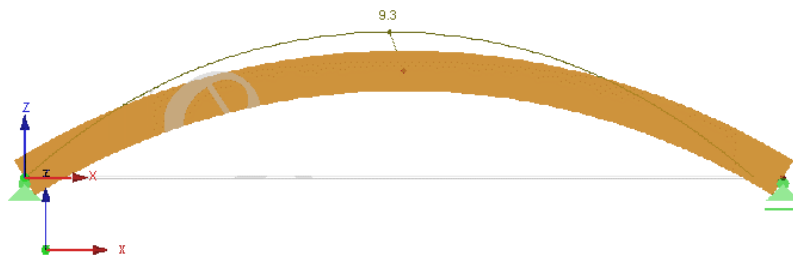
7.5.1. MSP – Čistý průhyb mezi podporami

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{11252}{250} = 45,01 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 9,30 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 45,01 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

Maximální průhyb dřevěného oblouku



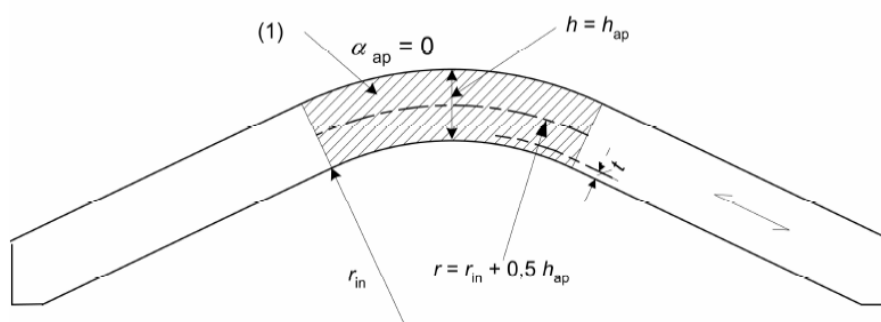
7.5.2. MSÚ – Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_l * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} \quad [MPa]$$

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

Geometrie oblouku



$$h_{ap} = h = 560 \text{ mm}$$

$$\alpha_{ap} = 0$$

$$r_{in} = 1500 \text{ mm}$$

$$r = r_{in} + 0,5 * h_{ap} = 1780 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 * tg\alpha_{ap} + 5,4 * tg^2\alpha_{ap} = 1 + 1,4 * tg0 + 5,4 * tg^20 = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 * tg\alpha_{ap} = 0,35 - 8 * tg0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 * tg\alpha_{ap} - 7,8 * tg^2\alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 * tg0 - 7,8 * tg^20 = 0,6$$

$$k_4 = 6 * tg^2\alpha_{ap} = 6 * tg^20 = 0$$

$$k_l = 1 + 0,35 * \left(\frac{560}{1780}\right) + 0,6 * \left(\frac{560}{1780}\right)^2 + 0 * \left(\frac{560}{1780}\right)^3 = \mathbf{1,17}$$

$$M_{ap,d} = 45,52 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = 1,17 * \frac{6 * 45,52 * 10^6}{240 * 560^2} = \mathbf{4,24 \text{ MPa}}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{1500}{40} = 37,50 < 240 \rightarrow k_r = 0,76 + 0,001 * \frac{r_{in}}{t}$$

$$k_r = 0,76 + 0,001 * 37,5 = \mathbf{0,80}$$

$$\sigma_{m,d} = \mathbf{4,24 \text{ MPa}} \leq k_r * f_{m,d} = 0,80 * 20,16 = \mathbf{16,13 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje

7.5.3. MSÚ – Napětí v tahu kolmo k vláknům

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2}$$

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

$$k_5 = 0,2 * tg\alpha_{ap} = 0,2 * tg0 = 0$$

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

$$k_6 = 0,25 - 1,5 * tg0 + 2,6 * tg^20 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 * tg\alpha_{ap} - 4 * tg^2\alpha_{ap} = 2,1 * tg0 - 4 * tg^20 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 * \left(\frac{560}{1780}\right) + 0 * \left(\frac{560}{1780}\right)^2 = \mathbf{0,08}$$

$k_{dis} = 1,4$ pro sedlové a zakřivené nosníky

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

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{\beta * \pi}{180} * b * (h_{ap}^2 + 2 * r_{in} * h_{ap})$$

$$V = \frac{15 * \pi}{180} * 240 * (560^2 + 2 * 1500 * 560) = 0,125 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{0,125}\right)^{0,2} = 0,603$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,08 * \frac{6 * 45,52 * 10^6}{240 * 560^2} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = \mathbf{0,29 \text{ MPa}} \leq 1,4 * 0,603 * 0,36 = \mathbf{0,30 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje

7.5.4. MSÚ – Interakce tlaku a ohybu

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}; \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{0,5 * 11252}{161,7} = 34,793 \rightarrow \lambda_{rel,y} = \frac{34,793}{\pi} * \sqrt{\frac{28}{10500}} = \mathbf{0,57}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2675}{69,3} = 38,6 \rightarrow \lambda_{rel,z} = \frac{38,6}{\pi} * \sqrt{\frac{28}{10500}} = \mathbf{0,63}$$

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

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

$\beta_c = 0,1$ pro lepené lamelové dřevo

$$k_y = 0,5 * (1 + 0,1 * (0,57 - 0,3) + 0,57^2) = 0,676$$

$$k_z = 0,5 * (1 + 0,1 * (0,63 - 0,3) + 0,63^2) = 0,715$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,676 + \sqrt{0,676^2 - 0,57^2}} = \mathbf{0,96}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,63^2}} = \mathbf{0,95}$$

$k_m = \mathbf{0,7}$ pro obdélníkové průřezy

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b * h} = \frac{125,10 * 10^3}{240 * 560} = \mathbf{0,93 MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{21,50 * 10^6}{12544 * 10^3} = \mathbf{1,71 MPa}$$

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

$$\frac{0,93}{0,96 * 20,16} + \frac{1,71}{20,16} = \mathbf{0,13} \leq \mathbf{1,0}$$

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

$$\frac{0,93}{0,95 * 20,16} + 0,7 * \frac{1,71}{20,16} = \mathbf{0,11} \leq \mathbf{1,0}$$

→ Vyhovuje

7.5.5. MSÚ – Smyk

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * V_{Ed}}{2 * b_{ef} * h} ; b_{ef} = k_{cr} * b = 0,67 * 240 = 160,80 \text{ mm}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * 19,64 * 10^3}{2 * 160,8 * 560} = \mathbf{0,33 MPa} \leq f_{v,d} = \mathbf{2,52 MPa}$$

→ Vyhovuje

7.5.6. MSÚ – Ověření příčné a torzní stability

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$\sigma_{m,d}$ [MPa] ... návrhové napětí v ohybu

k_{crit} ... součinitel redukce pevnosti v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability

$$\text{Poměrná štíhlost v ohybu: } \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{87,48}} = \mathbf{0,57}$$

$\sigma_{m,crit}$ [MPa] ... kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d,crit} = \frac{0,78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0,05} \quad \text{pro celistvý obdélníkový průřez}$$

Účinná délka: $l_{ef} = 0,9 * l = 0,9 * 10700 = 9630 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,d,crit} = \frac{0,78 * 240^2}{560 * 9630} * 10500 = \mathbf{87,48 \text{ MPa}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,57 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$\sigma_{m,d} = \mathbf{4,24 \text{ MPa}} \leq k_{crit} * f_{m,d} = 1 * 20,16 = \mathbf{20,16 \text{ MPa}}$$

→ Vyhovuje, spodní pás nosníku není třeba zajistit proti klopení

7.6. Posouzení ocelového táhla

7.6.1. MSP – Čistý průhyb mezi podporami

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{10700}{250} = 42,80 \text{ mm}$$

$$\delta_x = \mathbf{3,00 \text{ mm}} \leq \delta_{lim} = \mathbf{42,80 \text{ mm}}$$

→ Vyhovuje

7.6.2. MSÚ – Tah

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$N_{t,Rd}$ [kN] ... návrhová únosnost v tahu

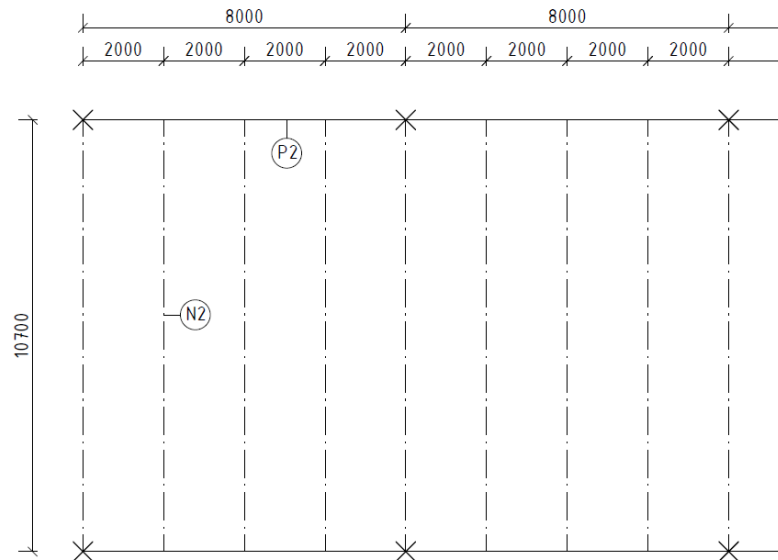
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1256,6 * 235}{1,0} = 295,30 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \mathbf{106,48 \text{ kN}} \leq N_{pl,Rd} = \mathbf{295,30 \text{ kN}}$$

→ Vyhovuje

8. Návrh průvlaku objektu B

8.1. Půdorysné schéma průvlaku P2



8.2. Zatížení

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS4	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS4	Vítr tlak
KZ2	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS5	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS5	Vítr cf+ zleva
KZ3	ZS1 + 1,5*ZS6	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS6	Vítr sání
KZ4	ZS1 + 1,5*ZS7	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS7	Vítr cf- zprava
KZ5	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS7	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS7	Vítr cf- zprava

8.3. Návrh průřezu

IPE 400, třída oceli S 235

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$A = 8446 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 4269 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 23130 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1318 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1307 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 165 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

třída průřezu 3 pro tlak

$$W_{pl,z} = 229 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 39,5 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

třída průřezu 1 pro ohyb

Vnitřní síly:

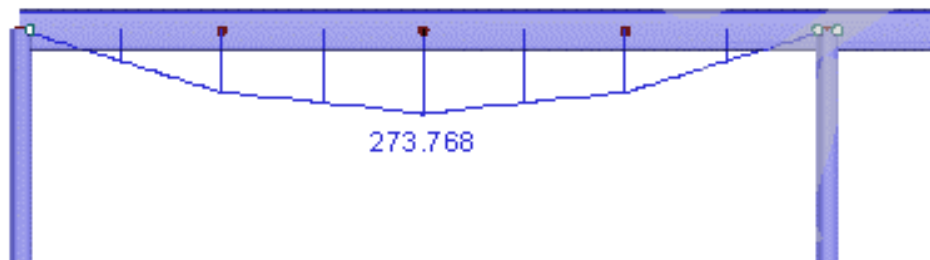
$$M_{y,Ed} = 273,77 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 103,55 \text{ kN}$$

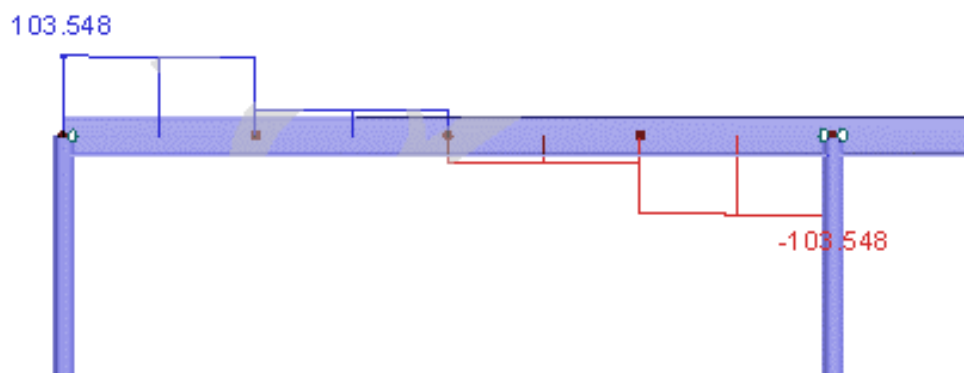
$$M_{z,Ed} = - 21,15 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -54,54 \text{ kNm}$$

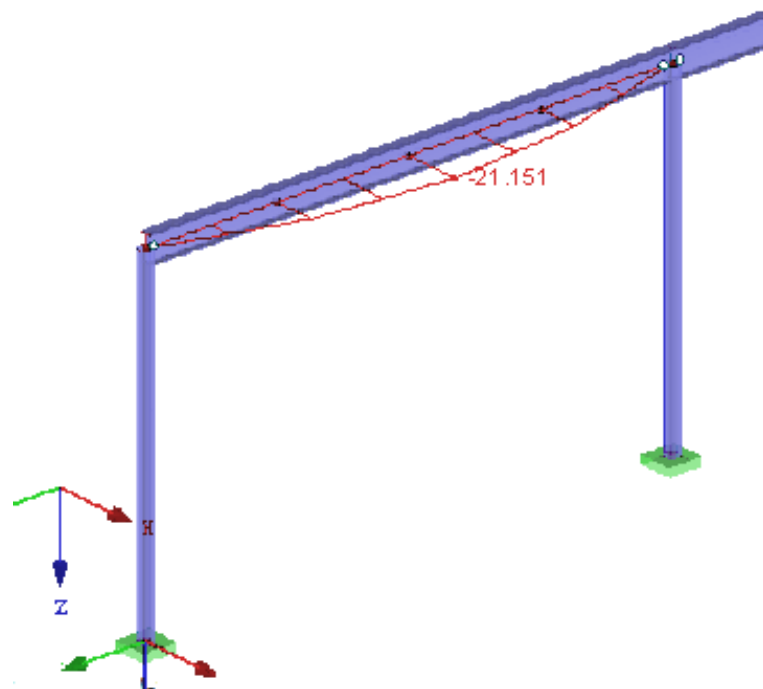
KZ1 – Průběh ohybového momentu $M_{y,Ed}$



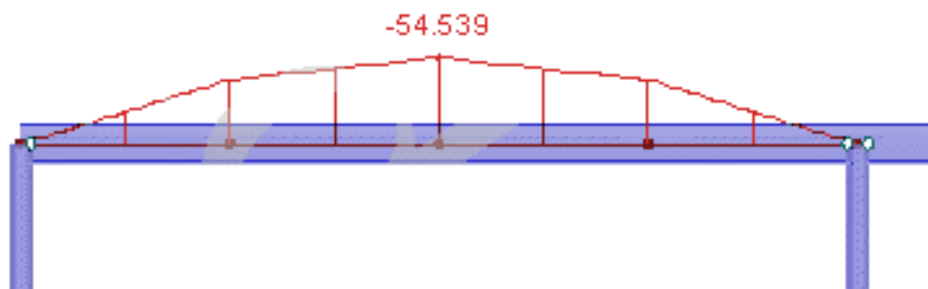
KZ1 – Průběh posouvajících sil $V_{z,Ed}$



KZ4 – Průběh ohybového momentu $M_{z,Ed}$



KZ3 – Průběh ohybového momentu $M_{y,Ed}$



8.4. Posouzení

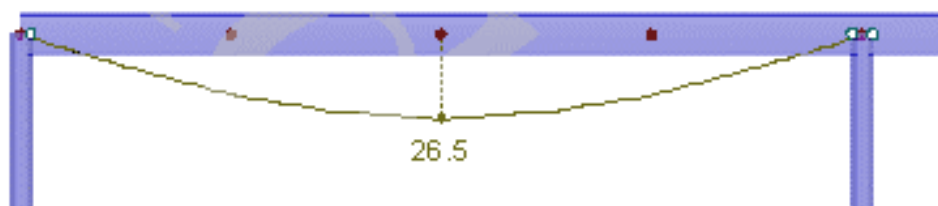
8.4.1. MSP – Čistý průhyb mezi podporami

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 26,50 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 32 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

Maximální průhyb průvlaku



8.4.2. MSÚ – Smyk

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4269 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 579,21 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 103,55 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = 579,21 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

8.4.3. MSÚ – Klopení

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \text{ [kNm]}$$

Křivka klopení:

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

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

α_{LT} ... součinitel imperfekce při klopení

$$h/b > 2 \rightarrow \text{křivka klopení 'b'} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} \leq 4,0 ; M_{cr} \dots \text{pružný kritický moment}$$

$$M_{cr} = 1951,50 \text{ kNm} \text{ pro } M_{y,Ed} = 273,77 \text{ kNm} \text{ (vypočteno v softwaru LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1307 * 10^3 * 235}{1951,5 * 10^6}} = 0,397 \leq 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 1,0 * 1307 * 10^3 * 235 / 1,0 = 307,15 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 273,77 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 307,15 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

$M_{cr} = -216,14 \text{ kNm}$ pro $M_{y,Ed} = -54,54 \text{ kNm}$ (vypočteno v softwaru LTBeamN)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1307 * 10^3 * 235}{216,14 * 10^6}} = 1,19 \rightarrow \chi_{LT} = 0,484 \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 0,484 * 1307 * 10^3 * 235 / 1,0 = 148,66 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 54,54 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 148,66 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

8.4.4. MSÚ – Šikmý ohyb

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

α ; β ... konstanty

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 5 * n \text{ ale } \beta \geq 1,0 \text{ pro I a H průřezy}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} \rightarrow N_{Ed} = 0 \text{ kN} \rightarrow n = 0$$

$$M_{N,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y = 1307 * 10^3 * 235 = 307,15 \text{ kNm}$$

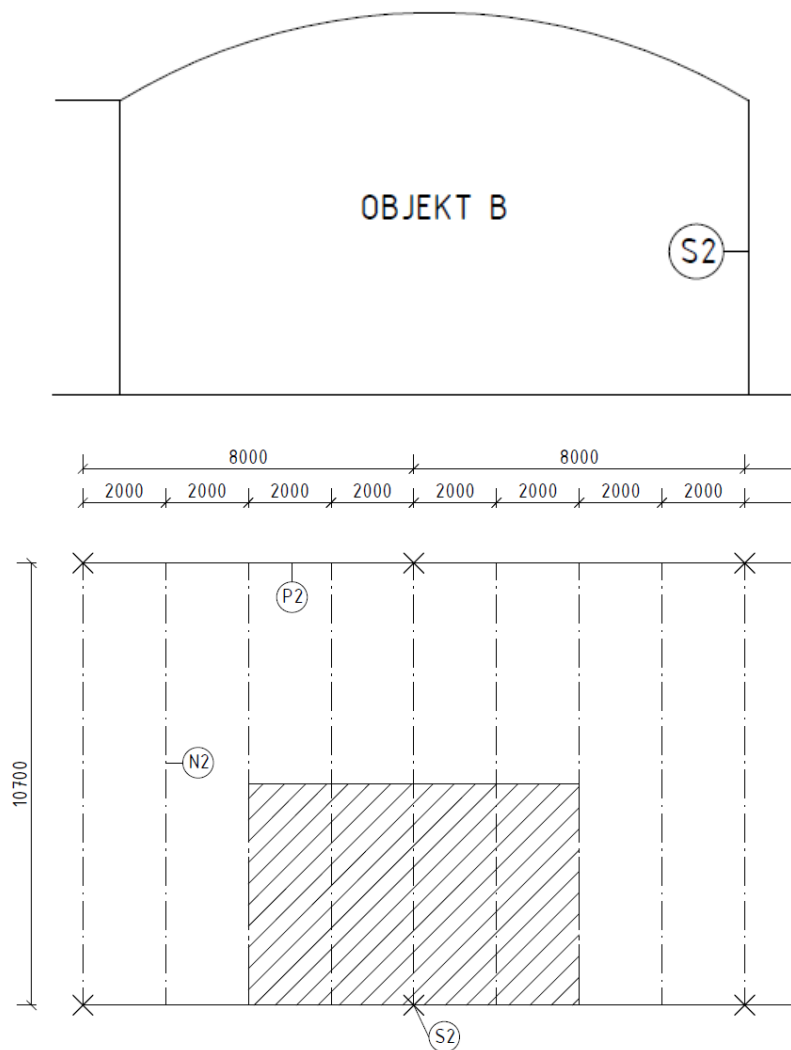
$$M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y = 229 * 10^3 * 235 = 53,82 \text{ kNm}$$

$$\left[\frac{273,77}{307,15} \right]^2 + \left[\frac{1,02}{53,82} \right]^1 = 0,81 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje

9. Návrh krajního sloupu objektu B

9.1. Schéma sloupu S2



Výška sloupu: $h = 5,0 \text{ m}$

Zatěžovací šířka: $B = 5,35 \text{ m}$

9.2. Zatížení

9.2.1. Tření větrem

Součinitel tření: $c_{fr} = 0,04$ pro velmi hrubý povrch

Maximální dynamický tlak: $q_p(z) = 0,507 \text{ kN/m}^2$

Referenční plocha tření: $A_{fr} = 2 * d * b \text{ [m}^2\text{]}$

$$d = 8 \text{ m}, b = 5,35 \text{ m}$$

$$A_{fr} = 2 * 8 * 5,35 = 85,60 \text{ m}^2$$

Třecí síla: $F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr} = 0,04 * 0,507 * 85,6 = 1,74 \text{ kN}$

9.2.2. Imperfekce

Imperfekce celkového počátečního naklonění konstrukce:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$\phi_0 = 1/200$... základní hodnota

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5}} = 0,89 \qquad \frac{2}{3} < \alpha_h \leq 1,0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} ; \quad m \dots \text{počet sloupů v řadě}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

$$\phi = \frac{1}{200} * 0,89 * 0,79 = 3,54 * 10^{-3}$$

9.2.3. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS4 + ZS8 + 1,5*ZS9	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS4	Vítr tlak
		1,00	ZS8	Imperfekce
		1,50	ZS9	Tření
KZ2	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS5 + ZS8 + 1,5*ZS9	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS5	Vítr cf+ zleva
		1,00	ZS8	Imperfekce
		1,50	ZS9	Tření
KZ3	ZS1 + 1,5*ZS6 + ZS8 + 1,5*ZS9	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS6	Vítr sání
		1,00	ZS8	Imperfekce
		1,50	ZS9	Tření
KZ4	ZS1 + 1,5*ZS7 + ZS8 + 1,5*ZS9	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS7	Vítr cf- zprava
		1,00	ZS8	Imperfekce
		1,50	ZS9	Tření

KZ5	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS7 + ZS8 + 1,5*ZS9	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS7	Vítr cíf- zprava
		1,00	ZS8	Imperfekce
		1,50	ZS9	Tření

9.3. Návrh průřezu

Návrh průřezu: TR 219 x 12,5 mm

$$A = 8109 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 5163 \text{ mm}^2$$

$$I = 4340 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 534 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i = 73,1 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

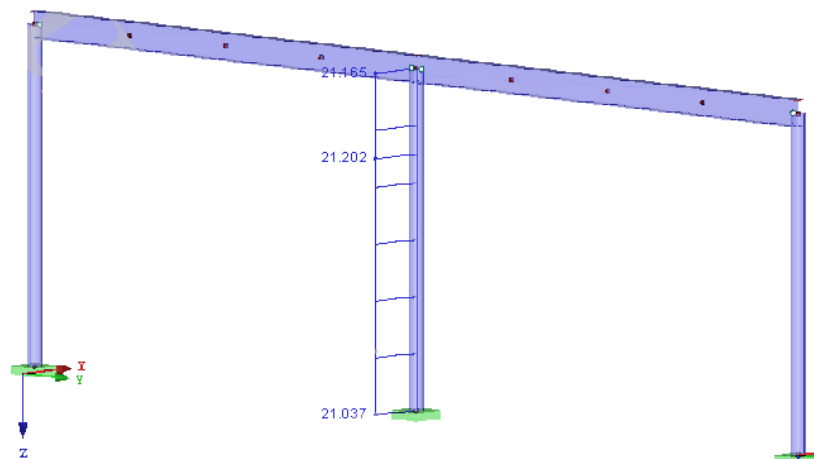
$$\gamma_{M1} = 1,0$$

třída průřezu 1

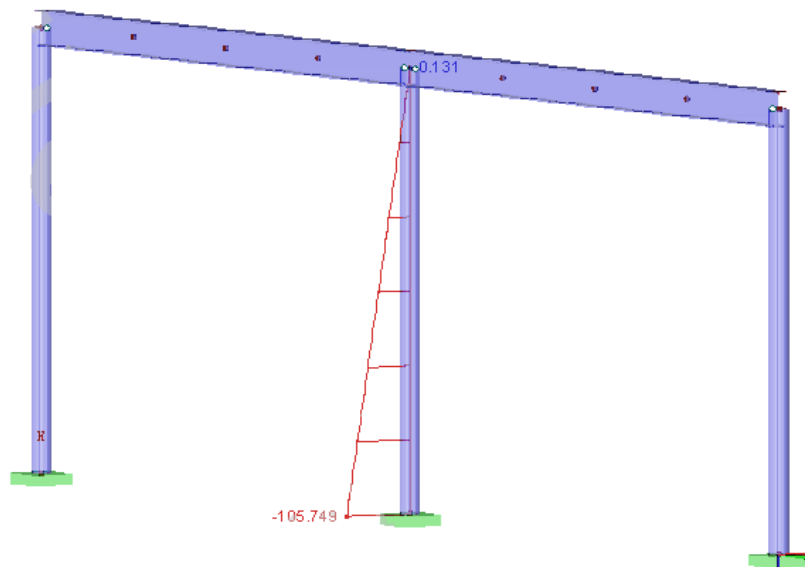
Vnitřní síly:

KZ1	KZ4
$N_{Ed} = - 278,07 \text{ kN}$	$N_{Ed} = -8,74 \text{ kN}$
$M_{y,Ed} = - 11,23 \text{ kNm}$	$M_{y,Ed} = - 105,75 \text{ kNm}$
$M_{z,Ed} = - 15,79 \text{ kNm}$	$M_{z,Ed} = - 13,11 \text{ kNm}$
$V_{y,Ed} = - 3,58 \text{ kN}$	$V_{y,Ed} = - 2,63 \text{ kN}$
$V_{z,Ed} = - 2,55 \text{ kN}$	$V_{z,Ed} = 21,20 \text{ kN}$

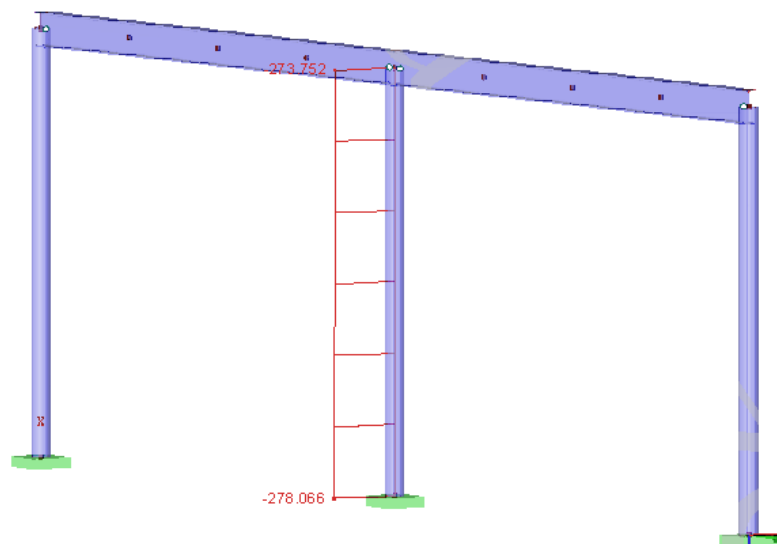
KZ4 – Průběh posouvajících sil $V_{z,Ed}$



KZ4 – Průběh ohybového momentu $M_{y,Ed}$



KZ1 – Průběh normálových sil N_{Ed}



9.4. Posouzení

9.4.1. MSP – Vodorovný posun

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = h/150 = 5000/150 = 33,33 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 9,40 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 33,33 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

9.4.2. MSÚ – Vzpěrná únosnost

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \text{ [kN]} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3}$$

Křivky vzpěrné pevnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

křivka vzpěrnosti 'c' → $\alpha = 0,49$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1}; \quad L_{cr} = \beta * L = 2 * 5,0 = 10 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon; \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1} = \frac{10000}{73,1 * 93,9} = 1,46 \rightarrow \chi = 0,328 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = 0,328 * 8109 * 235 / 1,0 = 625,04 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 278,07 \text{ kN} \leq N_{b,Rd} = 625,04 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

9.4.3. MSÚ – Interakce tlaku a ohybu

Rozhodující kombinace zatížení pro interakci tlaku a ohybu: **KZ4**

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{105,75^2 + 13,11^2} = 106,56 \text{ kNm}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti:

$$N_{Rk} = A * f_y = 8109 * 235 = 1905,62 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl} * f_y = 534 * 10^3 * 235 = 125,50 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ c_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right\}$$

$\bar{\lambda} = 1,46$; $\chi = 0,328$; $\chi_{LT} = 1,0$ pro kruhové průřezy

$$c_{my} = 0,9 + 0,1 * \alpha_h \rightarrow \alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$c_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left[1 + (1,46 - 0,2) * \frac{8,74}{0,328 * 1905,62/1,0} \right] \\ 0,9 * \left[1 + 0,8 * \frac{8,74}{0,328 * 1905,62/1,0} \right] \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,916 ; 0,910\}$$

$$k_{yy} = 0,91$$

$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$ průřezy třídy 1, které nejsou náchylné ke zkroucení

$$k_{zy} = 0,6 * 0,91 = 0,55$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi * N_{RK}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * M_{RK}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,74}{0,328 * 1905,62} + 0,91 * \frac{106,56}{1,0 * 125,50} = \mathbf{0,79 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi * N_{RK}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * M_{RK}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,74}{0,328 * 1905,62} + 0,55 * \frac{106,56}{1,0 * 125,50} = \mathbf{0,48 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{RK}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{M_{RK}/\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,74}{1905,62} + \frac{106,56}{125,50} = \mathbf{0,85 \leq 1,0}$$

→ Vyhovuje

9.4.4. MSÚ – Smyk

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{2,63^2 + 21,20^2} = \mathbf{21,36 kN}$$

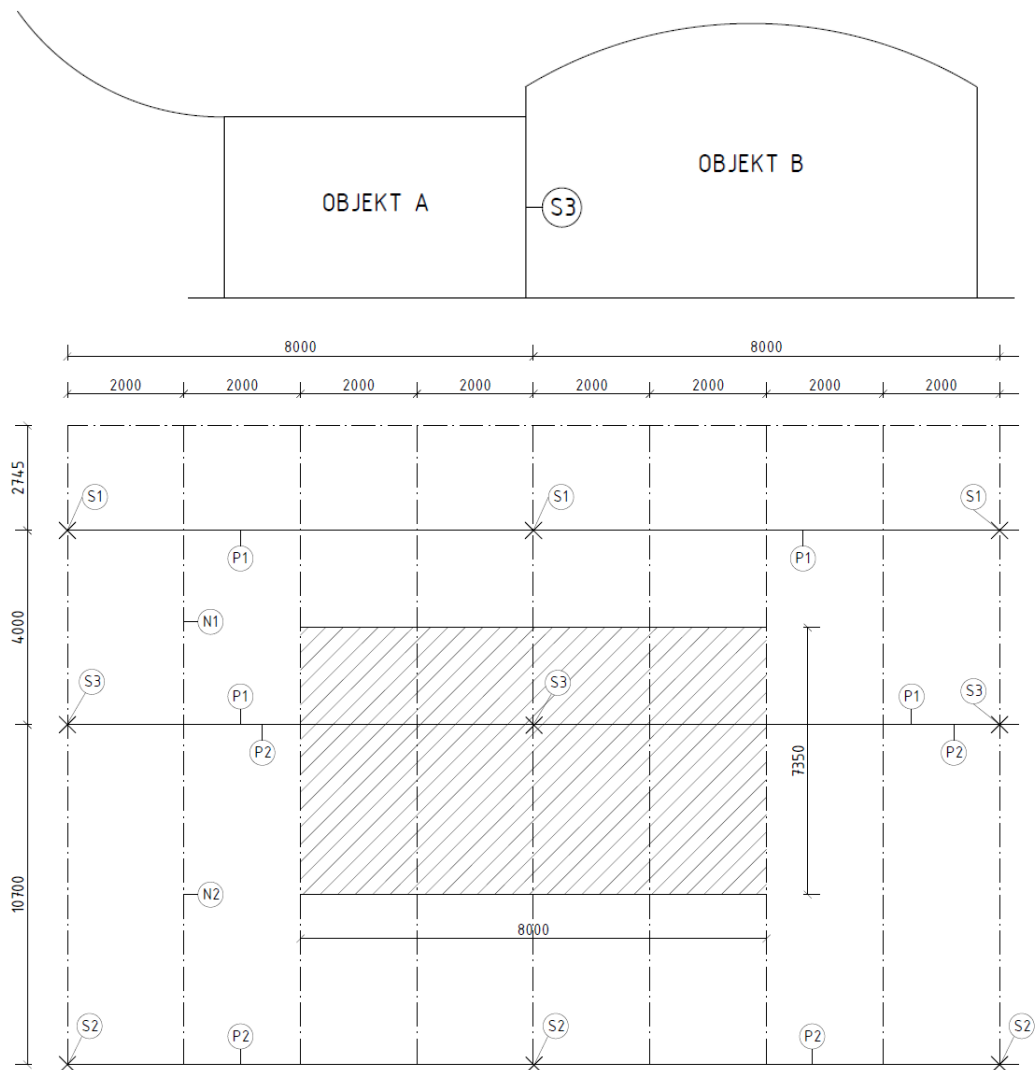
$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 5163 * \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right) = 700,50 kN$$

$$V_{Ed} = \mathbf{21,36 kN} \leq V_{c,Rd} = \mathbf{700,50 kN}$$

→ Vyhovuje

10. Návrh středového sloupu

10.1. Schéma sloupu S3



Výška sloupu: $h = 5,0 \text{ m}$

Zatěžovací šířka: $B = 7,35 \text{ m}$

10.2. Zatížení

10.2.1. Tření větrem

Součinitel tření: $c_{fr} = 0,04$ pro velmi hrubý povrch

Maximální dynamický tlak: $q_p(z) = 0,507 \text{ kN/m}^2$

Referenční plocha tření: $A_{fr} = 2 * d * b \text{ [m}^2\text{]}$

$$d = 8 \text{ m}, b = 7,35 \text{ m}$$

$$A_{fr} = 2 * 8 * 7,35 = 117,60 \text{ m}^2$$

Třecí síla: $F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr} = 0,04 * 0,507 * 117,6 = 2,38 \text{ kN}$

10.2.2. Imperfekce

Imperfekce celkového počátečního naklonění konstrukce:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$\phi_0 = 1/200$... základní hodnota

α_h ... redukční součinitel v závislosti na výšce sloupů h

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5}} = 0,89 \qquad \frac{2}{3} < \alpha_h \leq 1,0$$

α_m ... redukční součinitel pro počet sloupů v řadě

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} ; \quad m \dots \text{počet sloupů v řadě}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

$$\phi = \frac{1}{200} * 0,89 * 0,79 = 3,54 * 10^{-3}$$

10.2.3. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS4 + ZS7 + 1,5*ZS6	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS4	Vítr tlak
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření větrem
KZ2	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS8 + ZS7 + 1,5*ZS6	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS8	Vítr cf+ zleva
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření větrem
KZ3	ZS1 + 1,5*ZS5 + ZS7 + 1,5*ZS6	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS5	Vítr sání
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření větrem
KZ4	ZS1 + 1,5*ZS9 + ZS7 + 1,5*ZS6	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS9	Vítr cf- zprava

		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření větrem
KZ5	1,35*ZS1 + 1,05*ZS2 + 1,5*ZS3 + 0,9*ZS9 + ZS7 + 1,5*ZS6	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS9	Vítr cf- zprava
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření větrem

10.3. Návrh průřezu

Návrh průřezu: TR 219 x 12,5 mm

$$A = 8109 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 5163 \text{ mm}^2$$

$$I = 4340 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 534 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i = 73,1 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

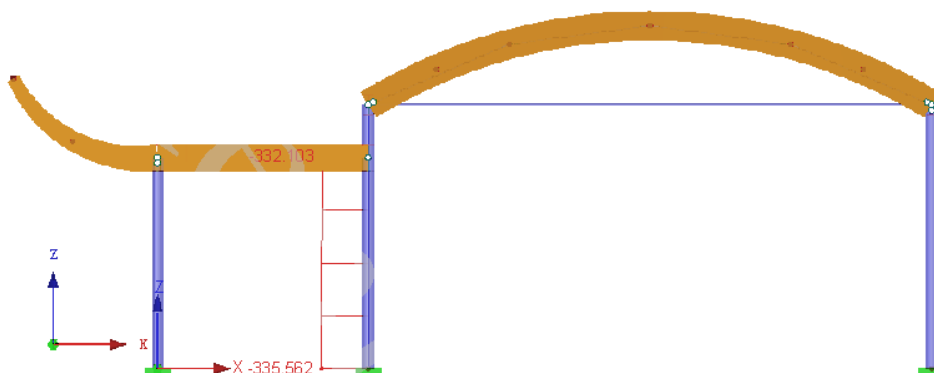
$$\gamma_{M1} = 1,0$$

třída průřezu 1

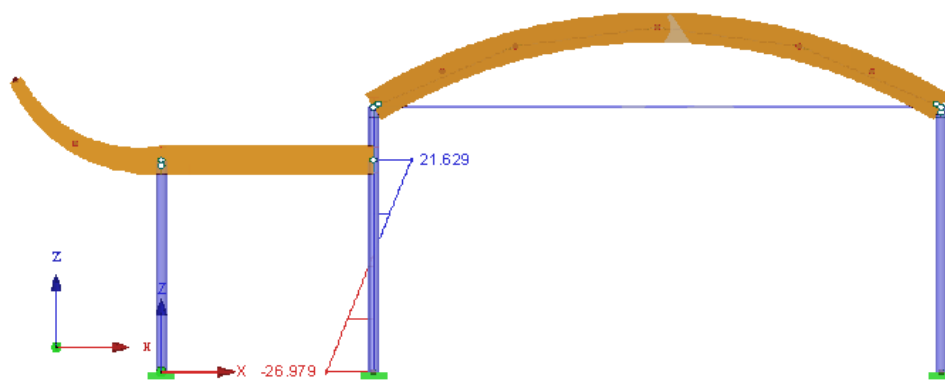
Vnitřní síly:

KZ1	KZ4	KZ5
$N_{Ed} = - 335,56 \text{ kN}$	$N_{Ed} = - 50,46 \text{ kN}$	$N_{Ed} = - 326,73 \text{ kN}$
$M_{y,Ed} = 2,66 \text{ kNm}$	$M_{y,Ed} = - 26,98 \text{ kNm}$	$M_{y,Ed} = - 16,06 \text{ kNm}$
$M_{z,Ed} = - 20,07 \text{ kNm}$	$M_{z,Ed} = - 18,78 \text{ kNm}$	$M_{z,Ed} = - 21,03 \text{ kNm}$
$V_{y,Ed} = - 4,72 \text{ kN}$	$V_{y,Ed} = - 3,65 \text{ kN}$	$V_{y,Ed} = - 4,87 \text{ kN}$
$V_{z,Ed} = - 2,25 \text{ kN}$	$V_{z,Ed} = 12,19 \text{ kN}$	$V_{z,Ed} = 7,65 \text{ kN}$

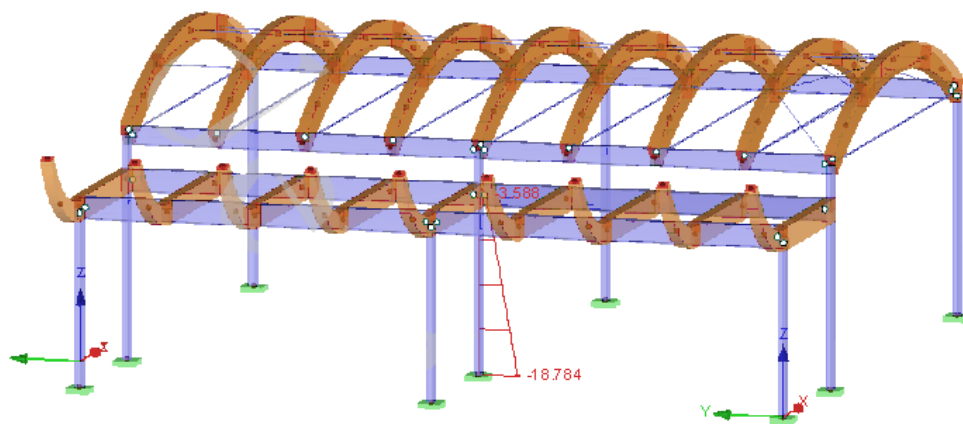
KZ1 – Průběh normálových sil N



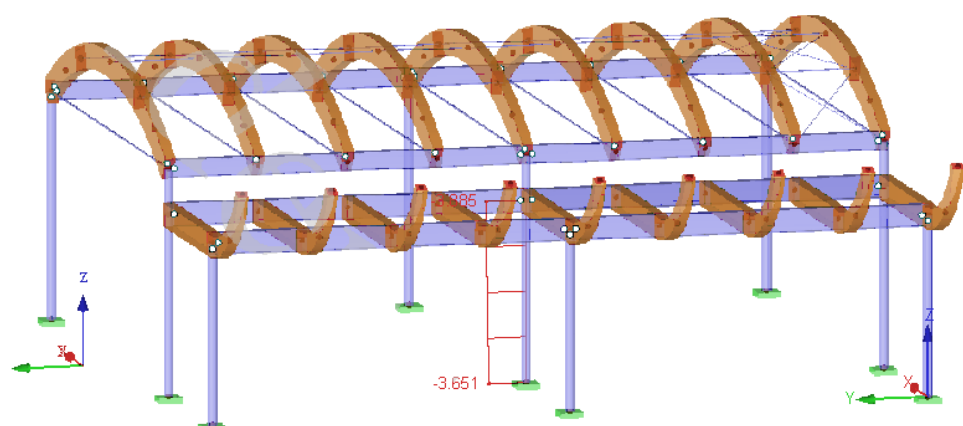
KZ4 – Průběh ohybového momentu M_y



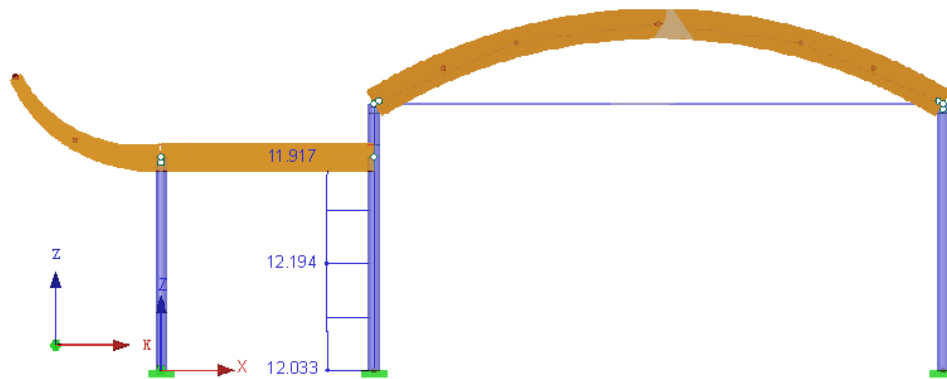
KZ4 – Průběh ohybového momentu M_z



KZ4 – Průběh posouvajících sil V_y



KZ4 – Průběh posouvajících sil V_z



10.4. Posouzení

10.4.1. MSP – Vodorovný posun

$$\delta_x \leq \delta_{lim} = h/150 = 5000/150 = 33,33 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 14,60 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 33,33 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

10.4.2. MSÚ – Vzpěrná únosnost

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad [\text{kN}] \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3}$$

Křivky vzpěrné pevnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

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

křivka vzpěrnosti 'c' → $\alpha = 0,49$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1}; \quad L_{cr} = \beta * L = 2 * 5,0 = 10 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\epsilon; \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1} = \frac{10000}{73,1 * 93,9} = 1,46 \rightarrow \chi = 0,328 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = 0,328 * 8109 * 235 / 1,0 = 625,04 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 335,56 \text{ kN} \leq N_{b,Rd} = 625,04 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

10.4.3. MSÚ – Smyk

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

Rozhodující kombinace zatížení pro smyk: KZ4

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{3,65^2 + 12,19^2} = 12,72 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 5163 * \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right) = 700,50 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 12,72 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = 700,50 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

10.4.4. MSÚ – Interakce tlaku a ohybu

Rozhodující kombinace zatížení pro interakci tlaku a ohybu: KZ5

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{16,06^2 + 21,03^2} = 26,46 \text{ kNm}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti:

$$N_{Rk} = A * f_y = 8109 * 235 = 1905,62 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl} * f_y = 534 * 10^3 * 235 = 125,50 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ c_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right\}$$

$$\bar{\lambda} = 1,46 ; \chi = 0,328 ; \chi_{LT} = 1,0 \text{ pro kruhové průřezy}$$

$$c_{my} = 0,9 + 0,1 * \alpha_h \rightarrow \alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$c_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left[1 + (1,46 - 0,2) * \frac{326,73}{0,328 * 1905,62/1,0} \right] \\ 0,9 * \left[1 + 0,8 * \frac{326,73}{0,328 * 1905,62/1,0} \right] \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,49 ; 1,28\}$$

$$k_{yy} = 1,28$$

$k_{zy} = 0,6 * k_{yy}$ průřezy třídy 1, které nejsou náchylné ke zkroucení

$$k_{zy} = 0,6 * 1,28 = 0,77$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi * N_{RK}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * M_{RK}} \leq 1,0$$

$$\frac{326,73}{0,328 * 1905,62} + 1,28 * \frac{26,46}{1,0 * 125,50} = \mathbf{0,79 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi * N_{RK}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * M_{RK}} \leq 1,0$$

$$\frac{326,73}{0,328 * 1905,62} + 0,77 * \frac{26,46}{1,0 * 125,50} = \mathbf{0,68 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{RK}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{M_{RK}/\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{326,73}{1905,62} + \frac{26,46}{125,50} = \mathbf{0,38 \leq 1,0}$$

→ Vyhovuje

11. Střešní ztužidla

Návrh rozmístění ztužidel ve střešní rovině

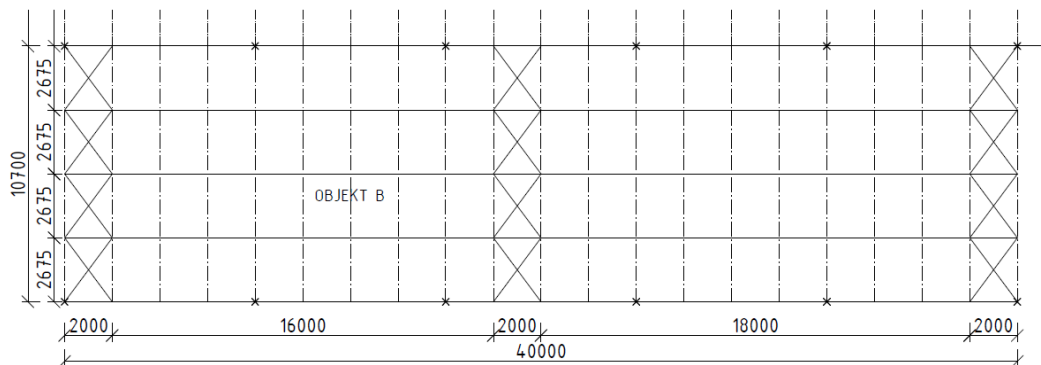
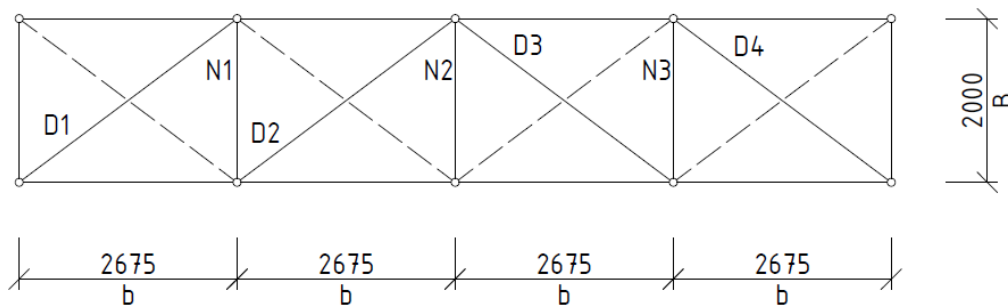


Schéma krajního příčného ztužidla ve střešní rovině



Při návrhu budu počítat jen s taženými diagonály, tlačené pruty (čárkovaná čára) budu považovat za vybočené.

11.1. Zatížení

11.1.1. Tření

Tření na střešní oblouk:

Součinitel tření: $c_{fr} = 0,04$ pro velmi hrubý povrch

Maximální dynamický tlak: $q_p(z) = 0,507 \text{ kN/m}^2$

Třecí síla: $F_{fr} = c_{fr} * q_p * B = 0,04 * 0,507 * 2 = \mathbf{0,041 \text{ kN/m}}$

Tření na středový sloup:

Referenční plocha tření: $A_{fr} = 2 * d * b = 2 * 8 * 2 = 32 \text{ m}^2$

Třecí síla: $F_{fr} = c_{fr} * q_p * A_{fr} = 0,04 * 0,507 * 32 = \mathbf{0,65 \text{ kN}}$

11.1.2. Působení větru na střešní nosník

$l = 10700 \text{ mm}$... půdorysná délka střešního oblouku

$h = 560 \text{ mm}$... výška průřezu střešního oblouku

Hodnoty součinitele tlaku $c_{p,net}$ pro volně stojící stěny a zděná zábradlí

Součinitel plnosti	Oblast		A	B	C	D
$\varphi = 1$	bez vedlejšího průčelí	$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2

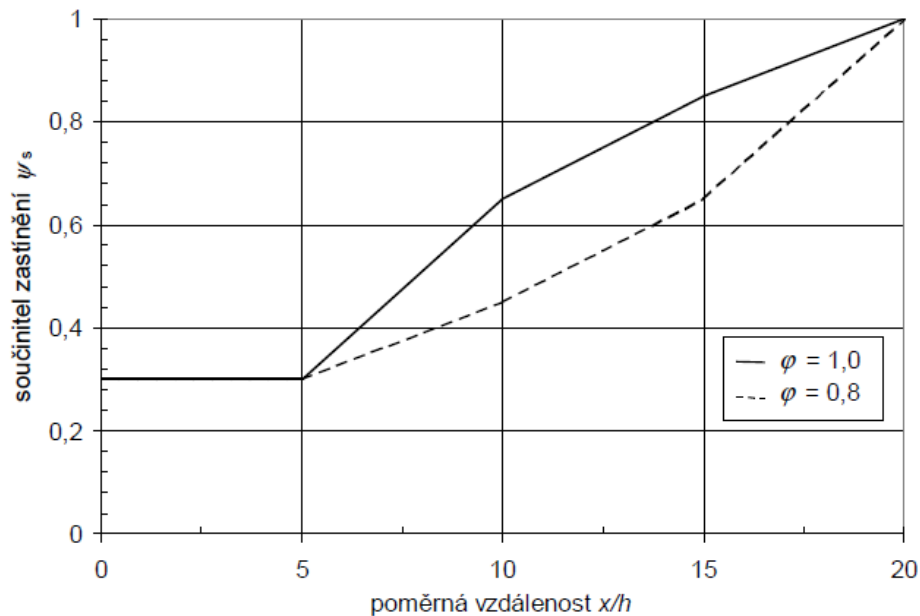
Pro výpočet síly podélného větru budu pro zjednodušení návrhu uvažovat pouze oblast D, která je převažující po délce nosníku.

Tlak větru na krajní oblouk:

$$W_{ek,1} = q_p * c_{p,net,D} * h = 0,507 * 1,2 * 0,56 = \mathbf{0,34 \text{ kN/m}}$$

Součinitel zastínění pro stěny a ploty:

Graf součinitele zastínění ψ_s pro stěny a ploty pro hodnoty φ mezi 0,8 a 1,0



poměrná vzdálenost $x/h = B/h = 3,57 \rightarrow$ součinitel zastínění $\psi_s = \mathbf{0,3}$

Tlak větru na vnitřní oblouk:

$$W_{ek,2} = q_p * \psi_s * c_{p,net,D} * h = 0,507 * 0,3 * 1,2 * 0,56 = \mathbf{0,10 \text{ kN/m}}$$

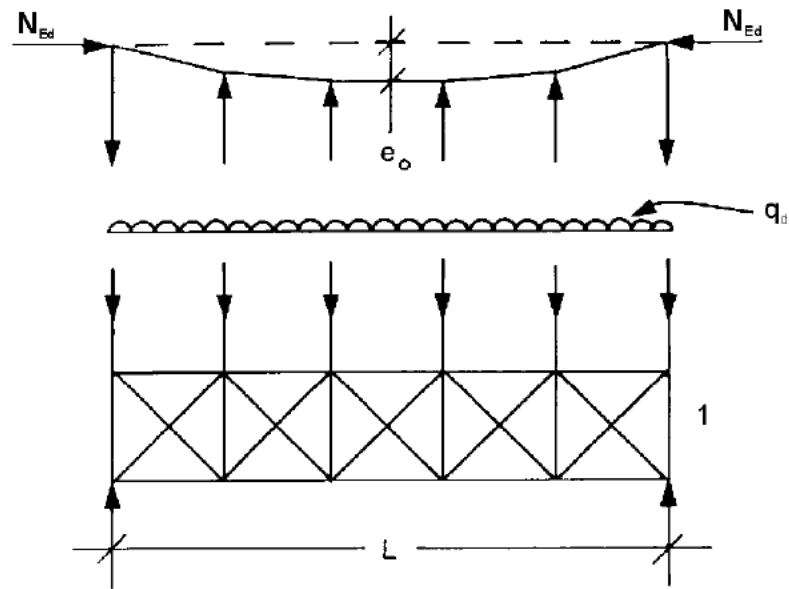
11.1.3. Imperfekce výztužného systému

Tvar počátečního prohnutí vyjadřující ekvivalentní geometrické imperfekce vyztužovaných prvků:

$$e_0 = \alpha_m * L/500 ; \alpha_m \text{ lze v tomto případě zanedbat}$$

$$e_0 = 10700/500 = \mathbf{21,40 \text{ mm}}$$

Imperfekce pro analýzu výztužného systému



Ekvivalentní stabilizující zatížení:

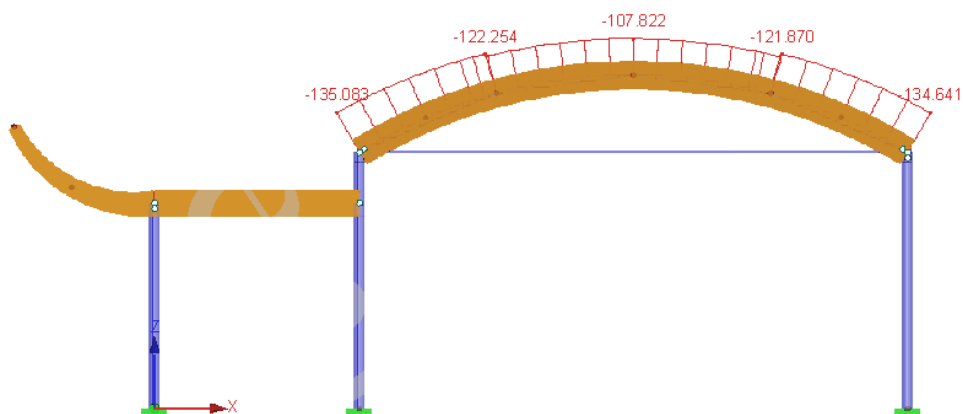
$$q_d = \sum N_{Ed} * 8 * \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad [kN/m]$$

δ_q ... průhyb výztužného systému v rovině

$\delta_q = 31 \text{ mm}$ (hodnota vypočtena ve statickém softwaru Dlubal)

$N_{Ed} = 135,08 \text{ kN}$ největší normálová síla působící na střešních obloucích

KZ1 – Průběh normálových sil N



$$q_d = 135,08 * 10^3 * 8 * \frac{(21,4 + 31)}{10700^2} = 0,49 \text{ kN/m}$$

11.1.4. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení		Součinitel	Zatěžovací stavy	
KZ1	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS4 + ZS7 + 1,5 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS4	Vítr tlak
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření + podélný vítr
KZ2	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS8 + ZS7 + 1,5 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS8	Vítr cf+ zleva
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření + podélný vítr
KZ3	$ZS1 + 1,5 \cdot ZS5 + ZS7 + 1,5 \cdot ZS6$	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS5	Vítr sání
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření + podélný vítr
KZ4	$ZS1 + 1,5 \cdot ZS9 + ZS7 + 1,5 \cdot ZS6$	1,00	ZS1	Stálé
		1,50	ZS9	Vítr cf- zprava
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření + podélný vítr
KZ5	$1,35 \cdot ZS1 + 1,05 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS9 + ZS7 + 1,5 \cdot ZS6$	1,35	ZS1	Stálé
		1,05	ZS2	Užitné
		1,50	ZS3	Sníh
		0,90	ZS9	Vítr cf- zprava
		1,00	ZS7	Imperfekce
		1,50	ZS6	Tření + podélný vítr

11.2. Návrh a posouzení průřezu diagonály

Návrh průřezu: plný kruhový průřez o průměru $d = 17 \text{ mm}$

$$A = 227,0 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 4,2 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

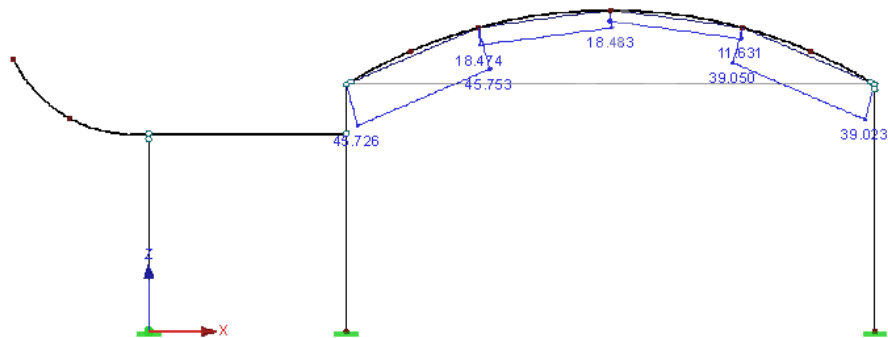
$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 45,75 \text{ kN} \quad \text{největší tahová síla působící v diagonále D1}$$

KZ5: 1.36*ZS1 + 1.06*ZS2 + 1.6*ZS3 + 1.5*ZS6 + ZS7 + 0.9*ZS9
 Vnitřní síly N

Ve směru Y



Max N: 45.753, Min N: 11.631 [kN]
 Filtr Pruty: 91-94

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$ [kN] ... plastická únosnost neoslabeného průřezu v tahu

$$N_{pl,Rd} = A * f_{yd} = 227 * 235 = 53,34 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 45,75 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = 53,34 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

11.3. Návrh a posouzení průřezu svislice

Návrh průřezu: TR 42,4 x 2 mm

$$A = 254,0 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 14,3 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

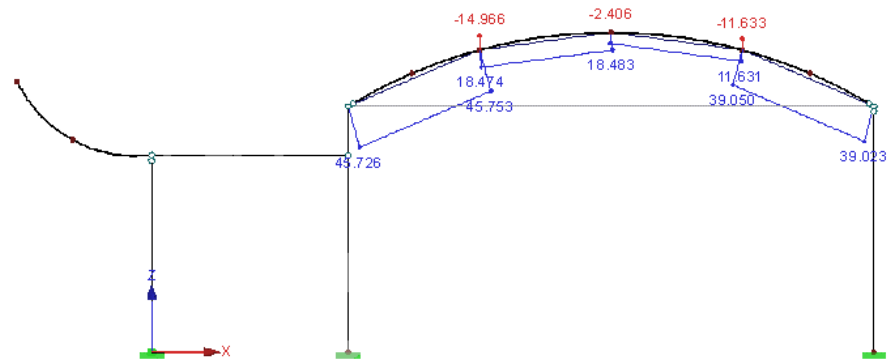
$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = - 14,97 \text{ kN} \quad \text{největší tlaková síla působící ve svislici N1}$$

KZ5: 1.36*ZS1 + 1.06*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.5*ZS6 + ZS7 + 0.9*ZS9
 Vnitřní síly N

Ve směru Y



Max N: 45,753, Min N: -14,966 [kN]
 Filtr Pruty: 81,85,88,91-94

Posouzení:

MSÚ – Tlaková únosnost

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{254 * 235}{1,0} = 59,69 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 14,97 \text{ kN} \leq N_{c,Rd} = 59,69 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

MSÚ – Vzpěrná únosnost

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y}; \quad L_{cr} = B = 2000 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{2000}{14,3} = 139,86 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{139,86}{93,9} = 1,49$$

$$\text{Vzpěrnostní křivka 'c'} \quad \rightarrow \quad \chi = 0,318$$

$$N_{b,Rd} = 0,318 * 254 * 235 / 1,0 = 18,98 \text{ kN}$$

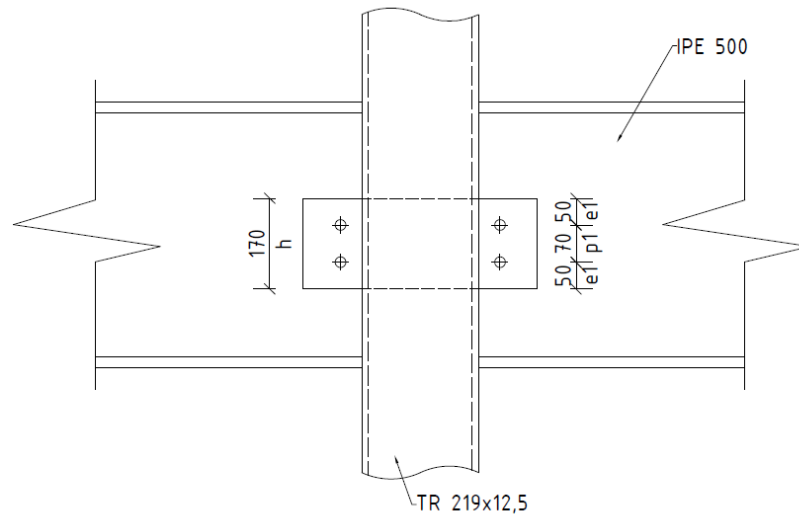
$$N_{Ed} = 14,97 \text{ kN} \leq N_{b,Rd} = 18,98 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

12. Detaily

12.1. Kloubové připojení průvlaku ke sloupu

Skica kloubové přípoje



Pomocí navařených styčnickových plechů na ocelové trubce sloupu jsou šroubově připojeny průvlaky přes stojinu průřezu.

Návrh šroubů: M20 8.8

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

12.1.1. Charakteristika materiálu

Pevnostní třída materiálu šroubu 8.8

Mez kluzu $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Mez pevnosti $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Únosnost šroubu $\gamma_{M2} = 1,25$

12.1.2. Únosnost šroubu ve stříhu a v otláčení

$F_{v,Rd} \text{ [kN]}$... návrhová únosnost jednostřížného šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 800}{1,25} = \mathbf{94,08 \text{ kN}}$$

$F_{b,Rd}$ [kN] ... návrhová únosnost šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}}$$

d [mm] ... průměr šroubu

t [mm] ... tloušťka spojovaných prvků

f_{ub} [MPa] ... mez pevnosti materiálu šroubu

f_u [MPa] ... mez pevnosti materiálu spojovaných prvků

Spojovací deska: $t = \min(t_{w, IPE500}; t_d) = \min(10,2; 10) = \mathbf{10 \text{ mm}}$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; 1,0\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{50}{3 * 22}; \frac{800}{360}; \frac{70}{3 * 22} - \frac{1}{4}; 1,0\right)$$

$$\alpha_b = 0,75$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{40}{22} - 1,7; 1,4 * \frac{70}{22} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 0,75 * 20 * 10 * 360}{1,25} = \mathbf{108 \text{ kN}}$$

12.1.3. Návrh a posouzení počtu šroubů

$$n = \min\left(\frac{R_{Ed,max}}{F_{v,Rd}}; \frac{R_{Ed,max}}{F_{b,Rd}}\right)$$

$$n = \min\left(\frac{117,50}{94,08}; \frac{117,50}{108}\right) = \min(1,25; 1,09)$$

→ Navrhují 2 šrouby

Posouzení smykové únosnosti spojovací desky:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$A_v [m^2]$... smyková plocha

$$A_v = (h - 4 * d_0) * t = (170 - 2 * 22) * 10 = 1260 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1260 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 170,95 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 117,50 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = 170,95 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Posouzení smykové únosnosti stojiny průvlaku:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = L_w * t_w = 170 * 10,2 = 1734 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 1734 * (235 / \sqrt{3}) = 235,26 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 117,50 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

12.1.4. Návrh a posouzení svaru

Návrh svaru: $a_w = 4 \text{ mm}$

Návrhová pevnost svaru:

$$f_{w,d} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$\beta_w = 0,8$... korelační součinitel pro ocel S 235

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{w,d}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_{Ed,max}}{2 * a_w * L_w} = \frac{117,50 * 10^3}{2 * 4 * 170} = 86,40 \text{ MPa}$$

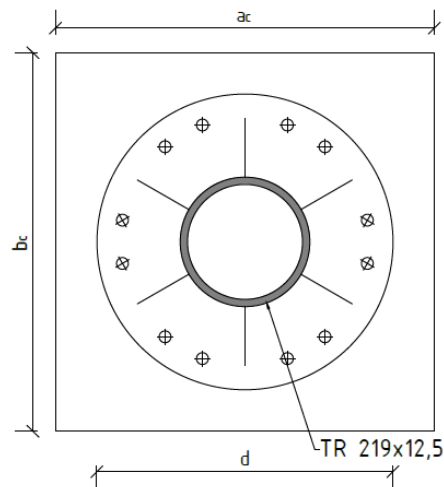
$$\sigma_{\perp} = 0; \sigma_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{3 * 86,40^2} = 149,64 \text{ MPa} \leq f_{w,d} = 360 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

12.2. Vetknutá patka sloupu

Půdorysné schéma patky sloupu



12.2.1. Kombinace zatížení

Viz kapitola 11.1.4. Kombinace zatížení

Vnitřní síly:

		Kombinace zatížení				
		KZ1	KZ2	KZ3	KZ4	KZ5
S1	N [kN]	-312,31	-310,27	41,21	52,31	-244,84
	V_y [kN]	-10,60	-10,66	-10,36	-11,20	-11,09
	V_z [kN]	1,80	3,36	3,22	12,35	9,41
	M_y [kNm]	-0,84	-4,28	-8,03	-27,01	-18,88
	M_z [kNm]	-52,31	-52,53	-40,43	-43,45	-52,01
S2	N [kN]	-280,21	-269,71	40,57	20,20	-231,34
	V_y [kN]	-11,11	-11,04	-12,61	-11,61	-10,96
	V_z [kN]	0,43	0,64	-1,92	1,97	1,62
	M_y [kNm]	-2,93	-4,32	9,25	-9,66	-10,39
	M_z [kNm]	-75,92	-74,37	-60,73	-56,90	-70,17
S3	N [kN]	-338,82	-336,35	18,59	-53,54	-330,01
	V_y [kN]	-5,84	-5,92	-7,68	-7,66	-6,00
	V_z [kN]	-1,17	-0,03	5,42	11,97	6,85
	M_y [kNm]	3,16	0,27	-10,93	-26,80	-15,60
	M_z [kNm]	-52,58	-52,95	-42,41	-45,82	-52,70

Rozhodující tahová kombinace zatížení: KZ4

Rozhodující tlaková kombinace zatížení: KZ5

12.2.2. Návrh a posouzení patky

Betonová patka

beton C20/25 ($f_{ck} = 20 \text{ MPa}$; $\gamma_c = 1,5$)

rozměry $a_c \times b_c \times h = 1500 \times 1500 \times 850 \text{ mm}$

přenos smykové síly třením

Patní plech

tloušťka plechu $t_p = 20 \text{ mm}$

kruh průměru $d = 500 \text{ mm}$

ocel S 235

Kotvy

M20 8.8

kotevní délka $l = 700 \text{ mm}$

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

Výztuhy

trojúhelníkový tvar – rozměry $\check{s} \times \nu = 100 \times 150 \text{ mm}$

tloušťka výztuhy $t_v = 8 \text{ mm}$

svar $a_w = 5 \text{ mm}$

ocel S 235

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(a_c ; 3 * d ; d + h) = \min(1500 ; 3 * 500 ; 500 + 850) = 1500 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c ; 3 * d ; d + h) = \min(1500 ; 3 * 500 ; 500 + 850) = 1500 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{\pi * r^2}} = \sqrt{\frac{500 * 500}{\pi * 250^2}} = 1,13$$

Návrhová pevnost betonu:

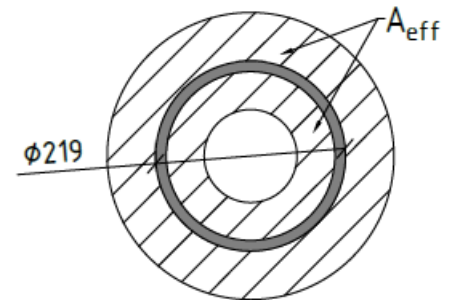
$$f_{jd} = \frac{2}{3} * \frac{k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{1,13 * 20}{1,5} = 10,04 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patního plechu:

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 10,04}} = 55,86 \text{ mm}$$

Efektivní plocha:

$$A_{eff} = 76\,864,11 \text{ mm}^2 \quad (\text{vypočteno graficky})$$



Posouzení:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 76864,11 * 10,04 = 771,72 \text{ kN}$$

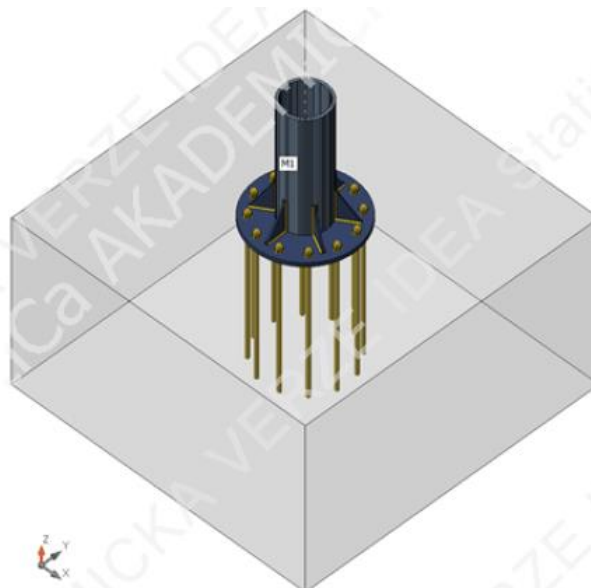
$$N_{Ed} = 330,01 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 771,72 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Kompletní návrh a posouzení patky sloupu na tlakové i tahové namáhání bylo provedeno ve statickém softwaru IDEA StatiCa. Protokol výpočtu přikládám v příloze č. 5. Návrh vetknuté patky sloupu vyhovuje na rozhodující kombinace zatížení pro tah – KZ4, pro tlak – KZ5.

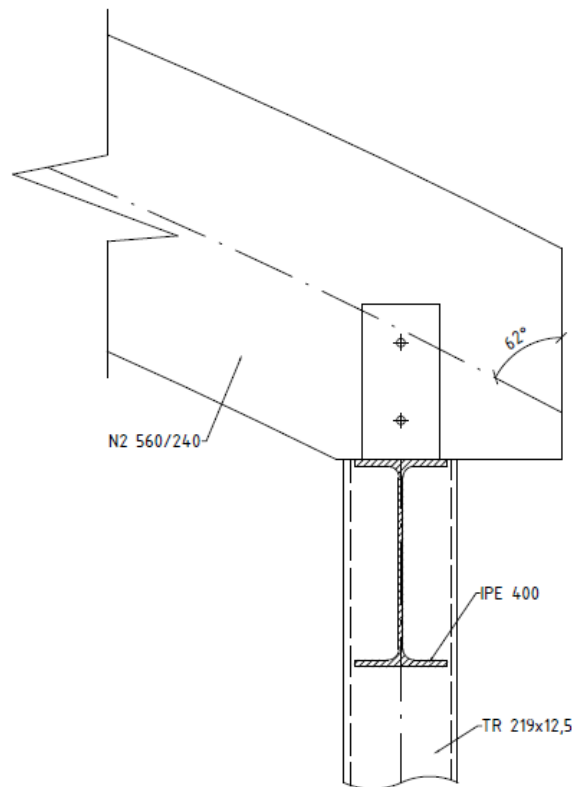
Jedná se o předběžný a zjednodušený návrh patky sloupu. V rámci bakalářské práce se nezabývám podrobným návrhem základové patky. V podrobném statickém posudku zabývající se zakládáním stavby by bylo možné navrhnout jiný druh kotev, například chemické kotvy nebo průvlastkové kotvy s větší tahovou únosností. Dále by bylo vhodné navrhnout vyztužení betonové patky, které by zvýšilo její únosnost a tím by mohlo dojít k zmenšení půdorysných rozměrů patky.

Model vetknuté patky sloupu



12.3. Přípoj dřevěného vazníku na průvlak

Schéma připojení dřevěného oblouku pomocí svorníků



12.3.1. Návrh svorníků

Návrh: **2x M16 8.8**

Tloušťka ocelové desky: $t_d = 8 \text{ mm}$

Průměr podložky (vnější/vnitřní): $d = 56/18,2 \text{ mm}$

Geometrie přípoje:

Tabulka minimálních hodnot roztečí a vzdáleností od krajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od konců/okrajů (viz obrázek 8.7)	Úhel	Minimální rozteče nebo vzdálenosti
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (kolmo k vláknům)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

$$\alpha = 19^\circ$$

$$a_1 = \min(4 + |\cos\alpha|) * d = (4 + |\cos 19|) * 16 = \mathbf{79,13 \text{ mm}}$$

$$a_2 = \min(4 * d) = 4 * 16 = \mathbf{64 \text{ mm}}$$

$$a_{3,t} = \max(7 * d ; 80 \text{ mm}) = \max(112 ; 80 \text{ mm}) = \mathbf{112 \text{ mm}}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 * \sin\alpha) * d ; 3 * d] = \max[(2 + 2 * \sin 19) * 16 ; 3 * 16] \\ = \max[42,42 ; 48] = \mathbf{48 \text{ mm}}$$

12.3.2. Materiálové vlastnosti

Třída pevnosti dřeva oblouku	GL 28h
Hustota dřeva	$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$
Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 28 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$
Dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu pro lepené lamelové dřevo	$\gamma_M = 1,25$
Modifikační součinitel pro třídy provozu a třídy trvání zatížení	$k_{mod} = 0,9$
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$
Průměr svorníku	$d = 16 \text{ mm}$
Dílčí součinitel vlastnosti materiálu pro spoje	$\gamma_M = 1,3$

12.3.3. Posouzení spoje na působení šikmé síly

Tlakové zatížení bude přeneseno přímým kontaktem dřevěného oblouku s průvlakem. Je nutné posoudit dřevěný prvek na otláčení.

Svislá tahová síla a vodorovná síla budou přeneseny svorníkovým přípojem dřevěného oblouku s průvlakem. Svorníkový spoj bude posouzen na rozhodující tahovou kombinaci zatížení.

Únosnost spoje na roztržení:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd}$$

$F_{90,Rd} [kN]$... návrhová únosnost na roztržení

$F_{v,Ed} [kN]$... návrhová smyková síla na příslušnou stranu spoje

Rozhodující kombinace zatížení: KZ3

$$F_{v,z} = 14,93 \text{ kN} ; F_{v,y} = 13,11 \text{ kN} \quad (\text{vnitřní síly vypočteny z modelu})$$

Pozn.: Ve výpočtu uvažují maximální posouvající síly ve směru V_y a V_z . Jedná se tedy o konzervativní návrh svorníkového přípoje.

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,z}^2 + F_{v,y}^2} = \sqrt{14,93^2 + 13,11^2} = \mathbf{19,87 \text{ kN}}$$

$$F_{90,Rk} = 14 * b * w * \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \text{ [kN]}$$

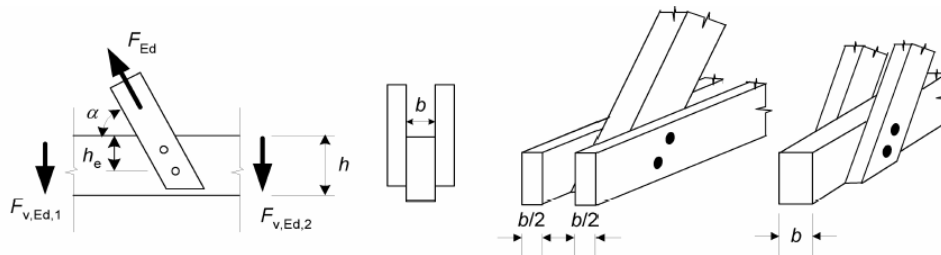
w ... modifikační součinitel

b [mm] ... tloušťka prvku

h [mm] ... výška dřevěného prvku

h_e [mm] ... vzdálenost namáhaného okraje od středu nejvzdálenějšího spojovacího prostředku

Šikmá síla přenášená spojem



$w = 1$ pro ostatní spojovací prostředky

$h = 562,56 \text{ mm}$ (výška dřevěného prvku v místě přípoje)

$h_e = 487,56 \text{ mm}$

$$F_{90,Rk} = 14 * 240 * 1 * \sqrt{\frac{487,56}{\left(1 - \frac{487,56}{562,56}\right)}} = 203,19 \text{ kN}$$

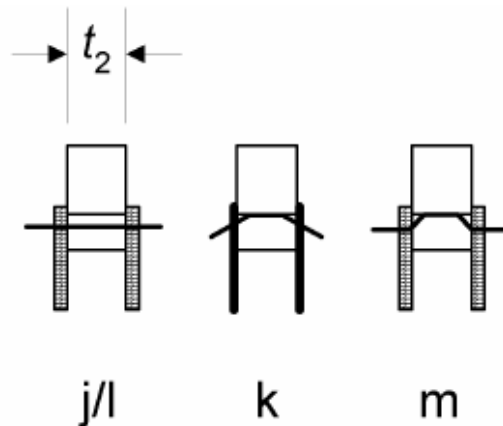
$$F_{90,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{90,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{203,19}{1,3} = 140,67 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \mathbf{19,87 \text{ kN}} \leq F_{90,Rd} = \mathbf{140,67 \text{ kN}}$$

→ Vyhovuje

12.3.4. Posouzení únosnosti spoje ocel – dřevo

Způsoby porušení pro spoje ocel – dřevo



Klasifikace ocelové desky:

$$t_d = 8 \text{ mm} \leq 0,5 * 16 = 0,5 * 16 = 8 \text{ mm} \rightarrow \text{"tenká desky"}$$

Charakteristická únosnost svorníků pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

- pro tenké ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,5 * f_{h,\alpha,k} * t_2 * d}{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$

$f_{h,k}$... charakteristická pevnost v otláčení ve dřevěném prvku

t_2 ... tloušťka středního dřevěného prvku

d ... průměr spojovacího prostředku

$M_{y,Rk}$... charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$... charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

Plastický moment únosnosti jednoho svorníku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 * 800 * 16^{2,6} = 324\,282 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost v otláčení dřevěného prvku:

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 16) * 425 = 29,27 \text{ MPa}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} ; k_{90} = 1,35 + 0,015 * d \text{ pro jehličnaté dřevo}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 * 16 = 1,59$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{29,27}{1,59 * \sin^2 19 + \cos^2 19} = 27,55 \text{ MPa}$$

Charakteristická únosnost na vytažení svorníků:

$$\frac{F_{ax,Rk}}{4} \text{ příspěvek od účinku sepnutí spoje}$$

Příspěvek k únosnosti od účinku sepnutí spoje se má omezit na procenta z Johansenovy části (první člen na pravé straně rovnice) podle typu spoje. U únosnosti na vytažení svorníků $F_{ax,Rk}$ se může uvážit odpor podložek.

Hodnota příspěvku k únosnosti:

- a) 25 % z Johansenovy části pro svorníky
- b) $3,0 * f_{c,90,k}$

$$a) F_{ax,Rk,1} = \frac{0,5 * f_{h,\alpha,k} * t_2 * d}{4} = \frac{0,5 * 27,55 * 240 * 16}{4} = 13,22 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rk,2} = \frac{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d}}{4}$$

$$F_{ax,Rk,2} = \frac{1,15 * \sqrt{2 * 324282 * 27,55 * 16}}{4} = 4,86 \text{ kN}$$

$$b) F_{ax,Rk,3} = A_{net} * 3 * f_{c,90,k}$$

$$A_{net} = \pi * r_1^2 - \pi * r_2^2 = \pi * 28^2 - \pi * 9,1^2 = 2202,85 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,Rk,3} = 2202,85 * 3 * 2,5 = 16,52 \text{ kN}$$

$$\rightarrow F_{ax,Rk} = 4,86 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 1,15 * \sqrt{\frac{0,5 * f_{h,\alpha,k} * t_2 * d}{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 1,15 * \sqrt{\frac{0,5 * 27,55 * 240 * 16}{2 * 324282 * 27,55 * 16} + 4,86 * 10^3} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min(52,90 ; 24,30) \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \mathbf{24,30 \text{ kN}}$$

Návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{24,30}{1,3} = \mathbf{16,83 \text{ kN}}$$

$$\rightarrow \text{návrh dvou svorníků} \rightarrow F_{v,Rd,2} = 2 * 16,83 = \mathbf{33,65 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = \mathbf{19,87 \text{ kN}} \leq F_{v,Rd,2} = \mathbf{33,65 \text{ kN}}$$

→ Vyhovuje

12.3.5. Posouzení na otláčení dřevěného prvku

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$\sigma_{c,\alpha,d}$ [MPa] ... napětí v tlaku pod úhlem α k vláknům

$f_{c,0,d}$ [MPa] ... návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

$f_{c,90,d}$ [MPa] ... návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům

$k_{c,90}$... součinitel zohledňující účinek napětí kolmo k vláknům

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{28}{1,25} = 20,16 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,25} = 1,80 \text{ MPa}$$

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

$$\rightarrow \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{20,16}{1,0 * 1,8 * \sin^2 62 + \cos^2 62} = \mathbf{2,25 \text{ MPa}}$$

$$F_{v,z,Ed} = 82,91 \text{ kN} \quad \text{maximální tlaková síla}$$

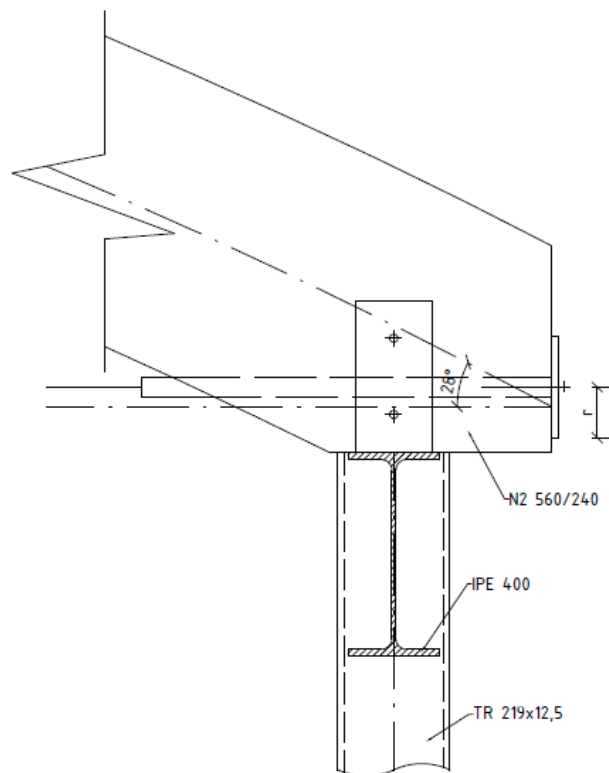
$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{v,Ed}}{b * b_{IPE400}} = \frac{82,91 * 10^3}{240 * 180} = 1,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = 1,92 \text{ MPa} \leq 2,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

12.4. Připojení ocelového táhla

Schéma připojení ocelového táhla



Největší tahová síla působící v táhlech: $N_{Ed,max} = 137,78 \text{ kN}$

Tloušťka plechu t_p : **25 mm**

Rozměr plechu $h_p \times b_p$: **200 x 200 mm**

Návrh svorníků: **1x M24 8.8**

Průměr podložky (vnější/vnitřní): $d = 85/26,84 \text{ mm}$

12.4.1. Posouzení na otláčení dřevěného prvku

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{20,16}{1,0 * 1,8 * \sin^2 28 + \cos^2 28} = \mathbf{6,21 MPa}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_{Ed,max}}{b_p * h_p} = \frac{137,78 * 10^3}{200 * 200} = 3,44 MPa$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \mathbf{3,44 MPa} \leq \mathbf{6,21 MPa}$$

→ Vyhovuje

12.4.2. Posouzení únosnosti ocelové podložky

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) * \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) \leq 1,0$$

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{z,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} = \frac{\frac{1}{2} * \sigma_{c,d} * r^2}{\frac{1}{6} * t_p^2 * b} = \frac{\frac{1}{2} * 3,44 * 100^2}{\frac{1}{6} * 25^2 * 1000} = 165,12 MPa$$

$$\left(\frac{165,12}{235/1,0}\right)^2 + \left(\frac{165,12}{235/1,0}\right)^2 - \left(\frac{165,12}{235/1,0}\right) * \left(\frac{165,12}{235/1,0}\right) = \mathbf{0,49} \leq \mathbf{1,0}$$

→ Vyhovuje

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ NÁSTUPIŠTĚ

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Autor:

Hana Kolářová

Vedoucí práce:

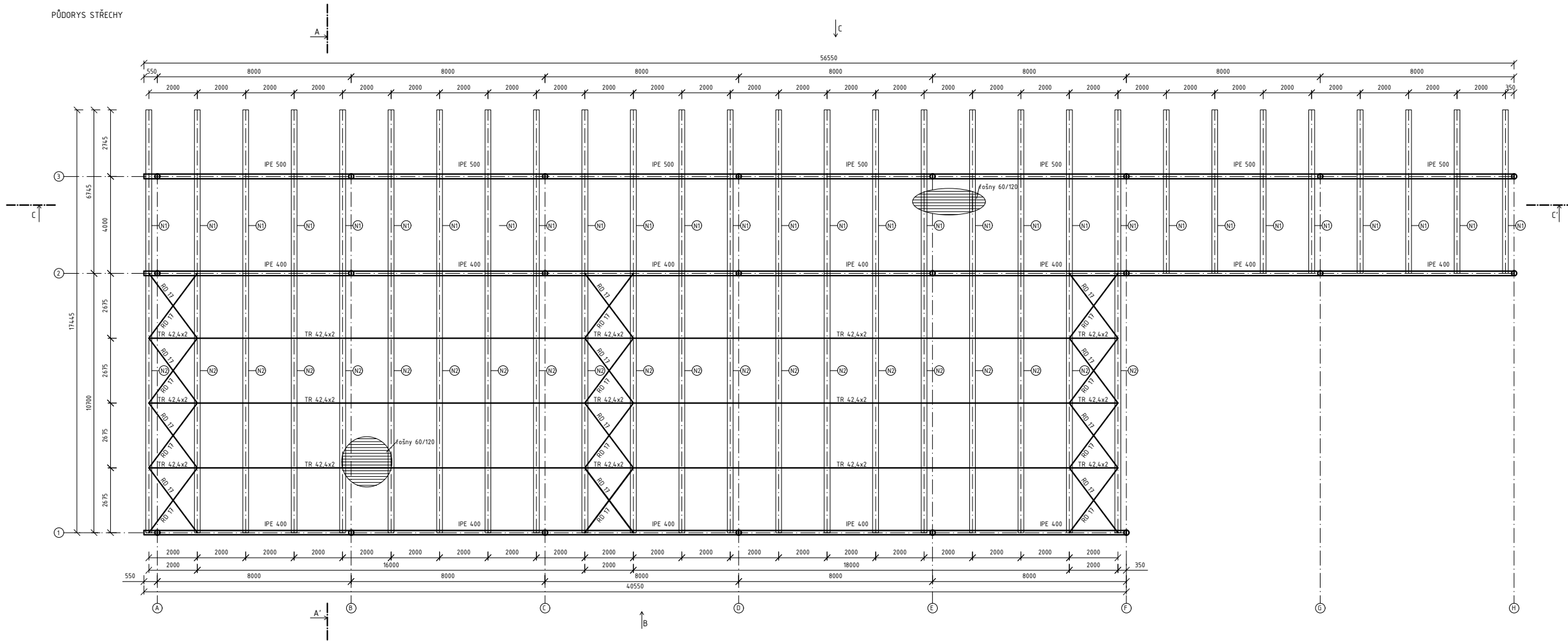
doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

2021

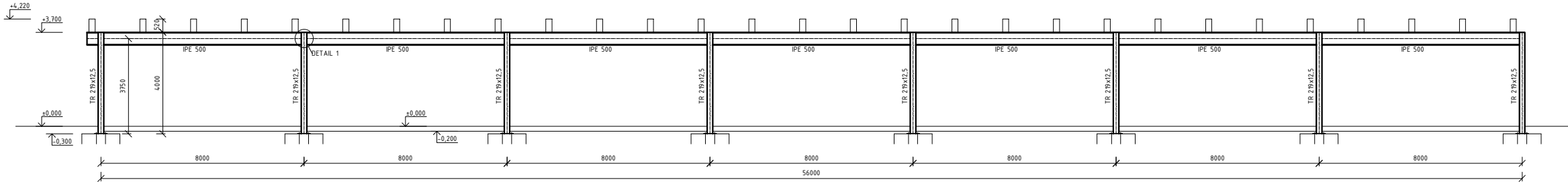
SEZNAM VÝKRESŮ:

- 01 Dispozice
- 02 Řez A-A'
- 03 Detail 1 – Kloubové připojení průvlaku
- 04 Detaily – Vetknutá patka, přípoj nosníku a táhla

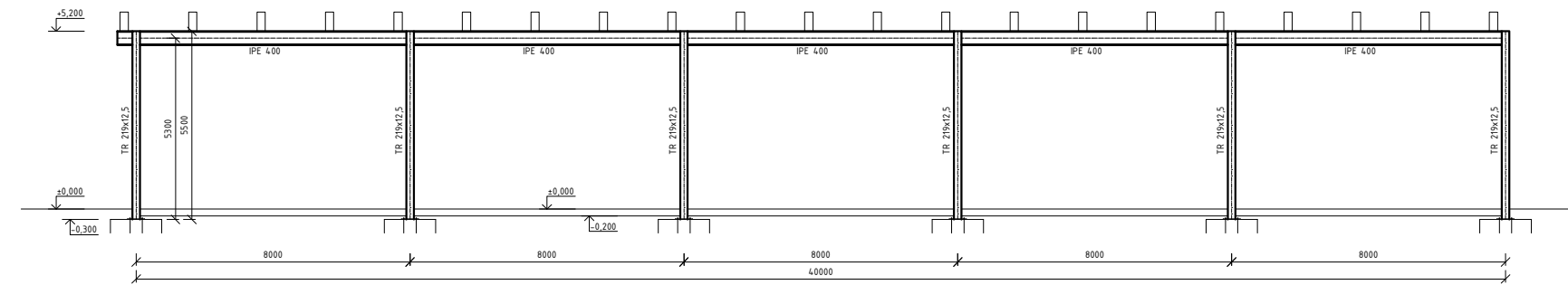
PŮDORYS STŘECHY



ŘEZ C-C'



POHLED B

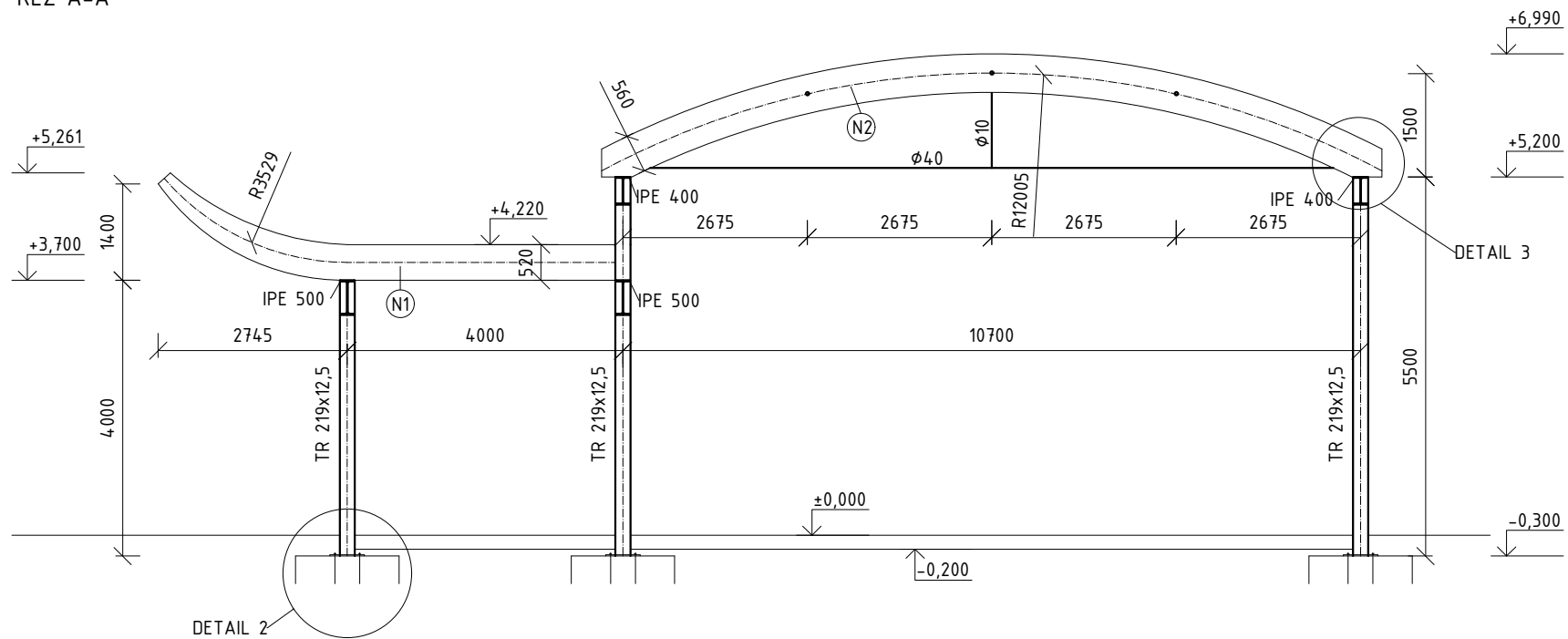


- LEGENDA
- Ⓜ PULTOVÝ NOSNÍK PEVN. TŘÍDY GL28h - 520/240 mm
 - Ⓝ OBLOUKOVÝ NOSNÍK PEVN. TŘÍDY GL28h - 560/240 mm

OCEL S235JR
 BETON C20/25
 DŘEVO C24 (sřtešší plášeť)
 TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval: Hana Kolářová	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			Datum: květen 2021
Katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Meřítko: 1:200 (A3)
Název výkresu: Dispozice			Číslo výkresu: 01

ŘEZ A-A'



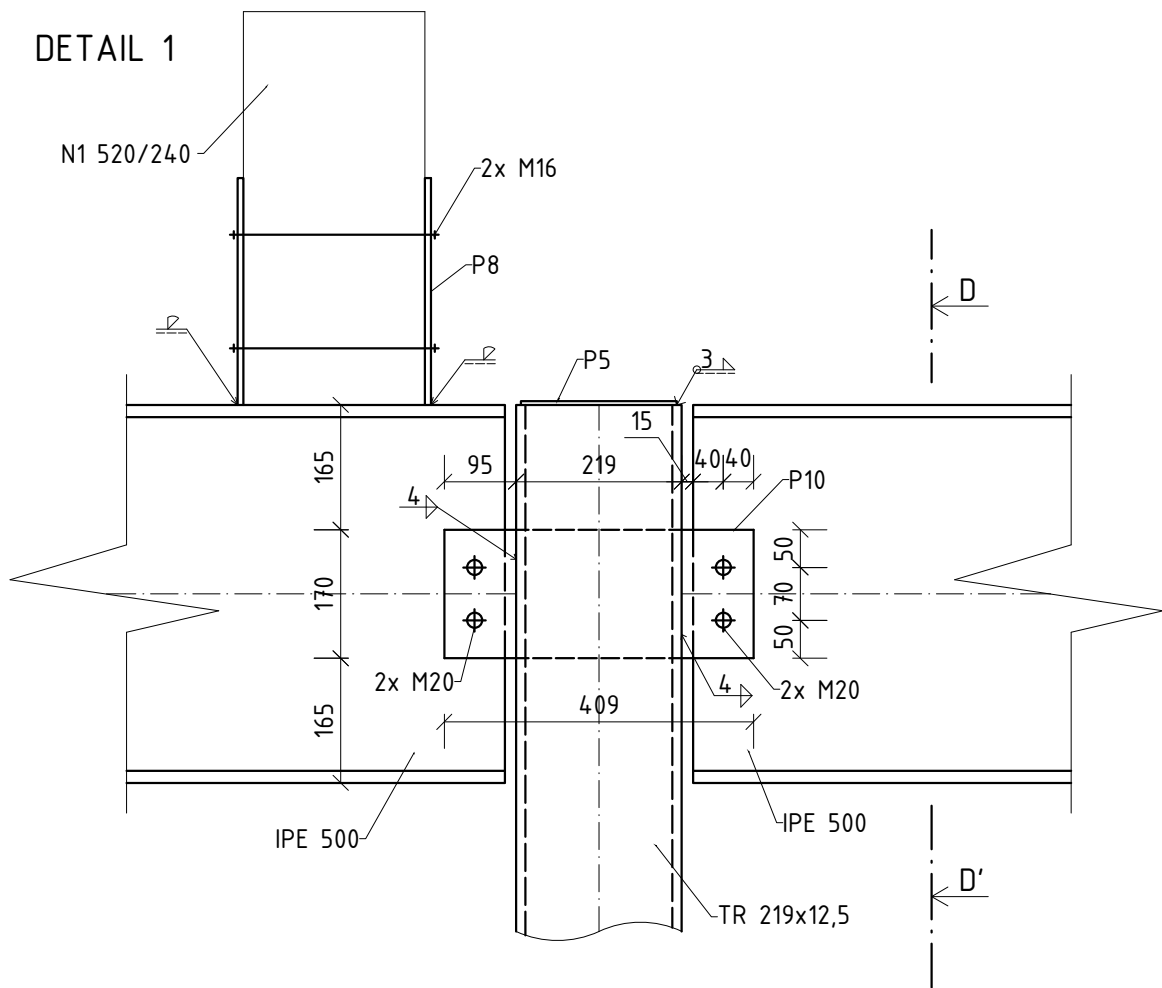
LEGENDA

- (N1) PULTOVÝ NOSNÍK PEVN. TŘÍDY GL28h - 520/240 mm
- (N2) OBLOUKOVÝ NOSNÍK PEVN. TŘÍDY GL28h - 560/240 mm

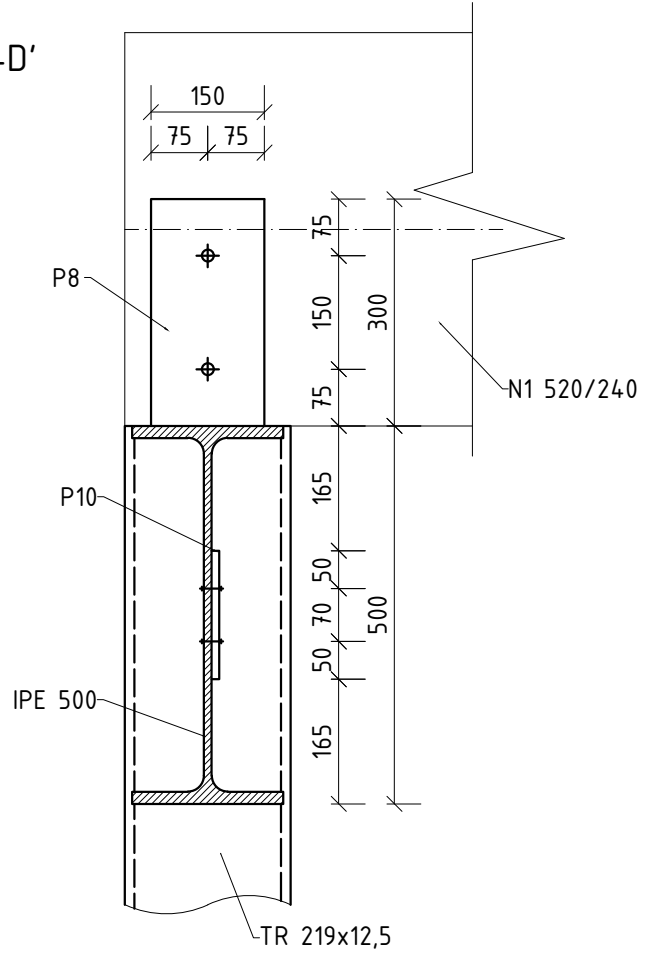
OCEL S235JR
 BETON C20/25
 DŘEVO C24 (střešní plášť)
 TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval: Hana Kolářová	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT	
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			květen 2021	
Katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Datum:	květen 2021
Název výkresu: Řez A-A'			Meřítko:	1:100 (A4)
			Číslo výkresu:	02

DETAIL 1



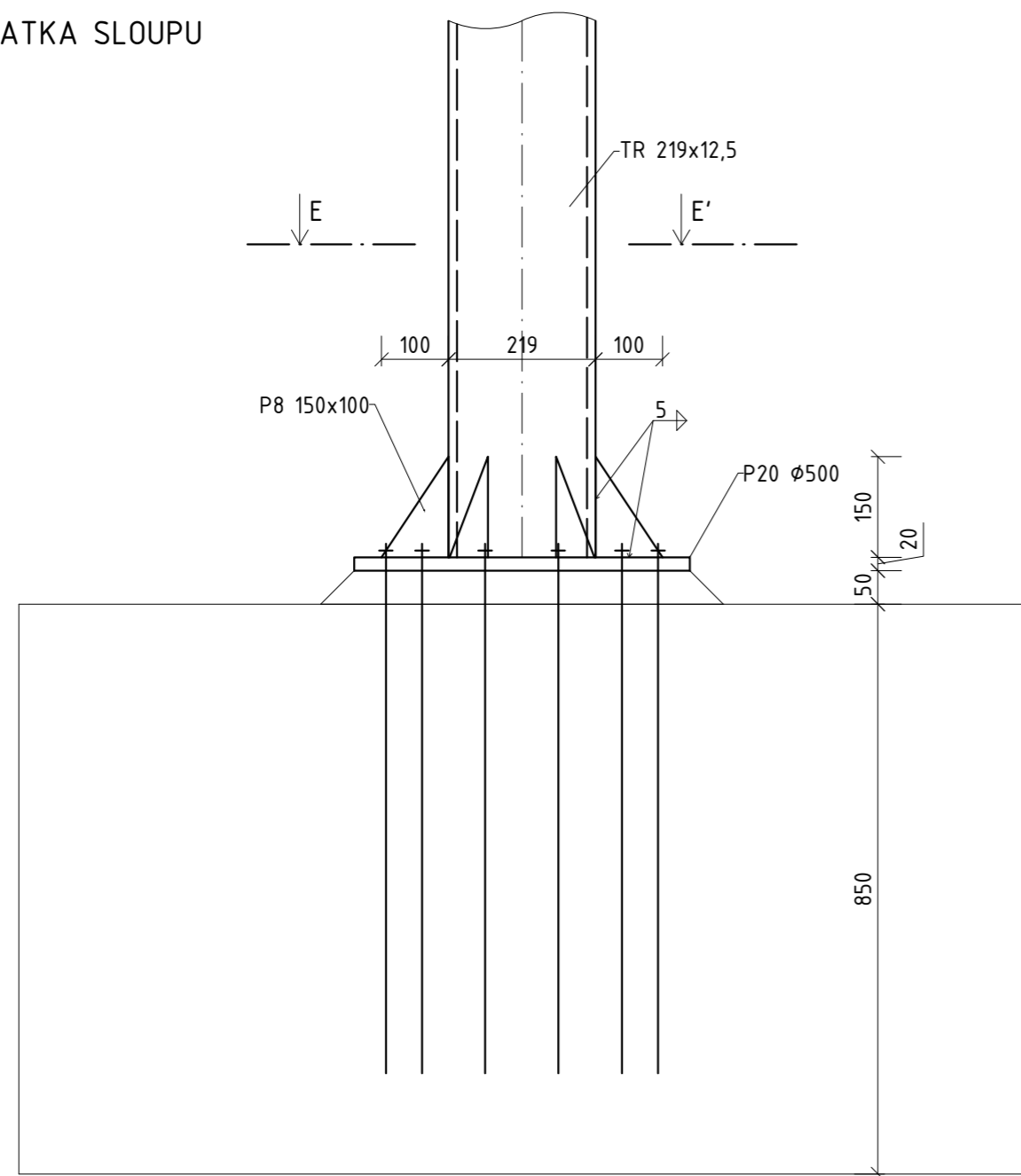
ŘEZ D-D'



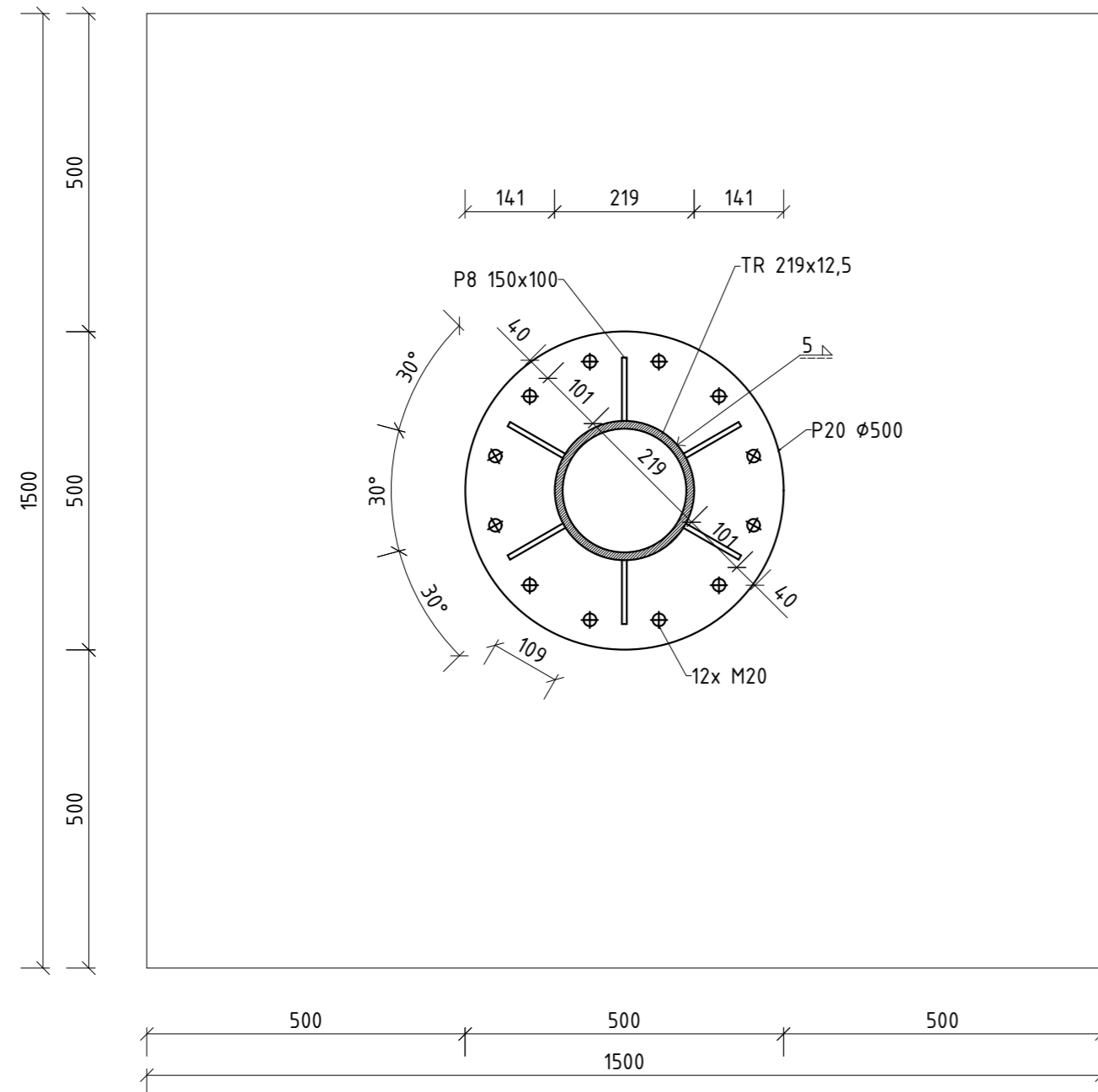
OCEL S235JR
 BĚTON C20/25
 DŘEVO GL28h
 ŠROUBY, SVORNÍKY TŘÍDY 8.8
 TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval: Hana Kolářová	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			Datum: květen 2021
Katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Meřítko: 1:10 (A4)
Název výkresu: Detail 1 - Kloubové připojení průvlaku			Číslo výkresu: 03

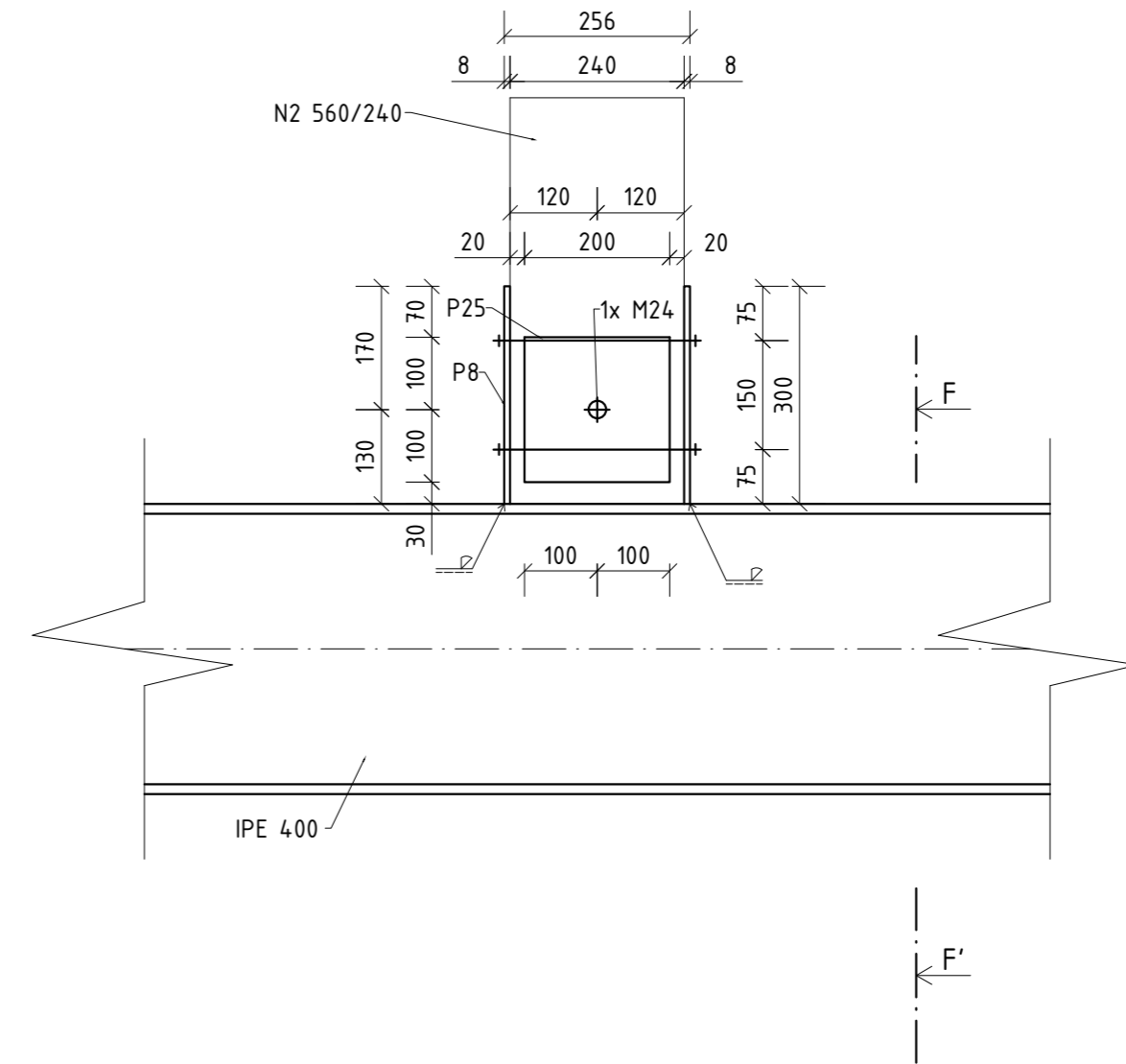
DETAIL 2 - VETKNUTÁ PATKA SLOUPU



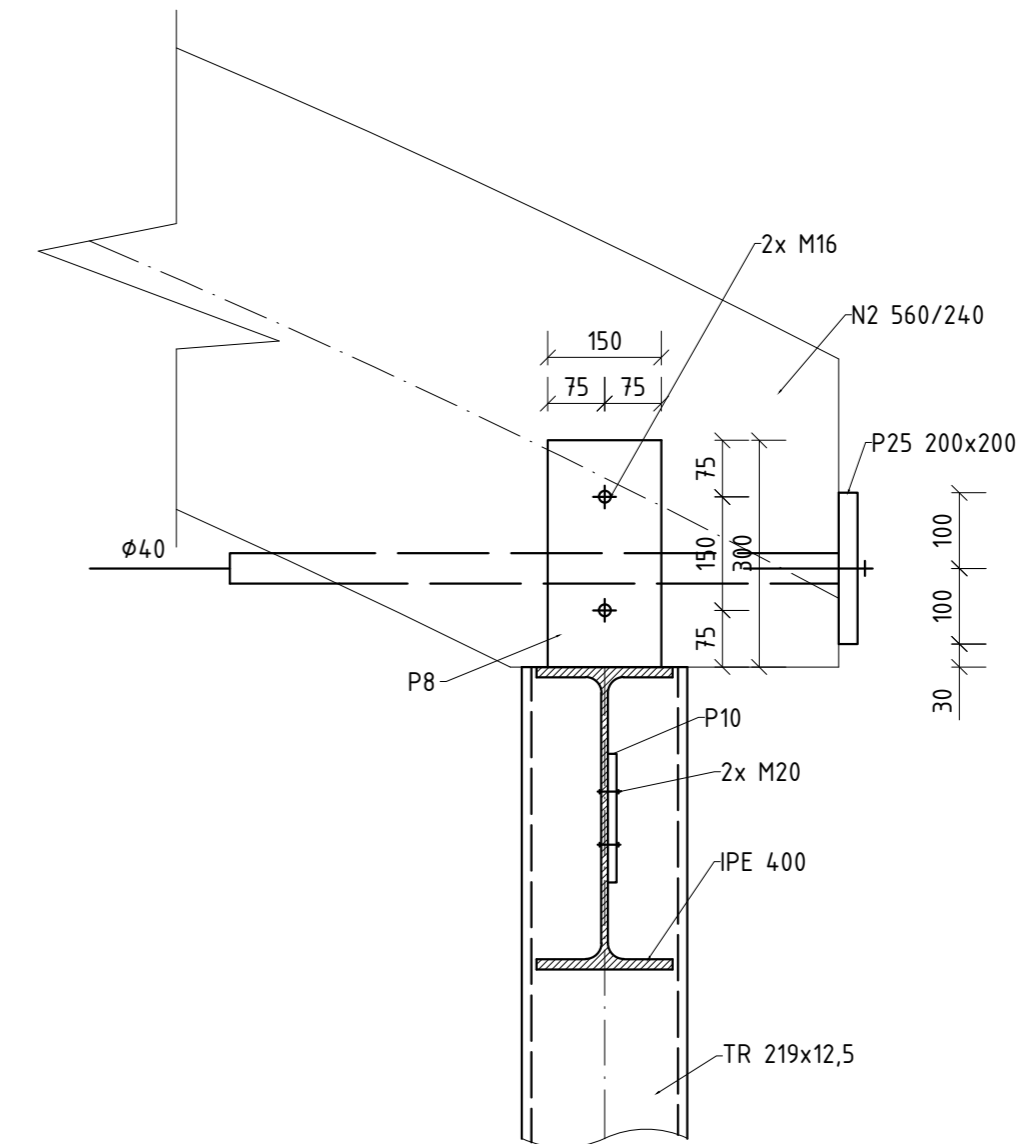
ŘEZ E-E'



DETAIL 3 - PŘÍPOJ OBLOUKOVÉHO NOSNÍKU A OCELOVÉHO TÁHLA



ŘEZ F-F'



OCEL S235JR
 BETON C20/25
 DŘEVO GL28h
 ŠROUBY, SVORNÍKY TŘÍDY 8.8
 TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval: Hana Kolářová	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
Katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Datum: květen 2021
Název výkresu: Detaily			Měřítko: 1:10 (A2) Číslo výkresu: 04