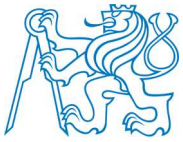


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Vyhlídková věž

Observation tower

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.

Bc. Tomáš Farkaš

Praha 2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: FARKAŠ Jméno: TOMÁŠ Osobní číslo: 410767

Zadávající katedra: K134

Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: VYHLÍDKOVÁ VĚŽ

Název diplomové práce anglicky: OBSERVATION TOWER

Pokyny pro vypracování: CÍLEM DIPLOMOVÉ PRÁCE JE VYPRACOVÁNÍ NÁVRHU A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ DŘEVĚNÉ VYHLÍDKOVÉ VĚŽE, VYPRACOVÁNÍ VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE, TECHNICKÉ ZPRÁVY A POSOUZENÍ VYBRANÝCH STYČNÍKŮ.

Seznam doporučené literatury: SKRIPTA KATEDRY K134
PŘÍSLUŠNÉ NORMY EN

Jméno vedoucího diplomové práce: ING. LUKÁŠ BLEPAŤ, PH.D.

Datum zadání diplomové práce: 2. 10. 2017 Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2018

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

[redacted]

Podpis vedoucího práce

[redacted]

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

2. 10. 2017

Datum převzetí zadání

[redacted]

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 25. ledna 2018 ……

Tomáš Farkaš

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Blesákovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Dále bych srdečně poděkoval panu prof. Ing. Jiřímu Mácovi, CSc. za vstřícný přístup a vyhovění k mé žádosti o posunutí termínu odevzdání diplomové práce.

Abstrakt

V této práci jsem se zaměřil na vytvoření 3D výpočetního modelu vyhlídkové věže Bohdanka v obci Bohdaneč, který odpovídá skutečnému provedení stavby. Statický model jsem tvořil pomocí výpočetního programu Scia Engineer. V programu jsem věž podrobil také dynamické analýze, která je důležitá pro správné zatížení konstrukce větrem dle současných norem. Po vytvoření modelu jsem posoudil únosnost hlavních nosných prvků konstrukce. Dalším úkolem bylo posouzení vybraných detailů a vytvoření deskostěnového modelu jednoho ocelového styčníku v programu Scia Engineer. Výsledkem mé práce je statický posudek nosných prvků, které v modelu vykazují největší napětí, posouzení vybraných detailů a vypracování výkresové dokumentace a technické zprávy.

Klíčová slova

věž, zatížení větrem, ocelo-dřevěná konstrukce, prutová konstrukce, dynamika, styčník MKP

Abstract

In this thesis, I focused on a design of 3D computer model of Bohdanka, the observation tower, in a village Bohdaneč, which corresponds with actual realization. The 3D model, I created in computational software Scia Engineer. I also used the software for dynamic analysis that is importanat for correct wind loading. After creating of the 3D model, I assessed load-bearing capacity of main supporting elements. Next point was assessment some details and design shell model of one steel joint in the software Scia Engineer. Results of my thesis is structural assessment of supporting elements with the biggest stress in the 3D model, assessment of chosen details and processing of drawings and engineering report.

Key words

Tower, wind loading, steal-timber structure, bar structure, dynamics, joint in FEM

Seznam příloh

Příloha A - Technická zpráva

Příloha B - Statický výpočet

Příloha C - Výkresová dokumentace

Příčný řez AA`	2xA4	1:50
Příčný řez BB`	2xA4	1:50
Příčný řez CC`	4xA4	1:50
Příčný řez DD`	1xA4	1:100
Pohled 1-1, 2-2	6xA4	1:100
Detail 1	8xA4	1:10
Detail 2	8xA4	1:10
Detail 3	2xA4	1:10
Detail 4	2xA4	1:10

Seznam podkladů a použité literatury

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. NA ed. A. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-8: Navrhování styčníků. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavny. Praha: Český normalizační institut, 2006.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce: normy.* V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03930-4.

VRANÝ, Tomáš, Michal JANDERA a Martina ELIÁŠOVÁ. *Ocelové konstrukce 2*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04368-4.

SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky. 2.,* přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04655-5.

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

Nová rozhledna Bohdanka v obci Bohdaneč [online]. 2011 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: https://www.archiweb.cz/news.php?type=&action=show&id=10988

Kopie výkresové dokumentace projektu Rozhlédni se kolem Bohdanče.

Fotografie z archivu Obce Bohdaneč.

Příloha A

Technická zpráva

Název: Vyhlídková věž

Vypracoval: Bc. Tomáš Farkaš

Datum: 25. 1. 2018

Obsah

1 Základní údaje o projektu 4
1.1 Obecný popis stavby 4
1.2 Podklady pro zhotovení projektu 4
1.3 Použitý software 5
2 Základní charakteristika konstrukčního řešení 6
2.1 Popis a architektonické řešení stavby 6
2.2 Technické řešení stavby 6
2.3 Materiálové řešení stavby 6
3 Zatížení 7
3.1 Stálá zatížení 7
3.2 Užitná zatížení 7
3.3 Zatížení sněhem 8
3.4 Zatížení větrem 8
3.5 Další zatížení 8
4 Základové konstrukce 9
4.1 Založení 9
4.2 Kotvení konstrukce 9
5 Nosný systém 10
5.1 Svislé prvky 10
5.2 Vodorovné prvky 10
5.3 Svislé komunikační prvky 10
5.4 Prvky zajišťující vodorovné ztužení 10
5.5 Styky a spoje 10
6 Ochrana nosných konstrukcí proti nepříznivým vlivům 12

7 Technologie a provádění stavby 13

8 Bezpečnost práce a ochrana zdraví 14

1 Základní údaje o projektu

1.1 Obecný popis stavby

Jedná se o návrh ocelo-dřevěné vyhlídkové věže Bohdanka. Věž se nachází na pozemku 565 v K.Ú. obce Bohdaneč (okres Kutná hora) s přesnou lokalizací GPS: 49°46'59.799"N, 15°13'54.669"E. Stavbou nejsou zasaženy žádné stávající objekty.

1.2 Podklady pro zhotovení projektu

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. NA ed. A. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-8: Navrhování styčníků. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavny. Praha: Český normalizační institut, 2006.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce: normy.* V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03930-4.

VRANÝ, Tomáš, Michal JANDERA a Martina ELIÁŠOVÁ. *Ocelové konstrukce 2*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04368-4.

SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky. 2.,* přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04655-5.

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

1.3 Použitý software

AutoCAD 2018

Scia Engineer 15.1

Microsoft Office Excel 2016

2 Základní charakteristika konstrukčního řešení

2.1 Popis a architektonické řešení stavby

Vyhlídková věž Bohdanka je ocelo-dřevěná prostorová prutová konstrukce. Dřevěné prvky jsou tvořeny odkorněnými kulatinami, z lepeného dřeva nebo z hraněného řeziva. Věž je čtvercového půdorysu o rozměrech 8,174x8,174 m v místě připojení na základovou konstrukci. Směrem vzhůru se věž zužuje v úhlu 1,5°. Celková výška věže je 50,68 m. Vertikální přeprava je zajištěna dvouramenným schodištěm. Ve věži se nachází 2 vyhlídkové plošiny, jedna ve výšce 22,5 m a druhá ve výšce 40,68 m. Horní vyhlídková plošina má tvar šestiúhelníku a je zastřešena rovněž šestiúhelníkovou střechou se sklonem střechy 3°. Pod úrovní 2. vyhlídkové plošiny je druhá část střechy, tzv. límec, který má sklon 63° s okapem ve výšce 38,32 m. Vstup do rozhledny je situován na jihozápad. Úpravu okolí věže tato dokumentace nezpracovává.

2.2 Technické řešení stavby

Nosná konstrukce věže je tvořena prostorovou prutovou konstrukcí. Hlavní dřevěné nosné prvky jsou tvořeny odkorněnými kulatinami. Styčníky prutů jsou řešeny jako kloub. Typ spoje je ocel-dřevo s kolíkovými (těsné svorníky třídy 8.8) spojovacími prostředky. Plechy styčníků jsou buď vsazeny do kulatiny nebo vloženy mezi jednotlivé kulatiny, proto jsou tyto prvky na kontaktu s plechem seříznuty. K zabránění tvorbě výsušných trhlin, jsou dřevěné prvky ještě provrtány celozávitovými vruty.

2.3 Materiálové řešení stavby

Konstrukce věže je navržena z ocele a ze dřeva. Konstrukce třídy použití 3.

Základy: železobetonové, beton C20/25 – XC2 – Cl 0,2 – D_{max} 16 – S3

Ocelové sloupy: válcovaná ocel S355 J2

Hlavní nosné prvky: odkorněná kulatina třídy C24

Prvky ve střeše: lepené lamelové dřevo třídy GL24h

Schodiště: hraněné řezivo třídy C24

Opláštění: palubky třídy S10

Zavětrovací táhla: ocel S355J2

Spojovací prostředky: ocel třídy 8.8

3 Zatížení

Níže budou uvedeny hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách. Pro hodnoty návrhové je třeba charakteristické hodnoty zatížení přenásobit dílčími součiniteli bezpečnosti a redukčními součiniteli pro nepříznivá stálá zatížení a součinitelem pro kombinační hodnotu proměnného zatížení. Hodnoty použitých součinitelů:

- Dílčí součinitel stálého zatížení – $\gamma_G = 1{,}35$
- Dílčí součinitel proměnného zatížení – $\gamma_Q = 1{,}5$
- Redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení – $\xi = 0{,}85$
- Součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení – $\psi_0 = 0{,}5$ pro sníh
  $\psi_0 = 0{,}6$ pro vítr
  $\psi_0 = 0{,}7$ pro užitné

Pro návrhové hodnoty zatížení byla použita kombinace zatížení dle ČSN EN 1990 pro mezní stavy STR a GEO. Rozhoduje méně příznivá kombinace z níže uvedených:

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

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

3.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha prvků byla generována programem SCIA Engineer.

Vlastní tíhy jednotlivých podlah, střešního pláště a výplně zábradlí jsou podrobně rozepsány v Příloze B, kap. 1.1.2.

3.2 Užitná zatížení

Na vyhlídkách je uvažována hodnota 5,0 kN/m² (kategorie C3 dle ČSN EN 1991-1-1).

Na schodištích je uvažována hodnota 2,0 kN/m² (kategorie A dle ČSN EN 1991-1-1).

Pro střech je uvažována hodnota 0,75 kN/m² (kategorie H dle ČSN EN 1991-1-1).

Hodnota vodorovného zatížení zábradlí pro kategorii C3 uvažováno je uvažována 1,0 kN/m².

3.3 Zatížení sněhem

Věž se nachází v obci Bohdaneč (III. sněhová oblast). Sklon střechy je 3°. Věž se nachází v typu krajiny otevřená (rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terénem, vyššími stavbami nebo stromy). Hodnota zatížení sněhem je uvažována 0,96 kN/m^2.

3.4 Zatížení větrem

Věž se nachází v obci Bohdaneč (III. větrná oblast) v oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek (kategorie terénu II). Základní rychlost větru byla stanovena na 27,5 m/s. Blíže se výpočtem zatížení větrem zabývá Příloha B, kap. 1.2.3.

3.5 Další zatížení

Pro objekt nebyly uvažovány žádné další druhy zatížení.

4 Základové konstrukce

4.1 Založení

Založení věže je navrženo jako plošné na železobetonové desce. Rozměry desky v základové spáře jsou 11,0x11,0 m. Hloubka založení je 1,2 m. Nárožníky a středové obvodové sloupy jsou osazeny na vyvýšených železobetonových čtvercových soklech výšky 0,5 m a rozměrů 1,5x1,5 m, resp. 1,2x1,2 m, schodišťové sloupy jsou osazeny přímo na desku. Železobetonová deska je lokálně podporována mikropilotami. Návrh a popis založení tato dokumentace nezpracovává.

4.2 Kotvení konstrukce

Ukotvení věže do základové konstrukce tvoří zabetonované kotevní tyče. Po osazení patních plechů se provede zalití zálivkovou maltou.

5 Nosný systém

5.1 Svislé prvky

Svislé nosné prvky jsou tvořeny odkorněnými kulatinami a ocelovými svařovanými sloupy ztuženými kulatinami. Pro nárožníky byl průřez tvořený čtveřicí kulatin o průměrech postupně se zmenšujících. Použité průměry jsou 4x280 mm, 4x250 mm, 4x220 mm a 4x180 mm. V prvních 3 poschodí byl na nárožníky použit ocelový průřez "X" o rozměrech 420x420 mm a tloušťce 20 mm, 380x380 mm a tloušťce 16 mm a 360x360 mm a tloušťce 16 mm.

Středové obvodové sloupy jsou tvořeny dvojicí kulatin. Použité průměry jsou 2x250 mm a 2x220 mm.

5.2 Vodorovné prvky

Vodorovné prvky jsou tvořeny odkorněnými kulatinami. Pro vodorovné obvodové nosníky byly použity kulatiny o průměru 220 mm.

5.3 Svislé komunikační prvky

Pro svislou komunikaci je navrženo dvouramenné schodiště o rozměrech do prostoru 2,4x2,72 m. Schodnice z hraněného řeziva o rozměrech 250x80 mm jsou osazeny na podestové a mezipodestové nosníky z kulatiny o průměru 180 mm, které podporují schodišťové sloupy z kulatiny průměru 300 mm, 280 mm a 220 mm. Stupně jsou tvořeny fošnami o rozměrech 250x50 mm. Podlaha podest je z fošen o rozměrech 250x50 mm, které jsou podporovány nosníky 200x100 mm osazených na podestové a mezipodestové nosníky. Schodiště je opatřeno zábradlím výšky 1,2 m.

5.4 Prvky zajišťující vodorovné ztužení

Vodorovné ztužení zajišťují odkorněné kulatiny. Ve „svislé" rovině to jsou dvojice kulatin o průměru 2x300 mm, 2x280 mm a 2x220 mm. Ve vodorovné rovině to zajišťují kulatiny o průměru 160 mm, které tvoří rám a jsou vůči půdorysnému tvaru věže pootočeny o 45°.

5.5 Styky a spoje

Styčníky prutů jsou řešeny jako kloub. Typ spoje je ocel-dřevo s kolíkovými (těsné svorníky třídy 8.8) spojovacími prostředky. Plechy styčníků jsou buď vsazeny do kulatiny

nebo vloženy mezi jednotlivé kulatiny, proto jsou tyto prvky na kontaktu s plechem seříznuty. Ostatní spoje jsou tvořeny pomocí svorníků a vrutů jako spoj dřevo-dřevo.

6 Ochrana nosných konstrukcí proti nepříznivým vlivům

Nosná konstrukce z odkorněné kulatiny je bez povrchové úpravy. Ocelové prvky jsou ošetřeny žárovým zinkováním. Ostatní spojovací prostředky jsou také pozinkovány. Všechny řezy jsou ošetřeny ochranou proti biotickým škůdcům.

7 Technologie a provádění stavby

Jednotlivá patra věže byla předem sestavena na staveništi pomocí ocelového montážní plošiny z IPE profilů. Pro dodržení geometrické přesnosti byl vyroben ocelový montážní přípravek pro přesné vyvrtání otvorů. Na úrovni terénu sestavená patra byla pomocí automobilového jeřábu osazena na patra předešlá a rozsah prací ve výšce byl omezen pouze na spojení pater.

Schodiště byla prefabrikována a osazena na podpůrné prvky konstrukce.

Pro provedení konstrukce je nutné doplnit o dílenskou dokumentaci, kterou tato dokumentace nenahrazuje.

8 Bezpečnost práce a ochrana zdraví

Všechny části stavby byly navrženy v souladu s předpisy platnými na území České republiky.

Veškeré stavební práce budou prováděny odbornou firmou k této činnosti způsobilou. Před zahájením stavebních prací musí být všichni zaměstnanci prokazatelně seznámeni s problematikou stavby a příslušnými Technologickými předpisy a pracovními postupy. Rovněž musí být prokazatelně seznámeni se zásadami ochrany zdraví a poskytování první pomoci. Všichni zaměstnanci jsou povinni dodržovat platné předpisy BOZP ve znění:

Zákoník práce v platném znění.

Platné vyhlášky 362/2005 Sb. a nařízení vlády 591/2006 Sb.,

Stavební zákon č. 183/2006 Sb.

Otvory a zvýšené plošiny musí být zabezpečeny pevnými ochrannými zábradlími tak, aby nedošlo k jejich posunutí. Všechny přístupové cesty musí být jasně a zřetelně označeny. Žebříky musí splňovat bezpečnostní předpisy a musí přesahovat minimálně 1100 mm nad pracovní plošinu. Práci ve výškách mohou provádět pouze pracovníci k tomu proškolení. Dále musejí být jištěni pomocí úvazů, které nevykazují závažné opotřebení, což bude denně kontrolováno. Zjistí-li se opotřebení, je nutné jistící prostředky ihned vyměnit. Stavbyvedoucí musí před započetím prací vypracovat technologický postup prací, který musí být v souladu s platnými vyhláškami a předpisy.

Příloha B

Statický výpočet

Název: Vyhlídková věž

Vypracoval: Bc. Tomáš Farkaš

Datum: 25. 1. 2018

Obsah

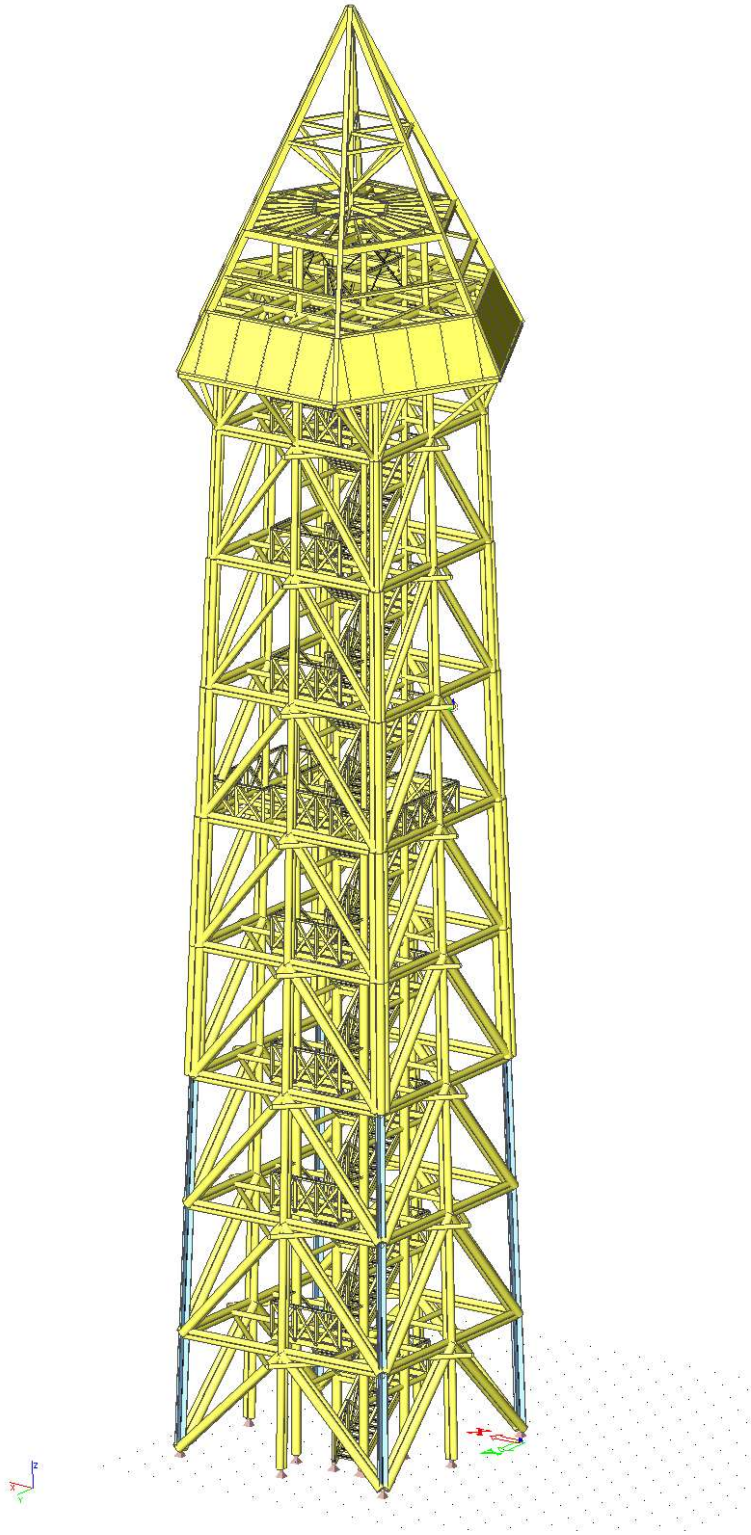
1 Zatížení 6
1.1 Zatížení stálá 6
1.1.1 Vlastní tíha – LC1 6
1.1.2 Ostatní stálá – LC2 6
1.2 Zatížení proměnné 7
1.2.1 Zatížení užitné – LC3 7
1.2.2 Zatížení sněhem – LC4 7
1.2.3 Zatížení větrem – LC5 9
1.2.3.1 Součinitel konstrukce $c_s c_d$ 11
1.2.3.2 Dynamický tlak větru 13
1.2.3.3 Zatížení větrem na jednotlivé prvky 14
1.3 Kombinace zatížení 35
1.3.1 Přehled zatěžovacích stavů 35
1.3.2 Použité kombinace pro mezní stav únosnosti 35
1.3.3 Použité kombinace pro mezní stav použitelnosti 37
2 Dynamická analýza 40
3 Posouzení vybraných nosných prvků 42
3.1 Použité materiály 42
3.1.1 Ocel 42
3.1.2 Dřevo 42
3.2 Ocelové prvky 44
3.3 Dřevěné prvky 47
4 Posouzení vybraných detailů 81
5 Desko-stěnový model styčníku 97

6 Ověření stability základové konstrukce bez pilot 106

7 Posouzení mezního stavu použitelnosti 108

Závěr 109

Obrázek 1 *Vyhlídková věž Bohdanka*



Obrázek 2 *Model rozhledny ve výpočetním programu Scia Engineer*

1 Zatížení

1.1 Zatížení stálá

1.1.1 Vlastní tíha – LC1

Hodnota vlastní tíhy nosných konstrukcí vygenerována softwarem Scia Engineer.

1.1.2 Ostatní stálá – LC2

Tabulka 1 *Výpočet plošného zatížení zatěžovacího stavu LC2*

Konstrukce	Tloušťka [mm]	Hustota [kg/m³]	Objemová tíha [kN/m³]	**Plošné zatížení [kN/m²]**
Podlahy vyhlídek, podest a mezipodest – modřínové fošny 250x50 mm	50	500	5	**0,25**
Střešní límec – modřínová prkna tl. 2x22 mm	44	500	5	**0,22**
Stříška nad vyhlídkou – měděný plech	0,55	8900	89	**0,049**
Stříška ve špičce – měděný plech	0,55	8900	89	**0,049**
Výplň zábradlí – modřínová prkna tl. 30 mm	0,03	500	5	**0,15**

Na střížce nad vyhlídkou jsou umístěny panelové antény pro telekomunikační společnost. Rozměr antén je 2438x330x203 mm a hmotnost 30 kg. Připevněny jsou na krokve stříšky ve dvou bodech, tudíž síla, která zatěžuje krokve je 2x0,15 kN.

1.2 Zatížení proměnné

1.2.1 Zatížení užitné – LC3

Tabulka 2 *Hodnoty užitného zatížení dle ČSN EN 1991-1-1, Tabulka 6.2*

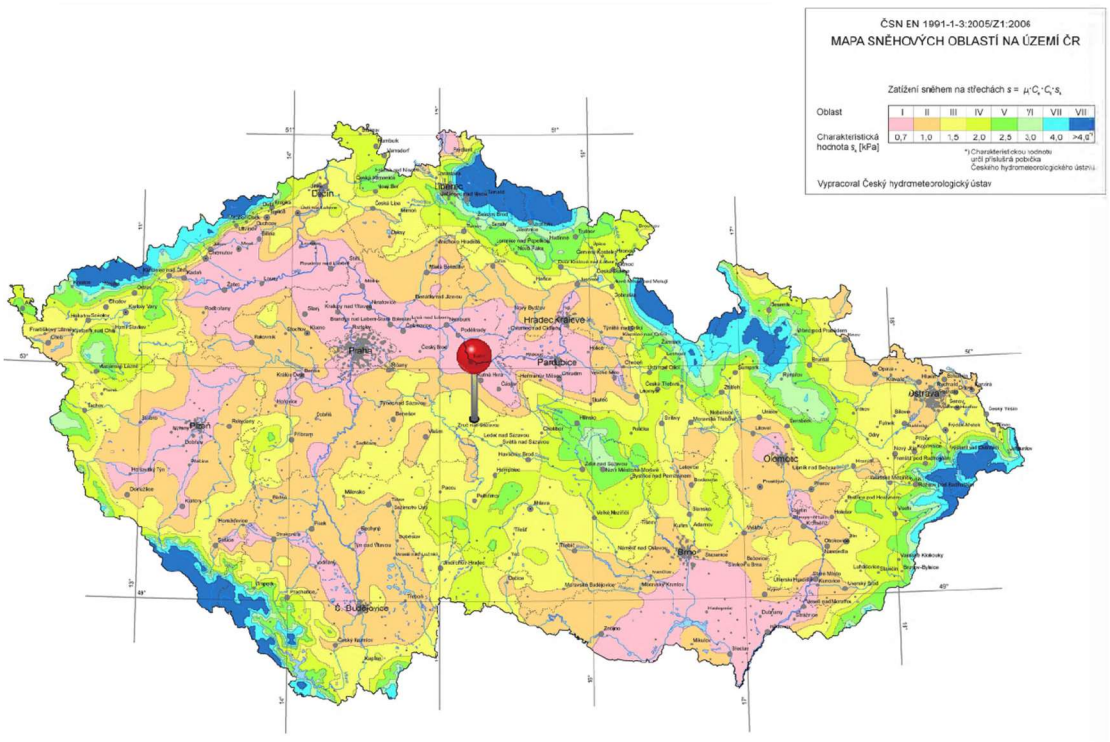
Konstrukce	Kategorie zatěž. ploch	Charakter. hodnota [kN/m²]	Použitá hodnota [kN/m²]
Schodišťový stupeň	A – schodiště	2,0-4,0	2,0
Podesty a mezipodesty	A – schodiště	2,0-4,0	2,0
Vyhlídka v 6. NP	C3	3,0-5,0	5,0
Vyhlídka v 10. NP	C3	3,0-5,0	5,0
Stříška nad vyhlídkou	H	0,75	0,75

Vodorovné zatížení zábradlí pro kategorii C3 uvažováno 1,0 kN/m², dle ČSN EN 1991-1-1, Tabulka 6.12.

1.2.2 Zatížení sněhem – LC4

Obec Bohdaneč (okres Kutná Hora) – III. sněhová oblast

Typ krajiny – otevřená



Obrázek 3 *Mapa sněhových oblastí s vyznačením polohy konstrukce*

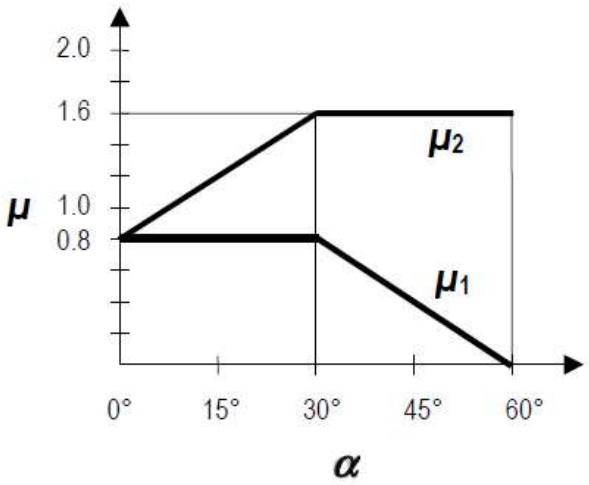
a) Pro trvalé/dočasné návrhové situace (ČSN EN 1991-1-3 ed. 2)

$$s = \mu_1 . C_e . C_t . s_k \quad (5.1)$$

kde

$s_k = 1{,}5$ kN/m^2	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi;
$C_e = 0{,}8$	součinitel expozice;
$C_t = 1{,}0$	tepelný součinitel;
$\alpha = 5°$	sklon střechy;
$\mu_1 = 0{,}8$	tvarový součinitel zatížení sněhem (Obrázek 4).

$s = 0{,}96$ kN/m^2

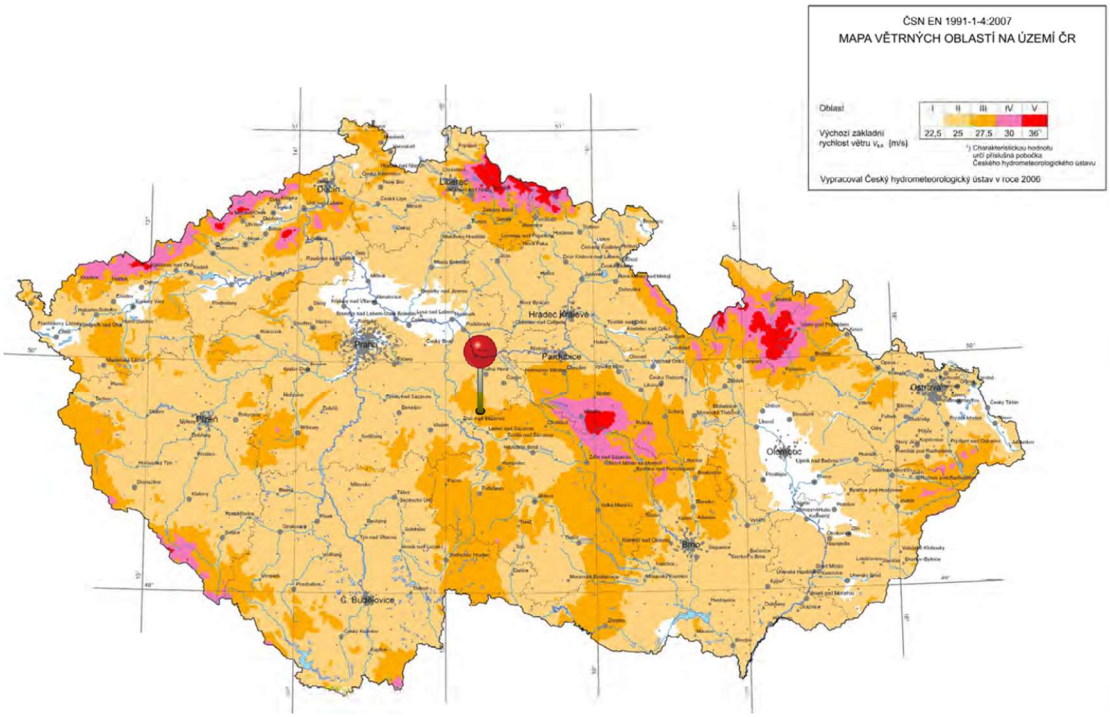


Obrázek 4 *Tvarové součinitele zatížení sněhem*

1.2.3 Zatížení větrem – LC5

Obec Bohdaneč (okres Kutná Hora) – III. větrná oblast

II. kategorie terénu – oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek



Obrázek 5 *Mapa větrných oblastí*

Základní rychlost větru (ČSN EN 1991-1-4 ed. 2)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \qquad (4.1)$$

kde

$v_{b,0}$ = 27,5 m/s	výchozí základní rychlost větru
c_{dir} = 1,0	součinitel směru větru, viz poznámka;
c_{season} =1,0	součinitel ročního období.

$\underline{v_b = 27,5\ m/s}$

Střední rychlost větru (ČSN EN 1991-1-4 ed. 2)

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$ (4.3)

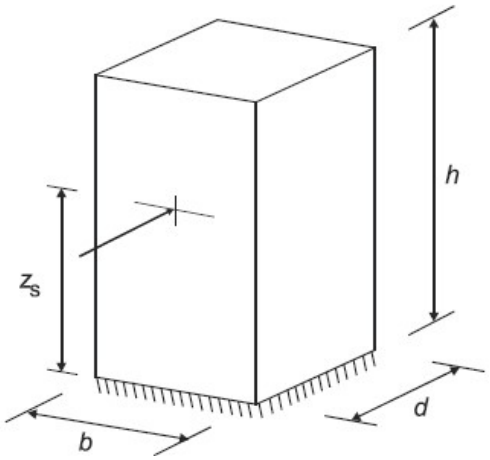
kde

$c_o(z) = 1,0$	součinitel orografie;	
$v_b = 27,5$ m/s	základní rychlost větru dle (4.1);	
$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$	pro $z_{min} \le z \le z_{max}$	(4.4)
$c_r(z) = c_r(z_{min})$	pro $z \le z_{min}$	

$z_0 = 0,05$ m	parametr drsnosti terénu (Tabulka 3);
$z_{0,II} = 0,05$ m	parametr drsnosti terénu kat. II;
$z_{min} = 2$ m	minimální výška definovaná v tabulce (Tabulka 3);
$z_{max} = 200$ m	dle normy se uvažuje 200 m;
h = 50,680 m	výška konstrukce.

$z_{min} \le \underline{z = 0,6h = 30,408 \text{ m}} \le z_{max}$

kde "z" je referenční výška konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Obrázek 6.1)



Obrázek 6 *Obecný tvar konstrukce, na který se vztahuje postup navrhování*

$k_r = 0,19(z_0/z_{0,II})^{0,07}$ součinitel terénu (4.5)

$k_r = 0,19$

dle (4.4): $c_r(z) = 1,218$

$\underline{v_m(z) = 33,495 \text{ m/s}}$

Tabulka 3 *Kategorie terénů a jejich parametry dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Tabulka 4.1*

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10
POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.		

1.2.3.1 Součinitel konstrukce $c_s c_d$

Turbulence větru (ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Příloha B)

Měřítko délky turbulence

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^{\alpha} \qquad \text{(B.1)}$$

kde

L_t = 300 m — referenční měřítko délky;
z_t = 200 m — referenční výška;
z = 30,408 m — referenční výška konstrukce;
$\alpha = 0{,}67 + 0{,}05 \cdot \ln(z_0)$ — z_0 = 0,05 m.

α = 0,52

<u>L(z) = 112,607 m</u>

Spektrální hustota

$$S_L(z,n) = \frac{n \cdot S_v(z,n)}{\sigma_v^2} = \frac{6{,}8 \cdot f_L(z,n)}{(1+10{,}2 \cdot f_L(z,n))^{5/3}} \qquad \text{(B.2)}$$

kde

$f_L(z,n) = n \cdot L(z) / v_m(z)$ — bezrozměrná frekvence

$n = n_{1,x}$ = 2,82 Hz — základní vl. frekvence konstrukce (viz kapitola 2, Tabulka 24);
$v_m(z)$ = 33,495 m/s — střední rychlost větru;
L(z) = 112,607 m — měřítko délky turbulence.

<u>S_L (z,n) = 0,031</u>

Součinitel odezvy pozadí

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0{,}63}} \qquad \text{(B.3)}$$

kde

b = 7,031 m	šířka konstrukce v referenční výšce konstrukce;
h = 50,680 m	výška konstrukce;
L(z) = 112,607 m	měřítko délky turbulence.

$\underline{B^2 = 0{,}629}$

Rezonanční část odezvy

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \qquad \text{(B.6)}$$

kde

δ = 0,06	celkový logaritmický dekrement útlumu dle Tabulky F.2;
S_L (z,n) = 0,031	spektrální hustota;
Rh, Rb	aerodynamické admitance:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_h}\right) \qquad R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_b}\right) \qquad \text{(B.7), (B.8)}$$

$$\eta_h = \frac{4{,}6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) \qquad \eta_b = \frac{4{,}6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$\eta_h = 19{,}628$
$\eta_b = 2{,}723$
$R_h(\eta_h) = 0{,}050$
$R_b(\eta_h) = 0{,}300$

$\underline{R^2 = 0{,}038}$

Pozn.: *Tabulka F.2 neudává přesnou hodnotu pro tento typ konstrukce, proto jsem použil hodnotu δ = 0,06, která je spodní hodnotou pro dřevěné mosty.*

Součinitel maximální hodnoty

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0{,}6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}} \tag{B.4}$$

kde

$$\nu = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \tag{B.5}$$

frekvence přechodů s kladnou směrnicí

T = 600 s — doba integrace při stanovení střední rychlosti větru
ν = 0,674 Hz

$k_p = 3{,}638$

Intenzita turbulence (ČSN EN 1991-1-4 ed. 2)

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \tag{4.7}$$

kde

$k_I = 1{,}0$ — součinitel turbulence;
$c_o(z) = 1{,}0$ — součinitel orografie;
$z = 30{,}408$ m — referenční výška konstrukce;
$z_0 = 0{,}05$ m — parametr drsnosti terénu.

$I_v(z) = 0{,}156$

Součinitel konstrukce $c_s c_d$

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \tag{6.1}$$

$c_s c_d = 0{,}921$

1.2.3.2 Dynamický tlak větru

Maximální dynamický tlak větru

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

kde

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$ — intenzita turbulence;

$v_m(z) = c_r(z) \,.\, c_o(z) \,.\, v_b$ — střední rychlost větru;
$\rho = 1{,}25$ kg/m^3 — měrná hmotnost vzduch;

$c_o(z) = 1,0$	součinitel orografie;	
$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$	pro $z_{min} \leq z \leq z_{max}$;	(4.4)
$k_I = 1,0$	součinitel turbulence;	
$v_b = 27,5$ m/s	základní rychlost větru dle (4.1);	
$z_0 = 0,05$ m	parametr drsnosti terénu;	
$k_r = 0,19$	součinitel terénu dle (4.5).	

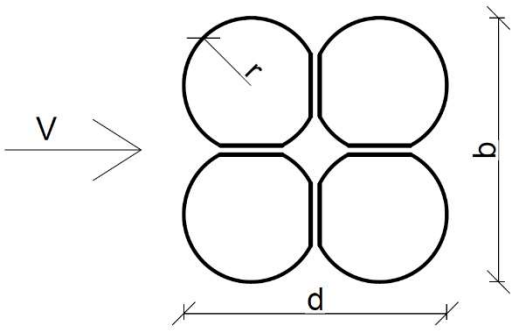
Tabulka 4 *Maximální dynamický tlak větru pro jednotlivé referenční výšky*

Referenční výška [m]	z [m]	$c_r(z)$ [-]	$I_v(z)$ [-]	$v_m(z)$ [m/s]	**$q_p(z)$ [kN/m²]**
0-9	9,00	0,987	0,193	27,133	**1,080**
9-18	18,00	1,118	0,170	30,755	**1,294**
18-27	27,00	1,195	0,159	32,873	**1,427**
27-36	36,00	1,250	0,152	34,377	**1,524**
36-40,5	40,05	1,272	0,149	34,992	**1,565**
40,5-50,68	50,68	1,315	0,144	36,164	**1,644**

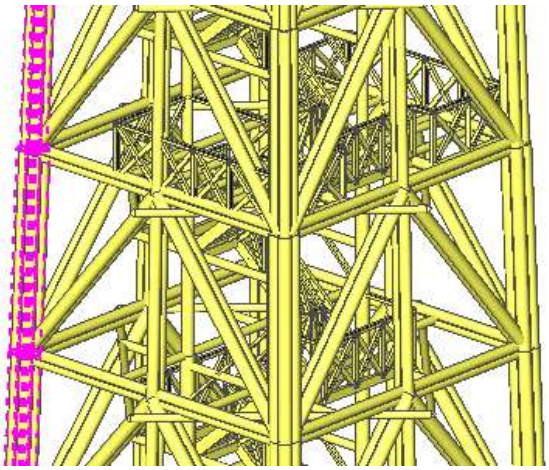
1.2.3.3 Zatížení větrem na jednotlivé prvky

- Nárožník

Daný prvek uvažuji jako čtvercový průřez se zaoblenými rohy.



Obrázek 7 *Příčný řez nárožníkem tvořeného čtveřicí kulatin*



Obrázek 8 *Vyznačení nárožníku v konstrukci*

Tlak větru na vnější povrchy:

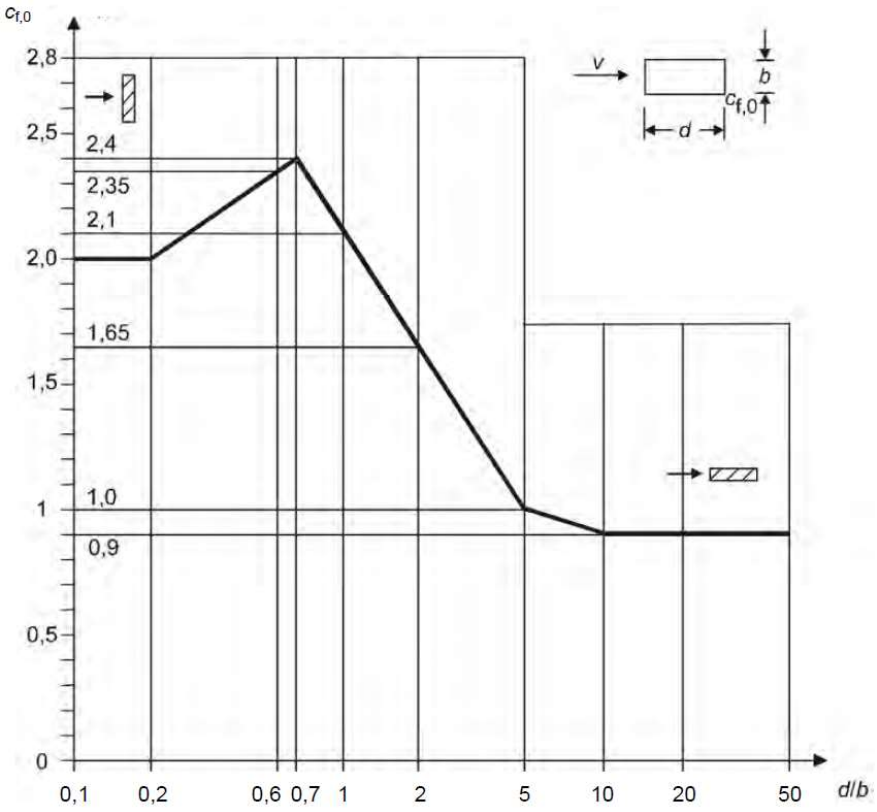
$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b$

kde

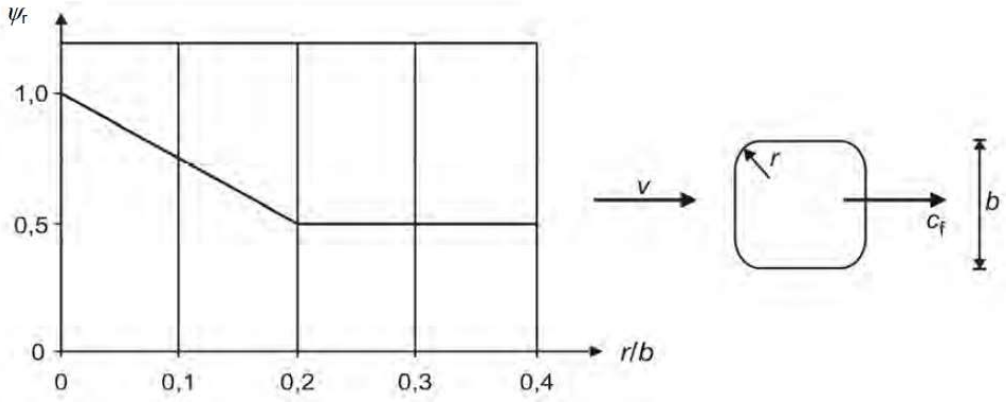
$c_s c_d = 0{,}921$	součinitel konstrukce;	
$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda$	součinitel síly;	(7.9)
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak větru ve výšce "z", viz Tabulka 4	
b	šířka prvku vystavená účinku větru;	
$c_{f,0}$	součinitel síly pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy bez vlivu proudění kolem volných konců;	
ψ_r	redukční součinitel pro čtvercové průřezy se zaoblenými rohy;	
$\psi_\lambda = 1{,}0$	součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci.	

Tabulka 5 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy nárožníků*

b [mm]	d [mm]	r [mm]	z [m]	d/b [-]	r/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
580	580	150	4,5	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,080	**0,606**
580	580	150	9,0	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,080	**0,606**
580	580	150	13,5	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,294	**0,726**
540	540	140	18,0	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,294	**0,676**
540	540	140	22,5	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,427	**0,745**
480	480	125	27,0	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,427	**0,662**
425	425	110	31,5	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,524	**0,627**
350	350	90	36,0	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,524	**0,516**
350	350	90	40,5	1,0	0,26	0,921	2,1	0,5	1,0	1,05	1,565	**0,530**



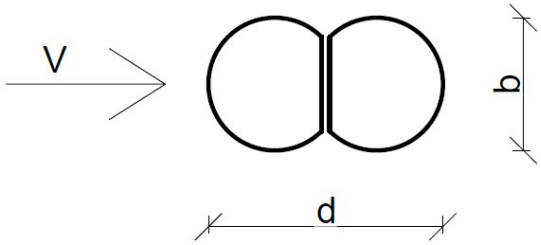
Obrázek 9 *Součinitel síly $c_{f,0}$ pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy bez vlivu proudění kolem volných konců*



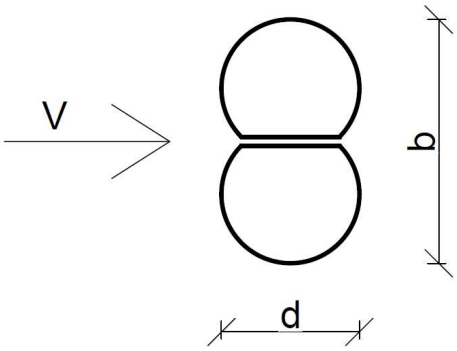
Obrázek 10 *Redukční součinitel ψ_r pro čtvercový průřez se zaoblenými rohy*

- Středový sloup

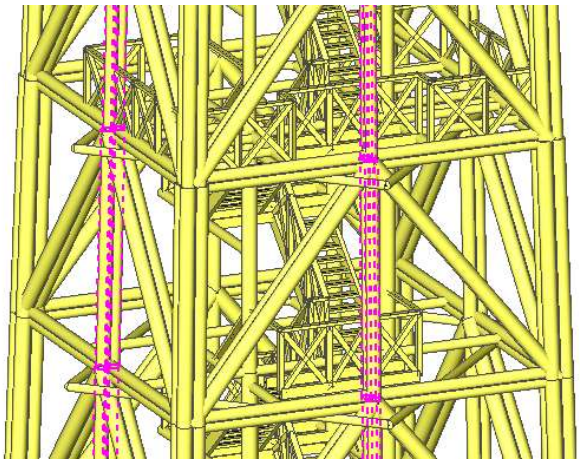
Daný prvek uvažuji jako obdélníkový průřez.



Obrázek 11 *Příčný řez středovým sloupem s vyznačením směru působení větru – působením větru namáhána tužší osa*



Obrázek 12 *Příčný řez středovým sloupem s vyznačením směru působení větru – působením větru namáhána měkčí osa*



Obrázek 13 *Vyznačení středových sloupů v konstrukci*

Tabulka 6 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy středových sloupů, kdy vítr působí proti tužší ose*

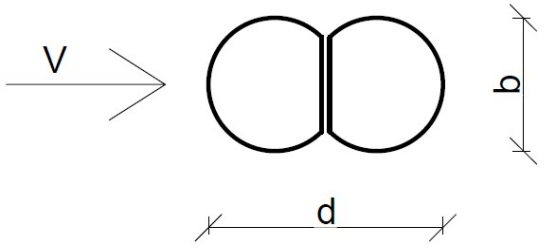
b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
250	442	4,5	1,768	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,080	**0,437**
250	442	9,0	1,768	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,080	**0,437**
250	442	13,5	1,768	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,294	**0,523**
250	442	18,0	1,768	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,294	**0,523**
250	442	22,5	1,768	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,427	**0,577**
220	390	27,0	1,773	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,427	**0,507**
220	390	31,5	1,773	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,524	**0,541**
220	390	36,0	1,773	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,524	**0,541**
220	390	40,5	1,773	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,565	**0,556**

Tabulka 7 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy středových sloupů, kdy vítr působí proti měkčí ose*

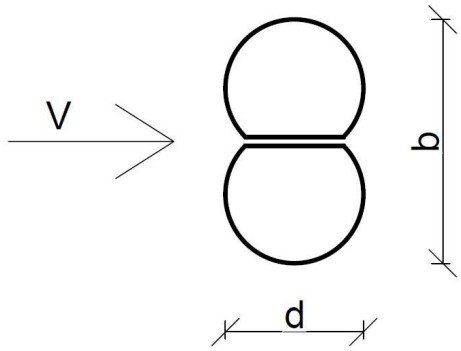
b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
442	250	4,5	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,080	**1,020**
442	250	9,0	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,080	**1,020**
442	250	13,5	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,294	**1,222**
442	250	18,0	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,294	**1,222**
442	250	22,5	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,427	**1,348**
390	220	27,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,427	**1,189**
390	220	31,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	36,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	40,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,565	**1,304**

- Diagonály

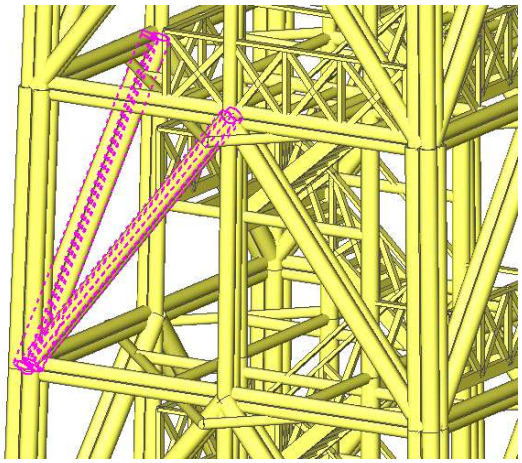
Daný prvek uvažuji jako obdélníkový průřez.



Obrázek 14 *Příčný řez diagonálou s vyznačením směru působení větru – působením větru namáhána tužší osa*



Obrázek 15 *Příčný řez diagonálou s vyznačením směru působení větru – působením větru namáhána měkčí osa*



Obrázek 16 *Vyznačení diagonál v konstrukci*

Tabulka 8 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy diagonál, kdy vítr působí proti tužší ose*

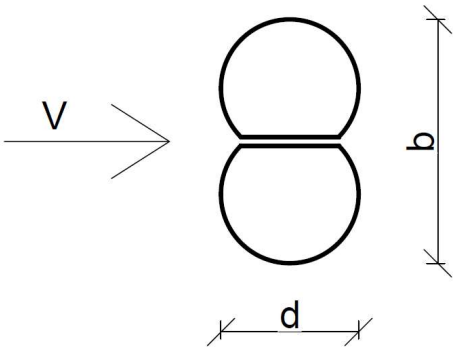
b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
300	530	4,5	1,767	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,080	**0,524**
300	530	9,0	1,767	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,080	**0,524**
300	530	13,5	1,767	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,294	**0,628**
300	530	18,0	1,767	0,921	1,755	1,0	1,0	1,755	1,294	**0,628**
280	492	22,5	1,757	0,921	1,759	1,0	1,0	1,759	1,427	**0,647**
280	492	27,0	1,757	0,921	1,759	1,0	1,0	1,759	1,427	**0,647**
220	390	31,5	1,773	0,921	1,752	1,0	1,0	1,752	1,524	**0,541**
220	390	36,0	1,773	0,921	1,752	1,0	1,0	1,752	1,524	**0,541**
220	390	40,5	1,773	0,921	1,752	1,0	1,0	1,752	1,565	**0,556**

Tabulka 9 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy středových sloupů, kdy vítr působí proti měkčí ose*

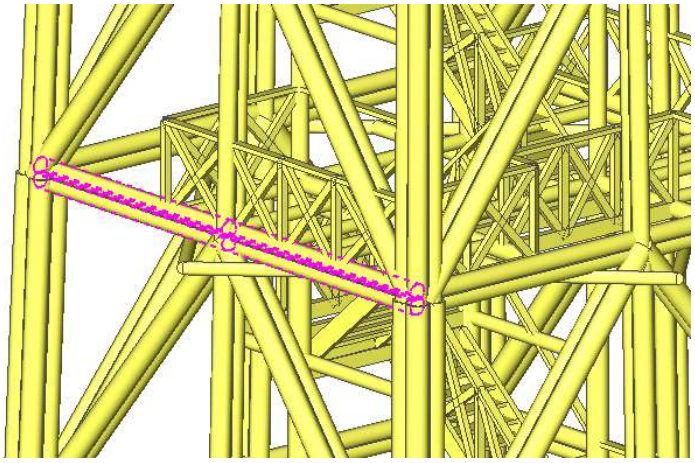
b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
530	300	4,5	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,080	**1,224**
530	300	9,0	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,080	**1,224**
530	300	13,5	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,294	**1,466**
530	300	18,0	0,566	0,921	2,32	1,0	1,0	2,32	1,294	**1,466**
492	280	22,5	0,569	0,921	2,323	1,0	1,0	2,323	1,427	**1,502**
492	280	27,0	0,569	0,921	2,323	1,0	1,0	2,323	1,427	**1,502**
390	220	31,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	36,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	40,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,565	**1,304**

- Vodorovný nosník

Daný prvek uvažuji jako obdélníkový průřez.



Obrázek 17 *Příčný řez vodorovným nosníkem s vyznačením směru působení větru*



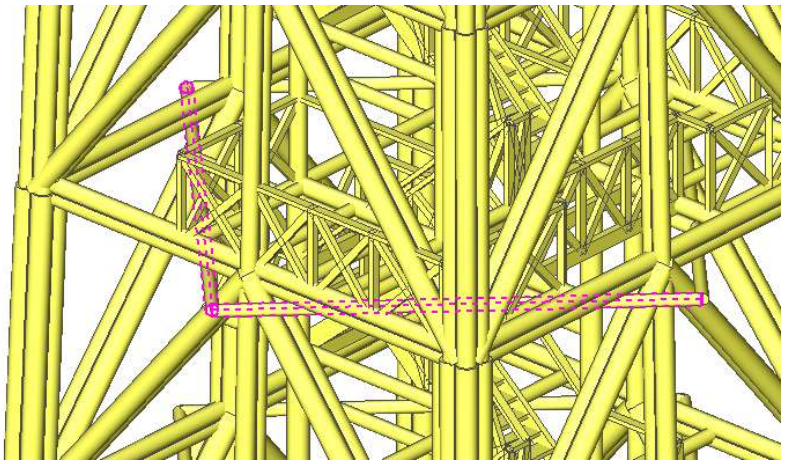
Obrázek 18 *Vyznačení vodorovného nosníku v konstrukci*

Tabulka 10 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy vodorovného nosníku*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
390	220	4,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,080	**0,900**
390	220	9,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,080	**0,900**
390	220	13,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,294	**1,078**
390	220	18,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,294	**1,078**
390	220	22,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,427	**1,189**
390	220	27,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,427	**1,189**
390	220	31,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	36,0	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,524	**1,270**
390	220	40,5	0,564	0,921	2,319	1,0	1,0	2,319	1,565	**1,304**

- Ztužení v rovině podest

Ztužení je provedeno z kulatiny Ø160 mm.



Obrázek 19 *Vyznačení ztužení v rovině podest v konstrukci*

Tlak větru na vnější povrchy:

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b$$

kde

$c_s c_d = 0{,}921$	součinitel konstrukce;	
$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$	součinitel síly;	(7.19)
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak větru ve výšce "z", viz Tabulka 4;	
b	šířka prvku vystavená účinku větru, zde průměr prvku;	

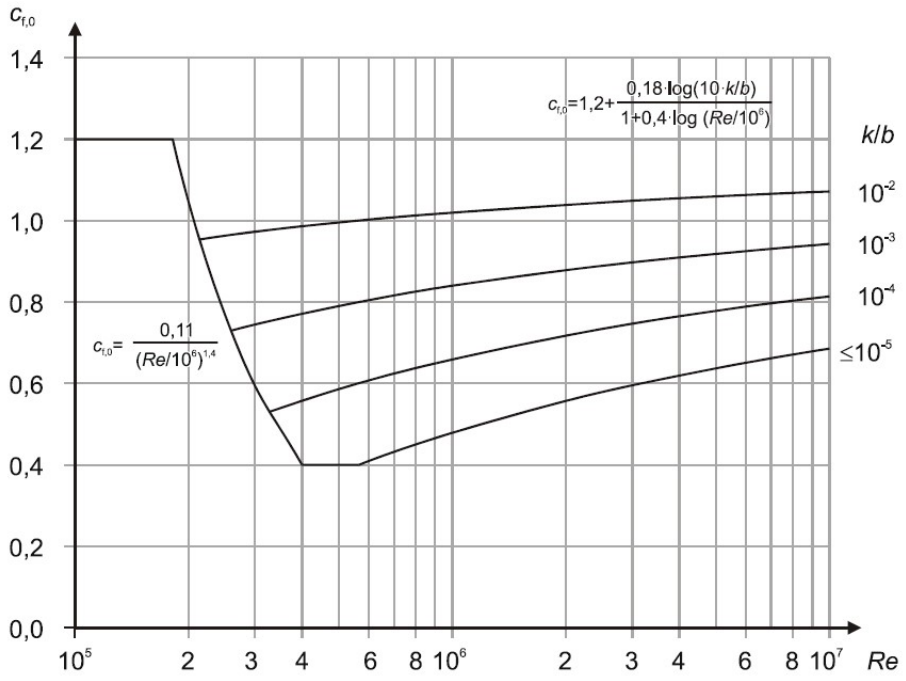
$c_{f,0}$ součinitel síly pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců, získá se odečtením z grafu závislosti $c_{f,0}$ na Reynoldsově čísle Re a poměru ekvivalentní drsnosti povrchu "k" k zatěžovací šířce;

$\psi_\lambda = 1,0$ součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \qquad (7.15)$$

kde

$\nu = 15 \,.\, 10^{-6}\ m^2/s$ kinematická viskozita vzduchu;
$v(z) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}$ maximální rychlost větru;
$\rho = 1,25\ kg/m^3$ měrná hmotnost vzduch.



Obrázek 20 *Součinitel síly $c_{f,0}$ pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b*

Dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, tabulky 7.13 je ekvivalentní drsnost hoblovaného dřeva k = 0,5.

Tabulka 11 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy prvků ztužení v rovině podest*

b [mm]	z [m]	$q_p(z)$ [kN/m²]	v(z) [m/s]	k/b [.10⁻³]	Re [.10⁵]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	**w_e [kN/m]**
160	4,5	1,080	41,58	3,1	4,43	0,921	0,841	1,0	0,841	**0,134**
160	9,0	1,080	41,58	3,1	4,43	0,921	0,841	1,0	0,841	**0,134**
160	13,5	1,294	45,51	3,1	4,85	0,921	0,861	1,0	0,861	**0,164**
160	18,0	1,294	45,51	3,1	4,85	0,921	0,861	1,0	0,861	**0,164**
160	22,5	1,427	47,78	3,1	5,10	0,921	0,855	1,0	0,855	**0,180**
160	27,0	1,427	47,78	3,1	5,10	0,921	0,855	1,0	0,855	**0,180**
160	31,5	1,524	49,39	3,1	5,27	0,921	0,857	1,0	0,857	**0,193**
160	36,0	1,524	49,39	3,1	5,27	0,921	0,857	1,0	0,857	**0,193**
160	40,5	1,565	50,04	3,1	5,34	0,921	0,858	1,0	0,858	**0,198**

- Schodišťové sloupy

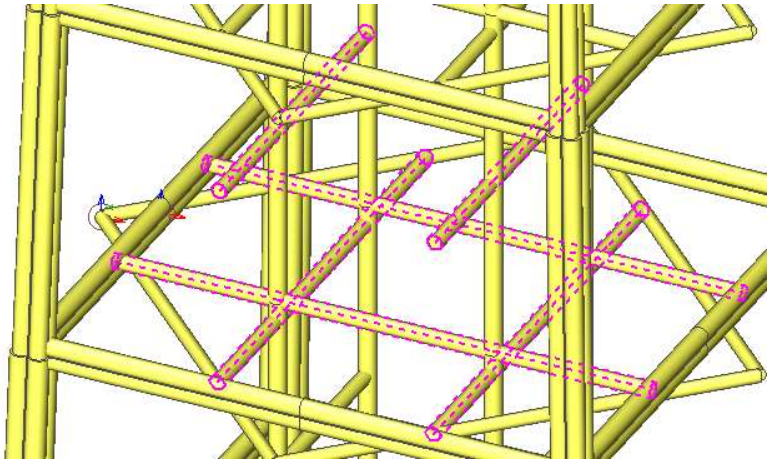
Sloupy jsou provedeny z kulatin Ø300, Ø280 a Ø220 mm.

Tabulka 12 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy schodišťových sloupů*

b [mm]	z [m]	$q_p(z)$ [kN/m²]	v(z) [m/s]	k/b [.10⁻³]	Re [.10⁵]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	**w_e [kN/m]**
300	4,5	1,080	41,58	1,7	8,32	0,921	0,849	1,0	0,849	**0,253**
300	9,0	1,080	41,58	1,7	8,32	0,921	0,849	1,0	0,849	**0,253**
300	13,5	1,294	45,51	1,7	9,10	0,921	0,853	1,0	0,853	**0,305**
300	18,0	1,294	45,51	1,7	9,10	0,921	0,853	1,0	0,853	**0,305**
280	22,5	1,427	47,78	1,8	8,92	0,921	0,853	1,0	0,853	**0,314**
220	27,0	1,427	47,78	2,3	7,01	0,921	0,840	1,0	0,840	**0,243**
220	31,5	1,524	49,39	2,3	7,24	0,921	0,849	1,0	0,849	**0,262**
220	36,0	1,524	49,39	2,3	7,24	0,921	0,849	1,0	0,849	**0,262**
220	40,5	1,565	50,04	2,3	7,34	0,921	0,850	1,0	0,850	**0,270**
220	40,5+	1,644	51,29	2,3	7,52	0,921	0,852	1,0	0,852	**0,284**

- Podestové nosníky

Nosníky jsou provedeny z kulatiny Ø180 mm.



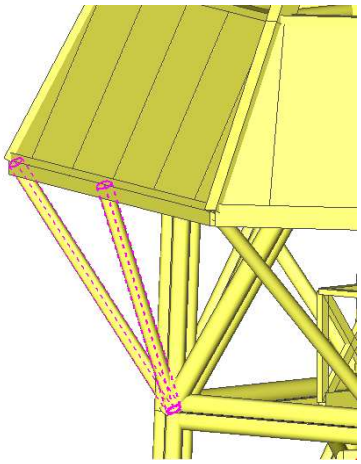
Obrázek 21 *Vyznačení podestových a mezipodestových nosníků v konstrukci*

Tabulka 13 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy podestových a mezipodestových nosníků*

b [mm]	z [m]	$q_p(z)$ [kN/m²]	v(z) [m/s]	k/b [.10⁻³]	Re [.10⁵]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	**w_e [kN/m]**
180	4,5	1,080	41,58	2,8	8,32	0,921	0,845	1,0	0,845	**0,155**
180	9,0	1,080	41,58	2,8	8,32	0,921	0,845	1,0	0,845	**0,155**
180	13,5	1,294	45,51	2,8	9,10	0,921	0,864	1,0	0,864	**0,186**
180	18,0	1,294	45,51	2,8	9,10	0,921	0,864	1,0	0,864	**0,186**
180	22,5	1,427	47,78	2,8	8,92	0,921	0,858	1,0	0,858	**0,205**
180	27,0	1,427	47,78	2,8	7,01	0,921	0,858	1,0	0,858	**0,205**
180	31,5	1,524	49,39	2,8	7,24	0,921	0,861	1,0	0,861	**0,219**
180	36,0	1,524	49,39	2,8	7,24	0,921	0,861	1,0	0,861	**0,219**
180	40,5	1,565	50,04	2,8	7,34	0,921	0,862	1,0	0,862	**0,225**

- Vzpěry u límce

Vzpěry jsou provedeny z kulatiny Ø160 mm.



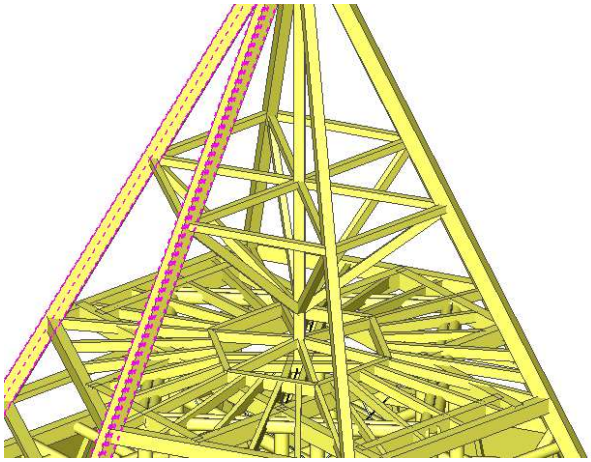
Obrázek 22 *Vyznačení vzpěr v konstrukci*

Tabulka 13 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy vzpěr*

b [mm]	z [m]	$q_p(z)$ [kN/m²]	v(z) [m/s]	k/b [.10⁻³]	Re [.10⁵]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	**w_e [kN/m]**
160	40,5	1,565	50,04	3,1	5,34	0,921	0,858	1,0	0,858	**0,198**

- Krokev střechy

Krokve jsou provedeny z lepeného lamelového dřeva.



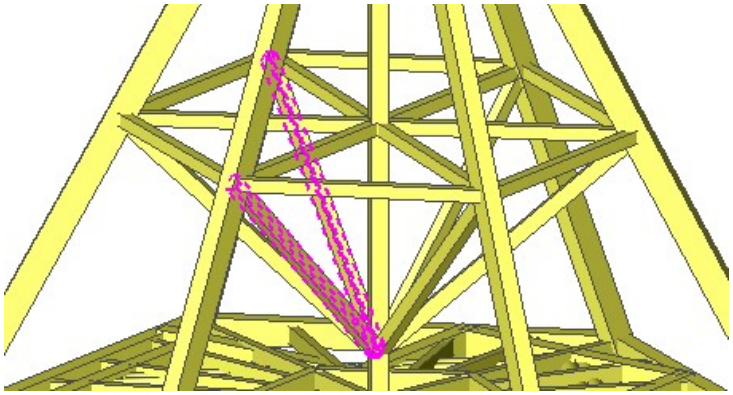
Obrázek 23 *Vyznačení krokví v konstrukci střechy*

Tabulka 14 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy krokví*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m^2]	**w_e [kN/m]**
160	260	50,68	1,625	0,921	1,829	1,0	1,0	1,829	1,644	**0,443**
260	160	50,68	0,615	0,921	2,358	1,0	1,0	2,358	1,644	**0,928**

- Vzpěry střechy

Vzpěry jsou provedeny z lepeného lamelového dřeva.



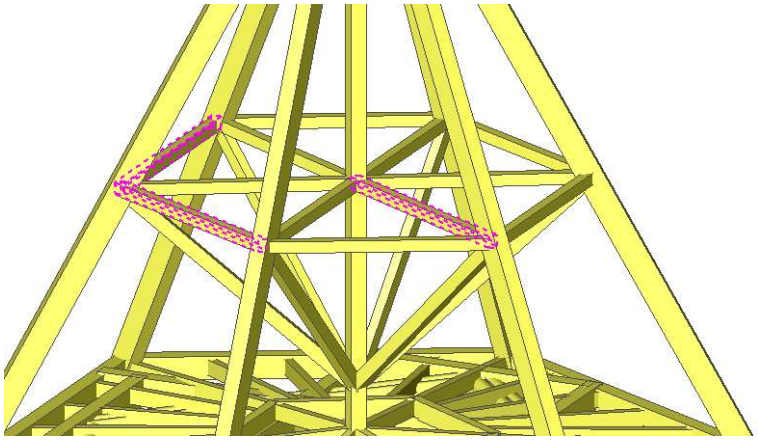
Obrázek 24 *Vyznačení vzpěr v konstrukci střechy*

Tabulka 15 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy vzpěr*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
100	140	46,06	1,400	0,921	1,920	1,0	1,0	1,920	1,644	**0,291**
140	100	46,06	0,714	0,921	2,386	1,0	1,0	2,386	1,644	**0,506**

- Rozpěry střechy

Rozpěry jsou provedeny z lepeného lamelového dřeva.



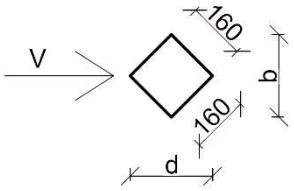
Obrázek 25 *Vyznačení rozpěr v konstrukci střechy*

Tabulka 16 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrchy rozpěr*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
120	100	46,06	1,833	0,921	2,267	1,0	1,0	2,267	1,644	**0,412**

- Středový sloupek střechy

Sloupek je proveden z lepeného lamelového dřeva a má rozměry 160/160. Vůči uvažovanému působení větru je pootočen o 45°, proto rozměry "b" a "d" uvažuji jako přeponu trojúhelníku nad odvěsnami 160 mm.



Obrázek 26 *Schéma uvažovaného působení větru na sloupek*

Tabulka 17 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na vnější povrch středového sloupku*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
226	226	50,68	1,0	0,921	2,1	1,0	1,0	2,1	1,644	**0,720**

- Zábradlí

Výplň zábradlí tvoří prkna 30/100 a mají mezi sebou mezeru 100 mm. Výška zábradlí je 1,2 m. Pro výpočet liniového zatížení působícího na zábradlí, proto uvažuji výšku zatěžované plochy rovnou h/2.

$w_e = c_s c_d \,.\, q_{pe}(z) \,.\, h_{zábradlí}/2$

Tabulka 18 *Charakteristická hodnota tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") na zábradlí*

h/2 [m]	z [m]	$c_s c_d$ [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**w_e [kN/m]**
0,6	4,5	0,921	1,080	0,597
0,6	9,0	0,921	1,080	0,597
0,6	13,5	0,921	1,294	0,715
0,6	18,0	0,921	1,294	0,715
0,6	22,5	0,921	1,427	0,789
0,6	27,0	0,921	1,427	0,789
0,6	31,5	0,921	1,524	0,842
0,6	36,0	0,921	1,524	0,842
0,6	40,5	0,921	1,565	0,865
0,6	40,5+	0,921	1,644	0,909

- Antény

Jak jsem uvedl v kapitole 1.1.2 rozměry antén je 2438x330x203 mm a upevněny jsou ve dvou bodech.

Výpočet bude proveden stejně jako pro nosné prvky obdélníkového průřezu jen s tím rozdílem, že zde se již projeví vliv koncového efektu, dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, kap. 7.13.

Efektivní štíhlost dle Tabulky 7.16:

Pro obdélníkové průřezy:

$\lambda = 2 \cdot l/b$

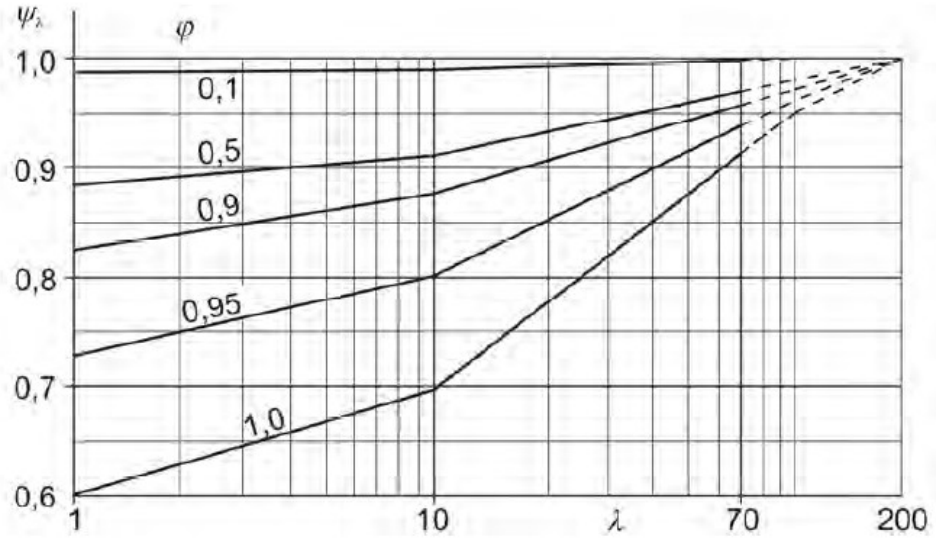
$\lambda_1 = 2 \cdot 2438/330 = 14{,}8$

$\lambda_2 = 2 \cdot 2438/203 = 24{,}0$

$\varphi_{1,2} = 1{,}0$

$\psi_{\lambda,1} = 0{,}724$

$\psi_{\lambda,2} = 0{,}795$



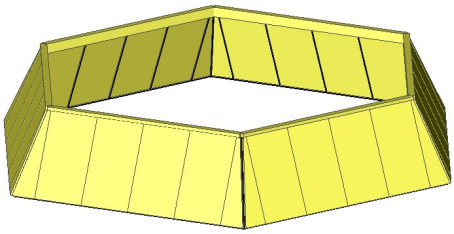
Obrázek 27 *Směrné hodnoty součinitele koncového efektu ψ_λ jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ*

Tabulka 19 *Charakteristická hodnota síly tlaku větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y"), která vznikne působením větru na antény umístěné na stříšce nad vyhlídkou*

b [mm]	d [mm]	z [m]	d/b [-]	A [m²]	$c_s c_d$ [-]	$c_{f,0}$ [-]	ψ_r [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN/m²]	**F_e [kN]**
203	330	43,5	1,626	0,49	0,921	1,818	1,0	0,724	1,318	1,644	**0,988**
330	203	43,5	0,615	0,80	0,921	2,358	1,0	0,795	1,875	1,644	**2,284**

- Střešní límec

Střešní límec má tvar šestiúhelníku a sklon střechy 63°. K výpočtu zatížení větrem jsem použil kapitolu 7.2.6 Valbové střechy dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2.



Obrázek 28 *Pohled na střešní límec*

$w_e = c_s c_d \,.\, q_{pe}(z) \,.\, c_{pe}$

kde c_{pe} je součinitel vnější síly a určí se dle Obrázku 30.

Úhel sklonu	Oblast pro směr větru $\theta = 0°$ a $\theta = 90°$																	
α_0 pro $\theta = 0°$	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
α_{90} pro $\theta = 90°$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	–1,7	–2,5	–1,2	–2,0	–0,6	–1,2	–0,3		–0,6		–0,6		–1,2	–2,0	–0,6	–1,2	–0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	–0,9	–2,0	–0,8	–1,5	–0,3		–0,5		–1,0	–1,5	–1,2	–2,0	–1,4	–2,0	–0,6	–1,2	–0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	–0,5	–1,5	–0,5	–1,5	–0,2		–0,4		–0,7	–1,2	–0,5		–1,4	–2,0	–0,8	–1,2	–0,2	
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	–0,0		–0,0		–0,0		–0,3		–0,6		–0,3		–1,3	–2,0	–0,8	–1,2	–0,2	
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		–0,3		–0,6		–0,3		–1,2	–2,0	–0,4		–0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		–0,3		–0,6		–0,3		–1,2	–2,0	–0,4		–0,2	

POZNÁMKA 1 Při $\theta = 0°$ se na návětrné straně pro úhly sklonu $\alpha = +5°$ až $+45°$ tlaky prudce mění mezi kladnými a zápornými hodnotami; proto jsou uvedeny kladné a záporné hodnoty. Pro tyto střechy se mají uvažovat dva případy: jeden se všemi kladnými hodnotami a druhý se všemi zápornými hodnotami. Nelze použít smíšené kladné a záporné hodnoty.

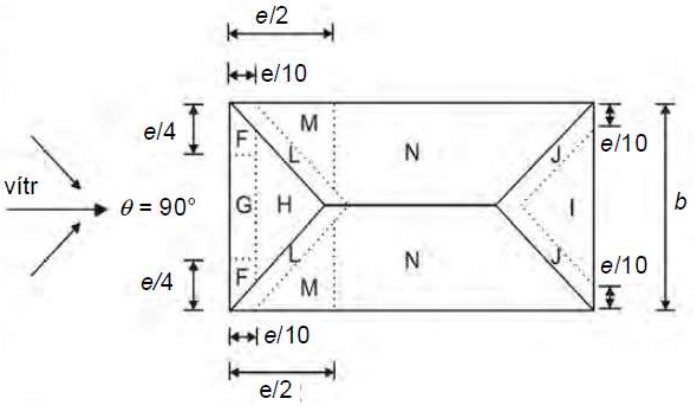
POZNÁMKA 2 Pro mezilehlé úhly sklonu stejného znaménka lze použít lineární interpolaci mezi hodnotami součinitelů se stejným znaménkem. Hodnoty 0,0 jsou uvedeny pro potřeby interpolace.

POZNÁMKA 3 Součinitele tlaku budou vždy určovány sklonem návětrné plochy.

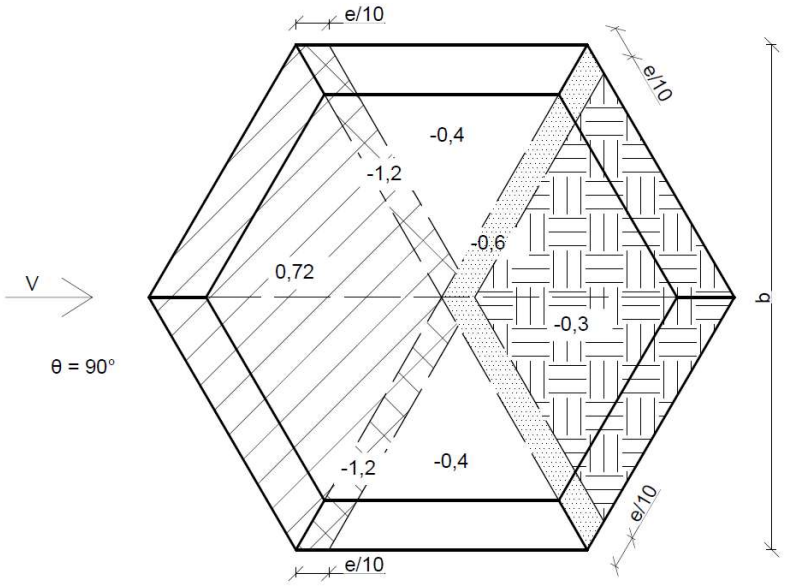
Obrázek 29 *Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro valbové střechy pozemních staveb dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Tabulka 7.5*

Tabulka 20 *Charakteristická hodnota tlaků a sání větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") působících na střešní límec ve výšce z=40,5 m*

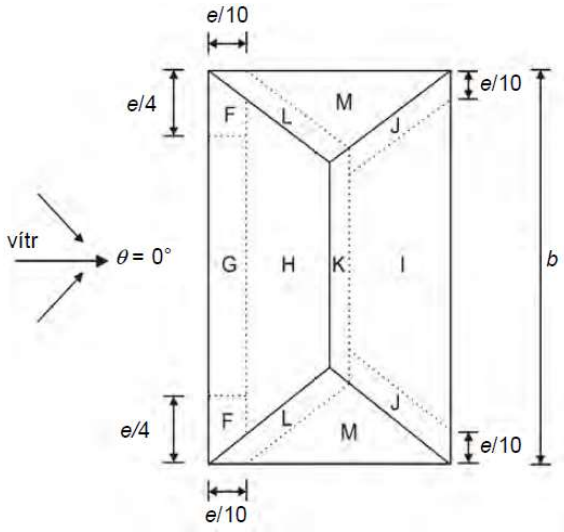
$q_p(z)$ [kN/m²]	oblast	c_{pe} [-]	$c_s c_d$ [-]	**w_e [kN/m²]**	poznámka
1,565	F	0,72	0,921	**1,052**	tlak
1,565	G	0,72	0,921	**1,052**	tlak
1,565	H	0,72	0,921	**1,052**	tlak
1,565	I	-0,3	0,921	**-0,432**	sání
1,565	J	-0,6	0,921	**-0,865**	sání
1,565	K	-0,3	0,921	**-0,432**	sání
1,565	L	-1,2	0,921	**-1,730**	sání
1,565	M	-0,4	0,921	**-0,573**	sání
1,565	N	-0,2	0,921	**-0,288**	sání



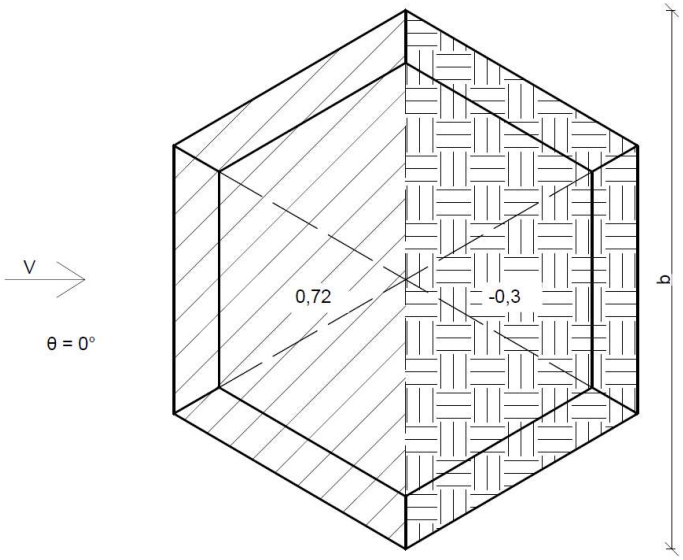
Obrázek 30 *Legenda pro valbové střechy dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Obrázek 7.9*



Obrázek 31 *Uvažované rozdělení tlaků a sání na límec pro Vítr "X", e = b*



Obrázek 32 *Legenda pro valbové střechy dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, Obrázek 7.9*

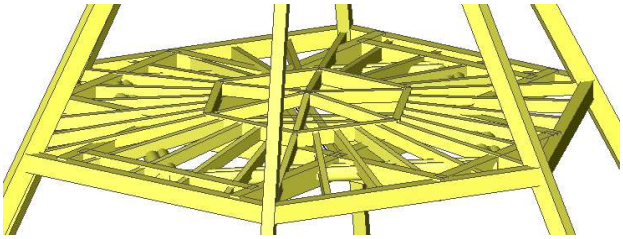


Obrázek 33 *Uvažované rozdělení tlaků a sání na límec pro Vítr "Y", e = b*

- Stříška nad vyhlídkou

Stříška má také tvar šestiúhelníku a zastřešuje vyhlídkovou plošinu. Zároveň slouží jako podpůrná konstrukce pro umístění antén.

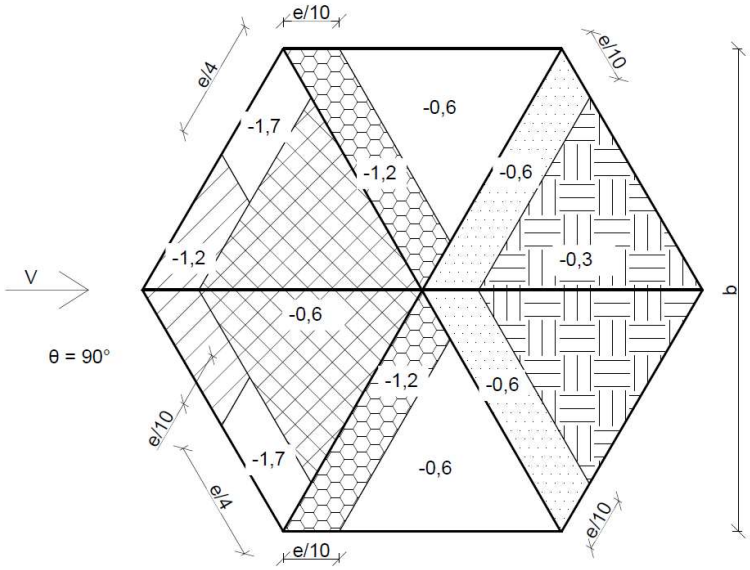
Zvolil jsem stejný postup jako v případě límce, tedy považuji stříšku za „valbovou střechu", se sklonem 5°.



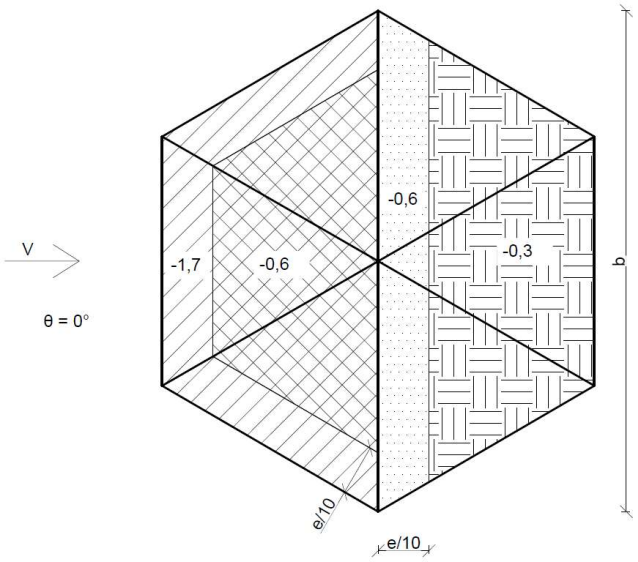
Obrázek 34 *Pohled na konstrukci zastřešení*

Tabulka 21 *Charakteristická hodnota tlaků a sání větru v zatěžovacích stavech LC5a (Vítr "X") a LC5b (Vítr "Y") působících na stříšku ve výšce z=43,7 m*

$q_p(z)$ [kN/m²]	oblast	c_{pe} [-]	$c_s c_d$ [-]	**w_e [kN/m²]**	poznámka
1,644	F	-1,7	0,921	**-2,574**	sání
1,644	G	-1,2	0,921	**-1,817**	sání
1,644	H	-0,6	0,921	**-0,909**	sání
1,644	I	-0,3	0,921	**-0,454**	sání
1,644	J	-0,6	0,921	**-0,909**	sání
1,644	K	-0,6	0,921	**-0,909**	sání
1,644	L	-1,2	0,921	**-1,817**	sání
1,644	M	-0,6	0,921	**-0,909**	sání
1,644	N	-0,4	0,921	**-0,606**	sání



Obrázek 35 *Uvažované rozdělení tlaků a sání na stříšku pro Vítr "X", e = b*



Obrázek 36 *Uvažované rozdělení tlaků a sání na stříšku pro Vítr "Y", e = b*

1.3 Kombinace zatížení

1.3.1 Přehled zatěžovacích stavů

Stálé:

- LC1 – Vlastní tíha
- LC2 – Ostatní stálé

Proměnné:

- LC3 – Užitné
- LC4 – Sníh
- LC5a – Vítr "X"
- LC5b – Vítr "Y"

1.3.2 Použité kombinace pro mezní stav únosnosti

Ve výpočtu jsem použil v souladu s normou ČSN EN 1990 tyto kombinace zatížení:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_P P"+"\gamma_{Q,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \tag{6.10}$$

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_P P"+"\gamma_{Q,1}\psi_{0,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \tag{6.10a}$$

$$\sum_{j\geq 1}\xi_j\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_P P"+"\gamma_{Q,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \tag{6.10b}$$

Seznam dílčích a kombinačních součinitelů:

Dílčí součinitelé:

$\gamma_G = 1,35$
$\gamma_Q = 1,5$

Kombinační součinitelé:

Užitné – kategorie C: $\Psi_0 = 0,7$

Sníh: $\Psi_0 = 0,5$

Vítr: $\Psi_0 = 0,6$

Redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení:

$\xi = 0,85$

Tabulka 22 *Seznam použitých kombinací pro mezní stav únosnosti*

Jméno	Popis	Zatěžovací stavy	Součinitel
CO1	6.10a provoz a vítr "X"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,05
		LC5a	0,90
CO2	6.10a provoz a vítr "Y"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,05
		LC5b	0,90
CO3	6.10a zima a vítr "X"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC4	0,75
		LC5a	0,90
CO4	6.10a zima a vítr "Y"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC4	0,75
		LC5b	0,90
CO5	6.10b provoz a max vítr "X"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC3	1,05
		LC5a	1,50
CO6	6.10b provoz a max vítr "Y"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC3	1,05
		LC5b	0,90

Pokračování na následující straně.

CO7	6.10b zima a max vítr "X"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC4	0,75
		LC5a	1,50
CO8	6.10a zima a max vítr "Y"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC4	0,75
		LC5b	1,05
CO9	6.10b provoz a vítr "X"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC3	1,50
		LC5a	0,90
CO10	6.10b provoz a vítr "Y"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC3	1,50
		LC5b	0,90
CO11	6.10b zima a vítr "X"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC4	1,50
		LC5a	0,90
CO12	6.10b zima a vítr "Y"	LC1	1,15
		LC2	1,15
		LC4	1,50
		LC5b	0,90
CO13	6.10 pouze užitné	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,50
CO14	6.10 pouze sníh	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,50
CO15	6.10 pouze vítr "X"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,50
CO16	6.10 pouze vítr "Y"	LC1	1,35
		LC2	1,35
		LC3	1,50

1.3.3 Použité kombinace pro mezní stav použitelnosti

Ve výpočtu jsem použil v souladu s normou ČSN EN 1990 častou kombinaci zatížení:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \qquad (6.15b)$$

Dále jsem použil kombinace bez jakýchkoliv kombinačních součinitelů pro jednotlivá proměnlivá zatížení (viz Tabulka 23).

Seznam kombinačních součinitelů:

Kombinační součinitelé:

Užitné – kategorie C: $\Psi_1 = 0,7$
$\Psi_2 = 0,6$

Sníh: $\Psi_1 = 0,2$
$\Psi_2 = 0,0$

Vítr: $\Psi_0 = 0,2$
$\Psi_2 = 0,0$

Tabulka 23 *Seznam použitých kombinací pro mezní stav použitelnosti*

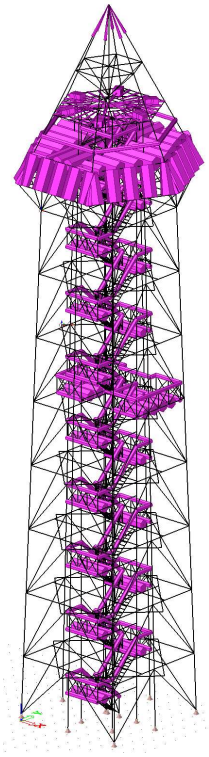
Jméno	Popis	Zatěžovací stavy	Součinitel
CO17	častá provoz a vítr "X"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC3	0,70
		LC5a	0,00
CO18	častá provoz a vítr "Y"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC3	0,70
		LC5b	0,00
CO19	častá zima a vítr "X"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC4	0,20
		LC5a	0,00
CO20	častá zima a vítr "Y"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC4	0,20
		LC5b	0,00
CO21	častá provoz a max vítr "X"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC3	0,60
		LC5a	0,20
CO22	častá provoz a max vítr "Y"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC3	0,60
		LC5b	0,20
CO23	častá zima a max vítr "X"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC4	0,00
		LC5a	0,20

Pokračování na následující straně.

CO24	častá zima a max vítr "Y"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC4	0,00
		LC5b	0,20
CO25	pouze užitné	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC3	1,00
CO26	pouze sníh	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC4	1,00
CO27	pouze vítr "X"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC5a	1,00
CO28	pouze vítr "Y"	LC1	1,00
		LC2	1,00
		LC5b	1,00

2 Dynamická analýza

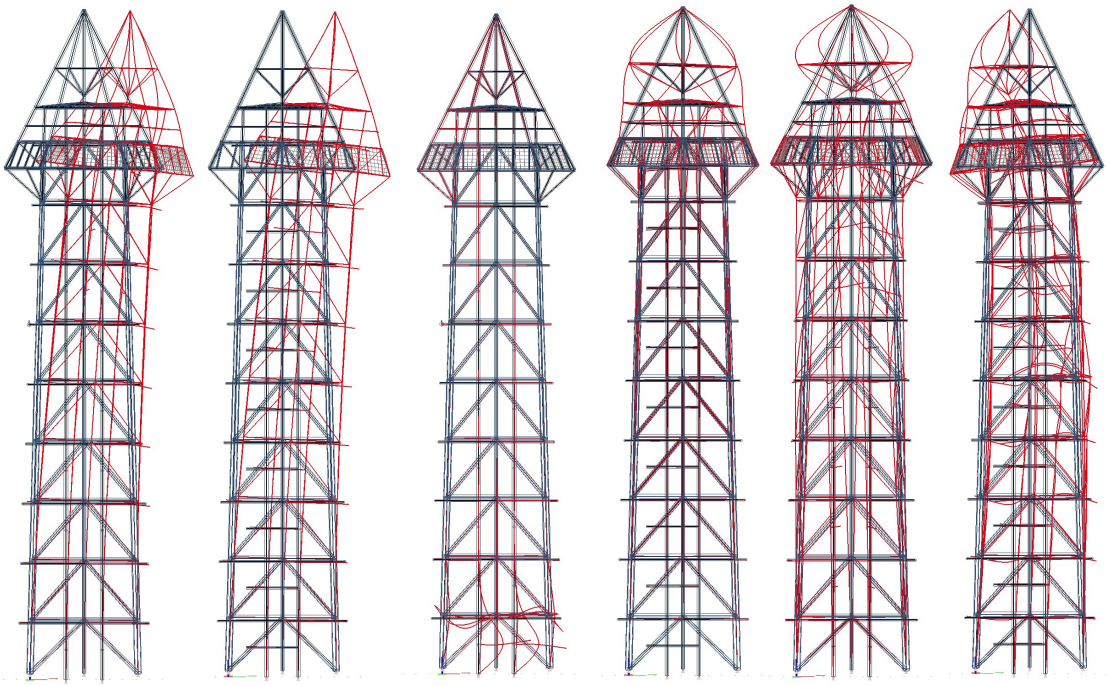
Dynamickou analýzu jsem provedl pomocí programu Scia Engineer. Hmoty vstupující do dynamické analýzy vygenerovány ze stálého zatížení, tzn. ze zatěžovacích stavů LC1 – Vlastní tíha a LC2 – Ostatní stálé.



Obrázek 37 *Vygenerované hmoty ze zatěžovacího stavu LC2*

Tabulka 24 *Výsledky dynamické analýzy, první vlastní frekvence použita pro výpočet součinitele konstrukce* $c_s c_d$

Vlastní tvar	Vlastní frekvence – n [Hz]	Vlastní kruhová frekvence – ω [1/s]	Vlastní kruhové zrychlení – ω^2 [1/s^2]	Vlastní perioda kmitání – T [s]
1	**2,82**	**17,70**	**313,39**	**0,35**
2	2,87	18,05	325,79	0,35
3	4,33	27,20	739,62	0,23
4	4,75	29,86	891,44	0,21
5	6,65	41,76	1743,81	0,15
6	6,66	41,82	1748,56	0,15



Obrázek 38 *Výsledné vlastní tvary konstrukce*

3 Posouzení vybraných nosných prvků

3.1 Použité materiály

3.1.1 Ocel

Ocel S355

$\gamma_M = 1$

$f_{uk} = 510$ MPa	charakteristická mez pevnosti
$f_{ud} = 510$ MPa	návrhová mez pevnosti
$f_{yk} = 355$ MPa	charakteristická mez kluzu
$f_{yd} = 355$ MPa	charakteristická mez kluzu
$\rho_s = 7850$ kg/m3	hustota
$E_s = 210000$ MPa	modul pružnosti
$G_s = 80700$ MPa	modul pružnosti ve smyku
$\nu = 0,3$	součinitel příčné deformace v pružné oblasti

3.1.2 Dřevo

C24

Třída provozu: 3

$k_{mod} = 0,7$	krátkodobé zatížení

$\gamma_M = 1,3$

$f_{m,k} = 24$ MPa	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{t,0,k} = 14$ MPa	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,k} = 0,5$ MPa	charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{c,0,k} = 21$ MPa	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k} = 2,5$ MPa	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{v,k} = 2,5$ MPa	charakteristická pevnost ve smyku
$E_{0,mean} = 11000$ MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{0,05} = 7400$ MPa	5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{90,mean} = 370$ MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům
$G_{mean} = 630$ MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku

ρ_k = 350 kg/m^3	charakteristická hustota
ρ_{mean} = 420kg/m^3	průměrná hodnota hustoty

$f_{m,d}$ = 12,92 MPa	návrhová pevnost v ohybu
$f_{t,0,d}$ = 7,54 MPa	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,d}$ = 0,27 MPa	návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,d}$ = 1,35 MPa	návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{v,d}$ =1,35 MPa	návrhová pevnost ve smyku

GL24h

Třída provozu:3

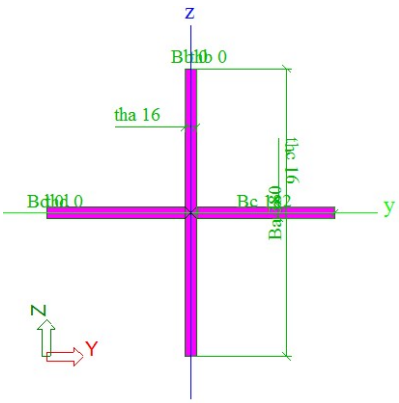
k_{mod} = 0,7	krátkodobé zatížení
γ_M = 1,25	

$f_{m,g,k}$ = 24 MPa	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{t,0,g,k}$ = 16,5 MPa	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 MPa	charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{c,0,g,k}$ = 24 MPa	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,g,k}$ = 2,7 MPa	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{v,g,k}$ = 2,7 MPa	charakteristická pevnost ve smyku
$E_{0,g,mean}$ = 11600 MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{g,0,05}$ = 9400 MPa	5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{90,g,mean}$ = 390 MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům
$G_{g,mean}$ = 720 MPa	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku
$\rho_{g,k}$ = 380 kg/m^3	charakteristická hustota
$\rho_{g,mean}$ = 420kg/m^3	průměrná hodnota hustoty

$f_{m,g,d}$ = 12,92 MPa	návrhová pevnost v ohybu
$f_{t,0,g,d}$ = 7,54 MPa	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,g,d}$ = 0,27 MPa	návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{c,0,g,d}$ = 11,31 MPa	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,g,d}$ = 1,35 MPa	návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{v,g,d}$ =1,35 MPa	návrhová pevnost ve smyku

3.2 Ocelové prvky

- Nárožník ve 2.NP



Obrázek 39 *Příčný řez posuzovaného nárožníku*

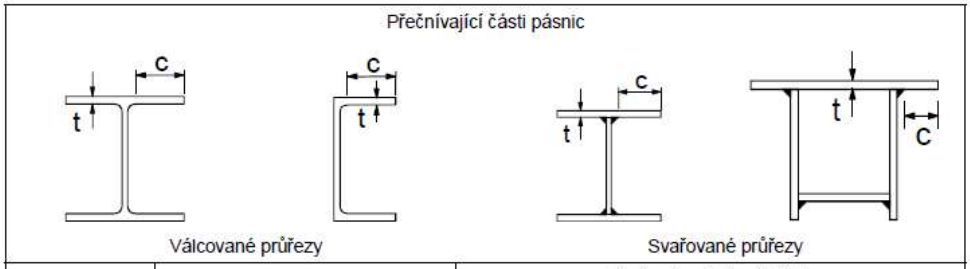
Geometrie:

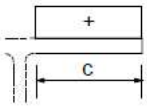
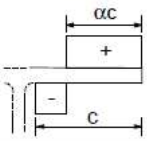
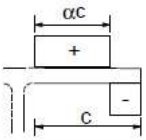
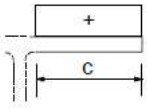
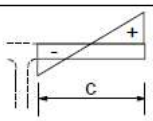
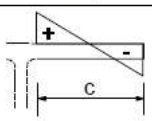
h =	380	mm					
b =	380	mm					
t =	16	mm					
L =	4,5	m	β_y =	1,0	$L_{cr,y}$ =	4,5	m
A =	11904	mm^2	β_z =	1,0	$L_{cr,z}$ =	4,5	m
I_y =	7,33E+07	mm^4					
I_z =	7,33E+07	mm^4					
i_y =	78,46	mm					
i_z =	78,46	mm					
$W_{el,y}$ =	3,86E+05	mm^3					
$W_{el,z}$ =	3,86E+05	mm^3					
$W_{pl,y}$ =	6,01E+05	mm^3					
$W_{pl,z}$ =	6,01E+05	mm^3					

Vnitřní síly na prvku

N_{Ed}^{+} =	1186,74	kN
N_{Ed}^{-} =	1409,93	kN
$V_{z,Ed}$ =	2,27	kN
$M_{y,Ed}$ =	3,79	kNm
$V_{y,Ed}$ =	2,32	kN
$M_{z,Ed}$ =	3,83	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,02	kNm

klasifikace průřezů dle ČSN EN 1993-1-1
vzpěrnostní křivka pro svařované průřezy: c dle Tabulky 6.2
α = 0,49 součinitel imperfekce dle Tabulky 6.1
$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$
ε = 0,81
c = 172 mm rozhoduje tlačený konec
c/t = 10,75 ≤ 9*ε/α = 14,94 Obrázek 41
→ třída 1



Třída průřezu	Tlačená část	Tlačená a ohýbaná část	
		tlačený konec	tažený konec
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)			
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)			
3	$c/t \le 14\varepsilon$	$c/t \le 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ se určí podle EN 1993-1-5	

$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Obrázek 40 *Největší poměry šířky a tloušťky tlačených částí dle Tabulky 5.2*

Posouzení na tah
$N_{t,Rd} = f_{yd} * A \ge N_{Ed}$ (6.5)
N_{Ed}^{+} = 1186,74 kN
$N_{t,Rd}$ = 4225,92 kN
N_{Ed}^{+} = 1186,74 ≤ $N_{t,Rd}$ = 4225,92 [kN] OK
Prvek na tah vyhoví.

Posouzení na tah - oslabený průřez

$N_{u,Rd} = 0,9*A_{net}*f_u/\gamma_{M2} \geq N_{Ed}^{+}$ (6.7)

$A_{net} = A-n*d_0^2/4$

$d_0 =$ 24 mm

$n =$ 4

$A_{net} =$ 11328 mm^2

$N_{Ed}^{+} =$ 1186,74 kN

$N_{u,Rd} =$ 4159,64 kN

$N_{Ed}^{+} =$ 1186,74 ≤ $N_{u,Rd} =$ 4159,64 [kN] OK

Prvek s oslabeným průřezem na tah vyhoví.

Posouzení na vzpěrný tlak

$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ poměrná štíhlost (6.50)

$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ srovnávací štíhlost

$\lambda_1 =$ 76,409

$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y$ kritická štíhlost

$\lambda_y =$ 57,352

$\overline{\lambda}_y =$ 0,751

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

$\varphi =$ 0,917

$\chi = 1/(\varphi+(\varphi^2-\overline{\lambda}^2))^{1/2}$ (6.49)

$\chi_y =$ 0,693 součinitel vzpěrnosti

$N_{b,Rd} = \chi*f_{yd}*A \geq N_{Ed}^{-}$ (6.46)

$N_{Ed}^{-} =$ 1410 kN

$N_{b,Rd} =$ 2929,28 kN

$N_{Ed}^{-} =$ 1409,93 ≤ $N_{b,Rd} =$ 2929,28 [kN] OK

Prvek na vzpěrný tlak vyhoví.

Posouzení na ohyb

$M_{el,y} = f_{yd}*W_{el,y}$ (6.14)

$M_{y,Ed} =$ 3,788 kNm

$M_{el,y} =$ 136,93 kNm

$M_{y,Ed} =$ 3,79 ≤ $M_{el,y} =$ 136,93 [kNm] OK

Prvek na ohyb vyhoví.

$M_{el,z} = f_{yd} * W_{el,z}$ (6.14)

$M_{z,Ed} =$ 3,831 kNm

$M_{el,z} =$ 136,93 kNm

$M_{z,Ed}$ = 3,83 ≤ $M_{el,z}$ = 136,93 [kNm] OK

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

0,48 + 0,03 + 0,03 = 0,54 ≤ 1,0 OK

Prvek na kombinaci ohybu a vzpěrného tlaku vyhoví.

Kombinace ohybu a tahu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

Pozn.: $N_{Rd} = N_{net,Rd}$ oslabeného průřezu

0,30 + 0,03 + 0,03 = 0,35 ≤ 1,0 OK

Prvek na kombinaci ohybu a tahu vyhoví.

Posouzení na smyk

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0 \quad (6.17)$$

$V_{c,Rd} = A_w * f_{yd} / 3^{1/2}$

$V_{Ed} =$ 2,324 kN

$V_{c,Rd} =$ 1246,15 kN

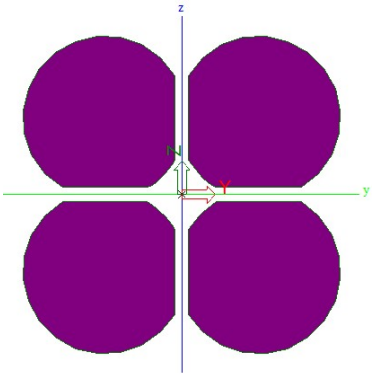
0,00 ≤ 1,0 OK

Prvek na smyk nevyhoví.

3.3 Dřevěné prvky

- Nárožník v 9. NP

Dřevěné nárožníky jsou tvořeny čtveřicí kulatin, které jsou ve styčnících a uprostřed dílce spojeny svorníky. Jelikož nelze říct, že takovýto průřez plně spolupůsobí a chová se jako celistvý prvek, rozhodl jsem se vnitřní síly rozdělit na jednotlivé kulatiny a ty posoudit na únosnost.



Obrázek 41 *Příčný řez nárožníkem, jak byl uvažován ve statickém modelu (4x180mm)*

Geometrie:

h =	167	mm				
b =	167	mm				
r =	180	mm				
L =	4,5	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	4,5 m
A =	23803	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	4,5 m
I_y =	4,52E+07	mm^4				
I_z =	4,56E+07	mm^4				
i_y =	44	mm				
i_z =	44	mm				
W_y =	4,81E+05	mm^3				
W_z =	5,07E+05	mm^3				

Vnitřní síly na prvku celkové			*Vnitřní síly na jednu kulatinu*		
N_{Ed}^+=	1,247	kN	N_{Ed}^+=	0,31	kN
N_{Ed}^-=	4,179	kN	N_{Ed}^-=	1,04	kN
$V_{z,Ed}$ =	19,255	kN	$V_{z,Ed}$ =	4,81	kN
$M_{y,Ed}$ =	31,617	kNm	$M_{y,Ed}$ =	7,9	kNm
$V_{y,Ed}$ =	11,536	kN	$V_{y,Ed}$ =	2,88	kN
$M_{z,Ed}$ =	17,966	kNm	$M_{z,Ed}$ =	4,49	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,267	kNm	$M_{x,Ed}$ =	0,07	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ = 0,01 MPa

$f_{t,0,d}$ = 7,54 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 0,01 ≤ $f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,04 MPa

$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,04 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

[1] $$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.11)$$

[2] $$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.12)$$

Hodnota součinitele k_m se má uvažovat takto:

- pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a LVL:
  - pro obdélníkové průřezy: $k_m = 0,7$;
  - pro ostatní průřezy: $k_m = 1,0$;

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ = 16,43 MPa

$\sigma_{m,z,d}$ = 8,87 MPa

$f_{m,y,d}$ = 12,92 MPa

$f_{m,z,d}$ = 12,92 MPa

k_m = 1,0

[1] **1,96 > 1,0 [-] NOK**

[2] **1,96 > 1,0 [-] NOK**

Prvek na ohyb nevyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.17)$$

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.18)$$

[1]	**1,96**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**1,96**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tahu nevyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \qquad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \qquad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 103,246

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 102,814

$\lambda_{rel,y} =$	1,751	>	0,3
$\lambda_{rel,z} =$	1,743	>	0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \qquad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \qquad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \qquad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \qquad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0{,}2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0{,}1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \qquad \beta_c = 0{,}2 \qquad (6.29)$$

k_y =	2,178			
k_z =	2,164			
$k_{c,y}$ =	0,288			
$k_{c,z}$ =	0,290			
[1]	**1,97**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**1,97**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \qquad (6.13)$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

kde $\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A}$,

$A_{y,eff}$ =	21962 mm^2	$A_{z,eff}$ =	21800 mm^2	
$\tau_{z,d}$ =	0,29 MPa			
$\tau_{y,d}$ =	0,18 MPa			
$f_{v,d}$ =	1,35 MPa			
$\tau_{z,d}$ =	**0,29**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,18**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape}\, f_{v,d} \qquad (6.14)$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1{+}0{,}15\,\frac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \qquad (6.15)$$

k_{shape} = 1,2

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

Tabulka 25 *Součinitel k_{tor}*

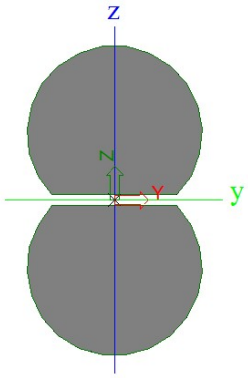
h/b	1	1,2	1,5	2	3	5	10	>10
k_{tor}	0,208	0,219	0,231	0,246	0,267	0,291	0,313	0,333

k_{tor} =	0,208		
$\tau_{tor,d}$ =	0,07 MPa		
$\tau_{tor,d}$ =	**0,07**	**≤**	**$k_{shape}f_{v,d}$ = 1,62 [MPa] OK**

Prvek na kroucení vyhoví.

- Středový sloup ve 3. NP

Středové sloupy jsou tvořeny dvojicí kulatin, které jsou ve styčnících a uprostřed dílce spojeny svorníky. Opět zvolím konzervativní přístup posouzení jako v předešlém případě.



Obrázek 42 *Příčný řez sloupem, jak byl uvažován ve statickém modelu (2x250mm)*

Geometrie:

b =	213	mm				
h =	250	mm				
r =	250	mm				
L =	4,5	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	4,5 m
A =	44552	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	4,5 m
I_y =	1,38E+08	mm^4				
I_z =	1,84E+08	mm^4				
i_y =	56	mm				
i_z =	64	mm				
W_y =	1,21E+06	mm^3				
W_z =	1,47E+06	mm^3				

Vnitřní síly na prvku celkové			*Vnitřní síly na jednu kulatinu*		
N_{Ed}^{+}=	359,466	kN	N_{Ed}^{+}=	179,733	kN
N_{Ed}^{-}=	434,769	kN	N_{Ed}^{-}=	217	kN
$V_{z,Ed}$ =	1,744	kN	$V_{z,Ed}$ =	0,87	kN
$M_{y,Ed}$ =	1,962	kNm	$M_{y,Ed}$ =	0,98	kNm
$V_{y,Ed}$ =	4,129	kN	$V_{y,Ed}$ =	2,06	kN
$M_{z,Ed}$ =	4,647	kNm	$M_{z,Ed}$ =	2,32	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,005	kNm	$M_{x,Ed}$ =	0	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ = 4,03 MPa

$f_{t,0,d}$ = 7,54 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 4,03 ≤ $f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 4,88 MPa

$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 4,88 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

[1] $$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.11)$$

[2] $$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.12)$$

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ = 0,81 MPa

$\sigma_{m,z,d}$ = 1,58 MPa

$f_{m,y,d}$ = 12,92 MPa

$f_{m,z,d}$ = 12,92 MPa

k_m = 1,0

[1]	**0,18**	**≤**	**1,0**	**[-]**	**OK**
[2]	**0,18**	**≤**	**1,0**	**[-]**	**OK**

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad (6.17)$$

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad (6.18)$$

[1]	**0,72**	**≤**	**1,0**	**[-]**	**OK**
[2]	**0,72**	**≤**	**1,0**	**[-]**	**OK**

Prvek na kombinaci ohybu a osvého tahu vyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \qquad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \qquad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 80,357

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 70,313

$\lambda_{rel,y} =$	1,363	**>**	0,3
$\lambda_{rel,z} =$	1,192	**>**	0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \qquad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \qquad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1+\beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right)+\lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1+\beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right)+\lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \qquad \beta_c = \boxed{0,2} \quad (6.29)$$

k_y =	1,535			
k_z =	1,300			
$k_{c,y}$ =	0,446			
$k_{c,z}$ =	0,550			
[1]	**1,15**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**0,97**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \quad (6.13)$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

$$\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A},$$

kde

$A_{y,eff}$ =	39206 mm^2		$A_{z,eff}$ =	39341 mm^2
$\tau_{z,d}$ =	0,03 MPa			
$\tau_{y,d}$ =	0,07 MPa			
$f_{v,d}$ =	1,35 MPa			
$\tau_{z,d}$ =	**0,03**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,07**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape}\, f_{v,d} \quad (6.14)$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0,15\,\frac{h}{b} \\ 2,0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \quad (6.15)$$

k_{shape} = $\boxed{1,2}$

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\,h\,b^2}$$

k_{tor} =	0,208		
$\tau_{tor,d}$ =	0,00	MPa	
$\tau_{tor,d}$ =	**0,00**	**≤**	**$k_{shape}f_{v,d}$ = 1,62 [MPa] OK**

Prvek na kroucení vyhoví.

- Vnitřní schodišťový sloup v 9.NP

Sloup je proveden z kulatiny o průměru 220 mm.

Geometrie:

h =	220	mm			
b =	220	mm			
r =	220	mm			
L =	4,5	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ = 4,5 m
A =	38013	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ = 4,5 m
I_y =	1,15E+08	mm^4			
I_z =	1,15E+08	mm^4			
i_y =	55	mm			
i_z =	55	mm			
W_y =	1,05E+06	mm^3			
W_z =	1,05E+06	mm^3			

Vnitřní síly

N_{Ed}^+ =	35,427	kN
N_{Ed}^- =	94,691	kN
$V_{z,Ed}$ =	4,633	kN
$M_{y,Ed}$ =	6,131	kNm
$V_{y,Ed}$ =	16,13	kN
$M_{z,Ed}$ =	3,219	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,049	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ =	0,93	MPa	
$f_{t,0,d}$ =	7,54	MPa	
$\sigma_{t,0,d}$ =	**0,93**	**≤**	**$f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK**

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d} =$ 2,49 MPa

$f_{c,0,d} =$ 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d} =$ 2,49 ≤ $f_{c,0,d} =$ 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

[1] $$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.11)$$

[2] $$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.12)$$

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d} =$ 5,86 MPa

$\sigma_{m,z,d} =$ 3,08 MPa

$f_{m,y,d} =$ 12,92 MPa

$f_{m,z,d} =$ 12,92 MPa

$k_m =$ 1,0

[1] **0,69 ≤ 1,0 [-] OK**

[2] **0,69 ≤ 1,0 [-] OK**

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.17)$$

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.18)$$

[1] **0,82 ≤ 1,0 [-] OK**

[2] **0,82 ≤ 1,0 [-] OK**

Prvek na kombinaci ohybu a osvého tahu vyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 81,818

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 81,818

$\lambda_{rel,y} =$ 1,387 > 0,3

$\lambda_{rel,z} =$ 1,387 > 0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad \beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$k_y =$ 1,571

$k_z =$ 1,571

$k_{c,y} =$ 0,433

$k_{c,z} =$ 0,433

[1] **1,20 > 1,0 [-] NOK**

[2] **1,20 > 1,0 [-] NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \tag{6.13}$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

$$\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A},$$

kde

$A_{y,eff}$ =	34243 mm^2		$A_{z,eff}$ =	34243 mm^2
$\tau_{z,d}$ =	0,18 MPa			
$\tau_{y,d}$ =	0,63 MPa			
$f_{v,d}$ =	1,35 MPa			
$\tau_{z,d}$ =	**0,18**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,63**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape}\, f_{v,d} \tag{6.14}$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0{,}15\,\dfrac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \tag{6.15}$$

k_{shape} = 1,2

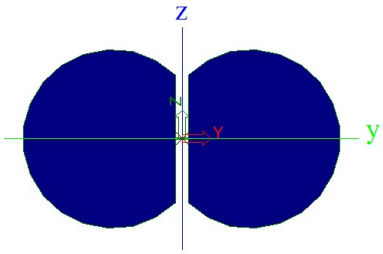
$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} =	0,208			
$\tau_{tor,d}$ =	0,02 MPa			
$\tau_{tor,d}$ =	**0,02**	**≤**	**$k_{shape}f_{v,d}$ =**	**1,62 [MPa] OK**

Prvek na kroucení vyhoví.

- Diagonála v 7.NP

Diagonály jsou tvořeny dvojicí kulatin, které jsou ve styčnících a uprostřed dílce spojeny svorníky. Opět zvolím stejný přístup jako u středového sloupu.



Obrázek 43 *Příčný řez diagonálou, jak byl uvažován ve statickém modelu (2x220mm)*

Geometrie:

h =	220	mm				
b =	187	mm				
r =	220	mm				
L =	5,637	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	5,637 m
A =	34432	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	5,637 m
I_y =	1,10E+08	mm^4				
I_z =	8,25E+07	mm^4				
i_y =	57	mm				
i_z =	49	mm				
W_y =	1,00E+06	mm^3				
W_z =	8,19E+05	mm^3				

Vnitřní síly na prvku celkové			*Vnitřní síly na jednu kulatinu*		
N_{Ed}^+=	206,97	kN	N_{Ed}^+=	103,5	kN
N_{Ed}^-=	212,804	kN	N_{Ed}^-=	106,4	kN
$V_{z,Ed}$ =	2,959	kN	$V_{z,Ed}$ =	1,48	kN
$M_{y,Ed}$ =	4,17	kNm	$M_{y,Ed}$ =	2,085	kNm
$V_{y,Ed}$ =	2,285	kN	$V_{y,Ed}$ =	1,143	kN
$M_{z,Ed}$ =	3,221	kNm	$M_{z,Ed}$ =	1,611	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,122	kNm	$M_{x,Ed}$ =	0,061	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ = 3,01 MPa

$f_{t,0,d}$ = 7,54 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 3,01 ≤ $f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 3,09 MPa

$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 3,09 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

Hodnota součinitele k_m se má uvažovat takto:

- pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a LVL:
  - pro obdélníkové průřezy: $k_m = 0,7$;
  - pro ostatní průřezy: $k_m = 1,0$;

[1] $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq$ (6.11)

[2] $k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq$ (6.12)

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ = 2,08 MPa

$\sigma_{m,z,d}$ = 1,97 MPa

$f_{m,y,d}$ = 12,92 MPa

$f_{m,z,d}$ = 12,92 MPa

k_m = 1,0

[1] **0,31 ≤ 1,0 [-] OK**

[2] **0,31 ≤ 1,0 [-] OK**

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.17)$$

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.18)$$

[1]	**0,71**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**
[2]	**0,71**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**

Prvek na kombinaci ohybu a osvého tahu vyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 98,895

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 115,041

$\lambda_{rel,y} =$ 1,677 > 0,3

$\lambda_{rel,z} =$ 1,951 > 0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad \beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$k_y =$ 2,044

$k_z =$ 2,568

$k_{c,y} =$ 0,311

$k_{c,z} =$ 0,236

[1]	**1,19**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**1,47**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \tag{6.13}$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

kde $\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A}$,

$A_{y,eff}$ =	30321 mm^2	$A_{z,eff}$ =	30298 mm^2
$\tau_{z,d}$ =	0,07 MPa		
$\tau_{y,d}$ =	0,05 MPa		
$f_{v,d}$ =	1,35 MPa		
$\tau_{z,d}$ =	**0,07** **≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,05** **≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35 [MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape}\, f_{v,d} \tag{6.14}$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0{,}15\,\frac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \tag{6.15}$$

k_{shape} = 1,2

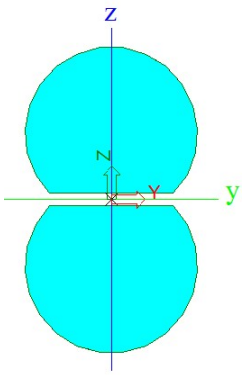
$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} =	0,21771			
$\tau_{tor,d}$ =	0,04 MPa			
$\tau_{tor,d}$ =	**0,04**	**≤**	**$k_{shape}f_{v,d}$ =**	**1,62 [MPa] OK**

Prvek na kroucení vyhoví.

- Vodorovný nosník v 1. NP

Pro statický model jsem pro zjednodušení tvorby modelu použil opět průřez tvořený dvojicí kulatin, ale na rozdíl od ostatních prvků, jsou jednotlivé kulatiny ve styčnících připojeny zvlášť z důvodů modulové výstavby věže.



Obrázek 44 *Příčný řez vodorovným nosníkem, jak byl uvažován ve statickém modelu (2x220mm)*

Geometrie:

h =	187	mm				
b =	220	mm				
r =	220	mm				
L =	3,981	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	3,981 m
A =	34432	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	3,981 m
I_y =	8,25E+07	mm^4				
I_z =	1,10E+08	mm^4				
I_{tor} =	1,82E+08	mm4				
i_y =	49	mm				
i_z =	57	mm				
W_y =	8,19E+05	mm^3				
W_z =	1,00E+06	mm^3				

Vnitřní síly na prvku celkové			*Vnitřní síly na jednu kulatinu*		
N_{Ed}^+=	336,078	kN	N_{Ed}^+=	168,039	kN
N_{Ed}^-=	324,114	kN	N_{Ed}^-=	162,057	kN
$V_{z,Ed}$ =	2,005	kN	$V_{z,Ed}$ =	1,003	kN
$M_{y,Ed}$ =	4,565	kNm	$M_{y,Ed}$ =	2,283	kNm
$V_{y,Ed}$ =	4,605	kN	$V_{y,Ed}$ =	2,303	kN
$M_{z,Ed}$ =	4,178	kNm	$M_{z,Ed}$ =	2,089	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,772	kNm	$M_{x,Ed}$ =	0,386	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d} =$ 4,88 MPa

$f_{t,0,d} =$ 7,54 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 4,88 ≤ $f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d} =$ 4,71 MPa

$f_{c,0,d} =$ 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 4,71 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

Hodnota součinitele k_m se má uvažovat takto:

- pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a LVL:
  - pro obdélníkové průřezy: $k_m = 0{,}7$;
  - pro ostatní průřezy: $k_m = 1{,}0$;

[1] $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (6.11)

[2] $k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (6.12)

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d} =$ 2,79 MPa

$\sigma_{m,z,d} =$ 2,08 MPa

$f_{m,y,d} =$ 12,92 MPa

$f_{m,z,d} =$ 12,92 MPa

$k_m =$ 1,0

[1] 0,38 ≤ 1,0 [-] OK

[2] 0,38 ≤ 1,0 [-] OK

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (6.17)

[2] $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (6.18)

[1]	**1,02**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**1,02**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tahu nevyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \tag{6.21}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \tag{6.22}$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 81,245

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 69,842

$\lambda_{rel,y} =$ 1,378 > 0,3

$\lambda_{rel,z} =$ 1,184 > 0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \tag{6.23}$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \tag{6.24}$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \tag{6.25}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \tag{6.26}$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \tag{6.27}$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \tag{6.28}$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \qquad \beta_c = 0,2 \tag{6.29}$$

$k_y =$ 1,557

$k_z =$ 1,290

$k_{c,y} =$ 0,438

$k_{c,z} =$ 0,555

[1]	**1,33**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**
[2]	**1,13**	**>**	**1,0 [-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Dále je dle ČSN EN 1995-1-1 nutné u nosníků ověřit příčnou a torzní stabilitu.

Nosníky vystavené buď ohybu nebo kombinaci ohybu a tlaku

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{6.30}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi\sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y} \tag{6.31}$$

l_{ef}/l =	0,9
l_{ef} =	3,5829 m
$\sigma_{m,crit}$ =	198,41 MPa
$\lambda_{rel,m}$ =	0,348

Tabulka 26 *Účinná délka jako poměr rozpětí dle ČSN EN 1995-1-1, Tabulka 6.1*

Typ nosníku	Typ zatížení	ℓ_{ef}/ℓ [a]
Prostě podepřený	konstantní moment	1,0
	spojité zatížení	0,9
	soustředěná síla uprostřed rozpětí	0,8
Konzola	spojité zatížení	0,5
	soustředěná síla na volném konci	0,8
[a] Poměr mezi účinnou délkou ℓ_{ef} a rozpětím ℓ platí pro nosník, který je zajištěn proti kroucení v podpěrách a zatěžován v těžišti. Jestliže zatížení působí na tlačeném okraji nosníku, má se ℓ_{ef} zvýšit o $2h$ a může se snížit o $0,5h$ pro zatížení na taženém okraji nosníku.		

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \le 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \le 1,4 \\ \dfrac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \tag{6.34}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \le 1 \qquad (6.35)$$

k_{crit} = 1,0 viz (6.34)

0,80 ≤ 1,0 [-] OK

Prvek na příčnou a torzní stabilitu vyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d}$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy: (6.13)

$$\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A},$$

kde

$A_{y,eff}$ =	30298	mm²	$A_{z,eff}$ =	30443	mm²
$\tau_{z,d}$ =	0,04	MPa			
$\tau_{y,d}$ =	0,10	MPa			
$f_{v,d}$ =	1,35	MPa			
$\tau_{z,d}$ =	**0,04**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35**	**[MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,10**	**≤**	**$f_{v,d}$ =**	**1,35**	**[MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape} f_{v,d} \qquad (6.14)$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0{,}15\,\frac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \qquad (6.15)$$

k_{shape} = 1,2

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} = 0,208

$\tau_{tor,d}$ = 0,21 MPa

$\tau_{tor,d}$ = 0,21 ≤ $k_{shape} f_{v,d}$ = 1,62 [MPa] OK

Prvek na kroucení vyhoví.

- Schodnice ramena před poslední mezipodestou

Schodnice jsou tvořeny rostlým dřevem od rozměrech 80/250.

Geometrie:

h =	250	mm					
b =	80	mm					
r =	0	mm					
L =	3,163	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	3,163	m
A =	20000	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	3,163	m
I_y =	1,04E+08	mm^4					
I_z =	1,07E+07	mm^4					
I_{tor} =	3,40E+07	mm4					
i_y =	72	mm					
i_z =	23	mm					
W_y =	8,33E+05	mm^3					
W_z =	2,67E+05	mm^3					

Vnitřní síly

N_{Ed}^+=	5,474	kN
N_{Ed}^-=	4,159	kN
$V_{z,Ed}$ =	1,905	kN
$M_{y,Ed}$ =	1,605	kNm
$V_{y,Ed}$ =	2,052	kN
$M_{z,Ed}$ =	4,178	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,772	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ =	0,27	MPa		
$f_{t,0,d}$ =	7,54	MPa		
$\sigma_{t,0,d}$ =	**0,27**	**≤**	**$f_{t,0,d}$ =**	**7,54 [MPa] OK**

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,21 MPa

$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,21 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

$$[1]\ \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.11)$$

$$[2]\ k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.12)$$

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ = 1,93 MPa

$\sigma_{m,z,d}$ = 15,67 MPa

$f_{m,y,d}$ = 12,92 MPa

$f_{m,z,d}$ = 12,92 MPa

k_m = 0,7 (obdélníkový průřez)

[1] 0,998 ≤ 1,0 [-] OK

[2] 1,32 > 1,0 [-] NOK

Prvek na ohyb nevyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

$$[1]\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.17)$$

$$[2]\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad (6.18)$$

[1] 1,03 > 1,0 [-] NOK

[2] 1,35 > 1,0 [-] NOK

Prvek na kombinaci ohybu a osového tahu nevyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 43,828

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 136,962

$\lambda_{rel,y} =$ 0,743 > 0,3

$\lambda_{rel,z} =$ 2,322 > 0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad \beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$k_y =$ 0,820

$k_z =$ 3,399

$k_{c,y} =$ 0,856

$k_{c,z} =$ 0,170

[1] **1,02** > **1,0 [-]** **NOK**

[2] **1,42** > **1,0 [-]** **NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Nosníky vystavené buď ohybu nebo kombinaci ohybu a tlaku

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \qquad (6.30)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi\sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y} \qquad (6.31)$$

l_{ef}/l = 0,9 viz Tabulka 26

l_{ef} = 2,8467 m

$\sigma_{m,crit}$ = 46,73 MPa

$\lambda_{rel,m}$ = 0,717

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \le 1 \qquad (6.35)$$

k_{crit} = 1,0 viz (6.34)

0,13 ≤ 1,0 [-] OK

Prvek na příčnou a torzní stabilitu vyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \qquad (6.13)$$

Maximální napětí ve smyku pro pravoúhlé průřezy:

kde $\tau_{v,d} = \frac{3 V_d}{2 A}$

A_{eff} = 0,67*A

$\tau_{z,d}$ = 0,21 MPa

$\tau_{y,d}$ = 0,23 MPa

$f_{v,d}$ = 1,35 MPa

$\tau_{z,d}$ = 0,21 ≤ $f_{v,d}$ = 1,35 [MPa] OK

$\tau_{y,d}$ = 0,23 ≤ $f_{v,d}$ = 1,35 [MPa] OK

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape} f_{v,d} \qquad (6.14)$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0,15\frac{h}{b} \\ 2,0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \qquad (6.15)$$

k_{shape} = 1,47

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} = 0,269

$\tau_{tor,d}$ = 1,80 MPa

$\tau_{tor,d}$ = 1,80 ≤ $k_{shape} f_{v,d}$ = 1,98 [MPa] OK

Prvek na kroucení vyhoví.

- Ztužení v rovině podest v 9. NP

Ztužení je provedeno z kulatiny o průměru 160 mm.

Geometrie:

h =	160 mm				
b =	160 mm				
r =	160 mm				
L =	5,415 m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	5,415 m
A =	20106 mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	5,415 m
I_y =	3,22E+07 mm^4				
I_z =	3,22E+07 mm^4				
i_y =	40 mm				
i_z =	40 mm				
W_y =	4,02E+05 mm^3				
W_z =	4,02E+05 mm^3				

Vnitřní síly na prvku

N_{Ed}^{+} =	27,78 kN
N_{Ed}^{-} =	22,493 kN
$V_{z,Ed}$ =	1,491 kN
$M_{y,Ed}$ =	2,439 kNm
$V_{y,Ed}$ =	9,87 kN
$M_{z,Ed}$ =	4,911 kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,081 kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \le f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ = 1,38 MPa

$f_{t,0,d}$ = 7,54 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 1,38 ≤ $f_{t,0,d}$ = 7,54 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \tag{6.2}$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 1,12 MPa

$f_{c,0,d}$ = 11,31 MPa

$\sigma_{c,0,d}$ = 1,12 ≤ $f_{c,0,d}$ = 11,31 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

[1] $$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \tag{6.11}$$

[2] $$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \tag{6.12}$$

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$

$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ = 6,07 MPa

$\sigma_{m,z,d}$ = 12,21 MPa

$f_{m,y,d}$ = 12,92 MPa

$f_{m,z,d}$ = 12,92 MPa

k_m = 1,0

[1] **1,41 > 1,0 [-] NOK**

[2] **1,41 > 1,0 [-] NOK**

Prvek na ohyb nevyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \tag{6.17}$$

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \tag{6.18}$$

[1] **1,60 > 1,0 [-] NOK**

[2] **1,60 > 1,0 [-] NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tahu nevyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 135,375

$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 135,375

$\lambda_{rel,y} =$ 2,296 > 0,3

$\lambda_{rel,z} =$ 2,296 > 0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad \beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$k_y =$ 3,334

$k_z =$ 3,334

$k_{c,y} =$ 0,174

$k_{c,z} =$ 0,174

[1] **1,98 > 1,0 [-]** **NOK**

[2] **1,98 > 1,0 [-]** **NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \tag{6.13}$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

$$\tau_{v,d} = \frac{4\,V_d}{3\,A},$$

kde

$A_{y,eff}$ =	18056	mm^2	$A_{z,eff}$ =	18056	mm^2
$\tau_{z,d}$ =	0,11	MPa			
$\tau_{y,d}$ =	0,73	MPa			
$f_{v,d}$ =	1,35	MPa			
$\tau_{z,d}$ =	**0,11**	**≤**	$\mathbf{f_{v,d}}$ =	**1,35**	**[MPa] OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,73**	**≤**	$\mathbf{f_{v,d}}$ =	**1,35**	**[MPa] OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape}\, f_{v,d} \tag{6.14}$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0{,}15\,\dfrac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \tag{6.15}$$

k_{shape} = 1,2

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} =	0,208				
$\tau_{tor,d}$ =	0,10	MPa			
$\mathbf{\tau_{tor,d}}$ =	**0,10**	**≤**	$\mathbf{k_{shape}f_{v,d}}$ =	**1,62**	**[MPa] OK**

Prvek na kroucení vyhoví.

- Krokev střechy

Krokev je z lepeného lamelového dřeva o průřezu 160/260.

Geometrie:

h =	260	mm				
b =	160	mm				
r =	0	mm				
L =	11,245	m	β_y =	1,0	$L_{ef,y}$ =	11,245 m
A =	41600	mm^2	β_z =	1,0	$L_{ef,z}$ =	11,245 m
I_y =	2,34E+08	mm^4				
I_z =	8,87E+07	mm^4				
i_y =	75	mm				
i_z =	46	mm				
W_y =	1,80E+06	mm^3				
W_z =	1,11E+06	mm^3				

Vnitřní síly na prvku

N_{Ed}^+=	40,104	kN
N_{Ed}^-=	30,712	kN
$V_{z,Ed}$ =	1,998	kN
$M_{y,Ed}$ =	2,181	kNm
$V_{y,Ed}$ =	3,212	kN
$M_{z,Ed}$ =	2,925	kNm
$M_{x,Ed}$ =	0,053	kNm

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (6.1)$$

$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{t,0,d}$ = 0,96 MPa

$f_{t,0,d}$ = 9,24 MPa

$\sigma_{t,0,d}$ = 0,96 ≤ $f_{t,0,d}$ = 9,24 [MPa] OK

Prvek na tah rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \qquad (6.2)$$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A$

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,74 MPa

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

$\sigma_{c,0,d}$ = 0,74 ≤ $f_{c,0,d}$ = 13,44 [MPa] OK

Prvek na tlak rovnoběžně s vlákny vyhoví.

Ohyb

[1] $$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ (6.11)

[2] $$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ (6.12)

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,Ed}/W_y$
$\sigma_{m,z,d} = M_{z,Ed}/W_z$

$\sigma_{m,y,d}$ =	1,21	MPa		
$\sigma_{m,z,d}$ =	2,64	MPa		
$f_{m,y,d}$ =	13,44	MPa		
$f_{m,z,d}$ =	13,44	MPa		
k_m =	0,7			
[1]	**0,23**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**
[2]	**0,26**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**

Prvek na ohyb vyhoví.

Kombinace ohybu a osového tahu

[1] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ (6.17)

[2] $$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ (6.18)

[1]	**0,33**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**
[2]	**0,36**	**≤**	**1,0 [-]**	**OK**

Prvek na kombinaci ohybu a osvého tahu vyhoví.

Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$ (6.21)

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$ (6.22)

$\lambda_y = L_{ef,y}/i_y$ $\lambda_y =$ 149,821
$\lambda_z = L_{ef,z}/i_z$ $\lambda_z =$ 243,461

$\lambda_{rel,y}$ =	2,410	>	0,3
$\lambda_{rel,z}$ =	3,916	>	0,3

Posouzení podle 6.23 a 6.24

[1] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

[2] $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

kde

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,y} - 0,3\right) + \lambda_{rel,y}^2\right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,z} - 0,3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right) \quad (6.28)$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad \beta_c = 0,1 \quad (6.29)$$

k_y =	3,509				
k_z =	8,348				
$k_{c,y}$ =	0,165				
$k_{c,z}$ =	0,064				
[1]	**0,56**	**≤**	**1,0**	**[-]**	**OK**
[2]	**1,12**	**>**	**1,0**	**[-]**	**NOK**

Prvek na kombinaci ohybu a osového tlaku nevyhoví.

Smyk

$$\tau_d \le f_{v,d} \quad (6.13)$$

Maximální napětí ve smyku pro pravoúhlé průřezy:

kde $$\tau_{v,d} = \frac{3 V_d}{2 A}$$

$A_{eff} = 0,67*A$

$\tau_{z,d}$ =	0,11 MPa				
$\tau_{y,d}$ =	0,17 MPa				
$f_{v,d}$ =	1,51 MPa				
$\tau_{z,d}$ =	**0,11**	**≤**	$\mathbf{f_{v,d}}$ **=**	**1,51 [MPa]**	**OK**
$\tau_{y,d}$ =	**0,17**	**≤**	$\mathbf{f_{v,d}}$ **=**	**1,51 [MPa]**	**OK**

Prvek na smyk vyhoví.

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} f_{v,d} \tag{6.14}$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min\begin{cases} 1+0{,}15\,\frac{h}{b} \\ 2{,}0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \tag{6.15}$$

k_{shape} = 1,244

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor}\, h\, b^2}$$

k_{tor} = 0,23475

$\tau_{tor,d}$ = 0,03 MPa

$\tau_{tor,d}$ = 0,03 ≤ $k_{shape}f_{v,d}$ = 1,88 [MPa] OK

Prvek na kroucení vyhoví.

4 Posouzení vybraných detailů

ČSN EN 1993-1-8

- Detail 1 – Připojení nárožníku k základové konstrukci

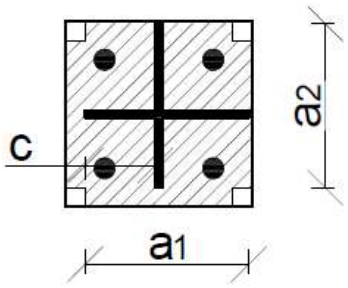
Materiál:

kotevní šroub	**8.8**		
γ_{M2} =	1,25		dílčí součinitel pro styčníky
f_{ub} =	800	MPa	mez pevnosti
f_{yb} =	640	MPa	mez kluzu
d = d_0	60	mm	průměr šroubu/otvoru
A_s =	2144	mm^2	plocha jádra šroubu
A =	2827	mm^2	plocha šroubu
n_1 =	1		počet střižných rovin
n_2 =	4		počet spojovacích prostředků
plech	**ocel 355**		
f_{ud} =	470	MPa	zredukovaná mez pevnosti pro t < 40 mm
f_{yd} =	335	MPa	zredukovaná mez kluzu t < 40 mm
t_p =	60	mm	tloušťka plechu
b_1 =	530	mm	
d_1 =	530	mm	
základ	**beton 20/25**		
γ_C =	1,5		
f_{ck} =	20	MPa	pevnost betonu v tlaku
$f_{ctk,0,05}$ =	1,5	MPa	pevnost v tahu
h =	1700	mm	výška základu
b_c =	3374	mm	
d_c =	3374	mm	rozměry základu v kontaktu se zeminou
Reakce:			
R_z^+=	2239,93	kN	
R_z^-=	1920,76	kN	
R_x =	398,11	kN	
R_y =	353,73	kN	
R_{xy} =	532,56	kN	výslednice vodorvných reakcí

Posouzení kontaktního napětí v betonu

A_{C1} =	280900	mm^2	plocha betonu v kontaktu s pat. plechem
A_C =	11383876	mm^2	plocha betonu v kontaktu se zeminou
$b_2 = \min(3*b_1;b_1+h;b_c)$			
$d_2 = \min(3*d_1;d_1+h;d_c)$			započitatelné rozměry patky
b_2 =	1590	mm	
d_2 =	1590	mm	
A_{C2} =	2528100	mm^2	
$k_j = (A_{C2}/A_{C1})^{1/2}$			součinitel koncentrace napětí
k_j =	1,116		
$f_{jd} = (\beta_j*k_j*f_{ck})/\gamma_C$		kde $\beta_j = {}^2/_3$	
f_{jd} =	9,92	MPa	návrhová pevnost v betonu
$c = t_p*(f_{yd}/(3*f_{jd}))^{1/2}$			účinná šířka patní desky
c =	201,3	mm	viz Obrázek 45
A_{eff} =	269363	mm^2	účinná plocha patní desky
$N_{Rd} = A_{eff}*f_{jd}$			únosnost patky
N_{Rd} =	2672,38	kN	
N_{Ed} =	1920,76	kN	
N_{Ed} =	**1920,76**	**≤**	**N_{Rd} = 2672,38 [kN] OK**

Beton v tlaku vyhoví.



Obrázek 45 *Učinná plocha patní desky*

Posouzení kotevních šroubů ve střihu

$F_{v,Rd} = 0,6*A*f_{ub}/\gamma_{M2}$			únosnost 1 kotevního šroubu
$F_{v,Rd}$ =	1085,73	kN	procházejícího dříkem
$F_{v,Ed} = R_{xy}$ =	532,56	kN	
$F_{v,Ed}$ =	**532,56**	**≤**	**$F_{v,Rd}$ = 4342,94 [kN] OK**

Kotevní šrouby ve střihu vyhoví.

Posouzení kotevních šroubů v otlačení

$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * d * t * f_{ub} / \gamma_{M2}$ únosnost 1 kotevního šroubu

$a_b = \min(e_1/(3*d_0); f_{ub}/f_u; 1,0)$ kde $e_1 = e_2 =$ 110 mm

$k_1 = \min(2,8*(e_2/d_0)-1,7; 2,5)$

$a_b =$	0,611				
$k_1 =$	2,5				
$F_{b,Rd} =$	2068,00	kN			
$F_{b,Ed} = R_{xy} =$	532,56	kN			
$F_{b,Ed} =$	**532,56**	**≤**	**$F_{b,Rd} =$**	**8272,00**	**[kN] OK**

Kotevní šrouby v otlačení vyhoví.

Posouzení kotevních šroubů v tahu

$F_{t,Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{M2}$ únosnost 1 kotevního šroubu

$F_{t,Rd} =$	1234,94	kN			
$F_{t,Ed} = R_z^+ =$	2239,93	kN			
$F_{t,Ed} =$	**2239,93**	**≤**	**$F_{t,Rd} =$**	**4939,78**	**[kN] OK**

Kotevní šrouby v tahu vyhoví.

Posouzení kotevních šroubů v kombinaci tahu a střihu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

0,12 +	0,32 ≤	1,0	
	0,45 ≤	**1,0**	**OK**

Kotevní šrouby v kombinaci tahu a střihu vyhoví.

- *Detail 2 – Styčník v připojení nárožníku 4. NP k 3. NP*

Do styčníku vstupují nárožník 4x280 mm, diagonála 2x300 mm a jeden dílec z vodorovného nosníku průměru 220 mm. Nárožník je připojen dvěma řadami svorníků, proto jsem výsledné síly rozdělil dvěma a posuzoval pouze jednu řadu. U vodorovného nosníku je síla dělena dvěma z důvodu zjednodušení tvorby modelu, jak již jsem výše zmiňoval.

Nárožník

Materiál:

svorník	**8.8**		
γ_M =	1		
γ_{M2} =	1,25		
f_{ub} =	800	MPa	mez pevnosti
f_{yb} =	640	MPa	mez kluzu
d =	24	mm	
n_1 =	2		počet střižných rovin
n_2 =	8		počet spojovacích prostředků

Geometrie:

t_1 =	139	mm
t_2 =	20	mm
h_{plech} =	340	mm
l_{plech} =	1404	mm

Vnitřní síly v nárožníku

N_{Ed}^+ =	562,29	kN			
N_{Ed}^- =	832,07	kN			
$V_{z,Ed}$ =	1,58	kN	$F_{Ed,z}$ =	416,03 kN	výseldnice sil rozdělena na dvě řady
$M_{y,Ed}$ =	2,71	kNm	α =	0,1 °	odklon výslednice od vláken
$V_{y,Ed}$ =	1,17	kN	$F_{Ed,y}$ =	416,03 kN	výslednice sil
$M_{z,Ed}$ =	2,45	kNm	α =	0,1 °	výseldnice sil rozdělena na dvě řady
$M_{x,Ed}$ =	0,08	kNm			

Posouzení svorníku

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}\, t_1\, d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k}\, t_1\, d \left[\sqrt{2 + \dfrac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\, d\, t_1^2}} - 1 \right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,1,k}\, d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \qquad (8.11)$$

$$f_{h,0,k} = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\, d)\, \rho_k \qquad (8.16)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (8.31)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015\,d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1,30 + 0,015\,d & \text{pro LVL} \\ 0,90 + 0,015\,d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \quad (8.33)$$

$$M_{y,Rk} = 0,3\,f_{u,k}\,d^{2,6} \quad (8.30)$$

$f_{h,0,k}$ =	21,81	MPa	
k_{90} =	1,71		
$f_{h,\alpha,k}$ =	21,81	MPa	
$M_{y,Rk}$ =	0,93	kNm	
	72,76		(f)
$F_{v,Rk}$ = min	39,21	[kN]	(g)
	50,76		(h)

Pozn.: $F_{ax,Rk}$ - přispění od sepnutí svorníkem je zanedbáno.

$F_{v,Rk}$ =	39,21	kN	jeden střih
$F_{v,Rk}$ =	78,42	kN	únosnost pro 2 střihy
$F_{v,Rd}$ =	351,31	kN	návrhová únosnost n prostředků
$F_{Ed,y}$ =	416,03	kN	

$F_{Ed,y}$ = 416,03 > $F_{v,Rd}$ = 351,31 [kN] NOK

Svorníky nevyhoví.

Diagonála

Materiál:

svorník 8.8

γ_M =	1	
γ_{M2} =	1,25	
f_{ub} =	800	MPa
f_{yb} =	640	MPa
d =	24	mm
n_1 =	2	
n_2 =	7	

Geometrie:

t_1 =	255	mm
t_2 =	20	mm
h_{plech} =	120	mm
l_{plech} =	1390	mm

Vnitřní síly v diagonále

N_{Ed}^{+} =	324,68 kN				
N_{Ed}^{-} =	380,24 kN				
$V_{z,Ed}$ =	4,91 kN	$F_{Ed,z}$ =	380,27 kN		výseldnice sil
$M_{y,Ed}$ =	0,00 kNm	α =	0,7 °		odklon výslednice od vláken
$V_{y,Ed}$ =	2,76 kN	$F_{Ed,y}$ =	380,24 kN		výslednice sil
$M_{z,Ed}$ =	0,00 kNm	α =	0,4 °		odklon výslednice od vláken
$M_{x,Ed}$ =	0,45 kNm				

Posouzení svorníku

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}\, t_1\, d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k}\, t_1\, d \left[\sqrt{2 + \dfrac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\, d\, t_1^2}} - 1 \right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,1,k}\, d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \qquad (8.11)$$

$$f_{h,0,k} = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\,d)\,\rho_k \qquad (8.16)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \text{ e} \qquad (8.31)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1{,}35 + 0{,}015\,d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1{,}30 + 0{,}015\,d & \text{pro LVL} \\ 0{,}90 + 0{,}015\,d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \qquad (8.33)$$

$$M_{y,Rk} = 0{,}3\, f_{u,k}\, d^{2,6} \qquad (8.30)$$

$f_{h,0,k}$ =	21,81 MPa		
k_{90} =	1,71		
$f_{h,\alpha,k}$ =	21,81 MPa		
$M_{y,Rk}$ =	0,93 kNm		
	133,48		(f)
$F_{v,Rk}$ = min	60,38 [kN]		(g)
	50,76		(h)

Pozn.: $F_{ax,Rk}$ - přispění od sepnutí svorníkem je zanedbáno.

$F_{v,Rk}$ =	50,76 kN	jeden střih
$F_{v,Rk}$ =	101,53 kN	únosnost pro 2 střihy
$F_{v,Rd}$ =	397,99 kN	návrhová únosnost n prostředků
$F_{Ed,z}$ =	380,24 kN	

$F_{Ed,z}$ = 380,24 ≤ $F_{v,Rd}$ = 397,99 [kN] OK
Svorníky vyhoví.

Vodorovný nosník

Materiál:

svorník	**8.8**	
γ_M =	1	
γ_{M2} =	1,25	
f_{ub} =	800	MPa
f_{yb} =	640	MPa
d =	24	mm
n_1 =	2	
n_2 =	4	

Geometrie:

t_1 =	220	mm
t_2 =	20	mm
h_{plech} =	100	mm
l_{plech} =	775	mm

Vnitřní síly v diagonále

N_{Ed}^{+}=	247,68	kN			
N_{Ed}^{-}=	214,56	kN			
$V_{z,Ed}$ =	1,64	kN	$F_{Ed,z}$ =	107,28	kN
$M_{y,Ed}$ =	0,00	kNm	α =	0,4	°
$V_{y,Ed}$ =	3,10	kN	$F_{Ed,y}$ =	107,29	kN
$M_{z,Ed}$ =	0,00	kNm	α =	0,8	°
$M_{x,Ed}$ =	1,22	kNm			

Posouzení svorníku

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}\, t_1\, d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k}\, t_1\, d \left[\sqrt{2 + \dfrac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\, d\, t_1^2}} - 1 \right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,1,k}\, d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \qquad (8.11)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082\,(1 - 0,01\,d)\,\rho_k \qquad (8.16)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (8.31)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015\,d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1,30 + 0,015\,d & \text{pro LVL} \\ 0,90 + 0,015\,d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \qquad (8.33)$$

$$M_{y,Rk} = 0,3\,f_{u,k}\,d^{2,6} \qquad (8.30)$$

$f_{h,0,k}$ =	21,81	MPa	
k_{90} =	1,71		
$f_{h,\alpha,k}$ =	21,81	MPa	
$M_{y,Rk}$ =	0,93	kNm	

	115,15		(f)
$F_{v,Rk}$ = min	53,57	[kN]	(g)
	50,76		(h)

Pozn.: $F_{ax,Rk}$ - přispění od sepnutí svorníkem je zanedbáno.

$F_{v,Rk}$ =	50,76	kN	jeden střih
$F_{v,Rk}$ =	101,52	kN	únosnost pro 2 střihy
$F_{v,Rd}$ =	227,41	kN	návrhová únosnost n prostředků
$F_{Ed,y}$ =	107,29	kN	

$F_{Ed,y}$ = 107,29 ≤ $F_{v,Rd}$ = 227,41 [kN] OK

Svorníky vyhoví.

Montážní styk sloupů

Reakce:

R_z^+ =	765,18	kN	
R_z^- =	1086,87	kN	
R_x =	25,64	kN	
R_y =	28,43	kN	
R_{xy} =	38,28	kN	výslednice vodorvných reakcí

šroub M27 8.8

γ_M =	1	
γ_{M2} =	1,25	
f_{ub} =	800	MPa
f_{yb} =	640	MPa
d =	27	mm
n_1 =	1	
n_2 =	16	

Geometrie:

t =	20	mm
a =	35	mm
b =	34	mm
A =	155929	mm^2

Posouzení šroubů v tahu

$t_e = 4,3*(b*d^2/a)^{1/3}$ nejmenší tloušťka desky bez páčení

t_e = 38,3 mm

$\gamma_p = 1+0,005*(t_e^3-t^3)/d^2$ součinitel zvětšující působící sílu vlivem páčení

γ_p = 1,33

$\gamma_p*N_{Ed}^+$ = 1018,69 kN

$F_{t,Rd}$ = 264,4 kN

$F_{t,Rd,tot}$ = 4230,40 kN

$\gamma_p*N_{Ed}^+$ = 1018,69 ≤ $F_{t,Rd,tot}$ = 4230,40 [kN] OK

Šrouby M27 v tahu vyhoví.

Posouzení šroubů ve střihu

$F_{v,Rd}$ = 219,9 kN 1 střih procházející dříkem

$F_{v,Ed} = R_{xy}$ = 38,28 kN

$F_{Ed,y}$ = 38,28 ≤ $F_{v,Rd}$ = 3518,40 [kN] OK

Šrouby M27 ve střihu vyhoví.

Posouzení šroubů v otlačení

$F_{b,Rd} = k_1*a_b*d*t*f_{ub}/\gamma_{M2}$ únosnost 1šroubu

$a_b = \min(e_1/(3*d_0);f_{ub}/f_u$ kde $e_1 = e_2$ = 35 mm

$k_1 = \min(2,8*(e_2/d_0)-1,7;2,5)$

a_b = 0,486

k_1 = 2,38333

$F_{b,Rd}$ = 226,893 kN

$F_{b,Ed} = R_{xy}$ = 38,28 kN

$F_{b,Ed}$ = 38,28 ≤ $F_{b,Rd}$ = 3630,29 [kN] OK

Šrouby M27 v otlačení vyhoví.

Posouzení kotevních šroubů v kombinaci tahu a střihu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1{,}4F_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

0,01 +	0,17 ≤	1,0
	0,18 ≤	**1,0 OK**

Šrouby M27 v kombinaci tahu a střihu vyhoví.

- Detail 3 – připojení sloupku v konstrukci střechy

Obrázek 46 *Posuzovaný detail 3*

Materiál:

svorník	**8.8**		
γ_M =	1		
γ_{M2} =	1,25		
f_{ub} =	800	MPa	mez pevnosti
f_{yb} =	640	MPa	mez kluzu
d =	16	mm	
n_1 =	2		počet střižných rovin
n_2 =	2		počet spojovacích prostředků

Geometrie:

t_1 =	100	mm
t_2 =	160	mm

Vnitřní síly v detailu

$N_{Ed,1}$ =	32,08	kN	
$N_{Ed,2}$ =	30,59	kN	osové síly v nosnících
$V_{y,Ed}$ =	18,64	kN	
$V_{z,Ed}$ =	18,65	kNm	posouvající síly ve sloupku

$F_{Ed1} = N_{Ed,1} + V_{y,Ed}$

$F_{Ed2} = N_{Ed,2} + V_{z,Ed}$

Posouvající síly v nosnících a osové ve sloupku mají zanedbatelnou velikost, proto jsem je pro zjednodušení zanedbal.

F_{Ed1} =	50,73	kN	α =	0,0 °
F_{Ed2} =	49,24	kN		

Posouzení svorníku

$$F_{v,Rk} = \min\begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \dfrac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta}\left[\sqrt{2\beta(1+\beta)+\dfrac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d\ t_1^2}}-\beta\right]+\dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \\ 1,15\sqrt{\dfrac{2\beta}{1+\beta}}\sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d}+\dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \qquad (8.7)$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \qquad (8.8)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082\,(1 - 0,01\,d)\,\rho_k \qquad (8.32)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (8.31)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015\,d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1,30 + 0,015\,d & \text{pro LVL} \\ 0,90 + 0,015\,d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \qquad (8.33)$$

$$M_{y,Rk} = 0,3\,f_{u,k}\,d^{2,6} \qquad (8.30)$$

$f_{h,0,k}$ =	26,17	MPa
α_1 =	0,0	°
α_2 =	90,0	°

k_{90} =	1,54	
$f_{h,1,k}$ =	26,17	MPa
$f_{h,2,k}$ =	17,00	MPa
β =	0,65	
$M_{y,Rk}$ =	0,324	kNm

	41,88		(g)
$F_{v,Rk}$ = min	21,76	[kN]	(h)
	21,32		(j)
	16,82		(k)

Pozn.: $F_{ax,Rk}$ - přispění od sepnutí svorníkem je zanedbáno.

$F_{v,Rk}$ =	16,82	kN	jeden střih
$F_{v,Rk}$ =	33,64	kN	únosnost pro 2 střihy
$F_{v,Rd}$ =	37,67	kN	návrhová únosnost n prostředků
F_{Ed1} =	50,73	kN	

F_{Ed1} = 50,73 > $F_{v,Rd}$ = 37,67 [kN] NOK

Svorníky nevyhoví.

Posuzení tlaku kolmo k vláknům

$$\sigma_{c,90,d} \le k_{c,90} f_{c,90,d} \qquad (6.3)$$

h =	100	mm
l =	160	mm

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right)\left(1 + \frac{h}{6\ell}\right) \qquad (6.5)$$

$k_{c,90}$ =	1,921	

l_{ef} = l + 2*30

l_{ef} =	220	mm
$f_{c,90,g,d}$ =	1,51	MPa
A_{ef} =	22000	mm

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \qquad F_{c,90,d} = V_{z,Ed} \qquad (6.4)$$

$\sigma_{c,90,d}$ =	0,85	MPa			
$\sigma_{c,90,d}$ =	**0,85**	**≤**	**$k_{c,90}f_{c,90,d}$**	**2,90 [kN]**	**OK**

Nosníky na tlak kolmo k vláknů vyhoví.

- Detail 4 – uložení krokví stříšky vyhlídky na středový sloupek střechy

Obrázek 47 *Posuzovaný detail 4*

svorník	**8.8**		
γ_M =	1		
γ_{M2} =	1,25		
f_{ub} =	800	MPa	mez pevnosti
f_{yb} =	640	MPa	mez kluzu
d =	16	mm	
n_1 =	2		počet střižných rovin
n_2 =	2		počet spojovacích prostředků

Geometrie:

t_1 =	35	mm
t_2 =	10	mm

Vnitřní síly v detailu

N_{Ed}^{+} =	34,10	kN		
$V_{z,Ed}$ =	0,99	kN	$F_{Ed,z}$ =	34,12 kN
$M_{y,Ed}$ =	0,00	kNm	α =	1,7 ° odklon výslednice od vláken
$V_{y,Ed}$ =	-0,04	kN		
$M_{z,Ed}$ =	0,00	kNm		
$M_{x,Ed}$ =	0,05	kNm		

Posouzení svorníku

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}\, t_1\, d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k}\, t_1\, d \left[\sqrt{2 + \dfrac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\, d\, t_1^2}} - 1 \right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,1,k}\, d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \qquad (8.11)$$

$$f_{h,0,k} = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\, d)\, \rho_k \qquad (8.16)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (8.31)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1{,}35 + 0{,}015\, d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1{,}30 + 0{,}015\, d & \text{pro LVL} \\ 0{,}90 + 0{,}015\, d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \qquad (8.33)$$

$$M_{y,Rk} = 0{,}3\, f_{u,k}\, d^{2,6} \qquad (8.30)$$

$f_{h,0,k}$ =	26,17	MPa
k_{90} =	1,54	
$f_{h,1,k}$ =	26,16	MPa
$M_{y,Rk}$ =	0,21	kNm

	14,65		(f)
$F_{v,Rk}$ = min	13,20	[kN]	(g)
	21,40		(h)

Pozn.: $F_{ax,Rk}$ - přispění od sepnutí svorníkem je zanedbáno.

$F_{v,Rk}$ =	13,20	kN	jeden střih		
$F_{v,Rk}$ =	26,39	kN	únosnost pro 2 střihy		
$F_{v,Rd}$ =	29,56	kN	návrhová únosnost n prostředků		
$F_{Ed,z}$ =	34,12	kN			
$F_{Ed,z}$ =	**34,12**	**>**	**$F_{v,Rd}$ =**	**29,56 [kN]**	**NOK**

Svorníky nevyhoví.

Posouzení kontaktního napětí

$A_{net,kr}$ =	11200	mm^2			
$\sigma_{c,90,d}$ =	0,088	MPa			
$f_{c,90,g,k}$ =	2,7	MPa			
$\sigma_{c,90,d}$ =	**0,09**	**≤**	**$f_{c,90,g,k}$ =**	**2,70 [MPa]**	**OK**

Krokev v tlaku kolmo na vlákna vyhoví.

Posouzení plechu jako konzoly
a) konzola jako obrácený "T" průřez

$V_{z,Ed}$ =	0,99	kN			
$f_{z,Ed}$ =	0,010	kN/m			
M_{Ed} =	4,94E-05	kNm			
$I_{y,plech}$ =	3,77E+06	mm^4			
z_T =	102,8	mm			
W_y =	3,67E+04	mm^3			
σ_M =	0,001	MPa			
σ_M =	**0,001**	**≤**	**f_{yd} =**	**355,00 [MPa]**	**OK**

Plech vyhoví.

b) rameno pásnice

$\sigma_{c,90,d}$ =	0,088	MPa			
$f_{z,Ed}$ =	8,813	kN/m			
M_{Ed} =	5,40E-03	kNm			
$I_{y,plech}$ =	8,33E+03	mm^4			
z_T =	5,0	mm			
W_y =	1,67E+03	mm^3			
σ_M =	3,24	MPa			
σ_M =	**3,24**	**≤**	**f_{yd} =**	**355,00 [MPa]**	**OK**

Plech vyhoví.

Posouzení svorníků pro připojení plechu ke sloupku

Reakce

R_z =	15,932	kN			
R_x =	67,581	kN	$R_{x,trans}$ =	47,8 kN	transformace na
R_y =	46,029	kN	$R_{y,trans}$ =	32,5 kN	lokální síly
$R_{xy,trans}$ =	80,3	kN	F_{Ed} =	81,9 kN	výslednice sil
α =	79,0	°	odklon on směru vláken		
t_s =	10	mm	≤	1,0 . d = 16 mm	
			>	0,5 . d = 8 mm	

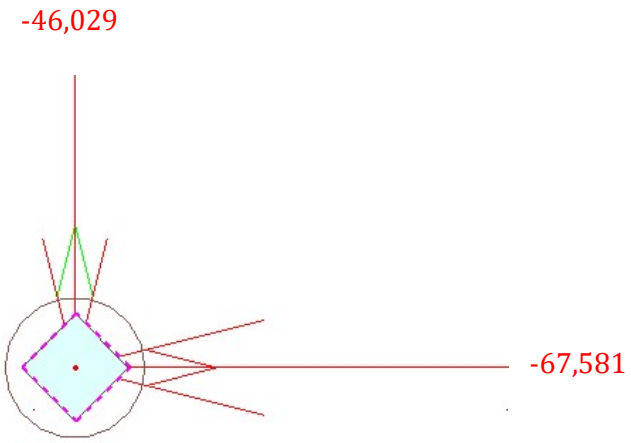
Tlustá deska

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5\, f_{h,2,k}\, t_2\, d & \text{(l)} \\ 2,3\sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,2,k}\, d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(m)} \end{cases} \qquad (8.13)$$

$f_{h,0,k}$ =	26,17	MPa	
k_{90} =	1,54		
$f_{h,2,k}$ =	17,22	MPa	
$M_{y,Rk}$ =	0,21	kNm	
	33,50		(l)
$F_{v,Rk}$ = min	17,36	[kN]	(m)
$F_{v,Rk}$ =	17,36	kN	jeden střih
$F_{v,Rk}$ =	34,71	kN	únosnost pro 2 střihy
$F_{v,Rd}$ =	38,88	kN	návrhová únosnost n prostředků
F_{Ed} =	81,90	kN	

F_{Ed} = 81,90 > $F_{v,Rd}$ = 38,88 [kN] NOK

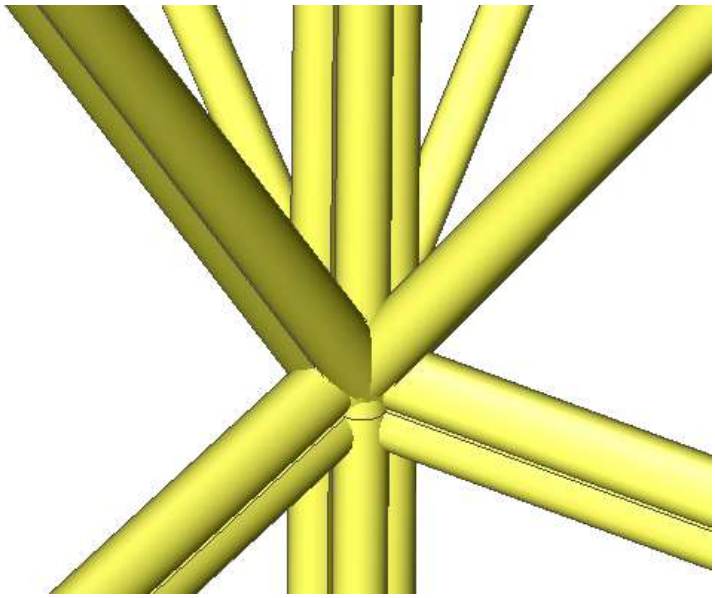
Svorníky nevyhoví.



Obrázek 48 *Reakce na sloupku k hlavnímu souřadnému systému*

5 Desko-stěnový model styčníku

Obrázek 49 *Modelovaný styčník*

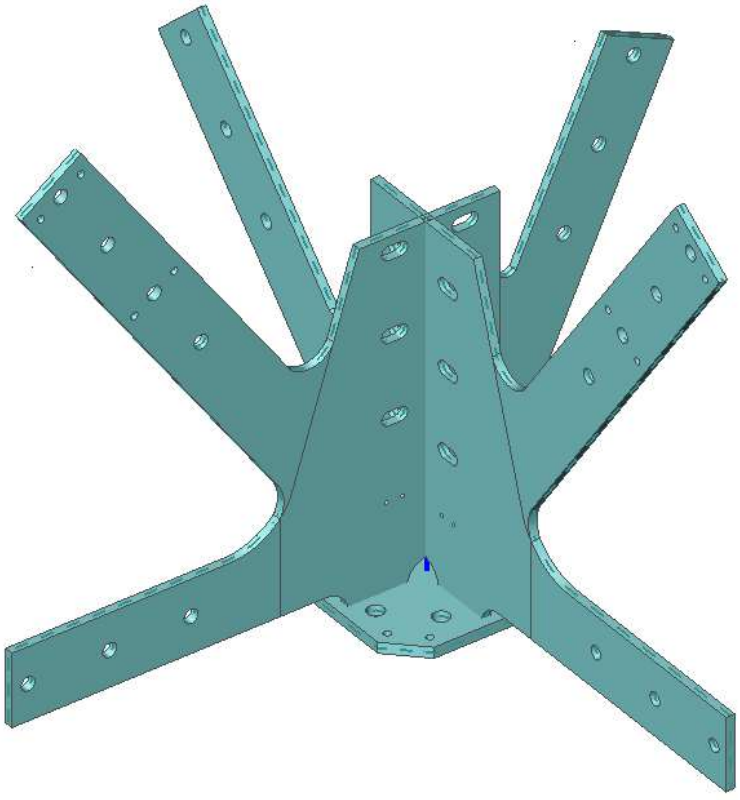


Obrázek 50 *Styčník v modelu pro vnitřní síly*

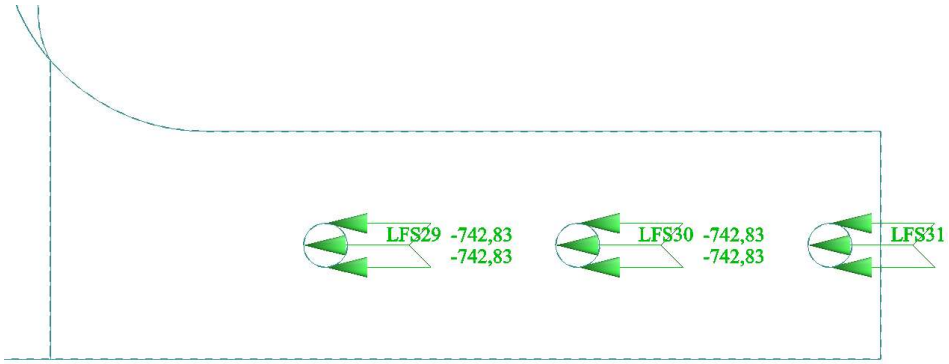
V programu Scia Engineer jsem vytvořil desko-stěnový model pro analýzu rozdělení napětí v jedné kombinaci zatížení, konkrétně pro Kombinaci CO5 – 6.10b provoz a max vítr "X".

Podporu pro styčník jsem modeloval jako roštový základ z liniových podpor na spodní ploše kontaktní desky, kterým jsem zadal tuhou svislou omezující podmínku pro tlak. Zbylé podmínky jsem zvolil volné tak, aby co nejlépe vystihovaly skutečné podepření. Přípojné šrouby jsem simuloval liniovou podporou po obvodu otvorů pro šrouby v kontaktní desce. Zde jsem zadal tuhé podmínky pro vodorovný směr a pro svislou podmínku v tahu. Natočení ve všech směrech není bráněno.

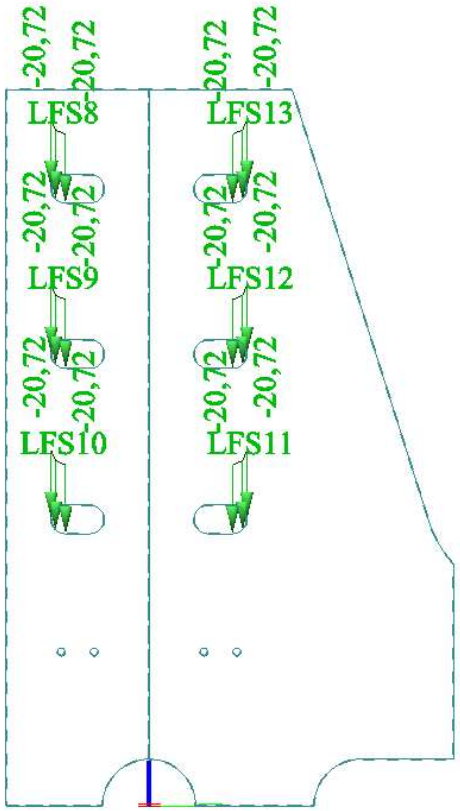
Vnitřní síly jsem rozdělil rovnoměrně na jednotlivé svorníky (viz Tabulka 26), které přes otvory přenášejí síly z dřevěných prvků do plechů styčníku. Kruhové otvory jsem zatížil na jednu polovinu otvoru podle směru působení sil. Oválné otvory jsem zatížil u posouvajících sil na kruhovou část otvoru (půloblouk) u osových sil na jednu čtvrtinu kruhu, viz Obrázek 53.



Obrázek 51 *Styčník jako desko-stěnový model*



Obrázek 52 *Zadání tlakové síly na příčel x*



Obrázek 53 *Zadání tlakové síly na sloup*

Tabulka 26 *Převod vnitřních sil z prvků na jednotlivé otvory*

Prvek	N[kN]	V_z [kN]	V_y [kN]	n - počet svorníků	N/n [kN]	tah/tlak	V_z/n[kN]	V_y/n[kN]
sloup	-5,077	14,270	0,448	12(6)	-0,423	TLAK	2,378	0,075
diagonála x	82,696	3,337	0,133	4	20,674	TAH	0,834	0,033
diagonála y	-12,276	0,486	1,850	4	-3,069	TLAK	0,122	0,463
příčel x	-91,013	1,136	0,210	3	-30,338	TLAK	0,379	0,070
příčel y	14,226	0,510	3,411	3	4,742	TAH	0,170	1,137
vzpěra x	-38,622	0,291	0,021	3	-12,874	TLAK	0,097	0,007
vzpěra y	10,191	0,102	0,512	3	3,397	TAH	0,034	0,171

Prvek	d_0 [mm]	l - délka styku [mm]	liniové zatížení [kN/m]			A [mm^2]	plošné zatížení [kN/m^2]	
			f_N	f_{Vz}	f_{Vy}		f_{Vz}	f_{Vy}
sloup	26	20	-20,719	116,469	1,821	129600	110,11	3,46
diagonála x	26	41	506,211	20,427		87120		1,53
diagonála y	26	41	-75,146	2,975		87120		21,24
příčel x	26	41	-742,829	9,272		57120		3,68
příčel y	26	41	116,110	4,163		57120		59,72
vzpěra x	26	41	-315,225	2,375		63600		0,33
vzpěra y	26	41	83,177	0,833		63600		8,05

Tloušťka plechů je 16 mm. Hustota sítě pro výpočet je 5 mm. Lokální zhuštění sítě kolem otvorů nebo u styku plechů nemělo na výsledky a vykreslení napětí zásadní vliv, proto jsem od něj upustil.

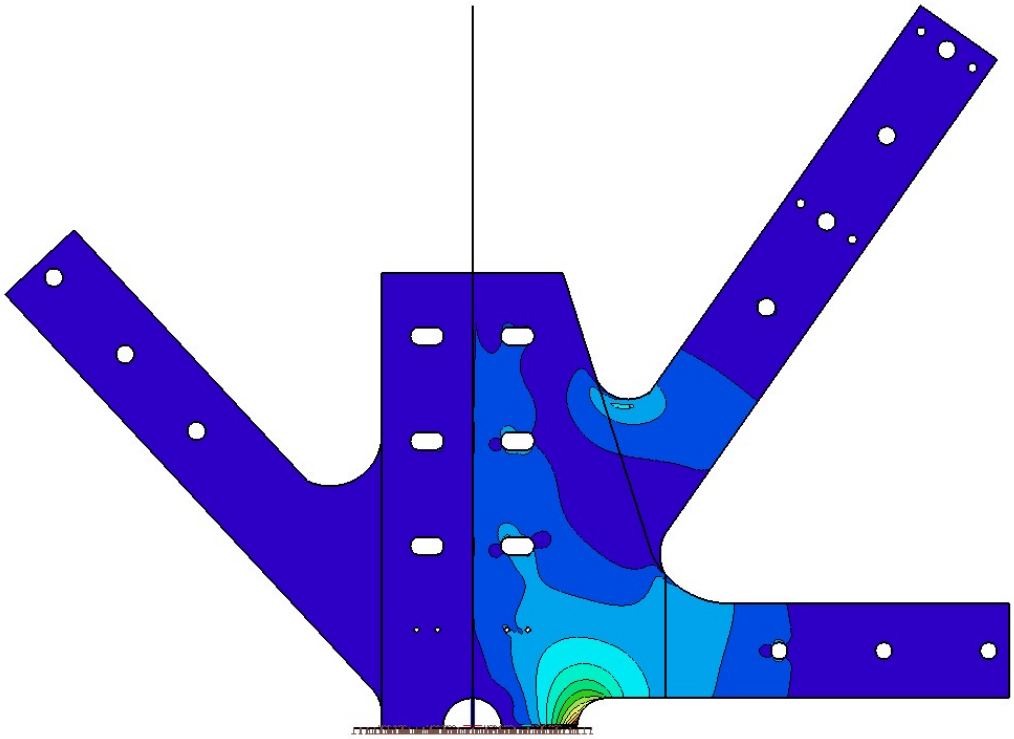
Pro spojité vykreslení výsledků jsem zvolil možnost průměrování v uzlech MKP podle příručky Scia Engineer 17.

„Hodnoty v uzlech ze sousedních konečných prvků se zprůměrují v každém uzlu. Výsledkem je jedna hodnota pro každý uzel a rozložení je plynulé. Kromě toho se provede extrapolace hodnot na volných okrajích (hodnoty na volném okraji se upraví tak, aby zůstala zachována průměrná hodnota v prvku).“[1]

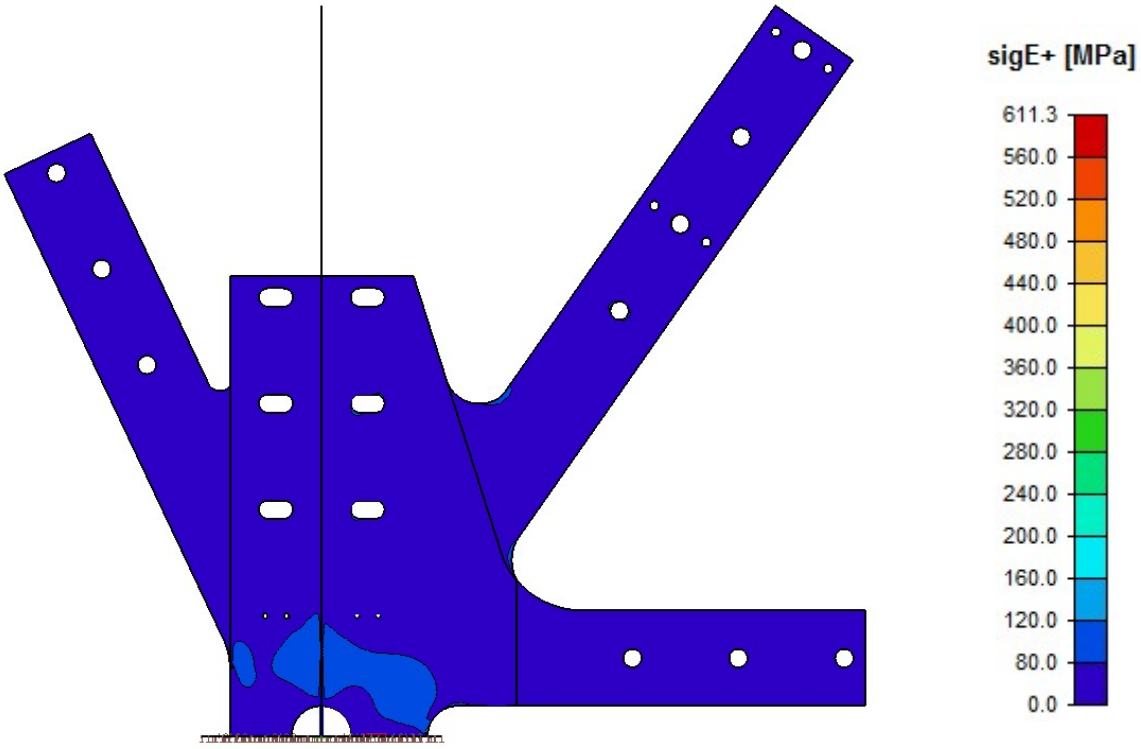
Výsledky jsem nechal vykreslit prohodnoty σ_E+ a σ_E-, což jsou ekvivalentní napětí na povrchu pro povrch s kladnou, resp. zápornou lokální souřadnicí *z.* Toto napětí je počítáno podle teorie Huber-Mieses-Henckyho:

$$\sigma_E = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 . \sigma_2)^{0,5}$$

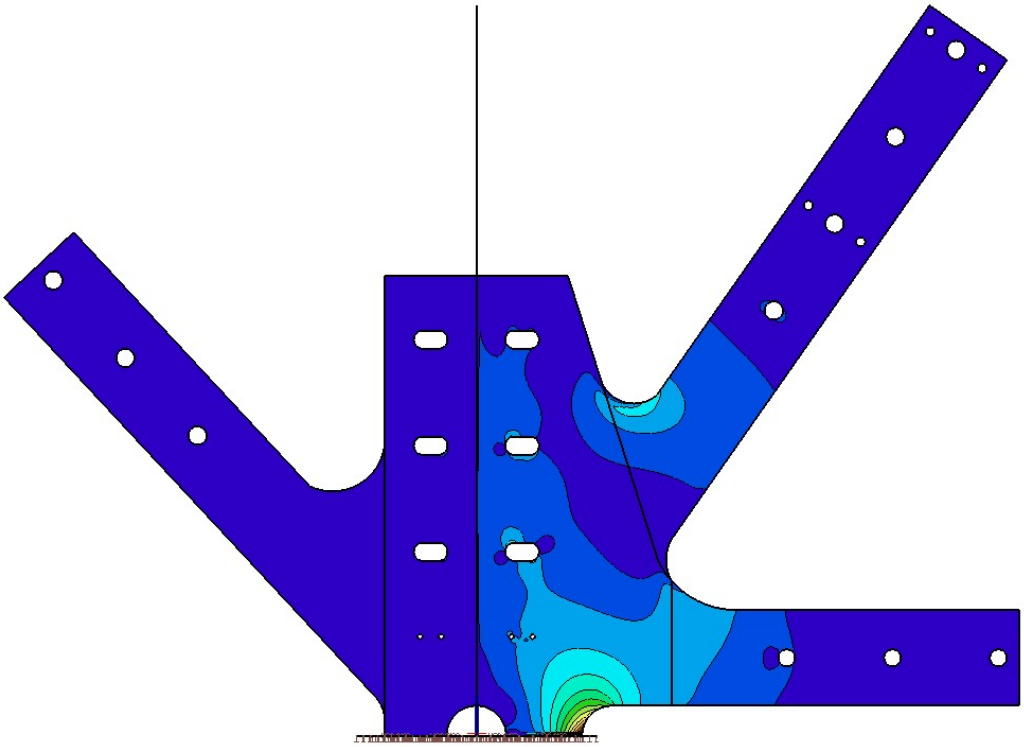
[1] Zprůměrování výsledků v uzlech konečných prvků. *Help.scia.net* [online]. [cit. 2018-01-17]. Dostupné z: https://help.scia.net/17.0/cs/rb/results/averaging_of_results_in_fe_nodes.htm



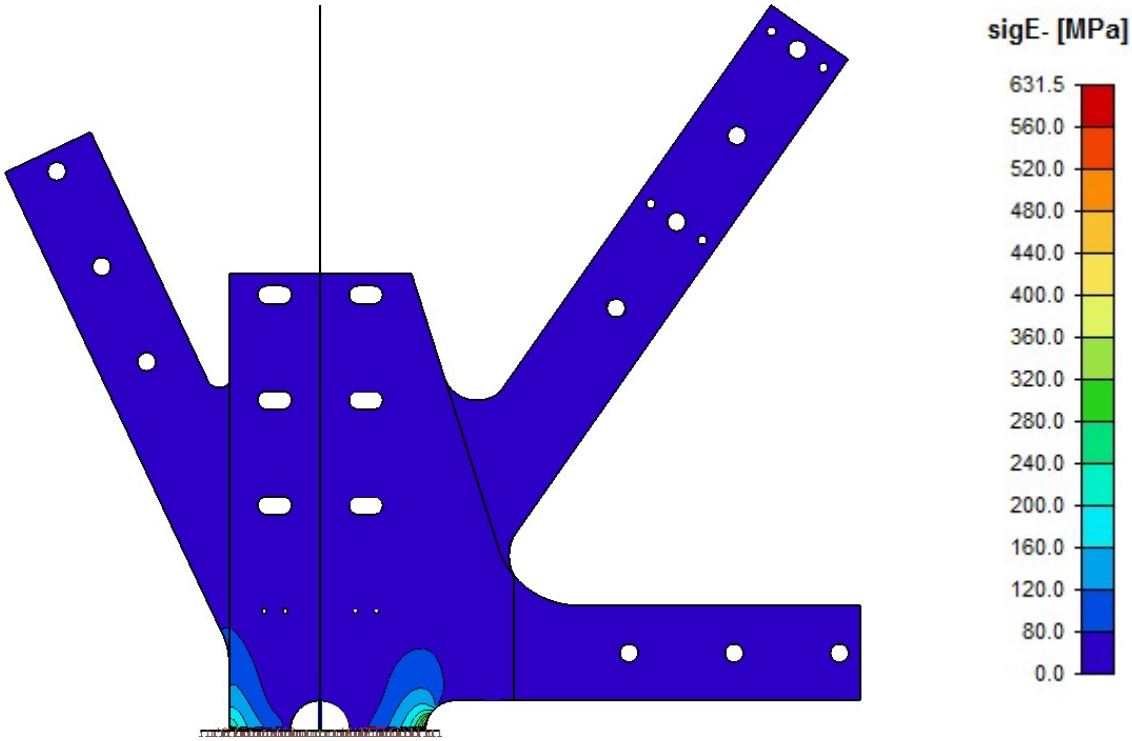
Obrázek 54 *σE+; pohled proti směru osy X*



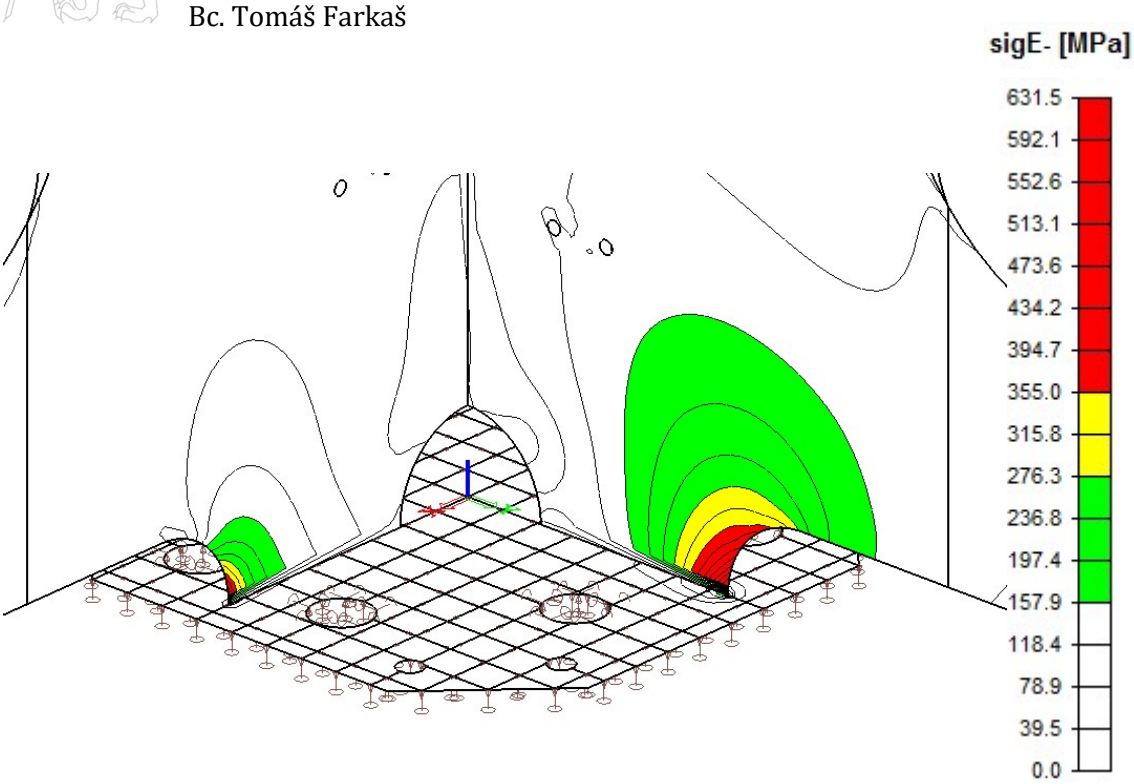
Obrázek 55 *σE+; pohled proti směru osy Y*



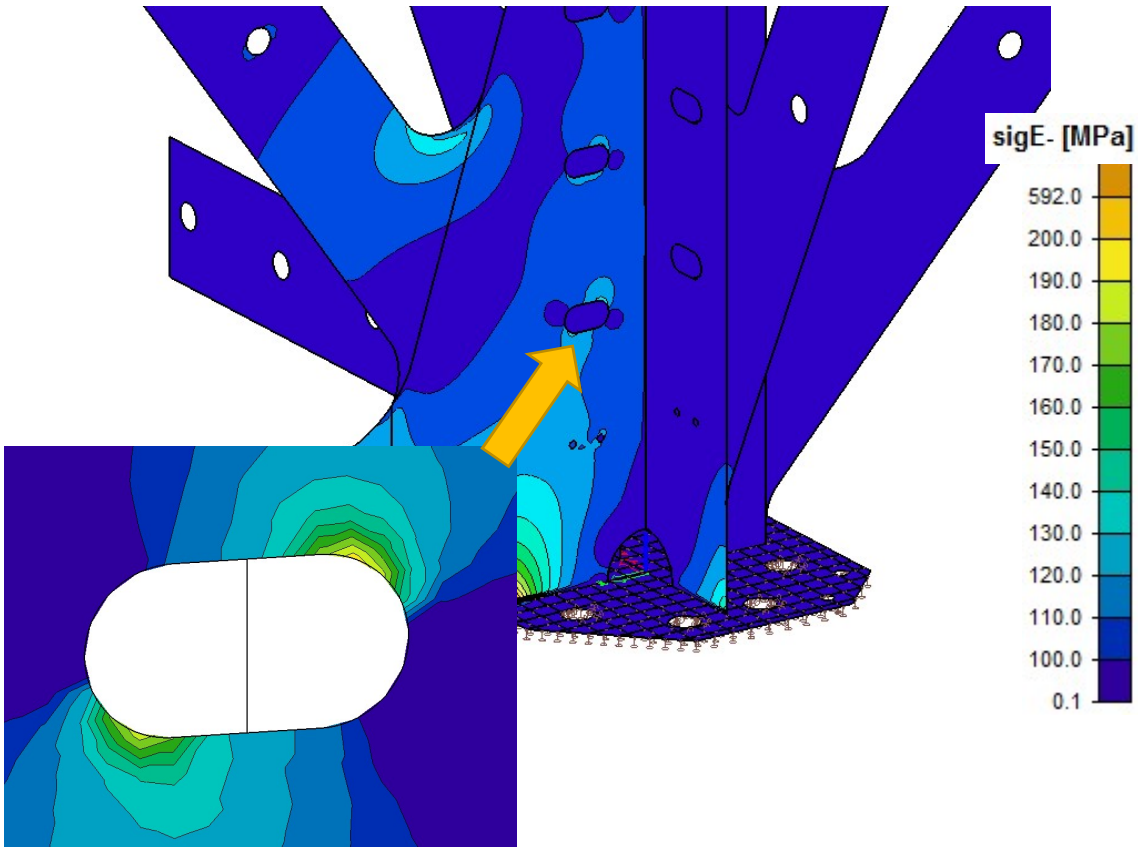
Obrázek 56 *σE-; pohled proti směru osy X*



Obrázek 57 *σE-; pohled proti směru osy Y*



Obrázek 58 *σE-; Vyznačení oblastí, kde se ocel dostala již za mez kluzu*



Obrázek 59 *σE-; otvor s největším napětím od svorníku σE- = 187,5 MPa*

Posouzení únosnosti v soustředném tlaku

$\sigma E-$ = 187,5 MPa

f_{yd} = 355 MPa

$f_{dH} = 4 . f_{yd}$ = 1420 MPa

$\sigma E-$ = 187,5 ≤ f_{dH} = 1420 OK

Únosnost v soustředném tlaku vyhoví

Ruční výpočet kontaktního napětí v otovru od působení svorníku

a) podle Hertze

N = 0,423 kN

V_y = 0,075 kN

F_{Ed} = 0,430 kN

r_1 =	24	mm	poloměr svorníku
r_2 =	∞	mm	"poloměr" plechu
E_1 =	210	GPa	modul pružnosti svorníku
E_2 =	210	GPa	modul pružnosti plechu
l =	16	mm	délka kontaktu = tloušťka plechu

$\sigma_{S1} = (F_{Ed}/(l . \pi) . (1/r_1 + 1/r_2)/(1/E_1+1/E_2))^{0,5}$

σ_{S1} = 193,37 MPa

b) stará norma

$\sigma_{S2} = 0,42 . ((F_{Ed} . E_1)/(l . r_1))^{0,5}$

σ_{S2} = 203,58 MPa

Porovnání s napětím z desko-stěnového modelu

$\sigma E-/\sigma_{S1}$ =	**96,96%**
$\sigma E-/\sigma_{S2}$ =	**92,10%**

Posouzení napětí v kontaktní desce

R_z = 20,03 kN

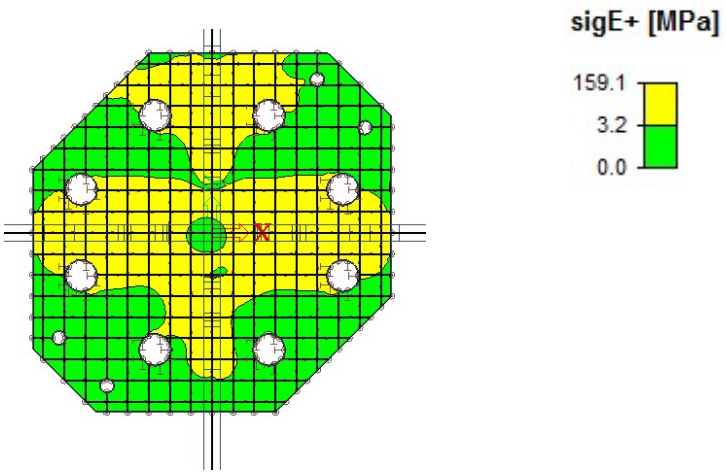
$A_{styč}$ = 6240 mm^2

σ_C = 3,21 MPa

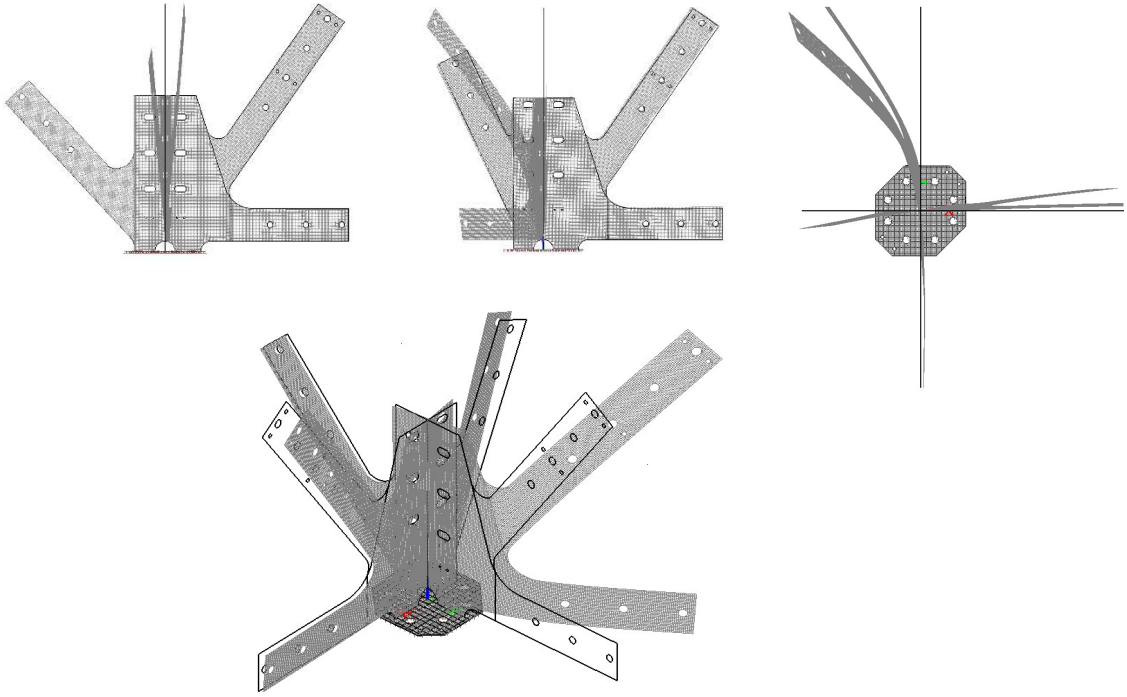
f_{yd} = 355 MPa

σ_C = 3,21 ≤ f_{yd} = 355 OK

Napětí v kontaktní desce vyhoví



Obrázek 60 *Rozdělení napětí na kontaktní desce – rozdíl mezi ručním výpočtem a desko-stěnovým modelem*



Obrázek 61 *Znázornění deformace styčníku od účinku zatížení*

6 Ověření stability základové konstrukce bez pilot

Tabulka 27 *Dílčí součinitelé pro ověření stability konstrukce*

EQU	Nepříznivý	Příznivý
γ_G	1,1	0,9
γ_Q	1,5	0,0

Posouzení překlopení konstrukce bez pilot okolo osy Y

Materiál:

beton	C20/25	
γ_C =	25	kN/m^3
B =	11	m
L =	11	m
h =	1,2	m

Výslednice reakcí:

R_x =	1550,12	kN
R_z =	510,443	kN
M_y =	35184,2	kNm
G_z =	3267	kN

Těžiště:

X =	3,99	m
Z =	0,286	m
základ:	-1,2	m
S =	4,103	m

$M_{stab} \geq M_{destab}$

M_{stab} = 20833,6 kNm

M_{destab} = 37487,7 kNm

M_{stab} = 20834 < M_{destab} = 37488 NOK

Konstrukce je bez pilot nestabilní

Posouzení překlopení konstrukce bez pilot okolo osy X

Výslednice reakcí:

R_y =	1378,84	kN
R_z =	515,069	kN
M_x =	30903,5	kNm
G_z =	3267	kN

Těžiště:

Y =	4,258	m
Z =	0,286	m
základ:	-1,2	m
S =	4,103	m

$M_{stab} \geq M_{destab}$

M_{stab} =	20721,5	kNm
M_{destab} =	32952,5	kNm

M_{stab} = 20722 < M_{destab} = 32952 NOK

Konstrukce je bez pilot nestabilní

7 Posouzení mezního stavu použitelnosti

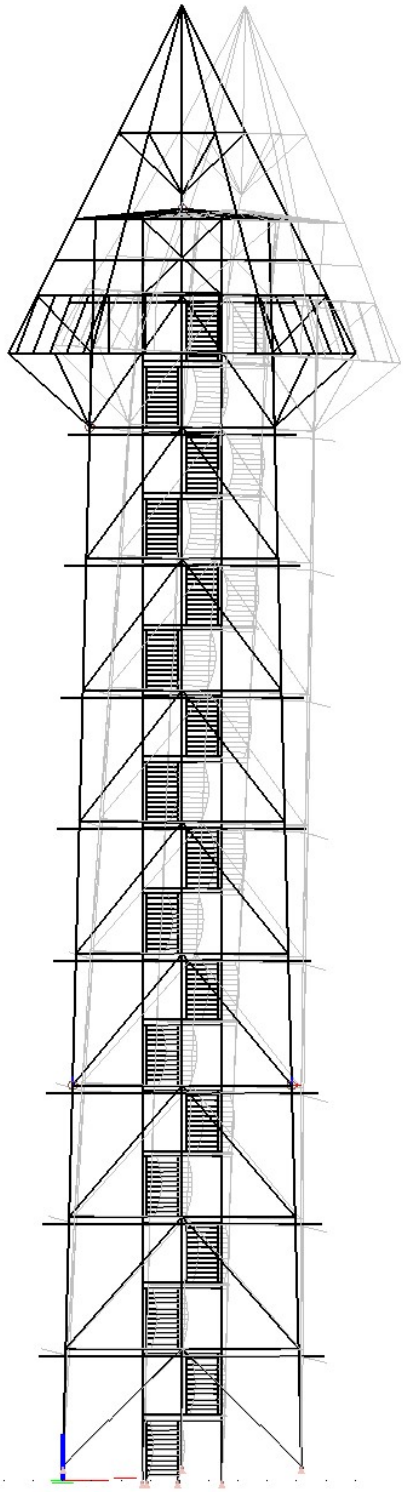
Maximální deformace prvku v konstrukci je 148 mm a jedná se od deformaci ve spodní části zábradlí.

Na zbylé části konstrukce největší deformace rovná 87,7 mm a je způsobená kombinací zatížení CO27.

Při výšce věže 50,68 m je maximální přípustná deformace 506,8 mm (h/100), i když s ohledem na komfort návštěvníků by měla být stanovena přísnější hodnota.

Konstrukce na MSP vyhoví.

Přísnější hodnota deformací by měla být stanovena také s ohledem na upevněné antény na stříšce vyhlídky, bohužel společnosti tato kritéria nesdělují fyzickým osobám.



Obrázek 62 *Deformovaný tvar konstrukce*

Závěr

V této diplomové práci jsem se zaměřil na vytvoření 3D prostorového modelu vyhlídkové věže Bohdanka, na dynamickou analýzu konstrukce a následné posouzení hlavních nosných prvků a vybraných detailů věže.

Podkladem pro tvorbu 3D modelu mi byla výkresová dokumentace skutečného provedení objektu, kterou mi poskytl Obecní úřad obce Bohdaneč spolu s fotografiemi z realizace stavby, a dále vlastní měření a fotografie objektu.

Zatížení statického modelu bylo stanoveno dle platných evropských norem ČSN EN.

Posouzení nosných prvků a styčníků bylo také v souladu s evropskými normami ČSN EN.

Skutečnost, že velká část dílčích posouzení nosných prvků a detailů v mé práci nevyhověla únosnosti může být způsobena možným odlišným návrhovým přístupem, se kterým jsem k posuzování přistoupil. Především z mé strany konzervativní posouzení složených prutových prvků mohlo způsobit nevyhovující posudky a statik stavby mohl v tomto ohledu přistupovat k návrhu jiným méně konzervativním způsobem.

V závěru práce jsem se zaměřil na analýzu napětí v ocelovém styčníku desko-stěnovým modelem vytvořeným ve výpočetním programu Scia Engineer, který k tomuto účelu není primárně využíván. Přesto výsledky mohou mít svou váhu, což bylo prokázáno porovnáním napětí v soustředném tlaku z desko-stěnového modelu s výpočtem napětí dle Hertzovy kontaktní teorie.

TYPICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ AA`
M1:50

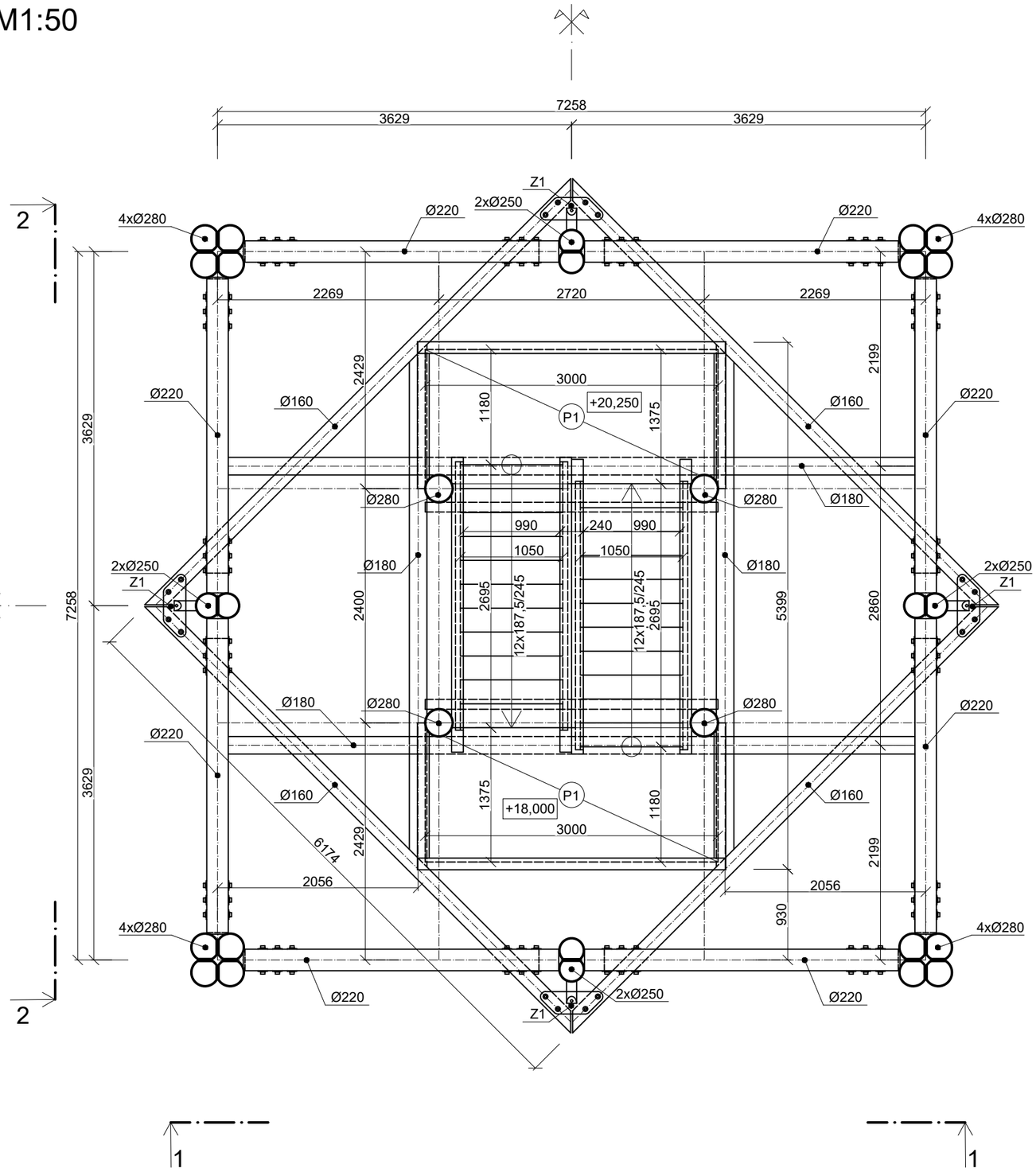
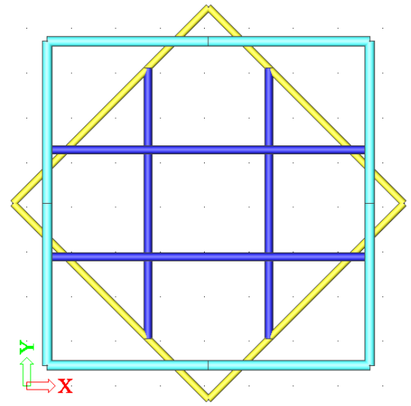
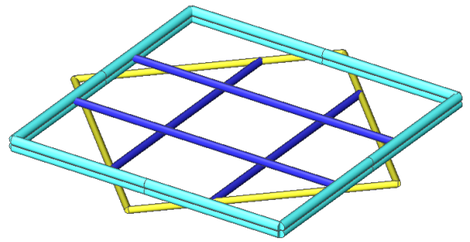


SCHÉMA PŘÍČNÉHO ŘEZU





LEGENDA:

(P1) PODESTA - Z FOŠEN 50/245 (klást vedle sebe s mezerou 10 mm)

(Z1) ZÁMEČNICKÝ PRVKEK

MATERIÁL:

kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
prvky schodiště - hraněné řezivo třídy C24
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

±0,000 = 498,000 m. n. m

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	2xA4
		MĚŘÍTKO	1:50
		DATUM	I/18
OBSAH : TYPICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ AA‘		Č. VÝKR.	01

PŘÍČNÝ ŘEZ BB`
M1:50

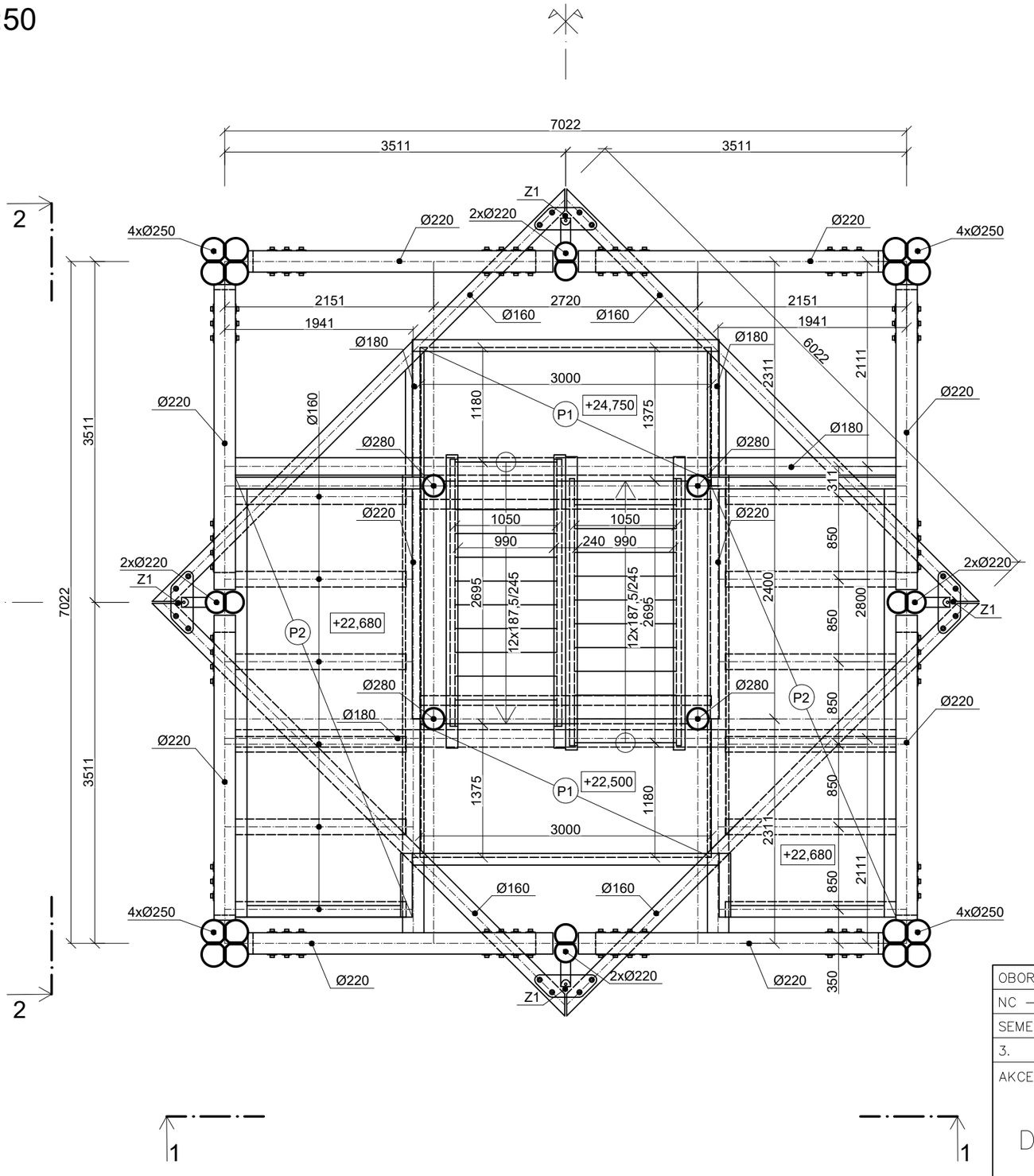
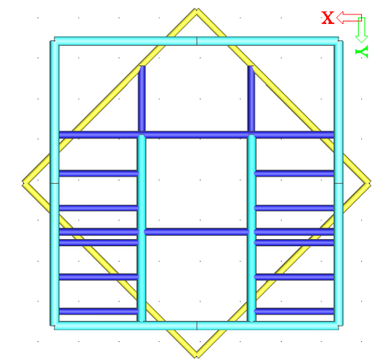
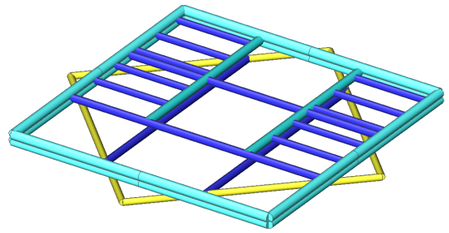


SCHÉMA PŘÍČNÉHO ŘEZU





LEGENDA:

- (P1) PODESTA - Z FOŠEN 50/245 (klást vedle sebe s mezerou 10 mm)
- (P2) PLOŠINA - Z FOŠEN 50/245 (klást vedle sebe s mezerou 10 mm)
- (Z1) ZÁMEČNICKÝ PRVKEK

MATERIÁL:

kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
prvky schodiště - hraněné řezivo třídy C24
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

±0,000 = 498,000 m. n. m

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ			FORMÁT 2xA4
			MĚŘÍTKO 1:50
			DATUM I/18
OBSAH : PŘÍČNÝ ŘEZ BB‘			Č. VÝKR. 02

PŘÍČNÝ ŘEZ CC`
M1:50

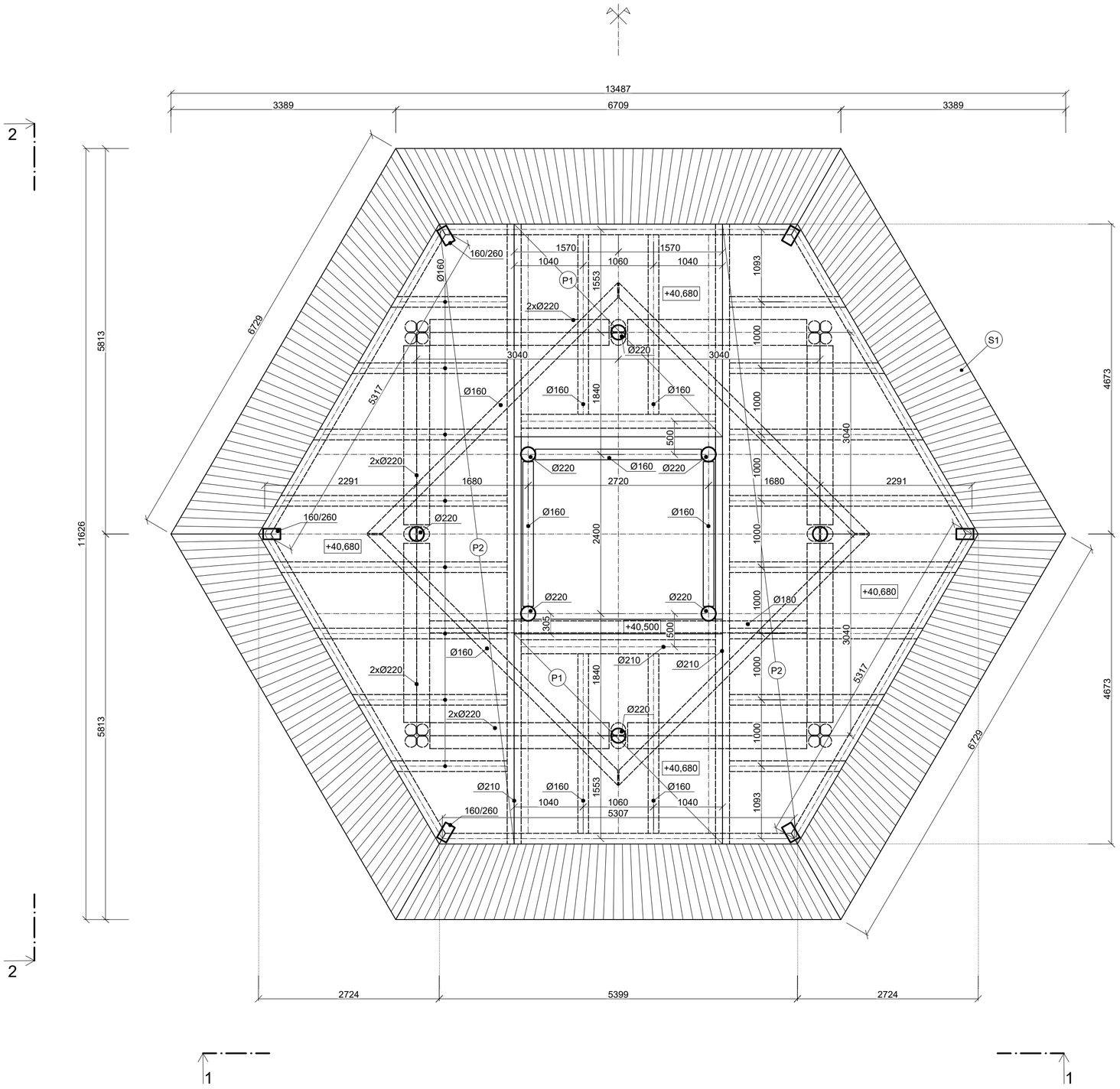
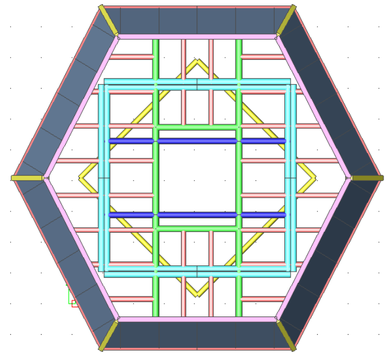
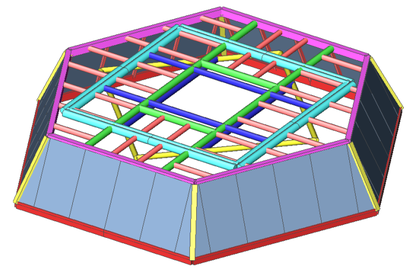


SCHÉMA PŘÍČNÉHO ŘEZU





LEGENDA:

- (P1) PODLAHA - Z FOŠEN 50/245 (klást vedle sebe s mezerou 10 mm)
- (P2) PODLAHA - Z FOŠEN 50/245 (klást vedle sebe s mezerou 10 mm)
- (S1) střešní plášť - překládaná modřínová prkna tl. 2x22 mm

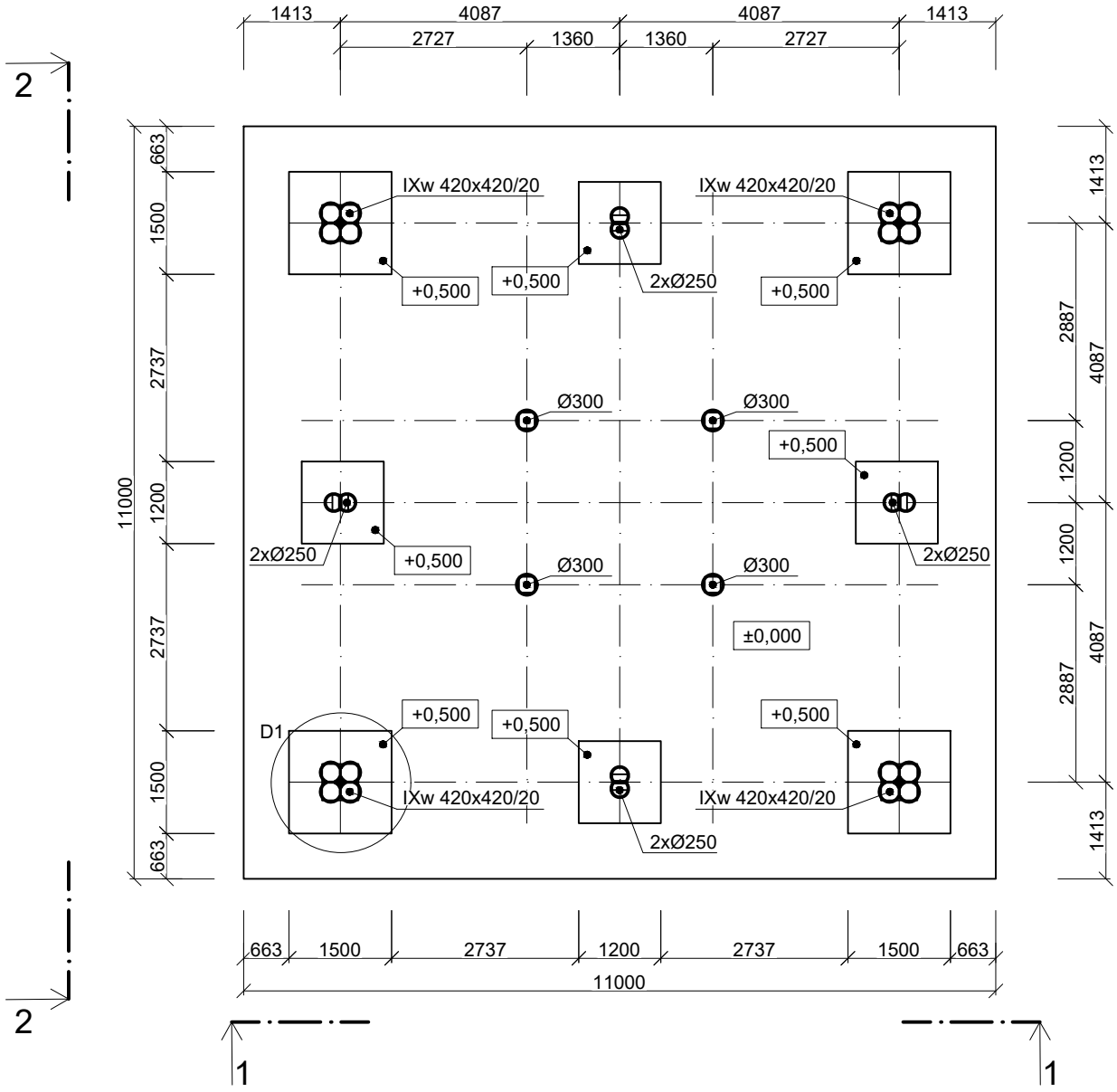
MATERIÁL:

kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
prvky schodiště - hraněné řezivo třídy C24
prvky střechy - lepené lamelové dřevo GL24h
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

±0,000 = 498,000 m. n. m

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ			FORMÁT 4xA4
			MĚŘÍTKO 1:50
			DATUM 1/18
OBSAH : PŘÍČNÝ ŘEZ CC'			Č. VÝKR. 03

PŘÍČNÝ ŘEZ DD`
M1:100



MATERIÁL:

kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

±0,000 = 498,000 m. n. m

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE	
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.	

AKCE :

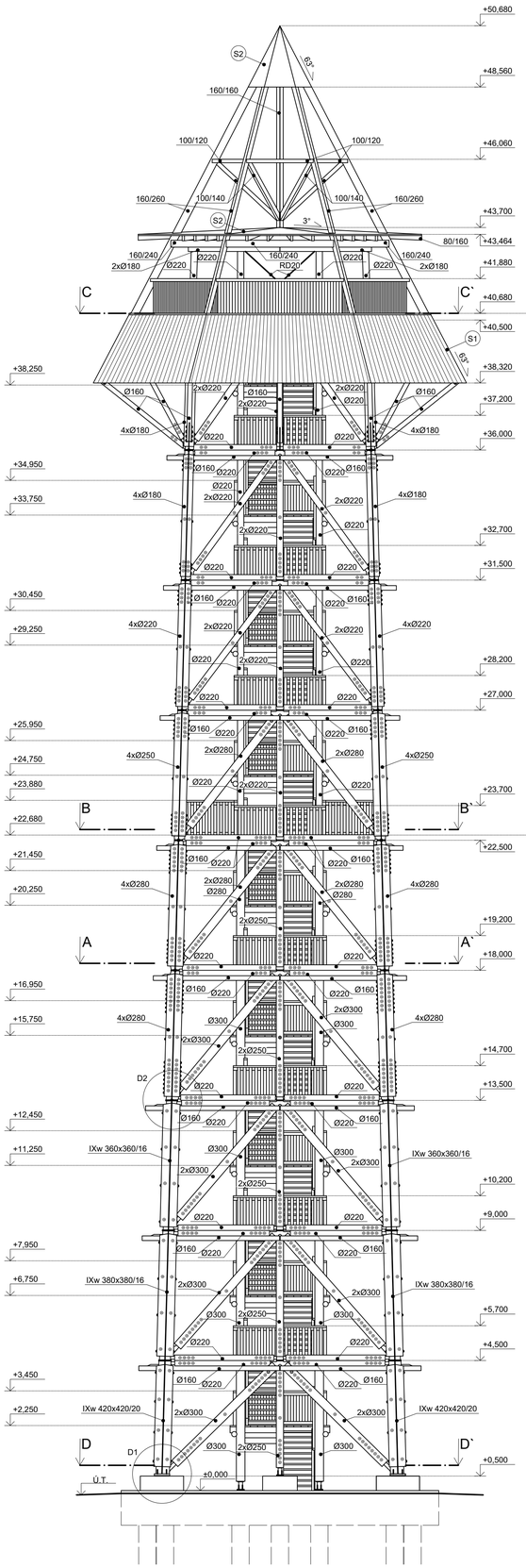
DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ

FORMÁT	A4
MĚŘÍTKO	1:100
DATUM	I/18
Č. VÝKR.	04

OBSAH :

PŘÍČNÝ ŘEZ DD`

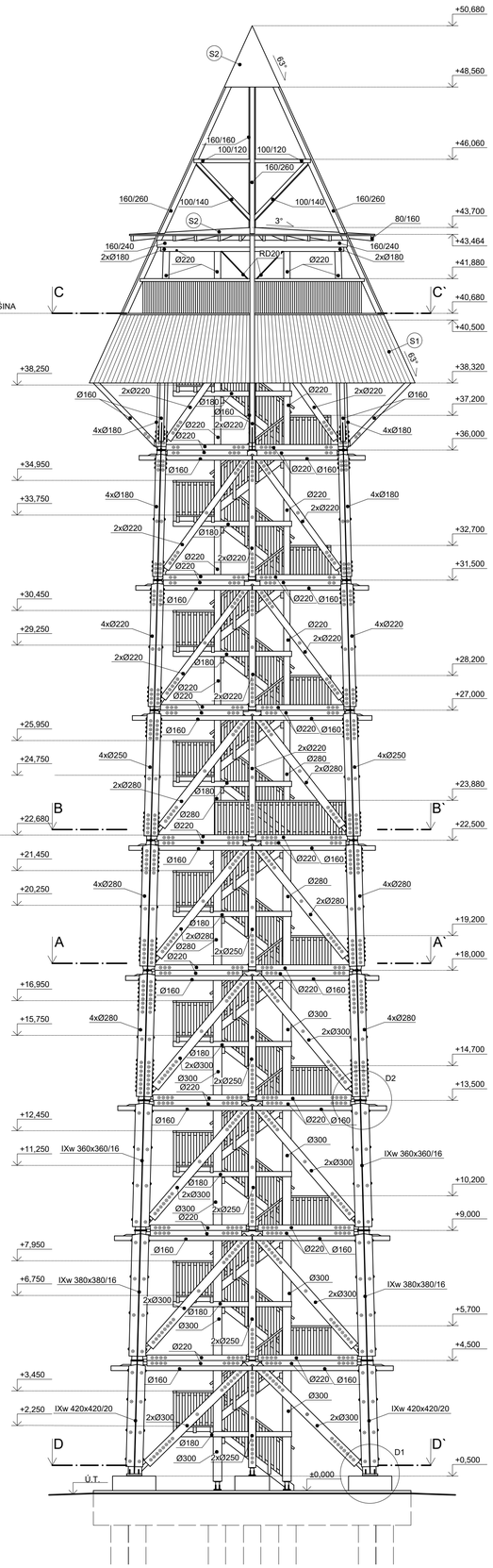
POHLED 1-1
M1:100



VYHLÍDKOVÁ PLOŠINA

ODPOČINKOVÁ PLOŠINA

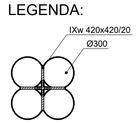
POHLED 2-2
M1:100



VÝKAZ PRVKŮ:

MATERIÁL	HMOTNOST [kg]	POVRCH [m²]	OBJEM [m³]
dřevo C24	45664,9	2567,744	130,47
lepené dřevo GL24h	3159,0	174,908	8,31
ocel S355J2	5336,9	80,212	0,68

LEGENDA:



(S1) střešní plášť - překládaná modřínová prkna tl. 2x22 mm
(S2) střešní plášť - měděný plech tl. 0,55 mm

MATERIÁL:

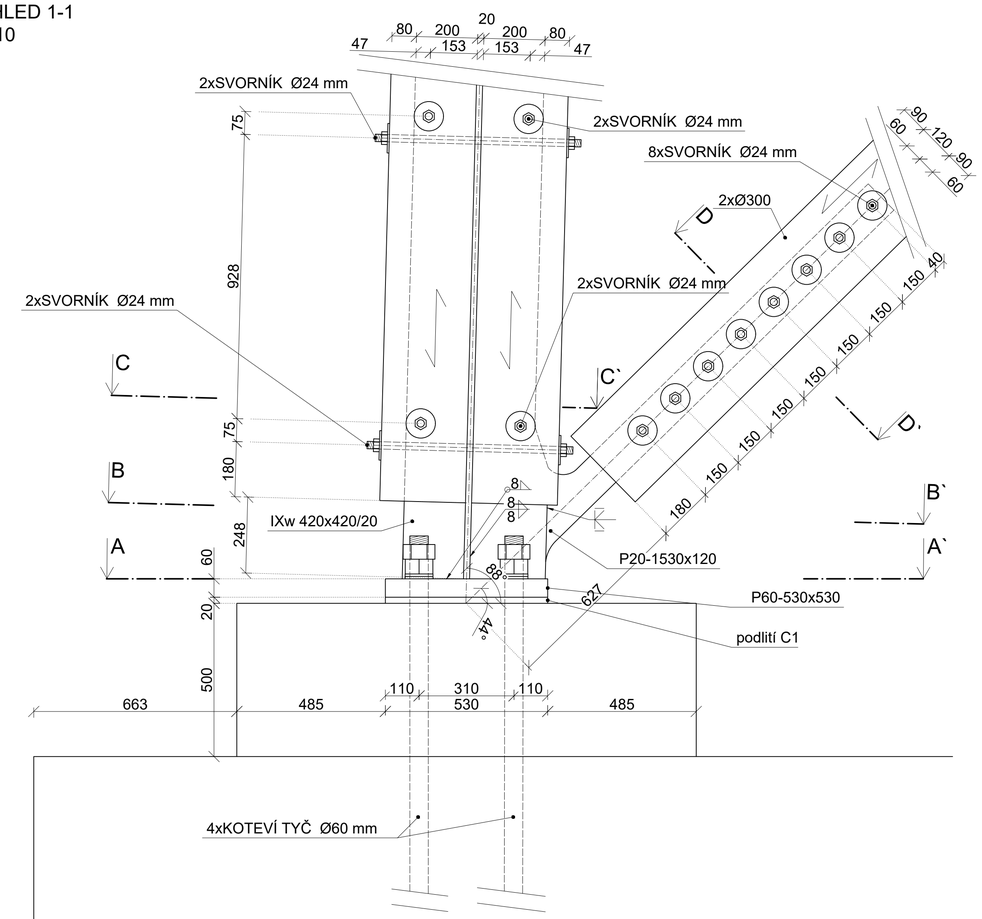
kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
prvky schodiště - hraněné řezivo třídy C24
prvky střechy - lepené lamelové dřevo GL24h
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

±0,000 = 498,000 m. n. m

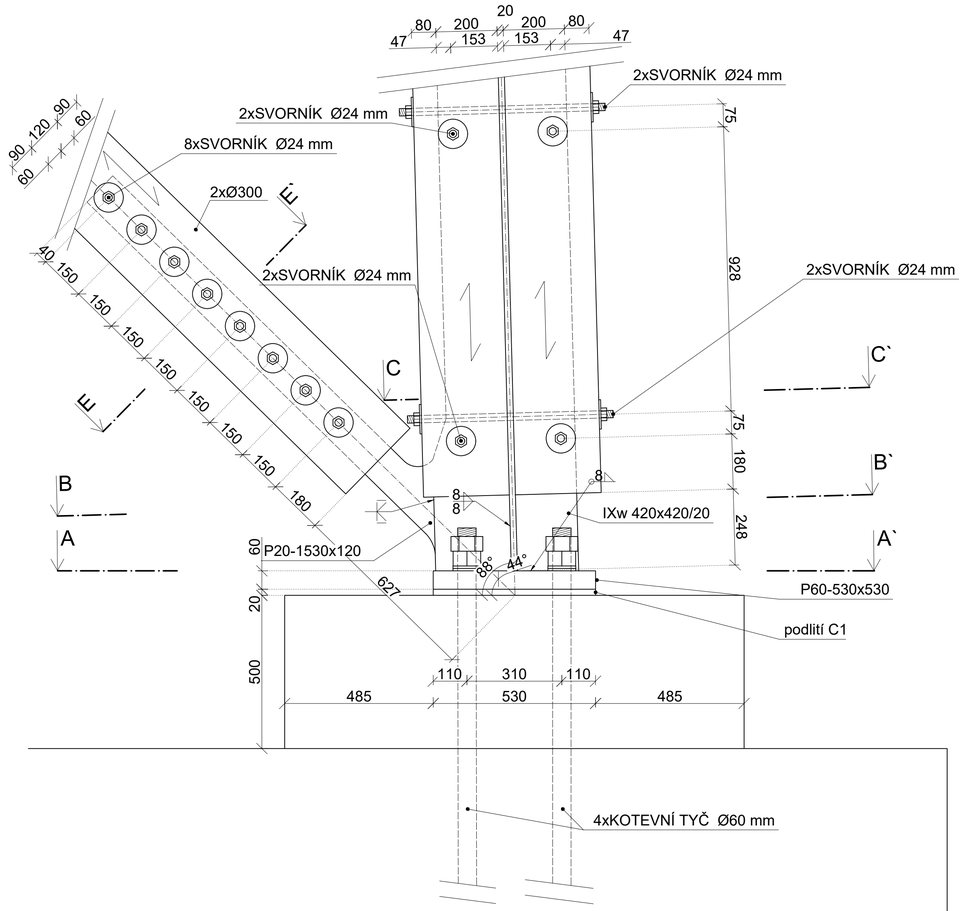
OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	6xA4
		MĚŘÍTKO	1:100
		DATUM	I/18
OBSAH : ORTOGONÁLNÍ POHLEDY		Č. VÝKR.	05

DETAIL D1

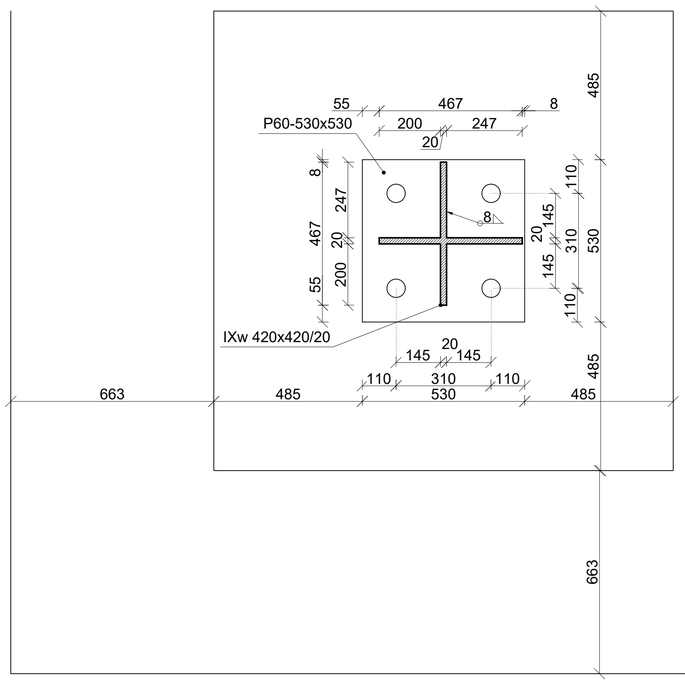
POHLED 1-1
M1:10



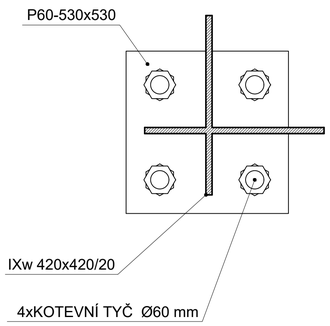
POHLED 2-2
M1:10



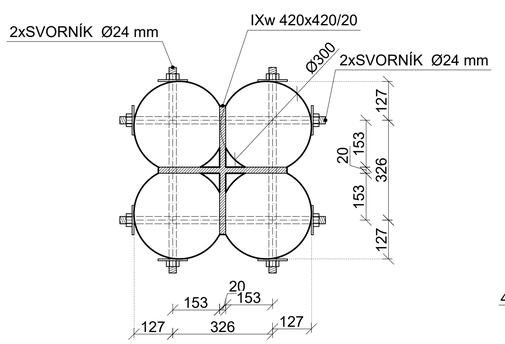
ŘEZ AA`
M1:10



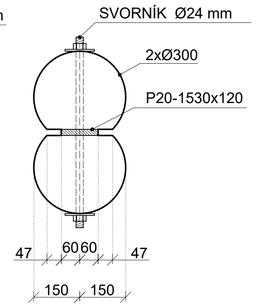
ŘEZ BB`
M1:10



ŘEZ CC`
M1:10



ŘEZ DD`, EE`
M1:10



MATERIÁL:

kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

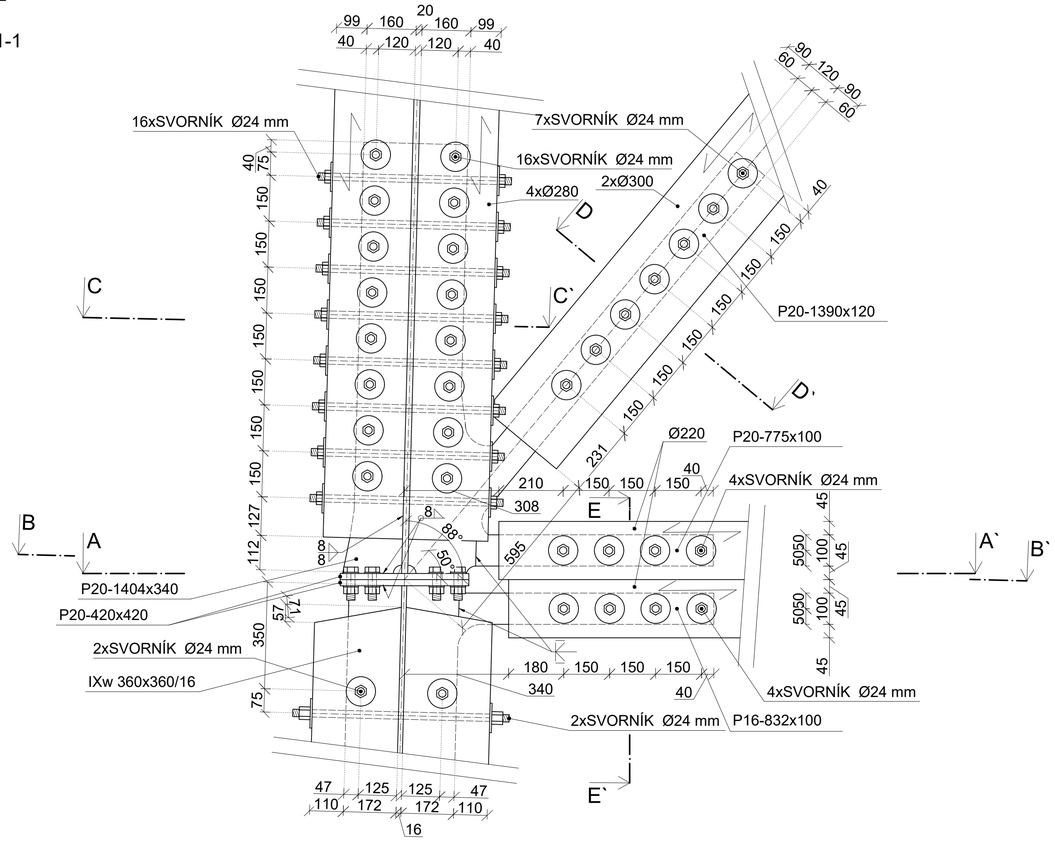
POZNÁMKY:

Kotevní tyče osadit dvěma maticemi M60 a ty zavařit.
Výkres detailu nenahrazuje dílenskou dokumentaci.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	8xA4
		MĚŘÍTKO	1:10
		DATUM	I/18
OBSAH : DETAIL 1		Č. VÝKR.	06

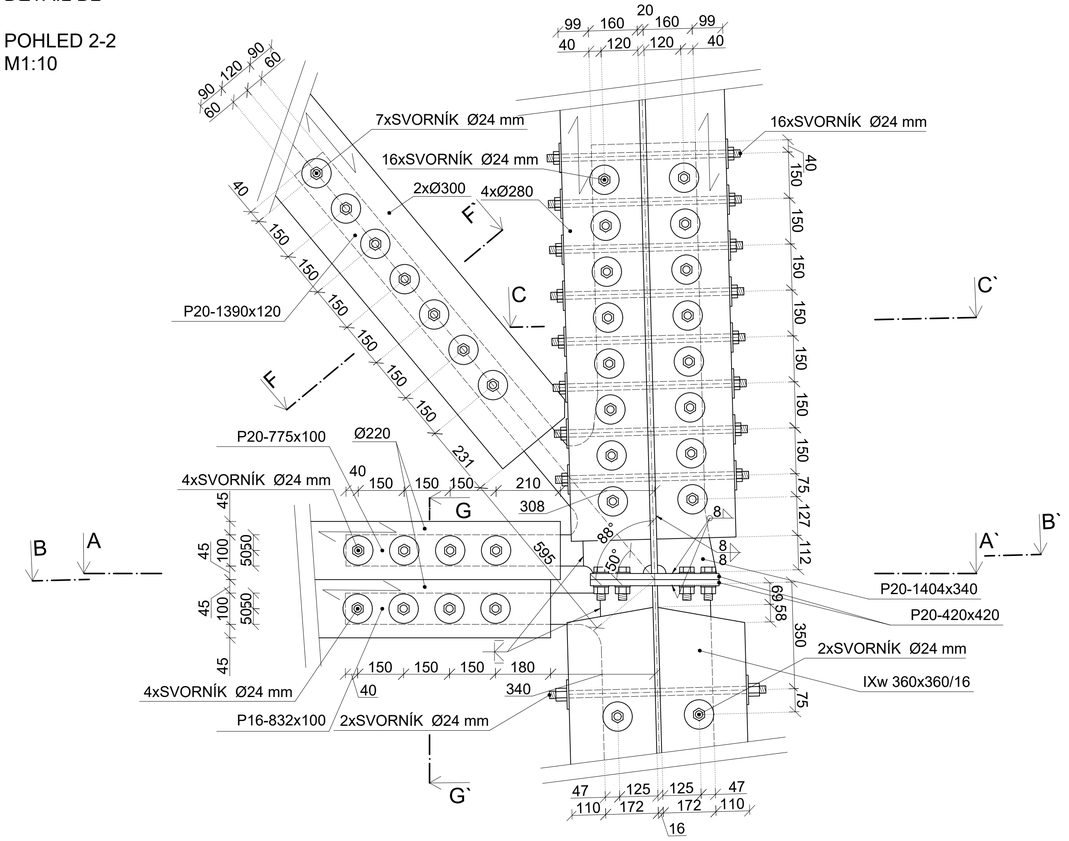
DETAIL D2

POHLED 1-1
M1:10

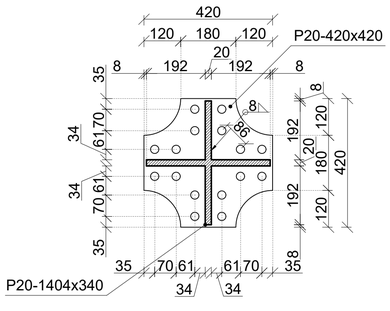


DETAIL D2

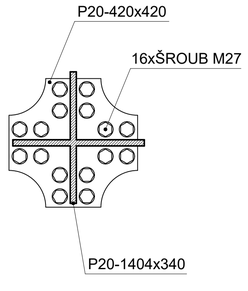
POHLED 2-2
M1:10



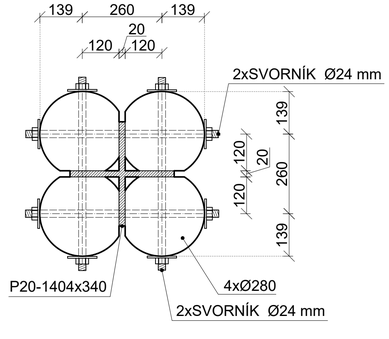
ŘEZ AA`
M1:10



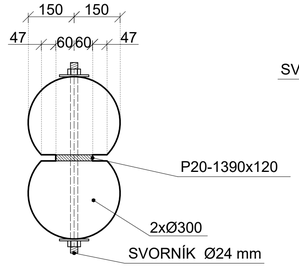
ŘEZ BB`
M1:10



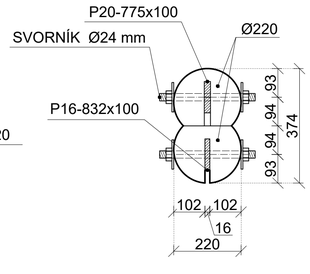
ŘEZ CC`
M1:10



ŘEZ DD`, FF`
M1:10



ŘEZ EE`, GG`
M1:10



MATERIÁL:

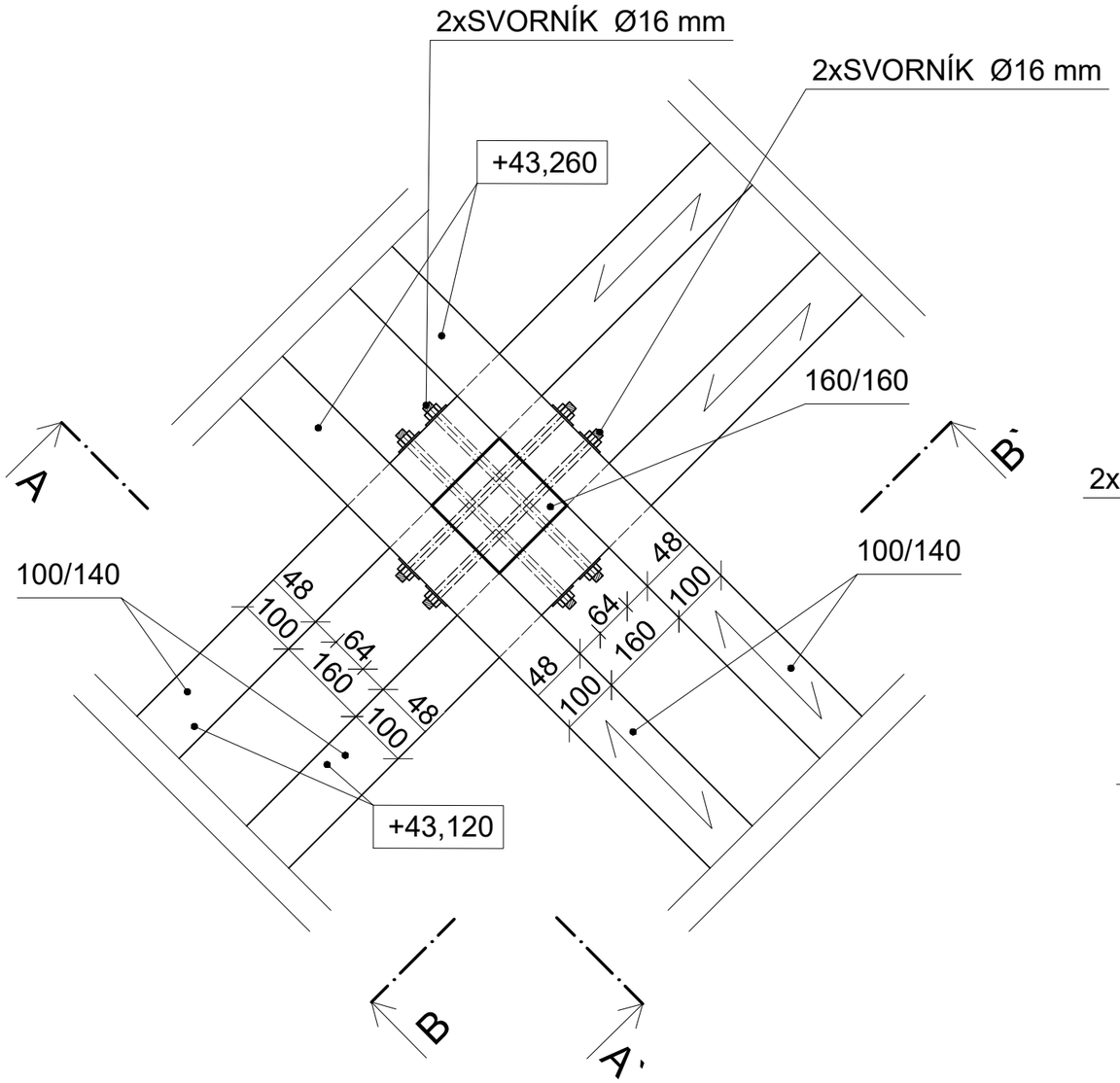
kulatina třídy C24 - všechny "Ø"
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

POZNÁMKY:

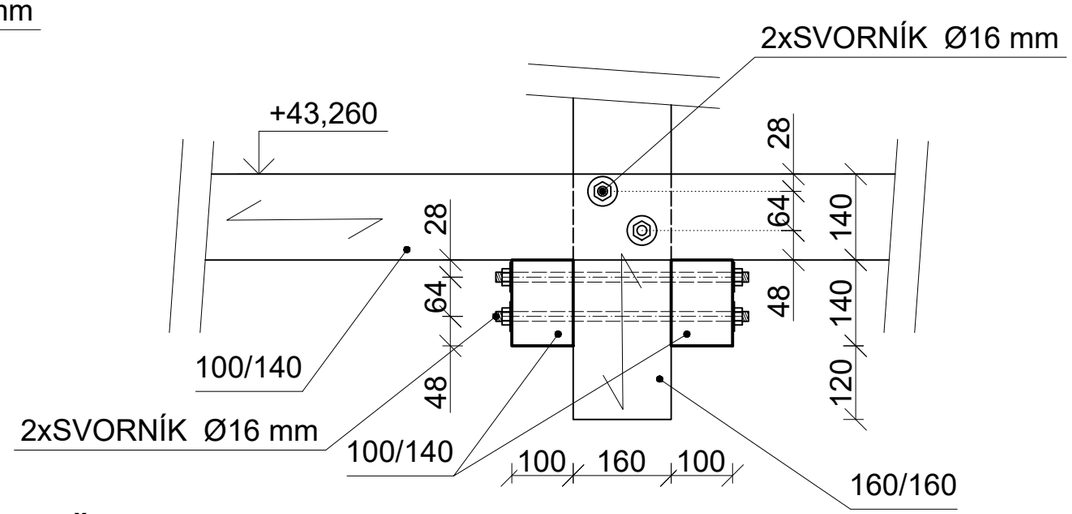
Výkres detailu nenahrazuje dílenskou dokumentaci.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	8xA4
		MĚŘÍTKO	1:10
		DATUM	I/18
OBSAH : DETAIL 2		Č. VÝKR.	07

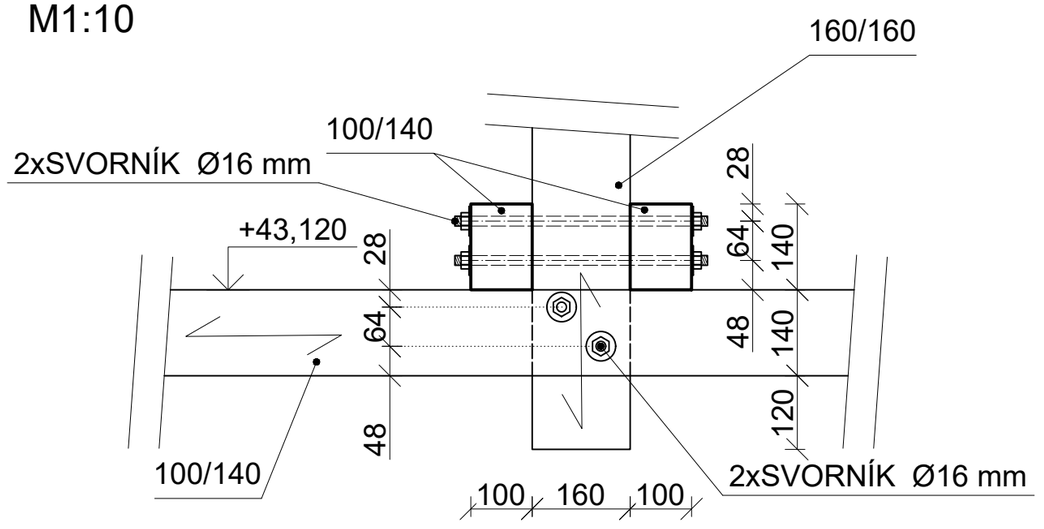
DETAIL D3
M1:10



ŘEZ AA`
M1:10



ŘEZ BB`
M1:10



MATERIÁL:

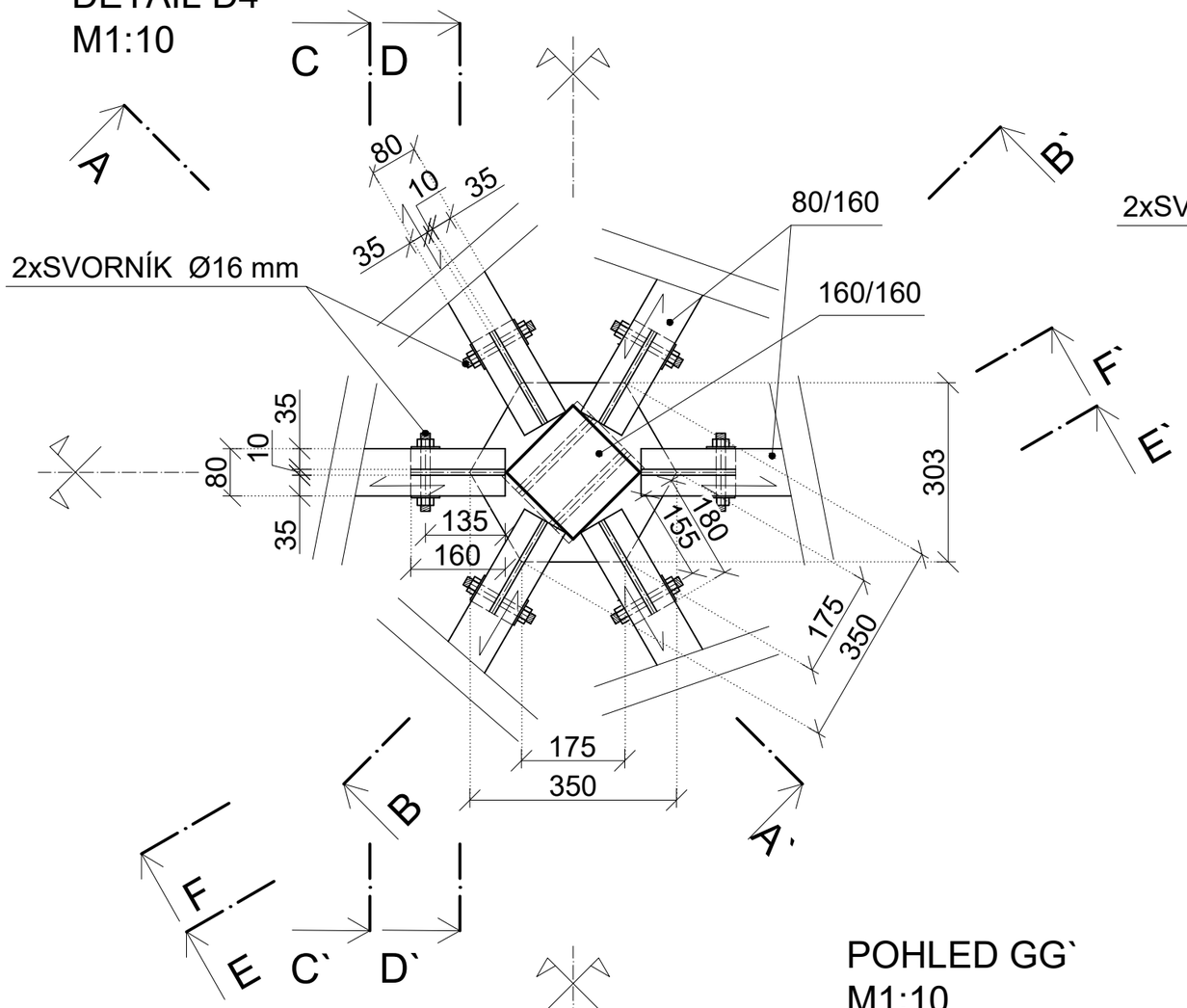
lepené lamelové dřevo GL24h
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

POZNÁMKY:

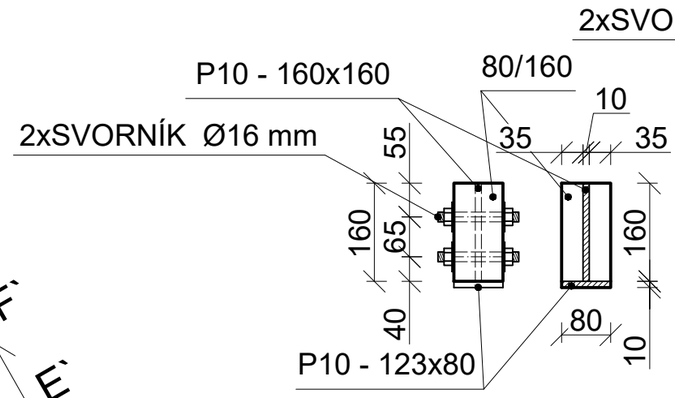
Výkres detailu nenahrazuje dílenskou dokumentaci.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	2xA4
		MĚŘÍTKO	1:10
		DATUM	I/18
OBSAH : DETAIL 3		Č. VÝKR.	08

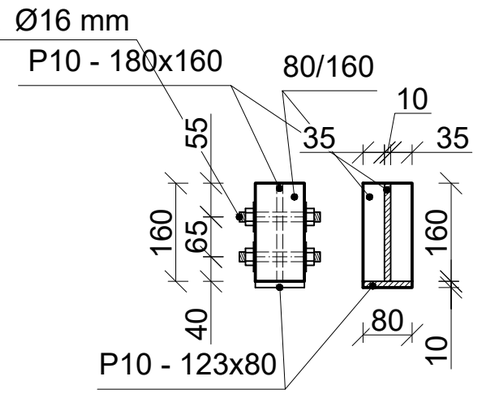
DETAIL D4
M1:10



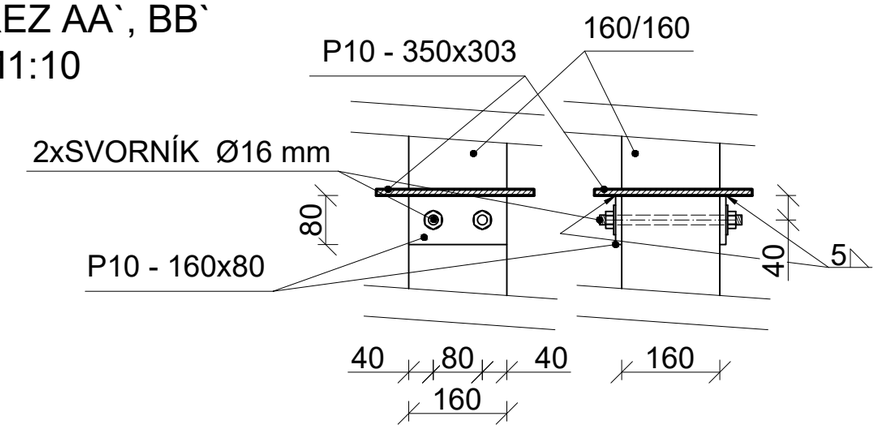
ŘEZ CC`, DD`
M1:10



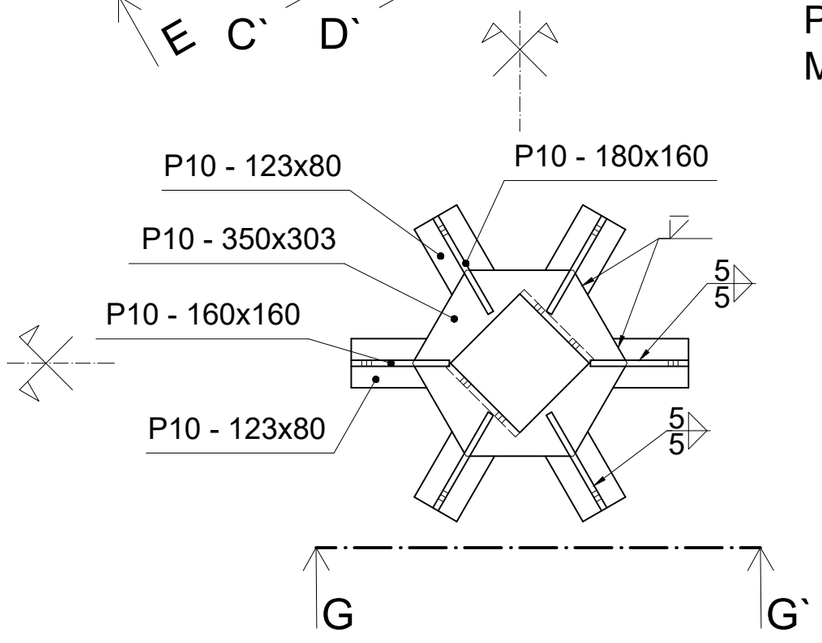
ŘEZ EE`, FF`
M1:10

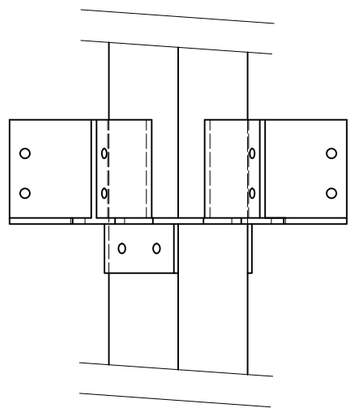


ŘEZ AA`, BB`
M1:10



POHLED GG`
M1:10





MATERIÁL:

lepené lamelové dřevo GL24h
ocel S355J2 dle EN 10025-2
materiál spojovacích prostředků 8.8

POZNÁMKY:

Výkres detailu nenahrazuje dílenskou dokumentaci.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
NC – KPS	K134	Bc. TOMÁŠ FARKAŠ	
SEMESTR	VEDOUCÍ PRÁCE		
3.	Ing. LUKÁŠ BLESÁK, Ph.D.		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE – VYHLÍDKOVÁ VĚŽ		FORMÁT	2xA4
		MĚŘÍTKO	1:10
		DATUM	I/18
OBSAH : DETAIL 4		Č. VÝKR.	09