

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Bakalářská práce

Prohlídka Drtinovy rozhledny

Kryštof Krbec

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE

Studijní program:

Stavební inženýrství

Studijní obor:

Konstrukce a dopravní stavby

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Krbec</u>	Jméno: <u>Kryštof</u>	Osobní číslo: <u>484642</u>
Zadávací katedra: <u>K134</u>		
Studijní program: <u>SI</u>		
Studijní obor/specializace: <u>K</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Prohlídka Drtinovy rozhledny

Název bakalářské práce anglicky: Inspection of the Drtina's Lookout Tower


Pokyny pro vypracování:
Proveďte odbornou prohlídku dřevěné Drtinovy rozhledny. Zaměřte se na statický systém a provedení detailů. Proveďte zjednodušené statické posouzení hlavních nosných prvků a nakreslete dispoziční výkresy a výkresy hlavních detailů.


Seznam doporučené literatury:
Sstém norem řady ČSN EN.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Jakub Dolejš

Datum zadání bakalářské práce: 27.2.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 26.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


27.2.2023
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 22.5.2023



Kryštof Krbec

Poděkování

Rád bych poděkoval především doc. Dr. Ing. Jakubu Dolejšovi za odborné vedení mé práce, za vstřícné chování a jeho trpělivý přístup. Také děkuji Ing. Jiřímu Bendlovi za zprostředkování schůze se zastupitelstvem obce Chotilsko. Dále bych chtěl poděkovat obecnímu úřadu obce Chotilsko, jmenovitě Bc. Hynkovi Hyprovi za poskytnutí projektové dokumentace rozhledny a za vlídnou komunikaci.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá prohlídkou Drtinovy rozhledny na vrchu Besedná. Prohlídka byla provedena pro pochopení statického systému konstrukce a zhodnocení jejího stavebně technického stavu. Nakonec byly prověřeny hlavní nosné prvky konstrukce zjednodušeným statickým výpočtem.

Klíčová slova

Rozhledna, dřevo, prohlídka, výpočet

Abstract

The bachelor's thesis deals with a inspection of the Drtina's lookout tower on Besedná hill. The inspection was carried out to understand the static system of the structure and to evaluate its structural and technical condition. Finally, the main load-bearing elements of the structure were verified by a simplified static calculation.

Key words

Lookout tower, wood, inspection, static calculation

Obsah

1 Úvod	8
2 Prohlídka.....	9
2.1 Popis rozhledny	9
2.2 Hlavní nosná konstrukce	10
2.2.1 Nárožníky.....	10
2.2.2 Nosníky	10
2.2.3 Diagonály.....	11
2.3 Konstrukce schodištvé věže	11
2.4 Krov	12
2.5 Základy	12
2.6 Technický stav konstrukce.....	13
3 Model	13
4 Zatížení	15
4.1 Stálá zatížení.....	15
4.1.1 Vlastní tíha.....	15
4.1.2 Ostatní stálá zatížení	15
4.2 Proměnná zatížení.....	15
4.2.1 Užitná zatížení	15
4.2.1 Zatížení sněhem	17
4.2.2 Zatížení větrem.....	18
4.3 Zatěžovací stavy	22
4.4 Kombinace.....	22
4.4.1 Mezní stav únosnosti.....	22
4.4.2 Mezní stav použitelnosti	22

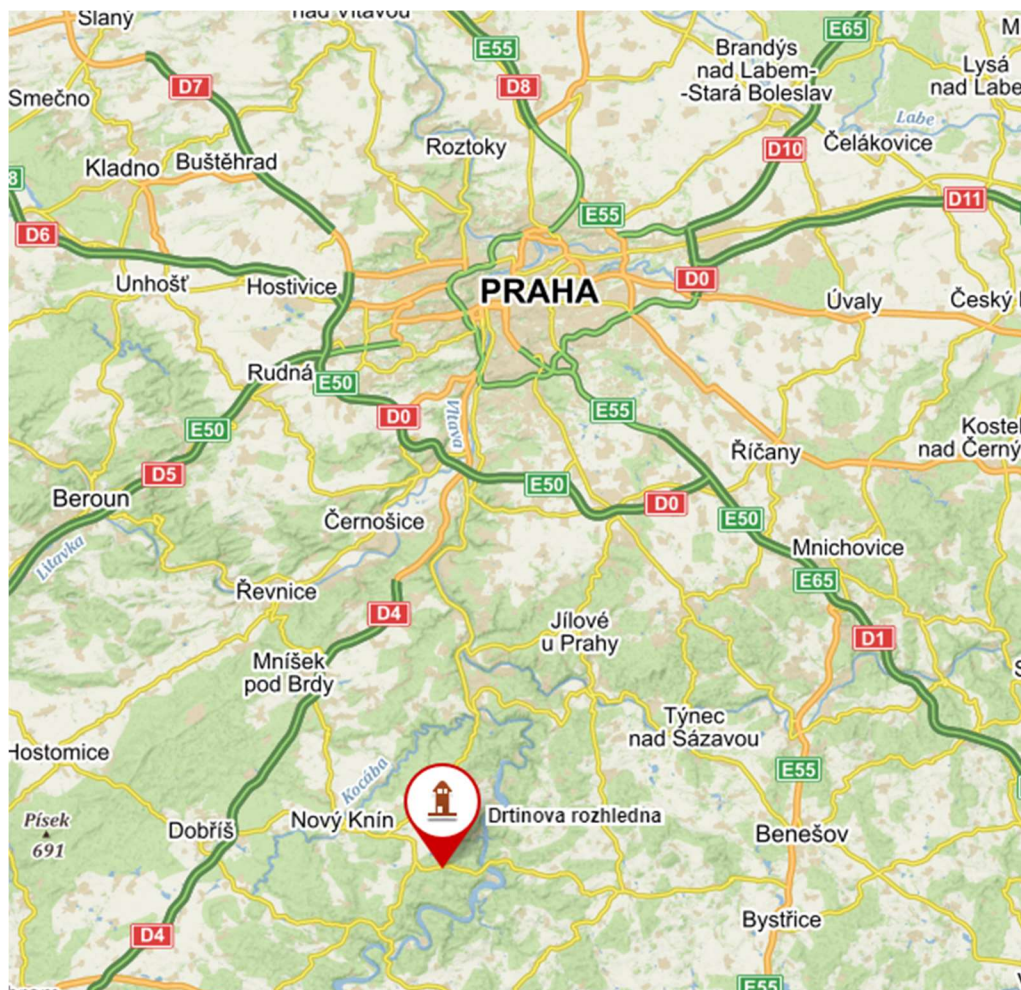
5 Statický posudek.....	23
5.1 Hlavní nosné prvky	23
5.1.1 Materiály	23
5.1.2 Nárožníky.....	24
5.1.3 Nosníky	28
5.1.4 Diagonály.....	36
5.2 Detaily	39
5.2.1 Materiály	39
5.2.2 Přípoj nárožník-nosník-diagonála.....	39
5.2.3 Kotvení nárožníku.....	48
6 Závěr	52
Seznam obrázků	53
Seznam výpočtů	55
Seznam tabulek	57
Seznam rovnic	58
Seznam použité literatury	59
Seznam použitých programů.....	60
Seznam příloh.....	61
1 Půdorys 1NP a 2NP.....	61
2 Půdorys 3NP a 4NP.....	61
3 Půdorys 5NP, 6NP a 7NP	61
4 Řezy rovinou stěny A a B	61
5 Řezy rovinou stěny C a D	61
6 Detaily.....	61

1 Úvod

Tato práce se zabývá Drtinovou rozhlednou na vrchu Besedná nedaleko obce Chotilsko. Jedná se o dřevěnou rozhlednu postavenou roku 2015 na místě původní rozhledny z roku 1926.

První část práce se zabývá momentálním stavem rozhledny, jejími konstrukčními prvky a jejich rozměry. Tento technický stav bude zhodnocen. Dále byl vytvořen 3D statický model, na který byly naneseny zatěžovací stavy a příslušné kombinace těchto stavů. 3D model slouží pro výpočet vnitřních sil.

Na závěr práce se zjednodušeným výpočtem posoudí statika hlavních nosných prvků a budou vytvořeny dispoziční výkresy a výkresy detailů.



Obrázek 1 Umístění rozhledny (zdroj mapy.cz)

2 Prohlídka

Prohlídka proběhla dne 19. 2. 2023 kolem čtvrté hodiny odpoledne. Teplota se pohybovala kolem 8 °C a bylo zataženo. Záměrem prohlídky bylo pochopení statického působení a pořízení fotodokumentace. Rozměry konstrukce byly převzaty z projektové dokumentace, která byla poskytnuta obecním úřadem obce Chotilsko.



Obrázek 2 Drtinova rozhledna

2.1 Popis rozhledny

Rozhledna má základnu 7,2 × 7,2 metrů. Má sedm podlaží o výšce 3,5 metru. Věž se postupně zužuje na rozměry sedmého patra 4,2 × 4,2 metrů. Výška věže od prvního podlaží do vyhlídkové plošiny je 21 metrů. Celková výška věže s konstrukcí střešního krovu je 24,645 metrů. Patra jsou propojena dvouramenným schodištěm opatřeným zábradlím. Podesty, mezipodesty a ochoz jsou také zabezpečeny zábradlím.

Z hlediska provozu a požární bezpečnosti je maximální povolený počet deset osob. Pro uzavření rozhledny mimo sezónu a v nočních hodinách je vstup rozhledny opláštěný. Vchod na schodiště je zajištěn jednokřídlými dveřmi.

2.2 Hlavní nosná konstrukce

Hlavní nosnou konstrukcí věže je dřevěná příhradová konstrukce. Tvoří ji dřevěné kruhové profily o průměru 200 milimetrů. Dělí se na nárožníky, nosníky a diagonály. Vzájemné propojení je zajištěno pomocí styčnickových plechů a svorníků M24. Ochrana prvků je ošetřena impregnačním hloubkovým nátěrem.

Je tvořena čtyřmi stěnami, které jsou v každém patře ztuženy nosníky a diagonálami. Pro napojení schodišťové věže jsou v každém patře a mezipatře vloženy nosníky pootočené o 45 stupňů od hlavní nosné konstrukce.

2.2.1 Nárožníky

Nárožníky jsou čtyři a každý je umístěn na jednu základovou patku rozhledny. Jsou tvořeny zdvojenými kruhovými profily o průměru 200 milimetrů z důvodu lepšího zajištění přenesení tahových sil a z důvodu postupné montáže. Jednotlivé nárožníky jsou děleny na vnější a vnitřní. Vnější nárožníky jsou sestavené ze tří kusů. Spodní prvek je prodloužen o kotvení. Horní prvek je prodloužen o přesah podporující konstrukci zábradlí v nejvyšším patře a konstrukci krovu střechy. Vnitřní nárožníky jsou sestaveny ze čtyř kusů. Horní a dolní probíhá přes jedno patro, vnitřní dva kusy vedou přes dvě patra. Jednotlivé díly nárožníků jsou k sobě sešroubovány v místech styčnickových plechů a mezi styčnickými.

Funkcí nárožníků je přenos zatížení a vnitřních sil do základů objektu.

2.2.2 Nosníky

Slouží pro vyvázání věže a jako nosná konstrukce pro konstrukci schodišťové věže. Plní funkci přenosu zatížení z konstrukce schodiště do nárožníků.

Na konstrukci nalezneme patrové nosníky, které jsou napojeny excentricky o 30 milimetrů z roviny stěny k nárožníkům. Patrové nosníky ztužují nosníky pootočené o 45 stupňů od hlavní nosné konstrukce, které tvoří podpůrnou konstrukci pro konstrukci podesty schodiště. V každém patře se nalézá osm nosníků. V prvním patře je přidán jeden nosník na podporu podlahy pro vstup na schodiště.

V mezipatře jsou čtyři nosníky, které ztužují diagonály konstrukce. Do těchto nosníků jsou z roviny stěny excentricky kotveny nosníky, které znovu tvoří podpůrnou konstrukci mezipodesty. Jsou také pootočené o 45 stupňů od hlavní nosné konstrukce a tvoří ztužující kosočtverec.

2.2.3 Diagonály

Plní funkci zavětrování věže. V každém patře jsou na jednotlivé stěny umístěny dvě diagonály, celkově tedy osm diagonál na jedno patro. V dolní části jsou kotveny na styk patrových nosníků a nárožníků. V horní části jsou kotveny do středu nosníku vyššího patra. Připojení diagonál je centrické v rovině stěny.

V mezipatrech jsou diagonály ztuženy nosníkem vyjma prvního patra. Jejich napojení je excentrické o 30 milimetrů z roviny stěny.



Obrázek 3 Detail styčnicku diagonály a nosníku



Obrázek 4 Detail styčnicku nárožníku, nosníku a diagonály

2.3 Konstrukce schodišťové věže

Schodišťová věž je od stěn pootočena o 45 stupňů. Jednotlivé podesty a mezipodesty jsou kotveny na nosníky ve stejném směru.

Schodišťové rameno je ze dvou schodnic tvořeno z fošen o rozměrech 80/100 milimetrů. Stupně jsou začepovány do schodnic. Jsou tvořeny fošami o tloušťce 40 milimetrů. Na každém rameni schodiště je umístěno zábradlí. Je kotveno shora. Výjimkou je poslední zábradlí do sedmého podlaží vpravo, kdy je kotveno do schodnice z boku. Důvodem je nedostatek prostoru v tomto místě.

Celkové ztužení je zajištěno trámky o rozměrech 100/100 milimetrů. Jsou dlouhé 3,7 metru (3,5 metru na patro a 0,2 metru na spoj) a vedou vždy přes jedno patro. Na každém patře jsou čtyři tyto trámky. Jsou napojeny na konstrukci přes rovný plát a zajištěny svorníkem.

Podesty a mezipodesty jsou tvořeny fošnami o tloušťce 50 milimetrů. Jejich nosná konstrukce je napojena na nosníky hlavní nosné konstrukce pomocí šroubových spojů.



Obrázek 5 Schodiště



Obrázek 6 Detail přípoje schodiště



Obrázek 7 Detail přípoje schodiště

2.4 Krov

Nosná konstrukce je tvořena dřevěnými trámy 160/200 milimetrů. Střecha má sklon 25 stupňů od vodorovné roviny. Skládá se ze čtyř ploch, které tvoří čtyřboký jehlan. Konstrukce je zachycena do nárožníků.

2.5 Základy

Rozhledna je uložena na čtyřech patkách, které zajišťují přenesení tlakových a tahových sil. Na každé patce je kotven jeden nárožník. Nárožníky jsou do patek uchyceny pomocí ocelové konstrukce, která jednotlivé nárožníky objímá. Spojení je zajištěno šesti svorníky a styčnickovým plechem, který tvoří přípoj nosníků a diagonál prvního patra do nárožníku. Ocelová konstrukce je spojena třemi svorníky.

K detailnímu rozboru kotvení ocelové konstrukce do patky se nelze pouhým okem dostat. Dle technické zprávy by měla být patka kotvena do pevné skály pomocí čtyř tyčí o průměru 15 milimetrů. Ocelová konstrukce je uchycena přes převážku kotevním šroubem.



Obrázek 8 Detail krovu



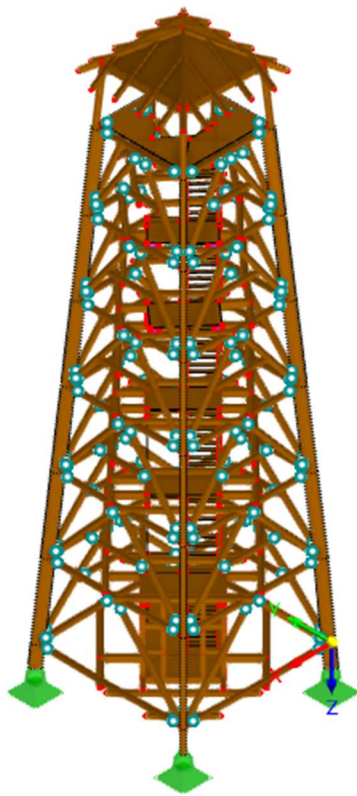
Obrázek 9 Detail kotvení

2.6 Technický stav konstrukce

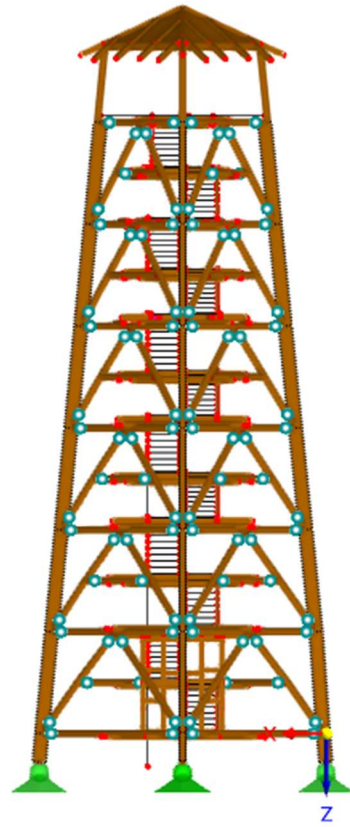
Jelikož se jedná o novou stavbu starou 8 let, na první pohled nebyly zpozorovány žádné nedostatky. Ochranný nátěr je v dobrém stavu, styčnickové plechy spojů nejsou napadeny korozi. Vybavení rozhledny je bez viditelného poškození. Všechny stupně schodiště a zábradlí jsou schopny plnit své funkce. Základové patky jsou na pohled nepoškozené, pro detailní kontrolu jsou nepřístupné.

3 Model

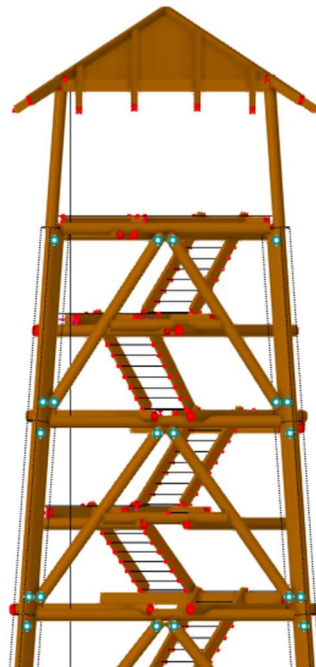
Model je vytvořen ve studentské verzi Dlubal RFEM 6.02. Je zhotoven jako trojrozměrný model s prvky odpovídajícími stávajícímu stavu rozhledny. Model je zatížen a posouzen dle platných norem ČSN EN.



Obrázek 10 Schéma výpočetního modelu



Obrázek 11 Pohled na nárožník



Obrázek 12 Pohled na stěnu

4 Zatížení

4.1 Stálá zatížení

4.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha dřevěné konstrukce je generována automaticky v programu Dlubal RFEM. Jsou zde zahrnuty veškeré nosné prvky, pochozí plochy, vyhlídková plošina, konstrukce střešního krovu a konstrukce vstupu v 1. NP.

4.1.2 Ostatní stálá zatížení

Konstrukce je zatížena zábradlím na jednotlivých schodišťových ramenech a v každém patře a mezipatře. Hodnota zatížení je spočítána pomocí známých rozměrů konstrukce zábradlí. Jeho hodnota činí 0,48 kN/m a v modelu je umístěna na pruty schodnic jednotlivých schodišť a na linie podestových a mezipodestových ploch.

Dále je zatížena zábradlím na vyhlídkové plošině v 7. NP. Zde je uvažována stejná hodnota jako pro předchozí případy. Je umístěna na linie kolem plochy tvořící vyhlídkovou plošinu v modelu.

4.2 Proměnná zatížení

4.2.1 Užiténá zatížení

Dle normy ČSN EN 1991-1-1 spadá rozhledna do kategorie C3.

Kategorie	Stanovené použití	Příklad
A	obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	místnosti obytných budov a domů, lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety
B	kancelářské plochy	
C	plochy, kde může docházet ke sítomazdování lidí (kromě ploch uvedených v kategoriích A, B a D ¹⁾)	C1: plochy se stoly atd., např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích. C2: plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražích a jiných čekárnách. C3: plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních sálcích a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražích halách. C4: plochy určené k pohybovým aktivitám, např. taneční sály, tělocvičny, jeviště, atd. C5: plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní síně, sportovní haly, větrné tribuny, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště.
D	obchodní plochy	D1: plochy v malých obchodech D2: plochy v obchodních domech

¹⁾ Pozor na odstavce 6.3.1.1(2)P, zejména pro C4 a C5. Pokud je nutno uvažovat dynamické účinky, viz EN 1990. Kategorie E je v tabulce 6.3.

POZNÁMKA 1 V závislosti na předpokládaném účelu používání mohou být plochy zařazeny do kategorie C5 místo do kategorií C2, C3 a C4, a to na základě rozhodnutí klienta a/nebo podle národní přílohy.

POZNÁMKA 2 V národní příloze mohou být uvedeny podkategorie ke kategoriím A, B, C1 až C5, D1 a D2.

POZNÁMKA 3 Plochy pro skladování a průmyslovou činnost, viz 6.3.2.

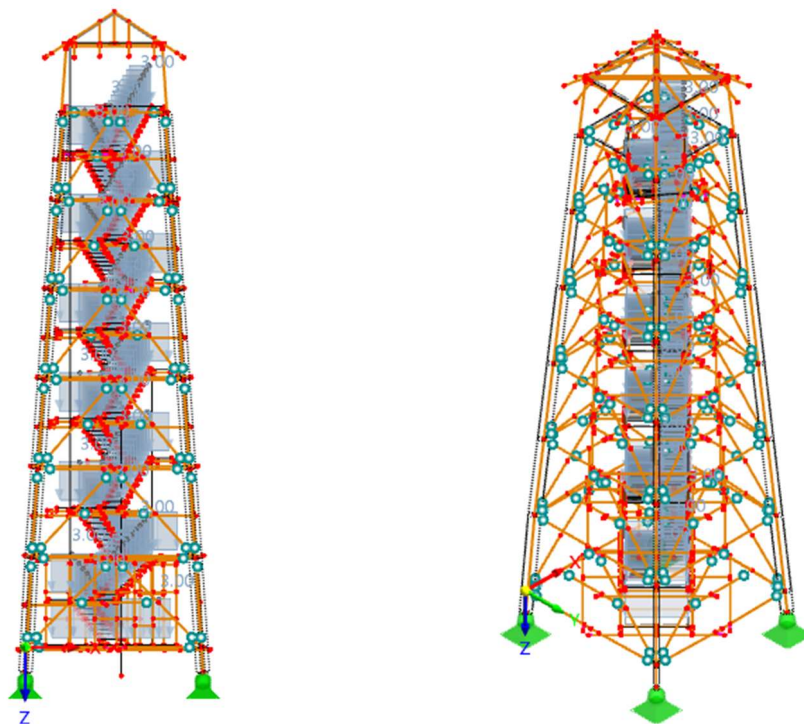
Tabulka 1 Užiténé kategorie podle ČSN EN 1991-1-1

Jelikož je z hlediska provozu a požární bezpečnosti maximální povolený počet osob na rozhledně 10 osob, byla hodnota zatížení uvažována jako dolní hranice z rozsahu doporučených hodnot. To je 3,0 kN/m².

kategorie C		
- C1	2,0 až 3,0	3,0 až 4,0
- C2	3,0 až 4,0	2,5 až 7,0 (4,0)
- C3	3,0 až 5,0	4,0 až 7,0
- C4	4,5 až 5,0	3,5 až 7,0
- C5	5,0 až 7,5	3,5 až 4,5

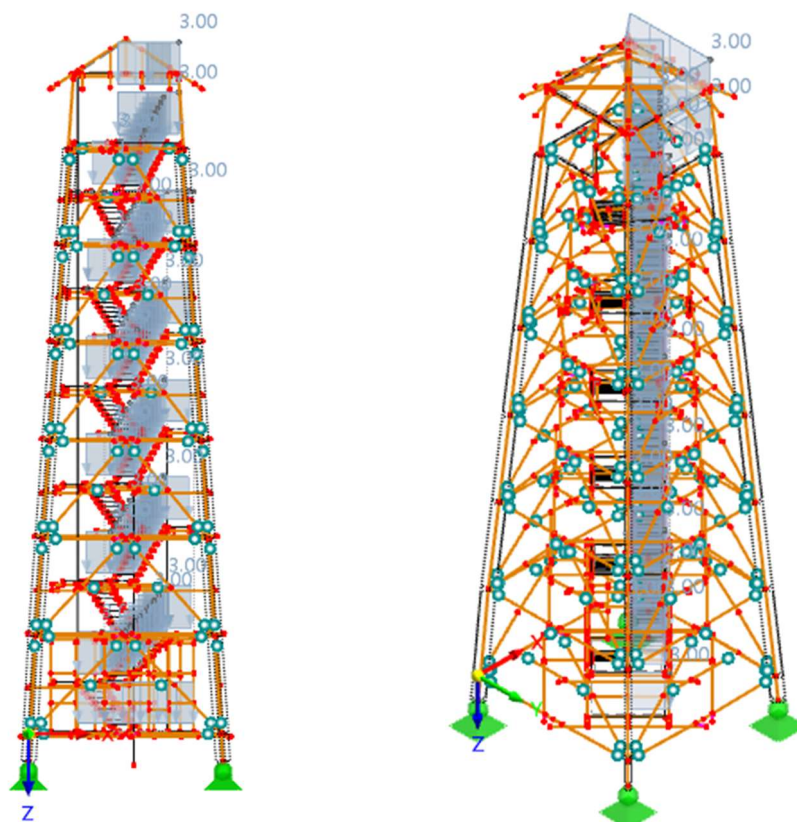
Tabulka 2 Užiténá zatížení podle ČSN EN 1991-1-1

Užitená zatížení jsou rozdělena do dvou zatěžovacích stavů. První z nich je plně zatížená rozhledna na všech pochozích plochách.



Obrázek 13 Užiténá zatížení – ZS3

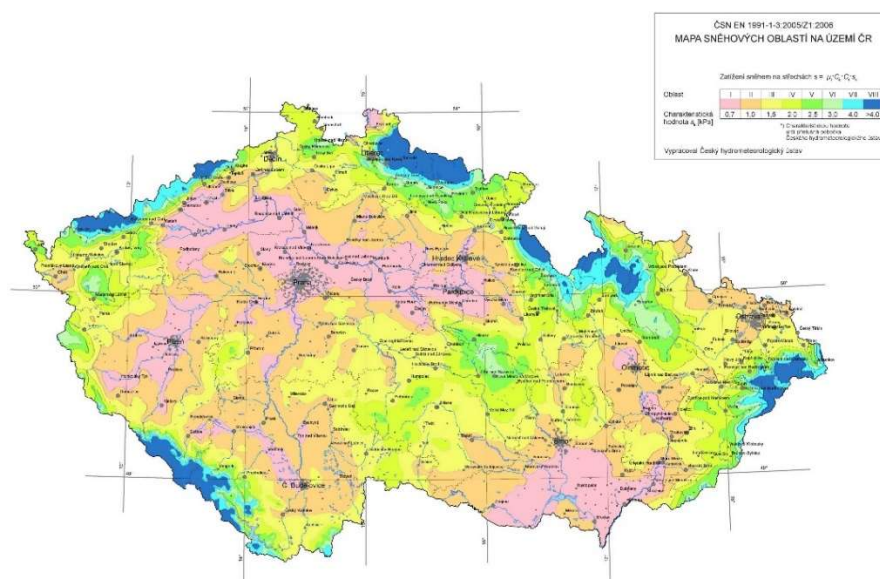
Druhý zatěžovací stav je zatížení rozhledny pouze na jedné straně veškerých pochozích ploch.



Obrázek 14 Užité zátížení – ZS4

4.2.1 Zátížení sněhem

Zatížení sněhem bylo vypočteno v souladu s normou ČSN EN 191-1-3. Pro zjednodušení byla zatížena pouze konstrukce střešního krovu konstrukce. Zbytek nosné konstrukce je chráněn střechou. Dle mapy sněhových oblastí na území ČR byla určena sněhová oblast II.



Obrázek 15 Mapa sněhových oblastí na území ČR podle ČSN EN 191-1-3

Sněžová oblast - II

char. hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_k := 1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\mu_1 := 0,80$$

součinitel expozice

$$C_e := 1$$

tepelný součinitel

$$C_t := 1$$

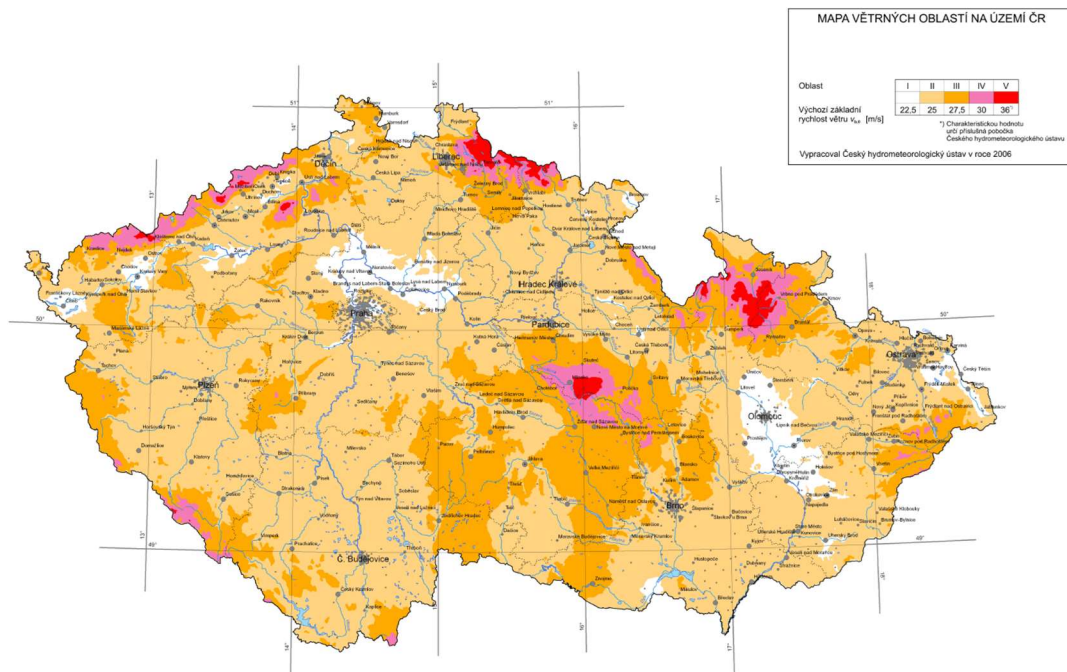
zatížení sněhem na střeších

$$s := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Výpočet 1 Zatížení sněhem na konstrukci střešního krovu

4.2.2 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo vypočteno v souladu s normou ČSN EN 1991-1-4. Větrná oblast je určena z mapy větrných oblastí jako oblast II.



Obrázek 16 Mapa větrných oblastí na území ČR podle ČSN EN 1991-1-4

Nejprve byla spočtena hodnota základní rychlosti větru. Dále byla spočtena hodnota střední rychlosti větru. Pro ni bylo nutné určit součinitele drsnosti terénu a orografie. Nakonec byl dopočten maximální dynamický tlak větru působící na konstrukci.

Větrná oblast - II

součinitel směru větru	$c_{dir} := 1,00$
součinitel ročního období	$c_{season} := 1,00$
výchozí základní rychlost větru	$v_{b,0} := 25 \frac{m}{s}$
základní rychlost větru	$v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 25,00 \frac{m}{s}$

Výpočet 2 Zatížení větrem – základní rychlost větru

Kategorie terénu - III

$z := 21 \text{ m}$	
$z_0 := 0,3 \text{ m}$	
$z_{min} := 5 \text{ m}$	
$z_{0,II} := 0,05 \text{ m}$	
$k_r := 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,22$	
součinitel drsnosti terénu	$c_r := k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,92$

Výpočet 3 Zatížení větrem – součinitel drsnosti terénu

$H := 57 \text{ m}$	
$L_u := 248 \text{ m}$	
$\phi := \frac{H}{L_u} = 0,23 \implies$ pozvolný svah	$L_e := L_u$
$x := 35 \text{ m}$	
$z = 21 \text{ m}$	
$\frac{x}{L_u} = 0,14$	
$\frac{z}{L_e} = 0,08$	
$A := 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 1,0124 = 0,86$	
$B := 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 2,6456 = 2,56$	
$s := A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{x}{L_u} \right)} = 1,24$	
součinitel orografie	$c_0 := 1 + 2 \cdot s \cdot \phi = 1,57$
střední rychlost větru	$v_m(z) := c_r \cdot c_0 \cdot v_b = 35,90 \frac{m}{s}$

Výpočet 4 Zatížení větrem – střední rychlost větru

intenzita turbulence větru $I_v(z) := \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = 0,15$

měrná hmotnost vzduchu $\rho := 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

základní dynamický tlak $q_b(z) := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 390,63 \text{ Pa}$

maximální dynamický tlak $q_p(z) := (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = 1651,22 \text{ Pa}$

Výpočet 5 Zatížení větrem – maximální dynamický tlak

Pomocí maximálního dynamického tlaku byly spočteny hodnoty působící na jednotlivé konstrukční prvky. Pro zjednodušený výpočet byla uvažována pouze jedna hodnota zatížení větru na kruhové válce nosné konstrukce a jedna hodnota pro hranaté prvky tvořící konstrukci střešního krovu a vstup do rozhledny. Hodnota $w_{e,kruh}$ pro kruhové válce je rovna 0,38 kN/m. Na nárožníky je nanášena dvojnásobná hodnota z důvodu uvážení zdvojeného průřezu. Pro hranaté prvky je uvažována hodnota $w_{e,hran}=0,10$ kN/m.

Pro konstrukci střešního krovu byla určena hodnota $w_{e,krov}=0,23$ kN/m². Tato hodnota byla spočtena dle zatížení větrem pro přístřešky.

kinematická viskozita $\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

maximální rychlost větru $v(z_e) := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p(z)}{\rho}} = 51,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Reynoldsovo číslo $Re := \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = 6,85 \cdot 10^5$

drsnost $k := 0,5$

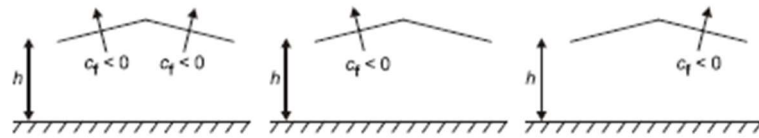
součinitel síly pro válec $c_{f,0} := 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log_{10} \left(10 \cdot \frac{k}{b} \right)}{1 + 0,4 \cdot \log_{10} (Re)} = 1,28$

Výpočet 6 Zatížení větrem – kruhové válce

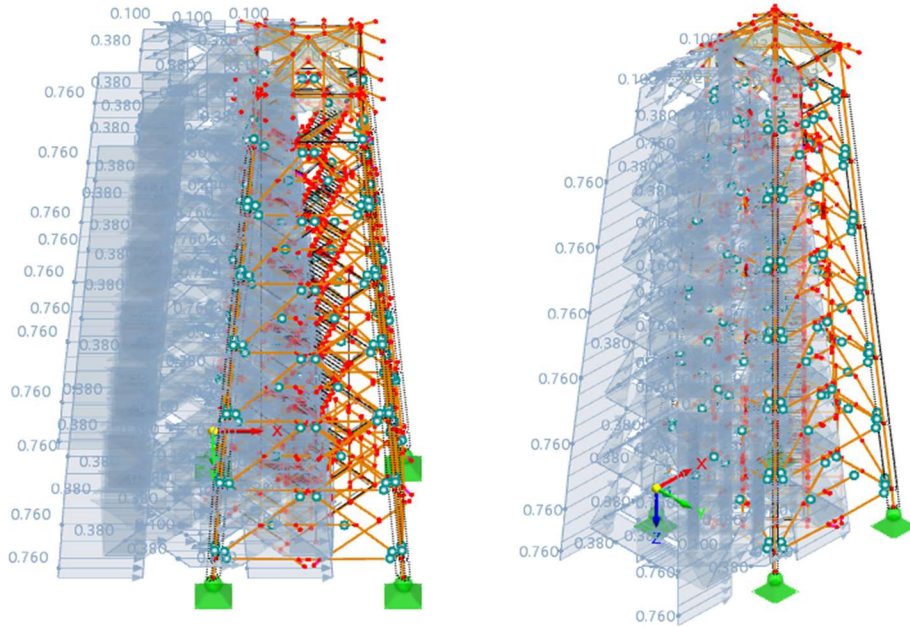
Kruhové	b [mm]	L [m]	$q_p(z)$ [Pa]	$c_{f,0}$ [-]	λ [-]	ψ_λ [-]	c_f [-]	w_e [kN/m]
	200	-	1651,22	1,28	70	0,9	1,152	0,38

Výpočet 7 Zatížení větrem – kruhové válce

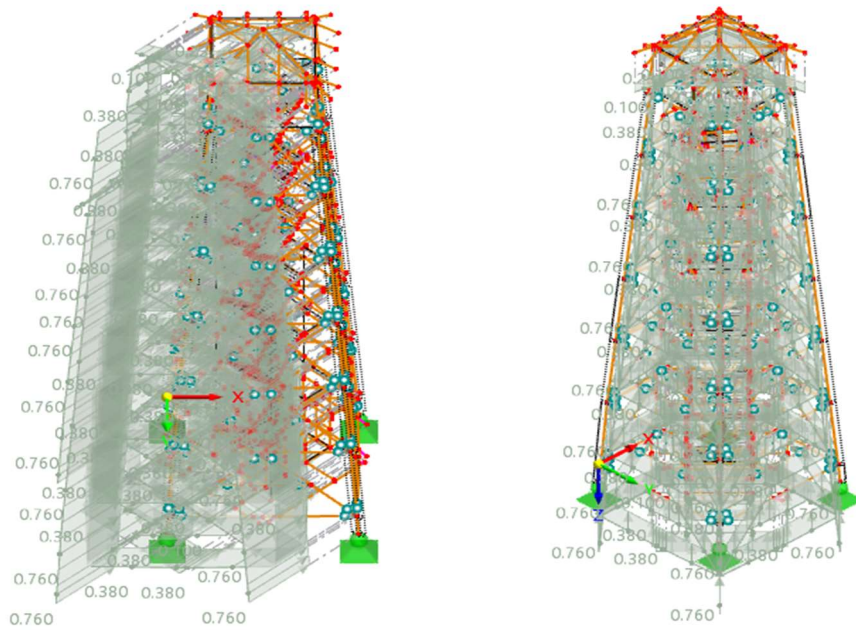
Vítr se dělí na šest zatěžovacích stavů. Jsou to kombinace dvou hlavních směrů zatížení nosných prvků a tří druhů zatížení přístřešku. Nosné prvky zatěžuje v jednom směru kolmo na stěnu konstrukce rozhledny a v druhém směru kolmo na nárožník konstrukce. Střešní přístřešek zatěžuje plně a poté vždy na jednu půlku.



Obrázek 17 Zatížení větrem pro přístřešky podle ČSN EN 1991-1-4



Obrázek 18 Zatížení větrem kolmo na stěnu – ZS6



Obrázek 19 Zatížení větrem kolmo na nárožník – ZS9

4.3 Zatěžovací stavy

Souhrn všech zatěžovacích stavů obsahuje tabulka 3. Pro účely kombinací a posouzení byla trvání zatížení u větru uvažována jako okamžiková. Dle normy ČSN EN 1995-1-1 může být zatížení větrem takto uvažováno.

	Zatěž. stav	Název	Trvání zatížení
Stálá	ZS1	Vlastní tíha	Stálé
	ZS2	Ostatní stálé	Stálé
Proměnná	ZS3	Užitné plně	Střednědobá
	ZS4	Užitné půlka	Střednědobá
	ZS5	Sněh	Krátkodobé
	ZS6	Vítr kolmo na stěnu, přístřešek plně	Okamžikové
	ZS7	Vítr kolmo na stěnu, přístřešek půlka1	Okamžikové
	ZS8	Vítr kolmo na stěnu, přístřešek půlka2	Okamžikové
	ZS9	Vítr kolmo na nárožník, přístřešek plně	Okamžikové
	ZS10	Vítr kolmo na nárožník, přístřešek půlka1	Okamžikové
	ZS11	Vítr kolmo na nárožník, přístřešek půlka2	Okamžikové

Tabulka 3 Zatěžovací stavy

4.4 Kombinace

4.4.1 Mezní stav únosnosti

Kombinace pro mezní stav únosnosti jsou sestaveny podle základní kombinace zatížení (rovnice 6.10) podle normy ČSN EN 1990.

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

Rovnice 1 Základní kombinace zatížení podle ČSN EN 1990

4.4.2 Mezní stav použitelnosti

Kombinace pro mezní stav použitelnosti jsou sestaveny podle charakteristické kombinace (rovnice 6.14b) podle normy ČSN EN 1990.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,j} Q_{k,j}$$

Rovnice 2 Rovnice charakteristické kombinace podle ČSN EN 1990

5 Statický posudek

Součástí prohlídky rozhledny je zjednodušené statické posouzení hlavních nosných prvků a detailů. Rozhledna je tvořena patry se stejným statickým schématem s rozdílnými délkami prvků. Posudek byl proveden v souladu s normou ČSN EN 1995-1-1. Pro všechny vodorovné nosníky a diagonály byl použit posudek v Dlubal RFEM a tento posudek byl následně zkontrolován. Náročnky byly počítány ručně z důvodu zdvojeného průřezu prvku, který Dlubal RFEM neumí posuzovat.

V této kapitole je uvedený vzorový posudek nosných prvků pro 2. NP věže rozhledny. Všechny prvky byly posuzovány pro kombinaci zatížení KZ99.

$$1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,05*ZS3 + 0,75*ZS5 + 1,50*ZS9$$

Faktor	Č.	Název	Účinek	Rozhodující	γ	ψ
1.35	G ZS1	Vlastní tíha	G A1 - Stálé	<input type="checkbox"/>	1.35	
1.35	G ZS2	Ostatní stálé	G A1 - Stálé	<input type="checkbox"/>	1.35	
1.05	Q1 C ZS3	Užitné plně	Q1 C A2 - Užitná zatížení - kate...	<input type="checkbox"/>	1.50	0.70
0.75	Qs ZS5	Sněh	Qs A3 - Zatížení sněhem/nám...	<input type="checkbox"/>	1.50	0.50
1.50	Qw ZS9	Vítr kolmo na náročník, přístřešek plně	Qw A4 - Vítr	<input checked="" type="checkbox"/>	1.50	

Obrázek 20 Kombinace zatížení KZ99

5.1 Hlavní nosné prvky

5.1.1 Materiály

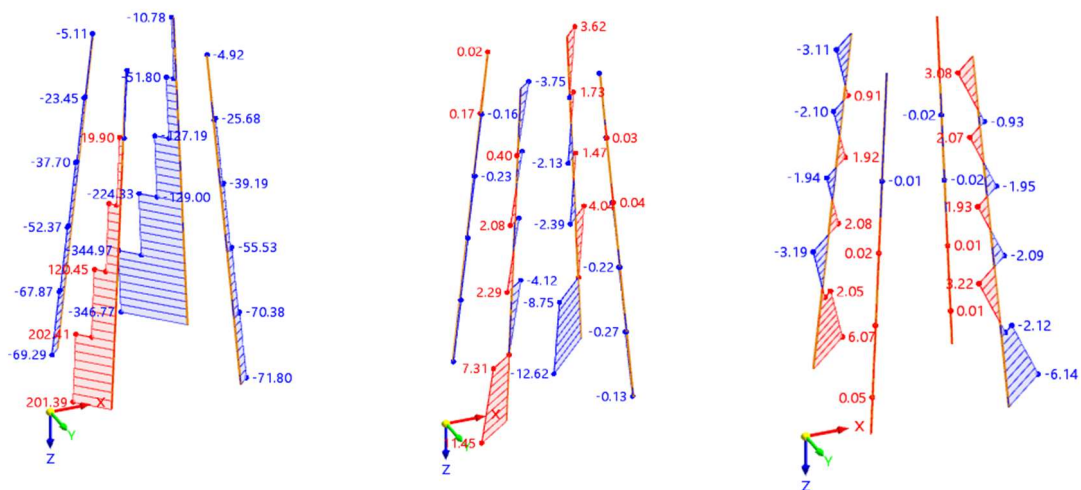
Pro všechny hlavní nosné prvky konstrukce je použito rostlé dřevo pevnosti C24. Pro vzorový výpočet byl použit modifikační součinitel $k_{mod}=0,9$ z důvodu okamžikového zatížení konstrukce větrem.

Dřevo rostlé C24			
třída provozu	3		
třída trvání zatížení	okamžikové		
veličina		hodnota	jednotky
součinitel materiálu	γ_M	1,30	-
modifikační součinitel	k_{mod}	0,90	-
ohyb	$f_{m,k}$	24,00	MPa
	$f_{m,d}$	16,62	MPa
tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14,00	MPa
	$f_{t,0,d}$	9,69	MPa
tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,40	MPa
	$f_{t,90,d}$	0,28	MPa
tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21,00	MPa
	$f_{c,0,d}$	14,54	MPa
tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,50	MPa
	$f_{c,90,d}$	1,73	MPa
smyk	$f_{v,k}$	4,00	MPa
	$f_{v,d}$	2,77	MPa
modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11000,00	MPa
	$E_{0,05}$	7400,00	MPa
modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	370,00	MPa
modul ve smyku	G_{mean}	690,00	MPa
hustota	ρ_{mean}	420,00	kg/m ³

Tabulka 4 Použité pevnosti pro výpočet

5.1.2 Nárožníky

Nárožníky byly posouzeny na tlak, tah, ohyb, jejich vzájemnou kombinaci, smyk a kroucení. Vzpěrná délka byla uvažována jako vzdálenost nárožníku na jedno patro $l_{cr}=3,526$ metrů. Prvky byly posuzovány na vnitřní síly v 2. NP a výše, protože v 1. NP je nárožník ztužen ocelovou konstrukcí tvořící základ rozhledny. Tento přípoj je řešen samostatně v dalším výpočtu.



Obrázek 21 Vnitřní síly nárožníků od KZ99

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		
				N	Vy	Vz	MT	My	Mz
Celkové max./min. hodnoty s příslušnými hodnotami									
466	27	3.526	N	202.41	7.31	0.05	0.01	0.07	-3.81
1494	2240	0.000		-346.77	-12.62	0.01	0.03	-0.04	-32.53
466	26	0.000	Vy	201.39	11.45	0.05	0.01	-0.11	29.26
1494	2240	0.000		-346.77	-12.62	0.01	0.03	-0.04	-32.53
461	21	0.000	Vz	-69.29	-0.11	6.07	0.10	-12.80	-0.32
1499	2245	0.000		-71.80	-0.13	-6.14	-0.29	12.98	-0.40
1503	2249	0.000	MT	-6.34	0.03	-0.93	0.30	0.04	-0.13
465	25	0.000		-6.53	0.17	0.91	-0.41	0.03	-0.06
1499	2245	0.000	My	-71.80	-0.13	-6.14	-0.29	12.98	-0.40
461	21	0.000		-69.29	-0.11	6.07	0.10	-12.80	-0.32
466	26	0.000	Mz	201.39	11.45	0.05	0.01	-0.11	29.26
1494	2240	0.000		-346.77	-12.62	0.01	0.03	-0.04	-32.53
Celkem				202.41	11.45	6.07	0.30	12.98	29.26
max./min.				-346.77	-12.62	-6.14	-0.41	-12.80	-32.53

Tabulka 5 Vnitřní síly nárožníků od KZ99

$$A := 5,93 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y := 1,53 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

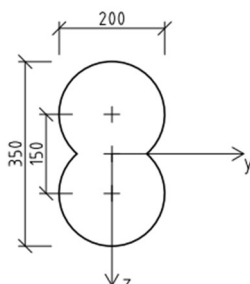
$$I_z := 5,10 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y := 2,12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z := 3,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_t := 3,85 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$L := 3,526 \text{ m} \quad (\text{délka nárožníku na jedno patro})$$



Výpočet 8 Posouzení nosníků – průřezové charakteristiky

Tlak se vzpěrem nárožníku byl posouzen dle ČSN EN 1995-1-1 C pro posouzení složených a členěných tlačených prutů. Pro vybočení ve směru osy y se provedl posudek standardně jako součet únosnosti jednotlivých prvků. Pro vybočení ve směru osy z vstoupí do výpočtu $\lambda_{ef,z}$ zahrnující do výpočtu spojovací prostředky.

Tabulka C.1 – Součinitel η

	Vložky připojené			Rámové spojky připojené	
	Lepením	Hřebíky	Svorníky ^a	Lepením	Hřebíky
Stálé/dlouhodobé zatížení	1	4	3,5	3	6
Střednědobé/krátkodobé zatížení	1	3	2,5	2	4,5
^a s hmoždíky					

Tabulka 6 Součinitel η pro výpočet $\lambda_{ef,z}$ podle normy ČSN EN 1995-1-1 příloha C

Vzpěrný tlak

$$N_c = 346,77 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 5,85 \text{ MPa}$$

Směr y - hmotná osa

$$l_{cr,y} := L = 3,526 \text{ m}$$

$$\lambda_y := \frac{l_{cr,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = 69,42$$

$$\sigma_{c,crit,y} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 15,16 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} := \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,18$$

$$k_y := 0,5 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 1,28$$

$$k_{y,c} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,58$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{y,c} \cdot f_{c,0,d}} = 0,69 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 9 Posouzení nárožníků – vzpěrný tlak

Směr z - nehmotná osa

$$l_{cr,z} := L = 3,526 \text{ m}$$

$$\lambda_z := \frac{l_{cr,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = 38,02$$

$$\eta := 2,50$$

$$n := 2,00$$

$$\lambda_1 := 30$$

$$\lambda_{ef,z} := \sqrt{\lambda_z^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} = 60,79$$

$$\sigma_{c,crit,z} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_{ef,z}^2} = 19,76 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} := \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,03$$

$$k_z := 0,5 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 1,10$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{z,c} \cdot f_{c,0,d}} = 0,60 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 10 Posouzení nárožníků – vzpěrný tlak

Tah

$$N_t = 202,41 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 3,41 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = 0,35 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 11 Posouzení nárožníků – tah

Ohyb

$$M_y = 0,11 \text{ kN m}$$

$$M_z = 29,26 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W_y} = 0,05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W_z} = 7,39 \text{ MPa}$$

$$k_m := 1,00 \quad (\text{ostatní průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,45 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 12 Posouzení nárožníků – ohyb

Kombinace ohybu a osového tlaku se vzpěrem

$$N_c = 346,77 \text{ kN}$$

$$M_y := 0,04 \text{ kN m}$$

$$M_z := 32,53 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 5,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W_y} = 0,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W_z} = 8,21 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{ostatní průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

1) Směr y

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{y,c} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,97 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

2) Směr z

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{z,c} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,86 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 13 Posouzení nárožníků – kombinace ohybu a osového tlaku se vzpěrem

Kombinace ohybu a osového tahu

$$N_t = 202,41 \text{ kN}$$

$$M_y := 0,07 \text{ kN m}$$

$$M_z := 3,81 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 3,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W_y} = 0,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W_z} = 0,96 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{ostatní průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,41 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 14 Posouzení nárožníků – kombinace ohybu a osového tahu

Smyk

$$\tau_y := 0,26 \text{ MPa}$$

$$\tau_z := 0,14 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_y}{f_{v,d}} = 0,094 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 15 Posouzení nárožníků – smyk

Kroucení

$$M_t = 0,41 \text{ kN m}$$

$$k_{shape} := 1,2 \quad (\text{kruhové průřezy})$$

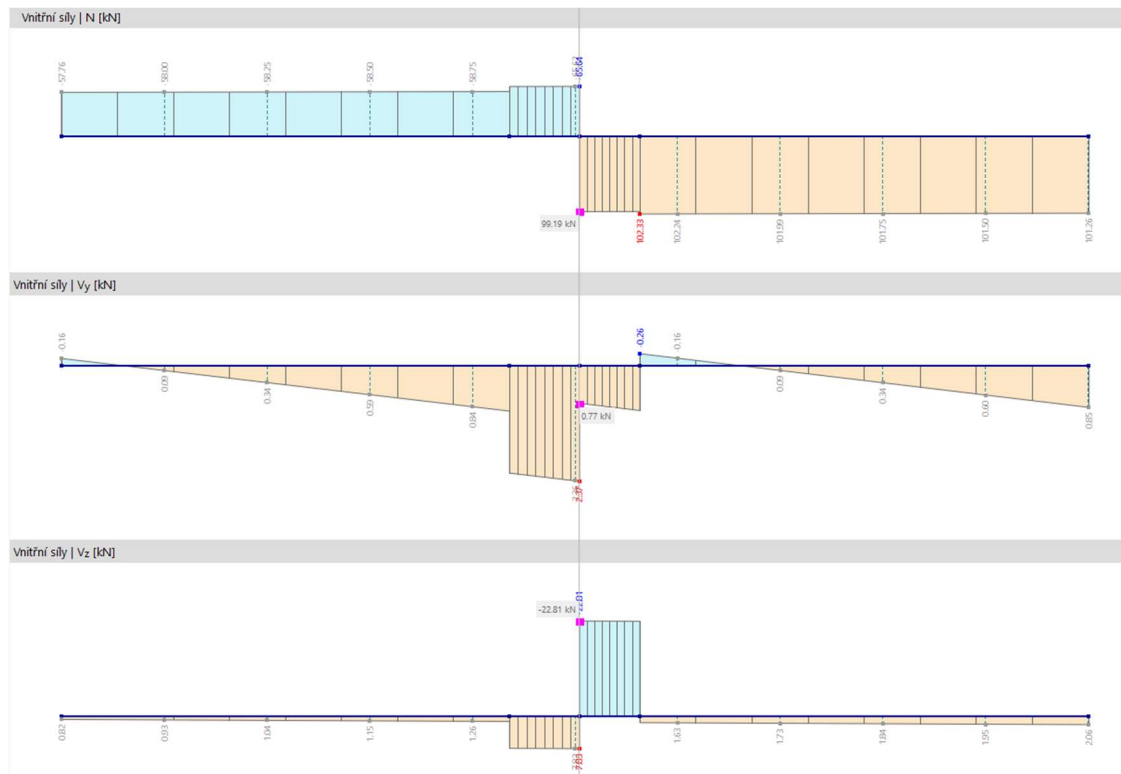
$$\frac{M_t}{W_t} = 0,11 \text{ MPa} < k_{shape} \cdot f_{v,d} = 3,32 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 16 Posouzení nárožníků – kroucení

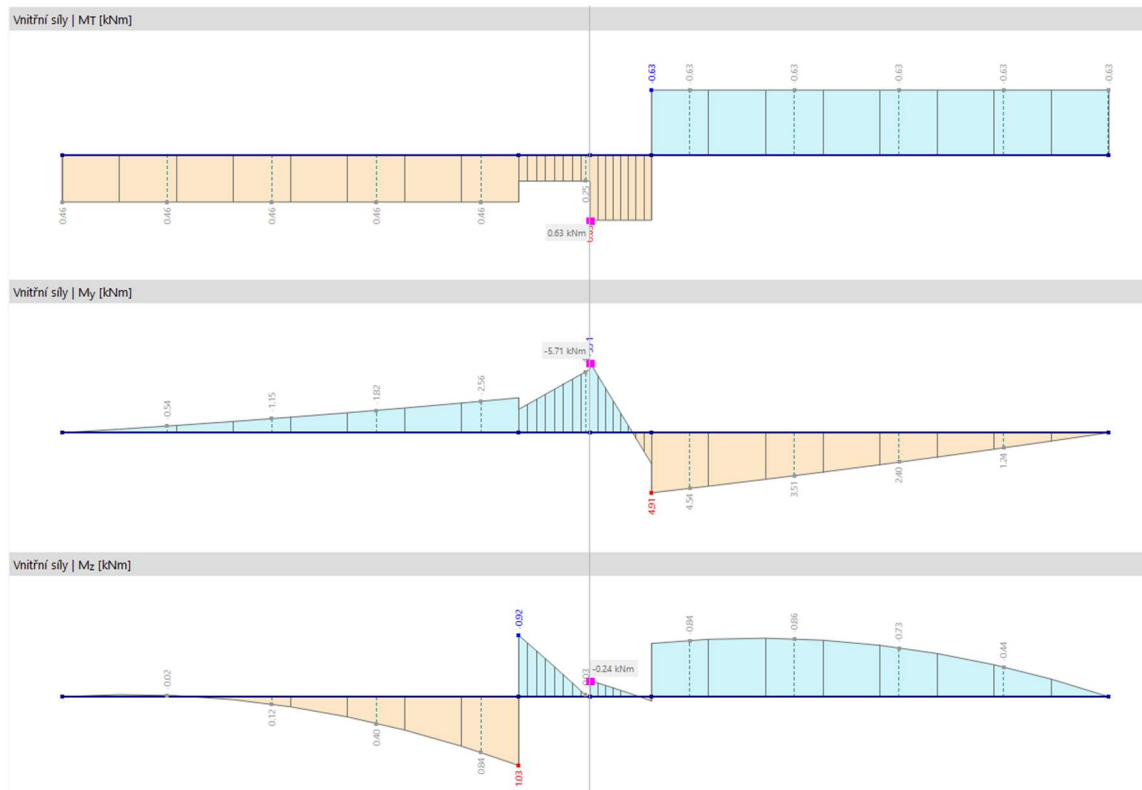
Návrh nárožníků vyhověl statickému posudku.

5.1.3 Nosníky

Nosníky jsou kruhového profilu o průměru 200 milimetrů. V první části jsou posouzeny nosníky v rovině stěny. V druhé části nosníky tvořící ztužující kosočtverec a nosnou konstrukci pro schodišťovou věž. Posudek byl proveden v Dlubal RFEM. Zde bude uveden jen ukázkový posudek pro nejzatíženější prvky jednoho patra.



Obrázek 22 Vnitřní síly nosníku v rovině stěny



Obrázek 23 Vnitřní síly nosníku v rovině stěny

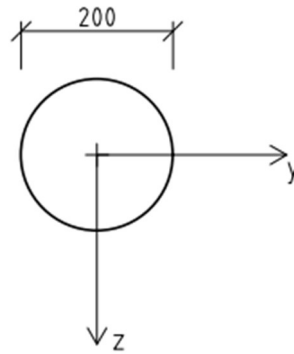
$$A := 3,14 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I := 7,85 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W := 7,85 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_t := 1,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$L := 6,162 \text{ m}$$



Výpočet 17 Posouzení nosníků – průřezové charakteristiky

Vzpěrný tlak

$$N_c := 65,64 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 2,09 \text{ MPa}$$

$$l_{cr} := L = 6,162 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_{cr}}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = 123,24$$

$$\sigma_{c,crit} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 4,81 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} := \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = 2,09$$

$$k := 0,5 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 2,86$$

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0,21$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = 0,69 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 18 Posouzení nosníků v rovině stěny – tlak se vzpěrem

Tah

$$N_t := 102,33 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 3,26 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = 0,34 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 19 Posouzení nosníků v rovině stěny - tah

Ohyb

$$M_y := 5,71 \text{ kN m}$$

$$M_z := 0,24 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 7,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$k_m := 1,00 \quad (\text{kruhové průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,46 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 20 Posouzení nosníků v rovině stěny – ohyb

Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_c = 65,64 \text{ kN}$$

$$M_y := 5,71 \text{ kN m}$$

$$M_z := 0,24 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 2,09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 7,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{kruhové průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,48 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 21 Posouzení nosníků v rovině stěny – kombinace ohybu a osového tlaku

Kombinace ohybu a osového tahu

$$N_t = 102,33 \text{ kN}$$

$$M_y := 4,91 \text{ kN m}$$

$$M_z := 0,80 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 3,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 6,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 1,02 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{ostatní průřezy}) \quad \Rightarrow \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,77 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 22 Posouzení nosníků v rovině stěny – kombinace ohybu a osového tahu

Smyk

$$\tau_y := 8,00 \text{ kPa}$$

$$\tau_z := 2,00 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_y}{f_{v,d}} = 0,003 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 23 Posouzení nosníků v rovině stěny – smyk

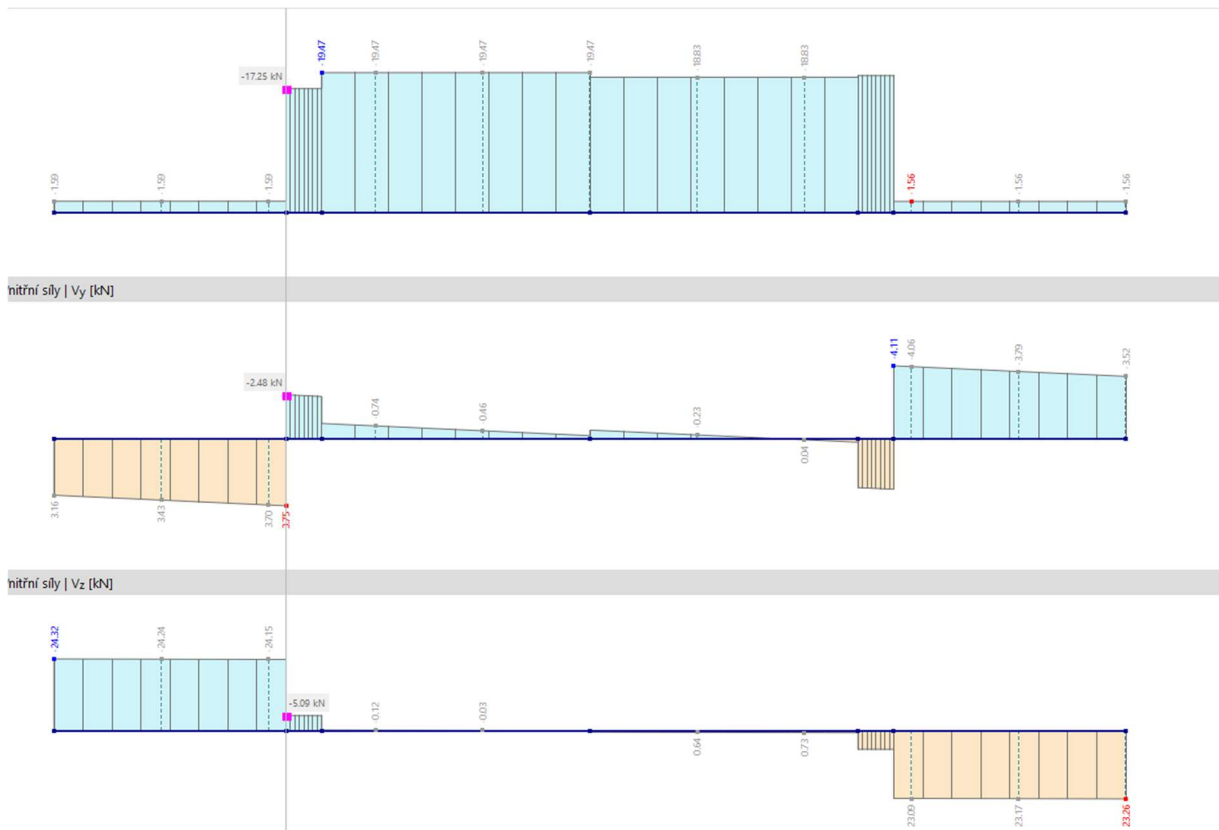
Kroucení

$$M_t := 0,63 \text{ kN m}$$

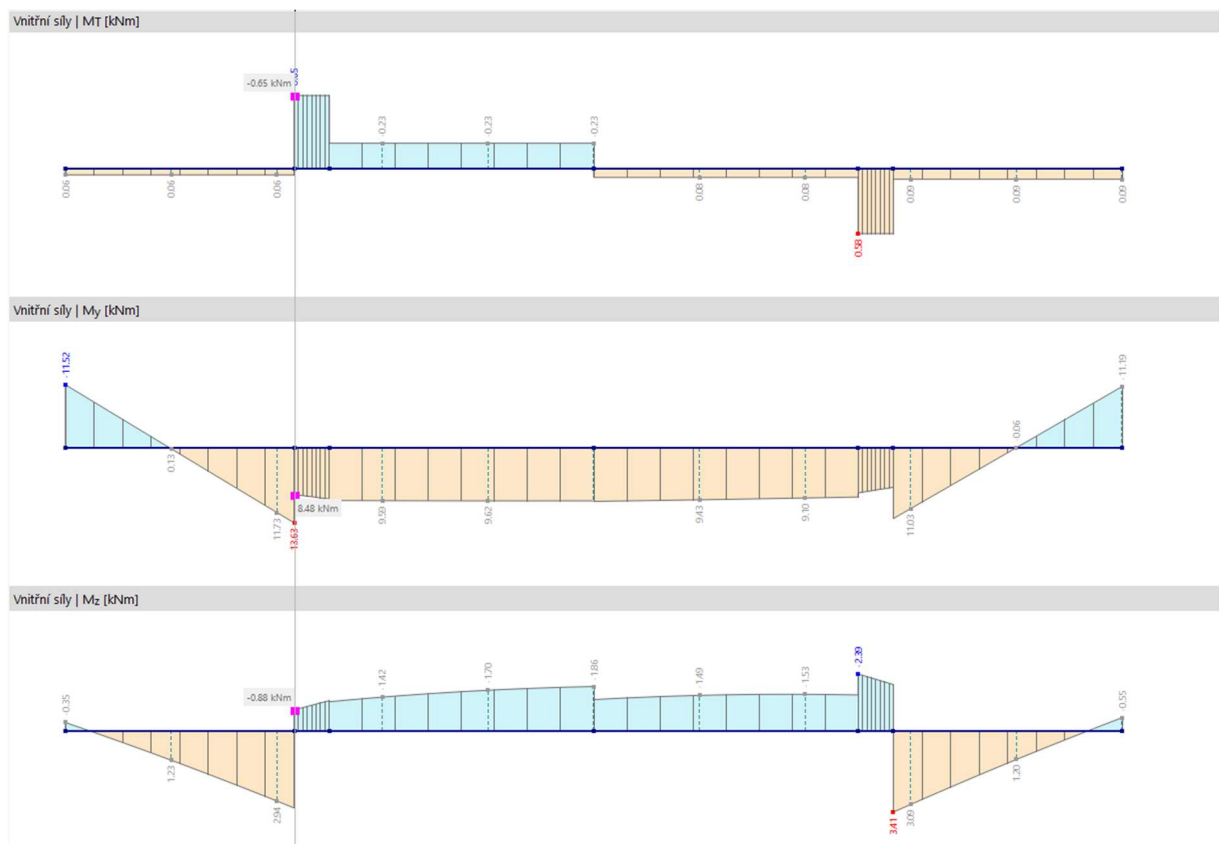
$$k_{shape} := 1,2 \quad (\text{kruhové průřezy})$$

$$\frac{M_t}{W_t} = 0,40 \text{ MPa} < k_{shape} \cdot f_{v,d} = 3,32 \text{ MPa} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 24 Posouzení nosníků v rovině stěny – kroucení



Obrázek 24 Vnitřní síly nosniku kosočtverce



Obrázek 25 Vnitřní síly nosniku kosočtverce

Vzpěrný tlak

$$N_c := 19,47 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 0,62 \text{ MPa}$$

$$l_{cr} := L = 4,796 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_{cr}}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = 95,92$$

$$\sigma_{c,crit} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 7,94 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} := \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = 1,63$$

$$k := 0,5 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 1,96$$

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0,33$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = 0,13 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 25 Posouzení nosníku kosočtverce – tlak

Ohyb

$$M_y := 9,56 \text{ kN m}$$

$$M_z := 1,22 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 12,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 1,55 \text{ MPa}$$

$$k_m := 1,00 \quad (\text{kruhové průřezy}) \quad \Rightarrow \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,83 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 26 Posouzení nosníku kosočtverce – ohyb

Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_c = 19,47 \text{ kN}$$

$$M_y := 9,56 \text{ kN m}$$

$$M_z := 1,22 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c,0,d} := \frac{N_c}{A} = 0,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 12,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 1,55 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{kruhové průřezy}) \quad \Rightarrow \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,83 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,84 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 27 Posouzení nosníku kosočtverce – kombinace ohybu a osového tlaku

Smyk

$$\tau_y := 112,00 \text{ kPa}$$

$$\tau_z := 23,00 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_y}{f_{v,d}} = 0,040 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 28 Posouzení nosníku kosočtverce – smyk

Kroucení

$$M_t := 0,65 \text{ kN m}$$

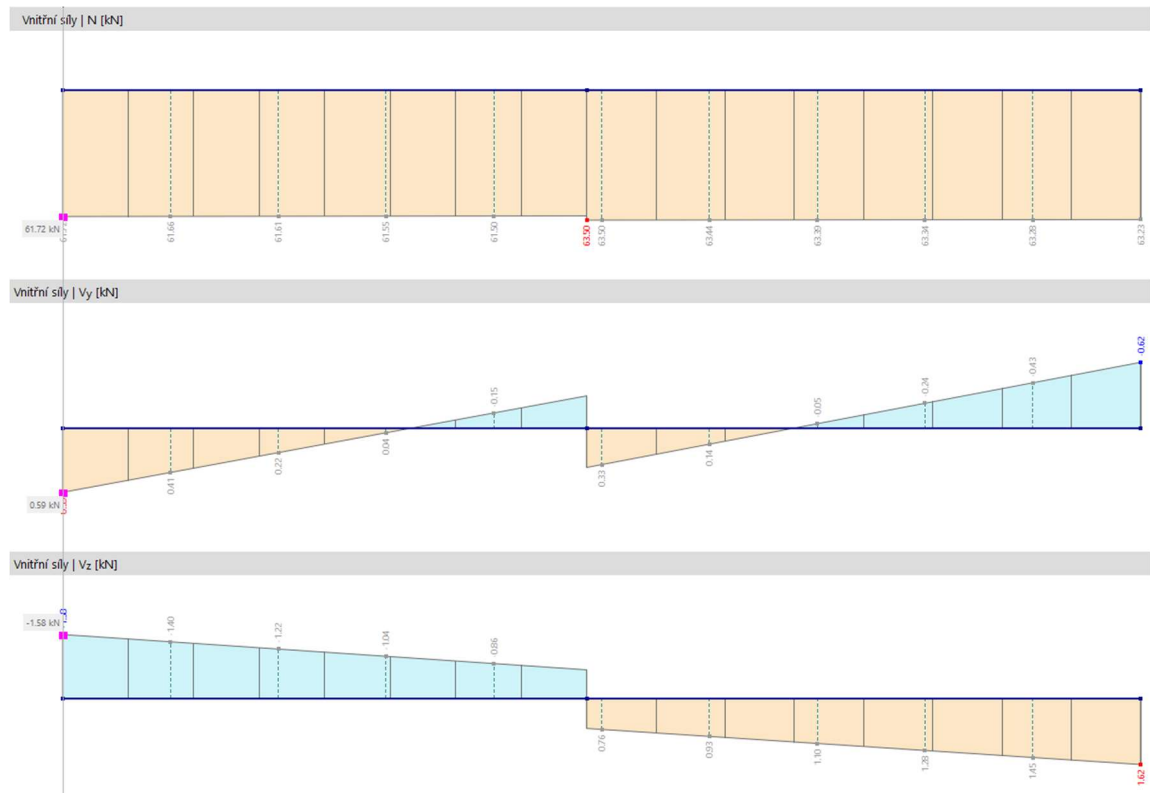
$$k_{shape} := 1,2 \quad (\text{kruhové průřezy})$$

$$\frac{M_t}{W_t} = 0,41 \text{ MPa} < k_{shape} \cdot f_{v,d} = 3,32 \text{ MPa} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

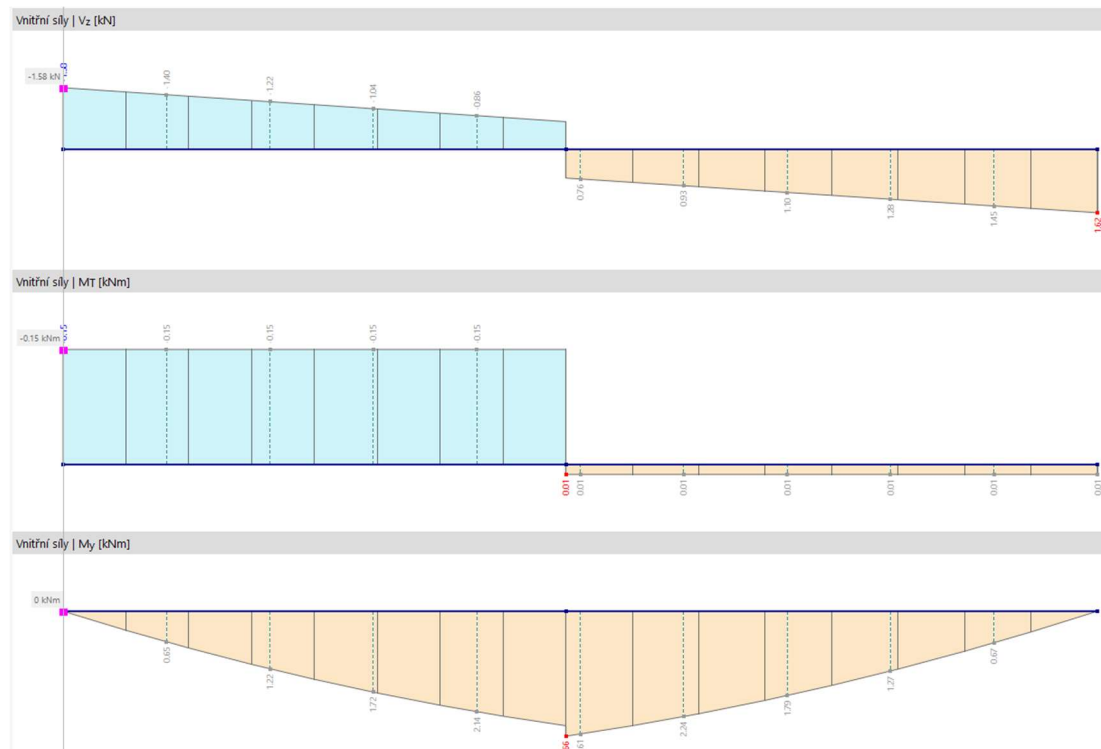
Výpočet 29 Posouzení nosníku kosočtverce – kroucení

5.1.4 Diagonály

Diagonály jsou kruhového průřezu o průměru 200 milimetrů. Jsou tlačené i tažené. Byly posouzeny pomocí Dlubal RFEM. Zde je uveden vzorový výpočet pro jednu diagonálu probíhající z 2. NP do 3. NP.



Obrázek 26 Vnitřní síly diagonály



Obrázek 27 Vnitřní síly diagonály

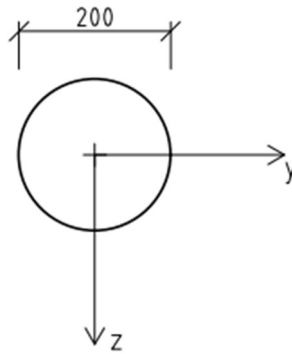
$$A := 3,14 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I := 7,85 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W := 7,85 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_t := 1,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$L := 6,162 \text{ m}$$



Výpočet 30 Posouzení diagonály – průřezové charakteristiky

Tah

$$N_t := 63,50 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 2,02 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = 0,21 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 31 Posouzení diagonály – tah

Ohyb

$$M_y := 2,66 \text{ kN m}$$

$$M_z := 0,29 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 0,37 \text{ MPa}$$

$$k_m := 1,00 \quad (\text{kruhové průřezy}) \quad ==> \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,23 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 32 Posouzení diagonály – ohyb

Kombinace ohybu a osového tahu

$$N_t = 63,50 \text{ kN}$$

$$M_y := 2,66 \text{ kN m}$$

$$M_z := 0,29 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{t,0,d} := \frac{N_t}{A} = 2,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W} = 0,37 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1,00 \quad (\text{ostatní průřezy}) \quad \Rightarrow \quad 2x \text{ stejný výsledek}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,43 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 33 Posouzení diagonály – kombinace ohybu a osového tahu

Smyk

$$\tau_y := 2,00 \text{ kPa}$$

$$\tau_z := 4,00 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_z}{f_{v,d}} = 0,001 < 1 \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 34 Posouzení diagonály – smyk

Kroucení

$$M_t := 0,15 \text{ kN m}$$

$$k_{shape} := 1,2 \quad (\text{kruhové průřezy})$$

$$\frac{M_t}{W_t} = 0,10 \text{ MPa} < k_{shape} \cdot f_{v,d} = 3,32 \text{ MPa} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 35 Posouzení diagonály – kroucení

5.2 Detaily

V rámci prohlídky rozhledny byly vypracovány dva detaily. Prvním je typický přípoj nosníku a diagonály k nárožníku nacházející se v každém patře. Druhým detailem je kotvení nárožníku k ocelové konstrukci tvořící základovou patku konstrukce.

5.2.1 Materiály

Styčnickové plechy jsou z oceli S235. Spoje jsou zajištěny svorníky M24 z materiálu 8.8.

Ocel S235			
veličina		hodnota	jednotky
součinitel materiálu	$\gamma_{M,y}$	1,25	-
mez kluzu	f_y	235	MPa
mezí pevnost	f_u	360	MPa
Materiál svorníku 8.8			
veličina		hodnota	jednotky
součinitel materiálu	$\gamma_{M,y}$	1,25	-
mez kluzu	f_{yb}	640	MPa
mezí pevnost	f_{ub}	800	MPa

Tabulka 7 Použité pevnosti pro výpočet

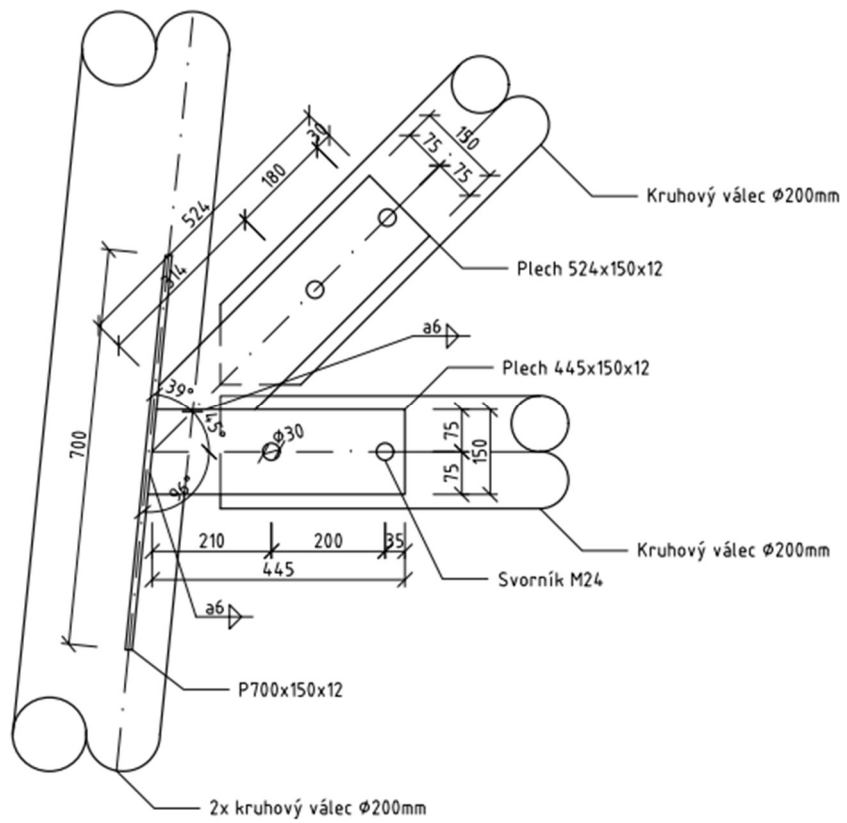
5.2.2 Přípoj nárožník-nosník-diagonála

Do jednoho nárožníku v každém patře sbíhají čtyři prvky. Jsou jimi dva nosníky a dvě diagonály. Spoj je zajištěn přes styčnickový plech tloušťky 12 milimetrů a dvěma svorníky M24 pro nosník a diagonály. Styčnickový plech v nárožníku je zajištěn čtyřmi svorníky M24. Dva krajní svorníky slouží jako spojení jednotlivých kruhových profilů tvořících nárožník.

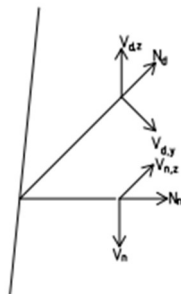


Obrázek 28 Přípoj nárožník-nosník-diagonála

Byl posouzen přípoj nejzatěžovanějšího nosníku v 2. NP. Přípoj byl posouzen na kombinaci zatěžovacích stavů KZ99. Přípoj nosníku byl posouzen ještě pro kombinaci KZ5 bez větru.



Obrázek 29 Přípoj nárožník-nosník-diagonála



Obrázek 30 Orientace sil pro posouzení připoje

5.2.2.1 Přípoj nosníku

První posouzení bylo provedeno pro kombinaci zatěžovacích stavů KZ99.

1) Nosník

$$N_n := 101,26 \text{ kN}$$

$$V_n := 2,06 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,n} := \sqrt{N_n^2 + V_n^2} = 101,28 \text{ kN}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{V_n}{N_n}\right) = 0,02$$

tloušťka plechu $t_p := 12,00 \text{ mm}$

Svorník M24 8.8

průměr $d := 24,00 \text{ mm}$

Výpočet 36 Přípoj nosníku pro KZ99 – vnitřní síly

char. pevnost otláčení ve dřevu	$f_{h,0,k} := 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 21,81 \text{ MPa}$
	$k_{90} := 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,71$
	$f_{h,\alpha,k,n} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 21,81 \text{ MPa}$
char. plastický moment únosnosti	$M_{y,Rk} := 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} \cdot 10^{-6} = 0,93 \text{ kN m}$
char. únosnost svorníku	$t_1 := \frac{200 - 12}{2} = 94,00$
	$F_{ax,Rk} := 0,25$
	$F_{v,Rk,n} := \left[\begin{array}{l} \frac{f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot 10^{-3}}{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k,n} \cdot d \cdot t_1} - 1} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \cdot 10^{-3} \\ 2,3 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k,n} \cdot d}{4} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right] = \begin{bmatrix} 49,19 \\ 49,19 \\ 50,82 \end{bmatrix}$
	$F_{v,Rk,n} := \min(F_{v,Rk,n}) \text{ kN} = 49,19 \text{ kN}$

Výpočet 37 Přípoj nosníku pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku

návrhová únosnost svorníků

$$k_{mod} = 0,90$$

$$n := 2,00$$

$$Y_M = 1,30$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot F_{v,Rk,n}}{Y_M} = 136,23 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 136,23 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 101,28 \text{ kN} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

rozteče

$$a_1 := (4 + \cos(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 120,00 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

$$a_2 := (3 + \sin(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 72,49 \text{ mm} < 75 \text{ mm} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 38 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí

Posouzení plechu

$$t_p = 12,00 \text{ mm}$$

$$b := 445,00 \text{ mm}$$

$$A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 4740,00 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 1228,61 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 1228,61 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 101,28 \text{ kN} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 39 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení plechu

Posouzení svaru

$$N_n = 101,26 \text{ kN}$$

$$V_{n,z} := V_n = 2,06 \text{ kN}$$

$$V_{n,y} := 0,85 \text{ kN}$$

$$\text{tloušťka svaru } a := 6 \text{ mm}$$

$$\text{délka svaru } L := 150 \text{ mm}$$

$$A_v := a \cdot L = 900,00 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{90} := \frac{N_n}{A_v} = 112,51 \text{ MPa}$$

$$\tau_{90} := \frac{V_{n,y}}{A_v} = 0,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_0 := \frac{V_{n,z}}{A_v} = 2,29 \text{ MPa}$$

$$S_v := \sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} = 112,59 \text{ MPa}$$

$$\beta_v := 0,80$$

$$S_v = 112,59 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_v \cdot Y_{M,y}} \text{ MPa} = 360,00 \text{ MPa} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

$$\sigma_{90} = 112,51 \text{ MPa} < 0,9 \cdot \frac{f_u}{Y_{M,y}} \text{ MPa} = 259,20 \text{ MPa} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 40 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení svaru

Druhé posouzení pro KZ5 bez větru. Počítá se s modifikačním součinitelem 0,7 pro krátkodobá zatížení.

1) Nosník

$$N_n := 9,17 \text{ kN}$$

$$V_n := 2,33 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,n} := \sqrt{N_n^2 + V_n^2} = 9,46 \text{ kN}$$

$$\alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{V_n}{N_n}\right) = 0,25$$

Tloušťka plechu $t_p := 12,00 \text{ mm}$

Svorník M24 8.8

průměr $d := 24,00 \text{ mm}$

Výpočet 41 Příklad nosníku pro KZ5 – vnitřní síly

char. pevnost otláčení ve dřevu $f_{h,0,k} := 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 21,81 \text{ MPa}$

$$k_{90} := 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,71$$

$$f_{h,\alpha,k,n} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 20,91 \text{ MPa}$$

char. plastický moment únosnosti $M_{y,Rk} := 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} \cdot 10^{-6} = 0,93 \text{ kN m}$

char. únosnost svorníku

$$t_1 := \frac{200 - 12}{2} = 94,00$$

$$F_{ax,Rk} := 0,25$$

$$F_{v,Rk,n} := \left[\begin{array}{l} \frac{f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot 10^{-3}}{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k,n} \cdot d \cdot t_1^2} - 1} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \cdot 10^{-3} \\ 2,3 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k,n} \cdot d}{4}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 47,18 \\ 47,18 \\ 49,77 \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk,n} := \min(F_{v,Rk,n}) \text{ kN} = 47,18 \text{ kN}$$

Výpočet 42 Příklad nosníku pro KZ5 – charakteristická únosnost svorníku

návrhová únosnost svorníků

$$k_{mod} = 0,70$$

$$n := 2,00$$

$$Y_M = 1,30$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot F_{v,Rk,n}}{Y_M} = 101,61 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 101,61 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 9,46 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

rozteče

$$a_1 := (4 + \cos(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 119,26 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_2 := (3 + \sin(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 72,00 \text{ mm} < 75 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 43 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení únosnosti a roztečí

Posouzení plechu

$$t_p = 12,00 \text{ mm}$$

$$b := 445,00 \text{ mm}$$

$$A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 4740,00 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 1228,61 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 1228,61 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 9,46 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 44 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení plechu

Posouzení svaru

$$N_n = 9,17 \text{ kN}$$

$$V_{n,z} := V_n = 2,33 \text{ kN}$$

$$V_{n,y} := 0,58 \text{ kN}$$

$$\text{tloušťka svaru } a := 6 \text{ mm}$$

$$\text{délka svaru } L := 150 \text{ mm}$$

$$A_v := a \cdot L = 900,00 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{90} := \frac{N_n}{A_v} = 10,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_{90} := \frac{V_{n,y}}{A_v} = 0,64 \text{ MPa}$$

$$\tau_0 := \frac{V_{n,z}}{A_v} = 2,59 \text{ MPa}$$

$$S_v := \sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} = 11,19 \text{ MPa}$$

$$\beta_v := 0,80$$

$$S_v = 11,19 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_v \cdot Y_{M,y}} \text{ MPa} = 360,00 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{90} = 10,19 \text{ MPa} < 0,9 \cdot \frac{f_u}{Y_{M,y}} \text{ MPa} = 259,20 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 45 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení svaru

5.2.2.2 Připoj diagonály

2) Diagonála

$$N_d := 83,64 \text{ kN}$$

$$V_d := 1,44 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,d} := \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = 83,65 \text{ kN}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{V_d}{N_d}\right) = 0,02$$

Tloušťka plechu $t_p := 12,00 \text{ mm}$

Svorník M24 8.8

průměr $d := 24,00 \text{ mm}$

Výpočet 46 Připoj diagonály pro KZ99 – vnitřní síly

char. pevnost otláčení ve dřevu

$$f_{h,0,k} := 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 21,81 \text{ MPa}$$

$$k_{90} := 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,71$$

$$f_{h,\alpha,k,n} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 21,81 \text{ MPa}$$

char. plastický moment únosnosti

$$M_{y,Rk} := 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} \cdot 10^{-6} = 0,93 \text{ kNm}$$

char. únosnost svorníku

$$t_1 := \frac{200 - 12}{2} = 94,00$$

$$F_{ax,Rk} := 0,25$$

$$F_{v,Rk,n} := \left[\begin{array}{l} f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k,n} \cdot d \cdot t_1} - 1} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right) \cdot 10^{-3} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k,n} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right] \cdot 10^{-3} = \begin{bmatrix} 49,20 \\ 49,20 \\ 50,82 \end{bmatrix}$$

$$F_{v,Rk,n} := \min(F_{v,Rk,n}) \text{ kN} = 49,20 \text{ kN}$$

Výpočet 47 Připoj diagonály pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku

návrhová únosnost svorníků

$$k_{mod} = 0,90$$

$$n := 2,00$$

$$Y_M = 1,30$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot F_{v,Rk,n}}{Y_M} = 136,24 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 136,24 \text{ kN} > F_{Ed,d} = 83,65 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

rozteče

$$a_1 := (4 + \cos(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 120,00 \text{ mm} < 180 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_2 := (3 + \sin(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 72,41 \text{ mm} < 75 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 48 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí

Posouzení plechu

$$t_p = 12,00 \text{ mm}$$

$$b := 524,00 \text{ mm}$$

$$A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 5688,00 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 1474,33 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 1474,33 \text{ kN} > F_{Ed,d} = 83,65 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 49 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení plechu

Posouzení svaru

$$N_d = 83,64 \text{ kN}$$

$$V_{d,z} := V_d = 1,44 \text{ kN}$$

$$V_{d,y} := 1,40 \text{ kN}$$

$$\text{tloušťka svaru } a := 6 \text{ mm}$$

$$\text{délka svaru } L := 150 \text{ mm}$$

$$A_v := a \cdot L = 900,00 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{g0} := \frac{N_d}{A_v} = 92,93 \text{ MPa}$$

$$\tau_{g0} := \frac{V_{d,y}}{A_v} = 1,56 \text{ MPa}$$

$$\tau_0 := \frac{V_{d,z}}{A_v} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$S_v := \sqrt{\sigma_{g0}^2 + 3 \cdot (\tau_{g0}^2 + \tau_0^2)} = 93,01 \text{ MPa}$$

$$\beta_v := 0,80$$

$$S_v = 93,01 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_v \cdot Y_{M,y}} \text{ MPa} = 360,00 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{g0} = 92,93 \text{ MPa} < 0,9 \cdot \frac{f_u}{Y_{M,y}} \text{ MPa} = 259,20 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 50 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení svaru

5.2.2.3 Styčnickový plech nárožníku

3) Nárožník

$$N_s := 120,93 \text{ kN}$$

$$V_s := 65,83 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,s} := \sqrt{N_s^2 + V_s^2} = 137,69 \text{ kN}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{V_s}{N_s}\right) = 0,50$$

Tloušťka plechu $t_p := 12,00 \text{ mm}$

Svorník M24 8.8

průměr $d := 24,00 \text{ mm}$

Výpočet 51 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – vnitřní síly

char. pevnost otláčení ve dřevu $f_{h,0,k} := 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 21,81 \text{ MPa}$

$$k_{g0} := 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,71$$

$$f_{h,\alpha,k,n} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{g0} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 18,77 \text{ MPa}$$

char. plastický moment únosnosti $M_{y,Rk} := 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} \cdot 10^{-6} = 0,93 \text{ kN m}$

char. únosnost svorníku

$$t_1 := \frac{400 - 12}{2} = 194,00$$

$$F_{ax,Rk} := 0,25$$

$$F_{v,Rk,n} := \left[\begin{array}{l} f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k,n} \cdot d \cdot t_1^2} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k,n} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right] \cdot 10^{-3} = \begin{bmatrix} 87,38 \\ 87,38 \\ 47,15 \end{bmatrix}$$

$$F_{v,Rk,n} := \min(F_{v,Rk,n}) \text{ kN} = 47,15 \text{ kN}$$

Výpočet 52 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku

návrhová únosnost svorníků

$$k_{mod} = 0,90$$

$$n := 4,00$$

$$Y_M = 1,30$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot F_{v,Rk,n}}{Y_M} = 261,14 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 261,14 \text{ kN} > F_{Ed,s} = 137,69 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

rozteče

$$a_1 := (4 + \cos(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 117,08 \text{ mm} < 180 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_2 := (3 + \sin(\alpha)) \cdot d \text{ mm} = 72,00 \text{ mm} < 75 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 53 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí

Posouzení plechu

$$t_p = 12,00 \text{ mm}$$

$$b := 700,00 \text{ mm}$$

$$A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 7800,00 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,Y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 2021,76 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 2021,76 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 101,28 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet 54 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – posouzení plechu

5.2.3 Kotvení nárožníku

Spodní konce nárožníků jsou objaty dvěma plechy o tloušťce 7 milimetrů. Svorníky jsou v těchto místech čtyřstržné. V následujícím výpočtu byl řešen čtyřstržný spoj pro svorníky jako složený jednostřžný a dvojtřžný spoj.

– pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek dvojtřžného spoje:

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

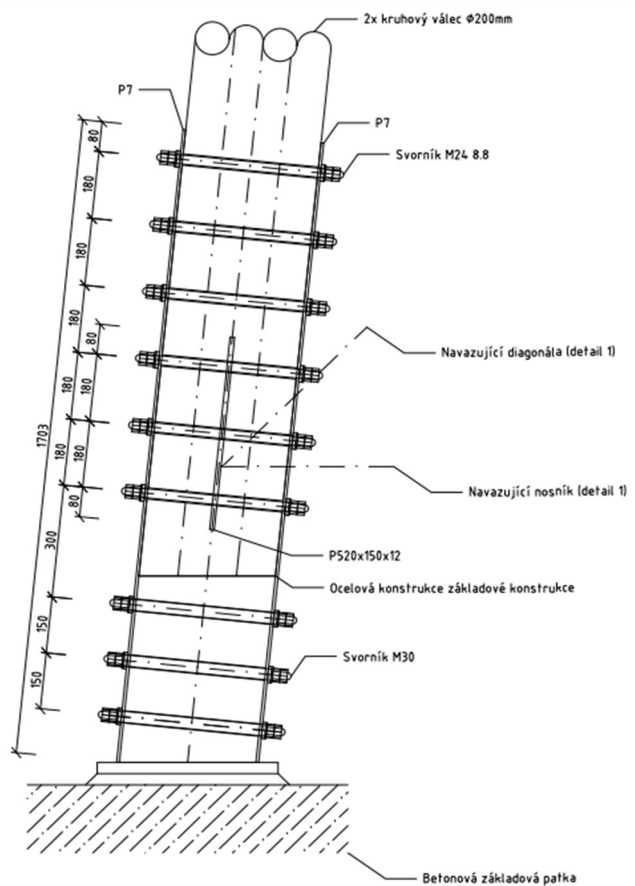
Obrázek 31 Střední prvek dvojtřžného spoje podle ČSN EN 1995-1-1

– pro tenkou ocelovou desku jednodřívě namáhanou:

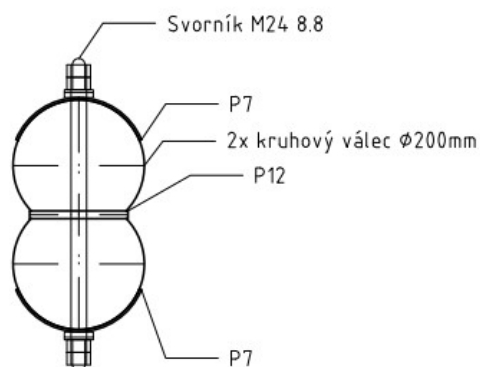
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases}$$

Obrázek 32 Jednotřívý spoj podle ČSN EN 1995-1-1

Detail kotvení je zobrazen na obrázcích 33 a 34.



Obrázek 33 Detail kotvení nárožníku



Obrázek 34 Detail kotvení nárožníku

Výpočet byl proveden pro kombinaci zatěžovacích stavů KZ99. Modifikační součinitel je roven 0,9 (hodnota pro okamžiková zatížení).

I) Vnější část

tloušťka plechu $t_p := 7,00 \text{ mm}$ \implies tenká deska
 $0,5 \cdot d \text{ mm} = 12,00 \text{ mm}$

$$f_{h,0,k} = 21,81 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,93 \text{ kN m}$$

$$t_1 := 200 - 7 = 193,00 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,I} := \begin{bmatrix} 0,4 \cdot f_{h,0,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot 10^{-3} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40,41 \\ 35,96 \end{bmatrix}$$

$$F_{v,Rk,I} := \min(F_{v,Rk,I}) \text{ kN} = 35,96 \text{ kN}$$

Výpočet 55 Kotvení nárožníku – vnější část

II) Vnitřní část

tloušťka plechu $t_p := 12,00 \text{ mm}$

$$f_{h,0,k} = 21,81 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,93 \text{ kN m}$$

$$t_1 := \frac{400 - 12}{2} = 194,00 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,II} := \begin{bmatrix} f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot 10^{-3} \\ f_{h,\alpha,k,n} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k,n} \cdot d \cdot t_1^2} - 1} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right] \cdot 10^{-3} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k,n} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 101,55 \\ 101,55 \\ 50,83 \end{bmatrix}$$

$$F_{v,Rk,II} := \min(F_{v,Rk,II}) \text{ kN} = 50,83 \text{ kN}$$

Výpočet 56 Kotvení nárožníku – vnitřní část

Celkem

$$F_{v,Rk} := 2 \cdot F_{v,Rk,I} + F_{v,Rk,II} = 122,74 \text{ kN}$$

$$k_{mod} := 0,90$$

$$n := 6,00$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot F_{v,Rk}}{Y_M} = 1019,72 \text{ kN} > F_{Ed} := 682,42 \text{ kN} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 57 Kotvení nárožníku – posouzení únosnosti

Posouzení vnějšího plechu

$$t_p := 7,00 \text{ mm}$$

$$b := 1680 \text{ mm}$$

$$A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 1,14 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 2957,47 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 2957,47 \text{ kN} > F_{Ed,d} = 15,29 \text{ kN} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Posouzení vnitřního plechu

$$t_p := 12,00 \text{ mm}$$

$$b := 520,00 \text{ mm}$$

$$+ A_{net} := b \cdot t_p - 2 \cdot (d + 1) \cdot t_p = 5640,00 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{Y_{M,y}} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 1461,89 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 1461,89 \text{ kN} > F_{Ed,n} = 9,46 \text{ kN} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Výpočet 58 Kotvení nárožníku – posouzení plechů

6 Závěr

Záměrem této práce bylo seznámení s reálnou konstrukcí rozhledny. Určit statické působení celé konstrukce a jejích jednotlivých prvků. V druhé kapitole byly popsány všechny nosné konstrukce a ostatní navazující konstrukce. Byl také kladen důraz na zhodnocení technického stavu konstrukce. Konstrukce není nijak viditelně poškozena. Všechny nosné prvky i prvky vybavení rozhledny by měly být schopny plnit svou funkci.

Ve zjednodušeném statickém posudku byla rozhledna zatížena vlastní tíhou, ostatním stálým zatížením, užitným zatížením, zatížením od sněhu a větru. Byly sestaveny kombinace těchto zatěžovacích stavů. Následně byly všechny nosné prvky posouzeny pomocí Dlubal RFEM. Ručním výpočtem byly posouzeny nárožníky a byl uveden vzorový výpočet pro nosné prvky 2. NP. Nosné prvky vyhověly zatěžovacím stavům a jejich kombinacím bez problému.

Na závěr byly vytvořeny dva detaily konstrukce, které byly následně posouzeny. Prvním byl patrový přípoj nosníku a diagonály k nárožníku. Druhým detailem bylo kotvení nárožníku do základu konstrukce. Oba detaily přípojí vyhověly.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Umístění rozhledny (zdroj mapy.cz)	8
Obrázek 2 Drtinova rozhledna	9
Obrázek 3 Detail styčnicku diagonály a nosníku	11
Obrázek 4 Detail styčnicku nárožnicku, nosníku a diagonály	11
Obrázek 5 Schodiště	12
Obrázek 6 Detail přípoje schodiště	12
Obrázek 7 Detail přípoje schodiště	12
Obrázek 8 Detail krovu	13
Obrázek 9 Detail kotvení	13
Obrázek 10 Schéma výpočetního modelu.....	14
Obrázek 11 Pohled na nárožník.....	14
Obrázek 12 Pohled na stěnu	14
Obrázek 13 Užité zatížení – ZS3	16
Obrázek 14 Užité zatížení – ZS4	17
Obrázek 15 Mapa sněhových oblastí na území ČR podle ČSN EN 1991-1-3	17
Obrázek 16 Mapa větrných oblastí na území ČR podle ČSN EN 1991-1-4	18
Obrázek 17 Zatížení větrem pro přístřešky podle ČSN EN 1991-1-4.....	21
Obrázek 18 Zatížení větrem kolmo na stěnu – ZS6	21
Obrázek 19 Zatížení větrem kolmo na nárožník – ZS9	21
Obrázek 20 Kombinace zatížení KZ99	23
Obrázek 21 Vnitřní síly nárožníků od KZ99.....	24
Obrázek 23 Vnitřní síly nosníku v rovině stěny	29
Obrázek 24 Vnitřní síly nosníku v rovině stěny	29
Obrázek 25 Vnitřní síly nosníku kosočtverce	33
Obrázek 26 Vnitřní síly nosníku kosočtverce	33
Obrázek 27 Vnitřní síly diagonály	36
Obrázek 28 Vnitřní síly diagonály	36
Obrázek 29 Přípoj nárožník-nosník-diagonála	39
Obrázek 30 Přípoj nárožník-nosník-diagonála	40
Obrázek 31 Orientace sil pro posouzení přípoje.....	40
Obrázek 32 Střední prvek dvojstřížného spoje podle ČSN EN 1995-1-1	48
Obrázek 33 Jednostřížný spoj podle ČSN EN 1995-1-1	49
Obrázek 34 Detail kotvení nárožnicku	49

Obrázek 35 Detail kotvení nárožníku 49

Seznam výpočtů

Výpočet 1 Zatížení sněhem na konstrukci střešního krovu.....	18
Výpočet 2 Zatížení větrem – základní rychlost větru	19
Výpočet 3 Zatížení větrem – součinitel drsnosti terénu	19
Výpočet 4 Zatížení větrem – střední rychlost větru	19
Výpočet 5 Zatížení větrem – maximální dynamický tlak.....	20
Výpočet 6 Zatížení větrem – kruhové válce	20
Výpočet 7 Zatížení větrem – kruhové válce	20
Výpočet 8 Posouzení nosníků – průřezové charakteristiky.....	24
Výpočet 9 Posouzení nárožníků – vzpěrný tlak.....	25
Výpočet 10 Posouzení nárožníků – vzpěrný tlak.....	26
Výpočet 11 Posouzení nárožníků – tah	26
Výpočet 12 Posouzení nárožníků – ohyb	26
Výpočet 13 Posouzení nárožníků – kombinace ohybu a osového tlaku se vzpěrem.....	27
Výpočet 14 Posouzení nárožníků – kombinace ohybu a osového tahu.....	27
Výpočet 15 Posouzení nárožníků – smyk	28
Výpočet 16 Posouzení nárožníků – kroucení	28
Výpočet 17 Posouzení nosníků – průřezové charakteristiky.....	30
Výpočet 18 Posouzení nosníků v rovině stěny – tlak se vzpěrem.....	30
Výpočet 19 Posouzení nosníků v rovině stěny - tah.....	31
Výpočet 20 Posouzení nosníků v rovině stěny – ohyb	31
Výpočet 21 Posouzení nosníků v rovině stěny – kombinace ohybu a osového tlaku.....	31
Výpočet 22 Posouzení nosníků v rovině stěny – kombinace ohybu a osového tahu.....	32
Výpočet 23 Posouzení nosníků v rovině stěny – smyk.....	32
Výpočet 24 Posouzení nosníků v rovině stěny – kroucení	32
Výpočet 26 Posouzení nosníku kosočtverce – tlak	34
Výpočet 27 Posouzení nosníku kosočtverce – ohyb	34
Výpočet 28 Posouzení nosníku kosočtverce – kombinace ohybu a osového tlaku	35
Výpočet 29 Posouzení nosníku kosočtverce – smyk	35
Výpočet 30 Posouzení nosníku kosočtverce – kroucení	35
Výpočet 31 Posouzení diagonály – průřezové charakteristiky.....	37
Výpočet 32 Posouzení diagonály – tah	37
Výpočet 33 Posouzení diagonály – ohyb.....	37
Výpočet 34 Posouzení diagonály – kombinace ohybu a osového tahu	38

Výpočet 35 Posouzení diagonály – smyk	38
Výpočet 36 Posouzení diagonály – kroucení.....	38
Výpočet 37 Přípoj nosníku pro KZ99 – vnitřní síly.....	41
Výpočet 38 Přípoj nosníku pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku	41
Výpočet 39 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí	42
Výpočet 40 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení plechu	42
Výpočet 41 Přípoj nosníku pro KZ99 – posouzení svaru	42
Výpočet 42 Přípoj nosníku pro KZ5 – vnitřní síly.....	43
Výpočet 43 Přípoj nosníku pro KZ5 – charakteristická únosnost svorníku	43
Výpočet 44 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení únosnosti a roztečí	44
Výpočet 45 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení plechu	44
Výpočet 46 Přípoj nosníku pro KZ5 – posouzení svaru	44
Výpočet 47 Přípoj diagonály pro KZ99 – vnitřní síly.....	45
Výpočet 48 Přípoj diagonály pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku	45
Výpočet 49 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí	46
Výpočet 50 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení plechu	46
Výpočet 51 Přípoj diagonály pro KZ99 – posouzení svaru	46
Výpočet 52 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – vnitřní síly	47
Výpočet 53 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – charakteristická únosnost svorníku.....	47
Výpočet 54 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – posouzení únosnosti a roztečí.....	48
Výpočet 55 Styčnickový plech nárožníku pro KZ99 – posouzení plechu	48
Výpočet 56 Kotvení nárožníku – vnější část.....	50
Výpočet 57 Kotvení nárožníku – vnitřní část.....	50
Výpočet 58 Kotvení nárožníku – posouzení únosnosti	51
Výpočet 59 Kotvení nárožníku – posouzení plechů	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Užitné kategorie podle ČSN EN 1991-1-1	15
Tabulka 2 Užitná zatížení podle ČSN EN 1991-1-1	16
Tabulka 3 Zatěžovací stavy	22
Tabulka 4 Použité pevnosti pro výpočet	23
Tabulka 5 Vnitřní síly nárožníků od KZ99	24
Tabulka 6 Součinitel η pro výpočet $\lambda_{ef,z}$ podle normy ČSN EN 1995-1-1 příloha C	25
Tabulka 7 Použité pevnosti pro výpočet	39

Seznam rovnic

Rovnice 1 Základní kombinace zatížení podle ČSN EN 1990	22
Rovnice 2 Rovnice charakteristické kombinace podle ČSN EN 1990	22

Seznam použité literatury

1. **ČSN EN 1990 ed. 2 (73 0002)** Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
2. **ČSN EN 1991-1-1 (73 0035)** Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
3. **ČSN EN 1991-1-3 ed. 2 (73 0035)** Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
4. **ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 (73 0035)** Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
5. **ČSN EN 1993-1-8 (73 1401)** Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnic
6. **ČSN EN 1995-1-1 (73 1701)** Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Seznam použitých programů

1. **Dlubal software** – Dlubal RFEM, verze programu 6,02 pro studenty
2. **SMath Studio** – SMath Solver, verze programu 1,0
3. **Microsoft** – Office 365 ProPlus

Seznam příloh

1 Půdorys 1NP a 2NP

2 Půdorys 3NP a 4NP

3 Půdorys 5NP, 6NP a 7NP

4 Řezy rovinou stěny A a B

5 Řezy rovinou stěny C a D

6 Detaily