



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A STATICKÁ ANALÝZA ROZHLEDNY

DESIGN AND STATIC ANALYSIS OF THE LOOKOUT TOWER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alena Řehořová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Alena Řehořová
Název	Návrh a statická analýza rozhledny
Vedoucí práce	Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

ČSN EN 1993-1-1 - Eurokód 3

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

Manuály k vybranému výpočetnímu systému

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je návrh geometrie a následná statická analýza rozhledny. Bude proveden prostorový výpočtový model konstrukce, použité zatížení bude odpovídat platným normám. Modelování konstrukce a statická analýza bude proveden ve vybraném programovém systému. Získané výsledky budou ověřeny s ručním výpočtem na vhodném zjednodušeném modelu konstrukce nebo její části.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je návrh a statická analýza ocelové konstrukce rozhledny s celkovou výškou 25,32 metrů. Půdorys jednotlivých pater je pravidelný šestiúhelník se zmenšujícím se průměrem ke středu výšky. Hlavní vyhlídková plošina se nachází ve výšce 24 metrů, další vyhlídkové plošiny jsou umístěny ve čtvrtinách výšky. Cílem práce je navrhnout různá konstrukční řešení a jejich porovnání, vzhledem k vlivům zatížení na konstrukci a její části. Statické modely a výpočet vnitřních sil jsou provedeny ve studentské verzi programu SCIA Engineer 20.0.

KLÍČOVÁ SLOVA

ocelová rozhledna, prutová konstrukce, zatížení, výpočtový model, Scia Engineering

ABSTRACT

The topic of the bachelor's thesis is the design and static analysis of the steel structure of a lookout tower with a total height of 25.32 meters. The floor plan of each floor is a regular hexagon with a decreasing diameter to the center of height. The main viewing platform is located at a height of 24 meters, other viewing platforms are located in quarters of the height. The aim of the work is to design various structural solutions and their comparison, with respect to the effects of loading on the structure and its parts. The static model and calculation of internal forces is performed in the student version of the SCIA Engineer 20.0 program.

KEYWORDS

steel lookout tower, bar structure, load, computational model, Scia Engineering

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Alena Řehořová *Návrh a statická analýza rozhledny*. Brno, 2021. 85 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh a statická analýza rozhledny* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Alena Řehořová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh a statická analýza rozhledny* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Alena Řehořová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří především vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Zbyňkovi Vlkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotné, a hlavně trpělivé jednání při konzultacích. Dále bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za podporu.

Obsah

Úvod.....	10
1. Popis objektu	11
1.1. Umístění stavby	11
1.2. Architektonický návrh.....	12
1.3. Dispoziční řešení	13
1.4. Skladba konstrukce.....	15
1.5. Technické řešení	15
1.6. Konstrukční systém.....	16
1.6.1. Středový sloup	17
1.6.2. Vnější diagonály	17
1.6.3. Obvodové ztužidlo	18
1.6.4. Nosník spojující středový sloup, obvodové ztužidlo a diagonály	18
1.6.6. Schodišťový nosník	19
1.6.7. Schodnice.....	19
1.6.8. Vzpěry	20
1.7. Založení stavby.....	20
1.8. Materiály	20
2. Výpočtový model	21
2.1. M1	21
2.2. M2	21
2.3. M3	21
2.4. M4	22
2.5. M5	22
2.6. M6	22
2.7. M7	22
2.8. M8	22
3. Zatížení	23
3.1. Zatížení stálé	23
3.1.1. ZS1 – Vlastní tíha konstrukce.....	23
3.1.2. ZS2 – Ostatní stálé zatížení	24
3.2. Užité zatížení	25
3.2.1. ZS3 – Na schodišti	25
3.2.2. ZS3 – Na plošinách	26
3.2.3. ZS3 – Na zábradlí	27
3.3. Zatížení větrem.....	28
3.3.1. Rychlost větru a dynamický tlak	30
3.3.2. Součinitel konstrukce	34
3.3.3. Síly od větru	34

3.3.3.1.	Součinitele vnějších tlaků	35
3.3.3.2.	Součinitel síly	39
3.3.4.	Porovnání výsledných sil zatížení větrem	42
3.4.	Zatížení větrem na konstrukci s ledovkou	43
3.5.	Zatížení sněhem	44
3.6.	Zatížení námrazou	46
3.6.1.	Námraza	46
3.6.2.	Ledovka	49
4.	Statická analýza	51
4.1.	Vnitřní síly	51
4.1.1.	Ruční výpočet vnitřních sil diagonál 7NP	51
4.1.2.	Vnitřní síly diagonál 7NP z programu	52
4.1.3.	Ruční výpočet podporových reakcí	53
4.1.4.	Podporové reakce vypočtené programem	53
4.1.5.	Porovnání výpočtů	54
4.1.6.	Vnitřní síly diagonál 1NP z programu k posouzení MSÚ	54
4.2.	Kombinace zatěžovacích stavů	54
4.2.1.	Seznam kombinačních stavů	56
5.	Posouzení	57
5.1.	Posouzení vybraného prvku	57
5.1.1.	Prostý tlak	58
5.1.2.	Rovinný vzpěr	58
5.1.3.	Smyk	60
5.1.4.	Ohyb	61
5.2.	Posouzení konstrukce na MSÚ	62
5.2.1.	M1	63
5.2.2.	M2	64
5.2.3.	M3	65
5.2.4.	M4	66
5.2.5.	M5	67
5.2.6.	M6	68
5.2.7.	M7	69
5.3.	Posouzení konstrukce na MSP	70
5.3.1.	M2	72
5.3.2.	M6	73
5.3.3.	M7	74
5.3.4.	M8	75
5.4.	Porovnání modelů	76
Závěr		78
Seznam zdrojů		79
Seznam obrázků		80
Seznam tabulek		82

Úvod

Předmětem této bakalářské práce je vlastní návrh a statická analýza rozhledny. Toto téma jsem zvolila za účelem prohloubení znalostí problematiky působení sil na konstrukci a následný roznos vnitřních sil v konstrukci.

V první kapitole je popis objektu. Základem je vlastní architektonický návrh, ve kterém je navržen základní tvar konstrukce s ohledem na potřebnou funkci, materiál i vzhled. Tvar rozhledny je inspirován broušeným sklem a přesýpacími hodinami. Rozhledna je umístěna na kopci Ostrý u obce Olešnice. Popis dispozičního řešení vychází z architektonického návrhu. Celková výška konstrukce včetně podlahy a zábradlí je 25,32 m. Konstrukčním materiálem je použita ocel, na podlahu vyhlídkových plošin a schodnic je použito rostlé dřevo.

V druhé kapitole je popsáno 8 výpočtových modelů. M1 a M2 jsou modely konstrukce s pevnými vazbami a M3 – M8 jsou modely s pevnými vazbami a klouby, kde na obou koncích všech vnějších diagonál jsou dovolena pootočení φ_y . Modely jsou zatíženy čtyřmi různými kombinačními stavy. Výpočtové modely byly vytvořeny ve studentské verzi programu SCIA Engineer 20.0.

Třetí kapitola obsahuje stanovení zatížení. Je počítáno zatížení vlastní tíhou, ostatní stálé zatížení, užitné zatížení, zatížení větrem, zatížení větrem na konstrukci s ledovkou, zatížení sněhem, námrazou a ledovkou.

Ve čtvrté kapitole je popsána statická analýza, která se zaměřuje na vnitřní síly a kombinaci zatěžovacích stavů. Vnitřní síly jsou ručně ověřeny na vybraných prvcích.

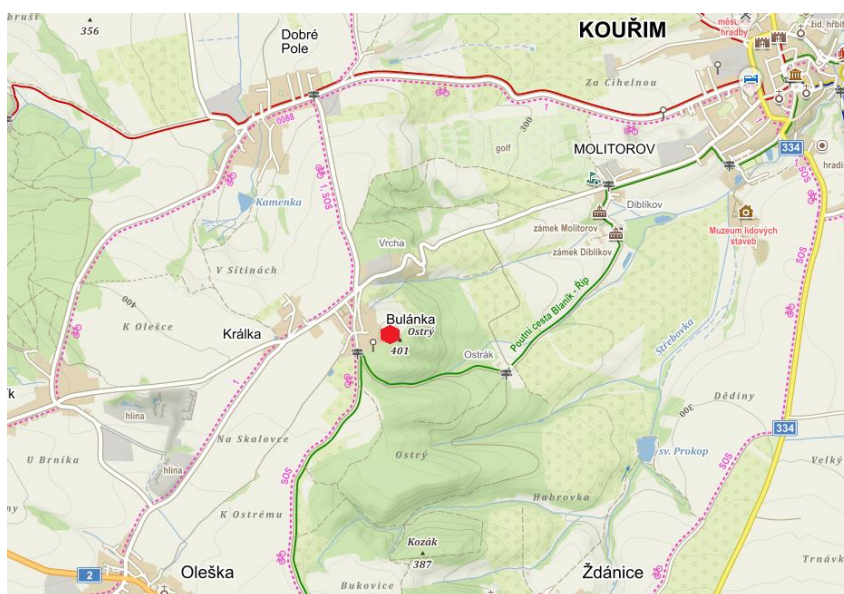
Pátá kapitola se zaměřuje na posouzení konstrukce na mezní stav únosnosti a použitelnosti. K ověření správnosti výpočtů programu je vybraný prvek na několik posudků MSÚ posouzen ručně. Posouzení na MSÚ a MSP celých modelů je provedeno programem s ručním ověřením kombinačních součinitelů. Na závěr této kapitoly je popsáno porovnání modelů.

1. Popis objektu

1.1. Umístění stavby

Rozhledna je umístěna ve Středočeském kraji jihozápadně od obce Kouřim v části obce Olešnice – Bulánka.

Lokalita byla vybrána tak, aby se v nejbližším okolí nenacházela jiná stavba stejného, nebo podobného účelu a zároveň byla svým umístěním atraktivní pro veřejnost. Plánované umístění rozhledny je na louce v blízkosti vrcholu hory Ostrý (401 m.n.m), která se nachází na poutní cestě Blaník – Říp. Výhled z dané lokality je na západě omezen několika horami výšky přibližně 530 m.n.m., z nichž nejbližší je Pecný (14km). Za dobré viditelnosti je možné vidět přes Českou tabuli severozápadně České středohoří (cca 100 km), směrem k východu Ještěd, Jizerské a Lužické hory (cca 100 km), Krkonoše (90 km), Orlické hory (100 km) a Jeseníky (150 km). Z jižní strany je výhled částečně omezený stromy výšky cca 20 m. Z tohoto důvodu jsou vyhlídkové plošiny natočeny tak, aby výhled z nich byl co nejpříznivější. Z nejvyšší plošiny by jižně měl být vidět Velký Blaník (cca 40 km), v závislosti na výšce stromů. V blízkosti je vedena zpevněná cesta, která bude využita při stavbě.



Obrázek 1.1. – Umístění rozhledny na turistické mapě

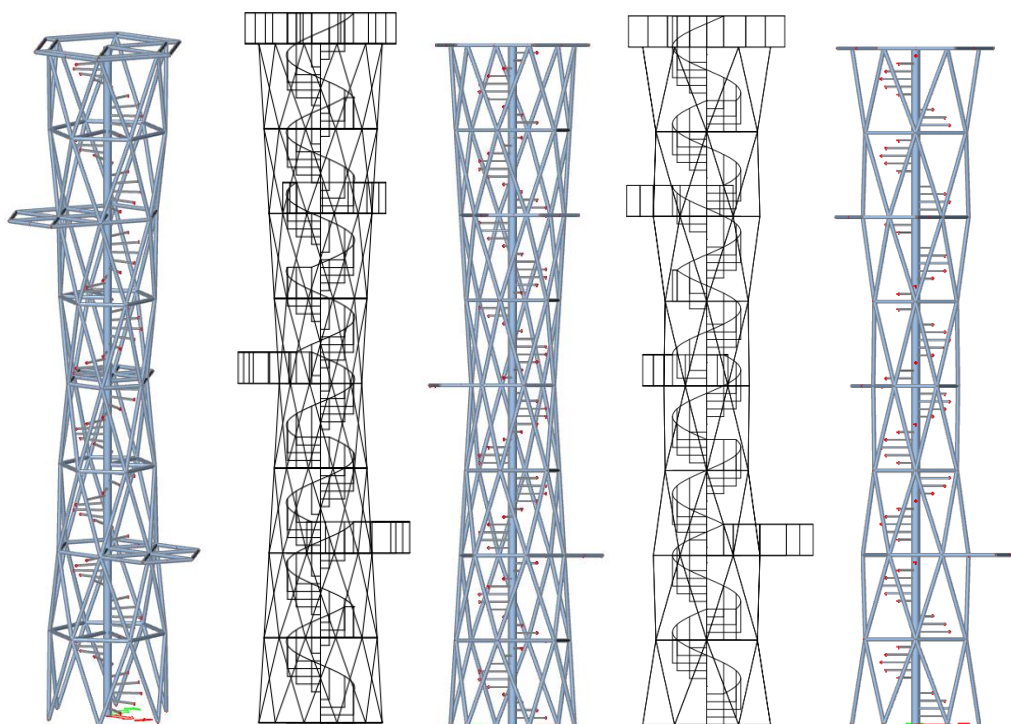
1.2. Architektonický návrh

K vypracování bakalářské práce jsem vytvořila vlastní architektonický návrh. Při návrhu jsem se nechala inspirovat přesýpacími hodinami a broušeným sklem.

Přesýpací hodiny se vyznačují zúžením v polovině výšky. Toto zúžení zajišťuje průměr jednotlivých pater. Patra mají tvar pravidelného šestiúhelníku s proměnným průměrem od 3 m do 4,5 m.

Broušené sklo je charakteristické rovnými plochami různých tvarů, velikostí a sklonů. Tyto plochy jsou ohraničené ostrými hranami. K dosažení tohoto efektu jsou patra k sobě vzájemně pootočená o 30°. Celkový efekt dotváří diagonály, kterými je konstrukce oplášťena. Diagonály představují hrany broušeného skla a prostor mezi nimi vizuálně tvoří plochy. Jelikož jsou patra proměnného průměru, mají tyto plochy různý tvar, velikost i sklon.

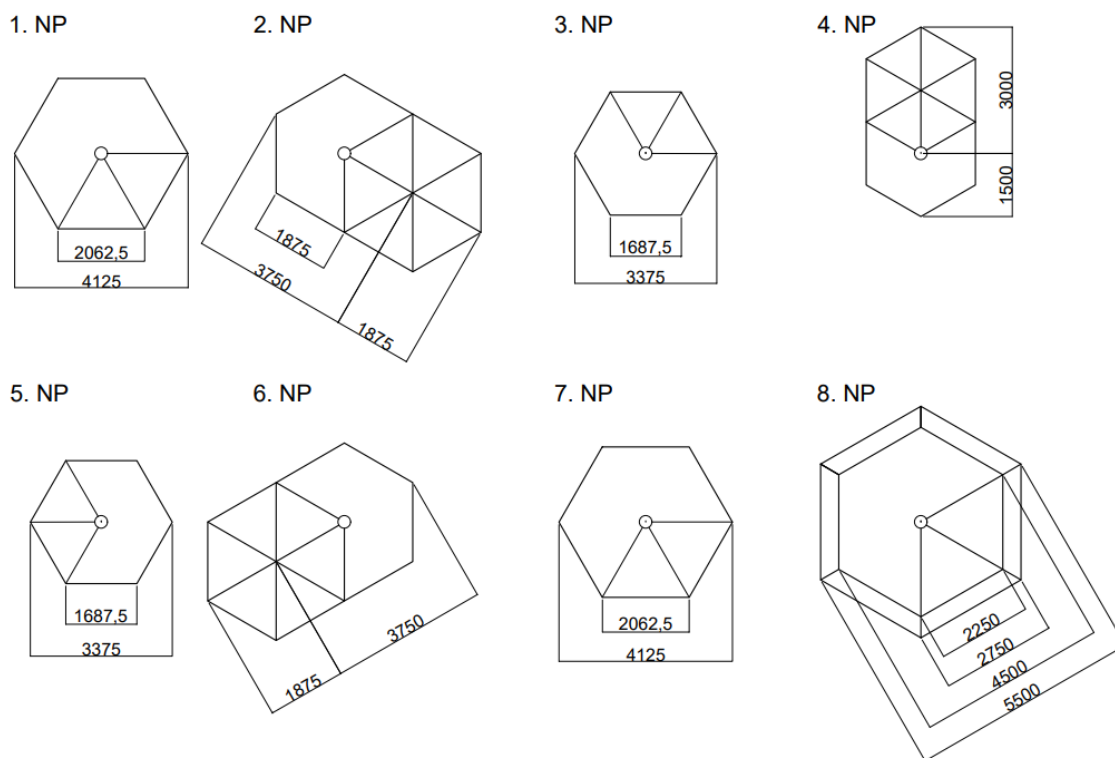
Celkem se zde nachází 8 pater. Hlavní vyhlídková plošina v 8. patře je ve výšce 24 m nad terénem. Ke 2., 4. a 6. patru jsou připojeny vyhlídkové plošiny, které kopírují velikost i tvar daného patra a půdorysně svírají úhel 120°.



Obrázek 1.2. – Prostorový a boční pohled na architektonický návrh rozhledny

1.3. Dispoziční řešení

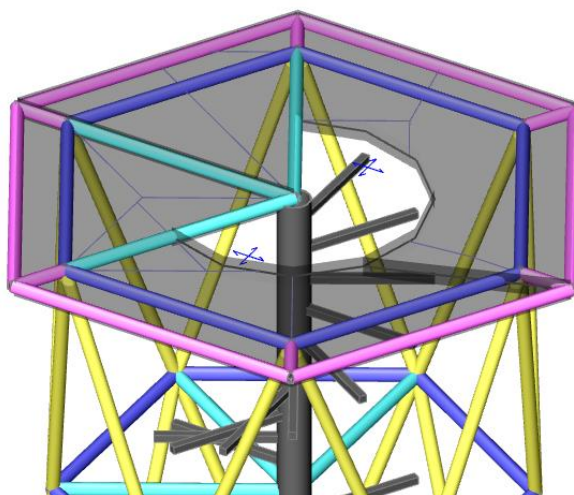
Ve středu konstrukce je umístěn sloup o celkové výšce 24 m. Na konstrukci se nachází 8 pater, výška patra činí 3 m. Jednotlivá patra mají tvar pravidelného šestiúhelníku s proměnnou délkou strany. V přízemí a v 8. patře je průměr šestiúhelníku 4 500 mm (s délkou strany 2 250 mm). Směrem do středu se průměr zmenšuje, a to na 4 125 mm (2 062,5 mm), 3 750 mm (1 875 mm), 3 375 mm (1 687,5 mm) a 3 000 mm (1 500 mm) v polovině výšky. Vyjma přízemí jsou tyto šestiúhelníky tvořeny obvodovými ztužidly a jsou vyplněny nosníky spojující 3 sousední vrcholy a střed. Sudá patra jsou otočena doleva o 30° kolem středového sloupu, lichá o 90°, vzhledem k patru nacházející se níže. Ke 2., 4. a 6. patru jsou připojeny vyhlídkové plošiny, které kopírují velikost i tvar daného patra. Jsou vyplněny nosníky, jejichž délka se rovná délce strany šestiúhelníku. Každá plošina je vrcholem šestiúhelníku připojena na středový sloup tak, že přiléhající nosníky plošin k tomuto vrcholu a nosníky vyplňující patro jsou tytéž. Vyhlídkové plošiny ve vyšších patrech jsou půdorysně otočeny doleva o 120° vzhledem k plošině nacházející se níže.



Obrázek 1.3.a – Dispozice – půdorysy konstrukce v jednotlivých patrech

Každá z těchto plošin je podepřena dvěma vzpěrami. Strana patra se stranou plošiny tvoří nejdelší stranu, na jejíž konci je vzpěra umístěna. Spojuje nejbližší vrchol patra nacházející se níže.

Horní vyhlídková plošina v 8. patře je rozšířena na 5 500 mm, a to nosníky na vrcholech obvodového ztužidla o délce 500 mm. Konce těchto nosníků jsou spojeny větším šestiúhelníkem o délce strany 2 750 mm. Tato plošina zaujímá celou plochu 8. patra vyjma prostoru schodiště.

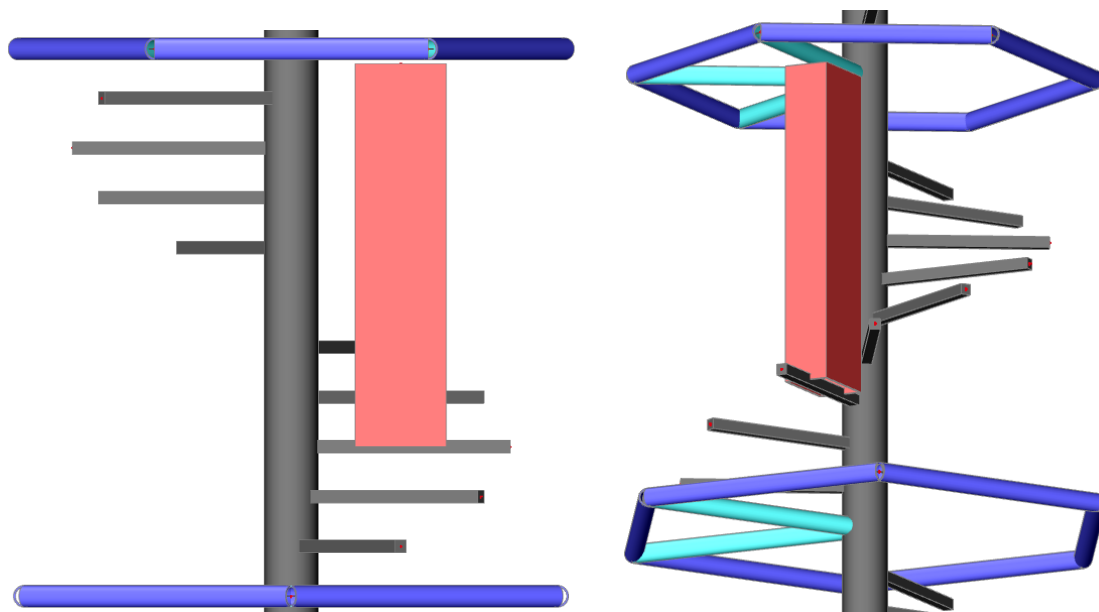


Obrázek 1.3.b – Dispoziční řešení 8. patra

Jednotlivá patra jsou spojena vnějšími diagonálami. Z každého vrcholu šestiúhelníku vedou 2 diagonály do nejbližších vrcholů vyššího patra.

Schodiště je navrženo jako vnitřní točité kolem středového sloupu. Osová šířka schodiště je 1200 mm, reálně 1050 mm. Mezi jednotlivými patry se nachází 11 schodišťových stupňů. Výška stupně je 273 mm a šířka na výstupní čáře 450 mm. Celkem je zde umístěno 88 schodů. V patrech bez vyhlídkové plošiny je po 11 schodech na schodišti umístěna mezipodesta o délce 2 schodišťových stupňů. Vyhlídkové plošiny zaujímají délku 4 schodišťových stupňů.

Prostor schodiště i vyhlídkových plošin je opatřen zábradlím se svislou výplní o výšce 1,2 m nad horní úroveň příslušné podlahy.



Obrázek 1.3.c – Konstrukční řešení podchodné výšky

Na obrázku 1.3.c je znázorněna podchodná výška pomocí kvádrů, ve kterém je započtena podchodná výška 2 m, konstrukční výška schodnice i schodišťového nosníku.

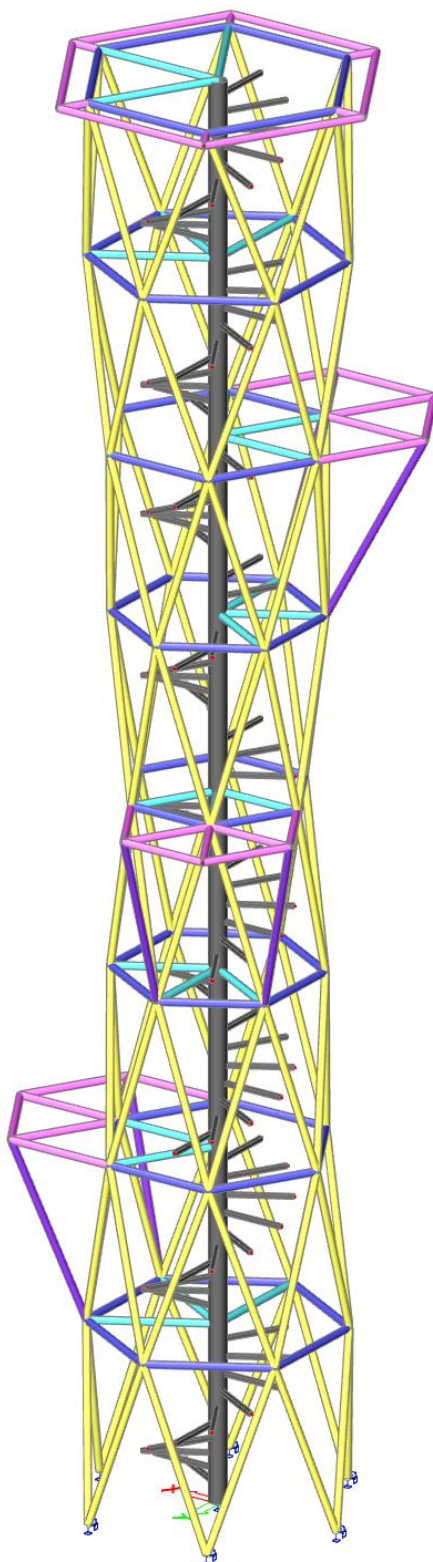
1.4. Skladba konstrukce

Podlaha vyhlídkových plošin a schodišťových stupňů je tvořena dřevem tloušťky 50 mm. Zábradlí se skládá z madla a sloupků a materiálem je ocel. Jelikož se na rozhledně předpokládá pohyb dětí, je vzdálenost vertikálních tyčí 80 mm.

1.5. Technické řešení

Na konstrukci středového sloupu bude osazen tyčový jímač (bleskosvod) a také noční výstražné osvětlení červené barvy. Před uvedením do provozu bude vypracován provozní řád rozhledny a bude umístěn před vstupem.

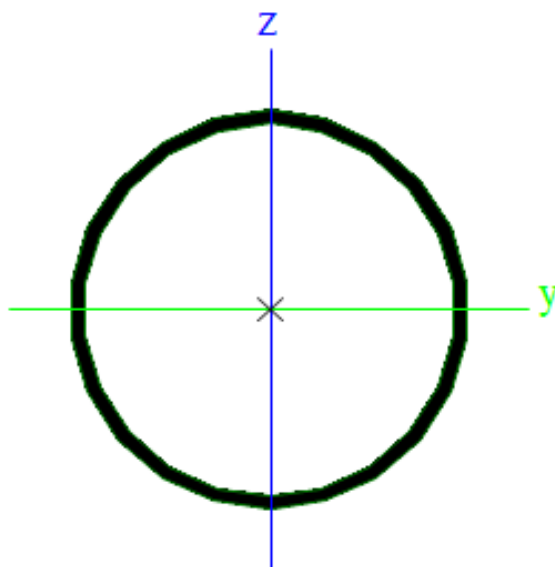
1.6. Konstrukční systém



Obrázek 1.6. – Konstrukční systém

1.6.1. Středový sloup

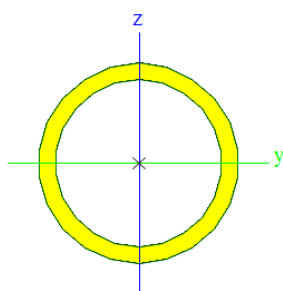
Středový sloup tvoří hlavní nosný prvek konstrukce. Slouží také k vedení schodiště. Profil středového sloupu je ROR298.5/10.



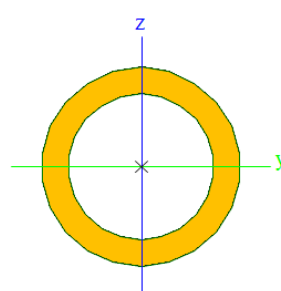
Obrázek 1.6.1. - Průřez profilu středového sloupu

1.6.2. Vnější diagonály

Vnější diagonály přenášejí zatížení od klimatických účinků do základů. V každém patře jsou spojeny obvodovým ztužidlem. Dohromady spojené diagonály tvoří prostorově tuhý tubus odolný proti vertikálním a horizontálním silám. Délky diagonál jsou od 3 145 mm v polovině výšky do 3 206 mm v dolní a horní části. Jsou tvořeny profilem ROR121/10. V modelu M6 a M7 je v prvních dvou patrech použit profil ROR121/16.



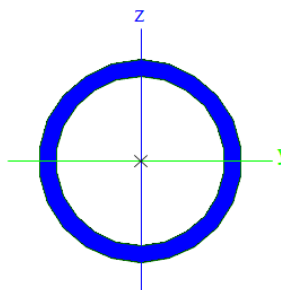
Obrázek 1.6.2.a - Průřez profilu vnější diagonály



Obrázek 1.6.2.b - Průřez profilu vnější diagonály 1NP a 2NP v M6 a M7

1.6.3. Obvodové ztužidlo

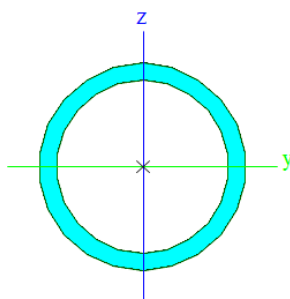
Spojuje vždy dvě sousední diagonály v jedné rovině. Společně s nosníkem spojující středový sloup přenáší horizontální účinky mezi diagonály a určuje jejich vzpěrnou délku. Tvoří jej profil ROR121/10.



Obrázek 1.6.3. - Průřez profilu obvodového ztužidla

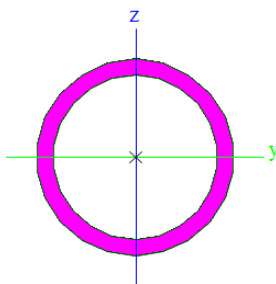
1.6.4. Nosník spojující středový sloup, obvodové ztužidlo a diagonály

Nachází se v každém patře, kde je možné spojit středový sloup s obvodovým ztužidlem, tak aby byla zachována podchodná výška 2 m. Společně s diagonálami přenáší horizontální účinky na rozhlednu a určuje jejich vzpěrnou délku. Nosníky přenášejí zatížení z mezipodest a vyhlídkových plošin na diagonály. Tvoří jej profil ROR121/10.



Obrázek 1.6.4. - Průřez profilu nosníku spojující středový sloup, obvodové ztužidlo a diagonály

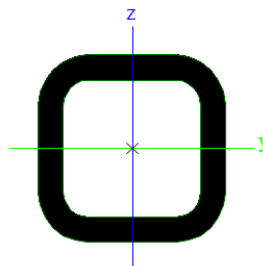
1.6.5. Nosník vynášející vyhlídkovou plošinu



Obrázek 1.6.5. - Průřez profilu nosníku vynášející vyhlídkovou plošinu

1.6.6. Schodišťový nosník

Schodišťové nosníky podepírají schodiště a mezipodesty. Nosníky tvoří malé konzoly, které jsou ohybově tuze připojené ke středovému sloupu. Tvoří je profil TQ(Vall)120x16.



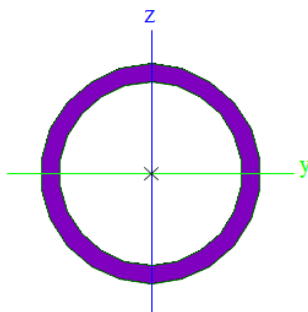
Obrázek 1.6.6. - Průřez profilu schodišťového nosníku

1.6.7. Schodnice

Přenáší zatížení ze schodišťových stupňů přes schodišťový nosník do středového sloupu. Materiálem je modřínové dřevo. Tloušťka schodnic je 50 mm.

1.6.8. Vzpěry

V původním architektonickém návrhu uvažovány nebyly. Jelikož by se vyhlídkové plošiny významně prohýbaly pod působícím zatížením, slouží vzpěry k jejich podepření.



Obrázek 1.6.8. Průřez profilu vzpěry

1.7. Založení stavby

Založení je uvažováno na pilotách pod středovým sloupem a v místě, kde se setkávají vnější diagonály. Piloty jsou zvoleny z důvodu dobrého přenosu tlakových i tahových sil.

1.8. Materiály

Na celou nosnou konstrukci je použita ocel S355. Jednotlivé montážní díly konstrukce jsou uvažovány zároveň pozinkovaným ponorem. Tento fakt ovlivňuje drsnost povrchu a je zohledněn ve výpočtu.

Na schodnice a vyhlídkové plošiny je použito rostlé dřevo. Dřevo je vybráno modřínové pro svou odolnost a jeho cenovou dostupnost. Vyšší hustota přispívá k dobrým mechanickým vlastnostem.

2. Výpočtový model

Pro statické posouzení bylo vytvořeno 8 modelů v programu SCIA Engineer 20.0. Materiál použitý při modelování konstrukce je pro všechny prvky ocel S355. Objemová hmotnost oceli se uvažuje $7\,850\text{ kg/m}^3$.

Každý model je modelován jako prutový. Jeho umístění je provedeno tak, aby počátek globálního souřadného systému byl v patě středového sloupu. Středový sloup je vetknutý. Pod diagonálami jsou vetknuté styčníky, ke kterým jsou diagonály připojené.

M1 a M2 jsou modely konstrukce s pevnými vazbami. M3 – M8 jsou modely s pevnými vazbami a klouby. V těchto modelech jsou diagonály ke styčnickům připojeny kloubově.

Původně zamýšlené byly modely M1 – M4. Vzhledem k nevyhovujícím posudkům na MSÚ u modelu M4 byly vytvořeny modely M5-M8, ve kterých byla provedena postupná optimalizace. Porovnání modelů a postup optimalizace viz kapitola 5.4.

U modelů M1 – M5 jsou rozměry i tvar konstrukce ve všech variantách stejné, liší se typy zatěžovacích stavů a použitých vazeb. Modely M1 – M5 jsou tvořeny celkem ze 3 typů prvků. V modelech M6 – M8 je změněný profil vnějších diagonál. Tyto modely jsou tvořeny celkem ze 4 typů prvků.

Přehled kombinačních stavů pro jednotlivé modely viz kapitola 4.2.1.

2.1. M1

Model konstrukce M1 byl modelován s tuhými spoji. Je zatížen kombinací K1, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající letnímu období.

2.2. M2

Model konstrukce M2 byl modelován s tuhými spoji. Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

2.3. M3

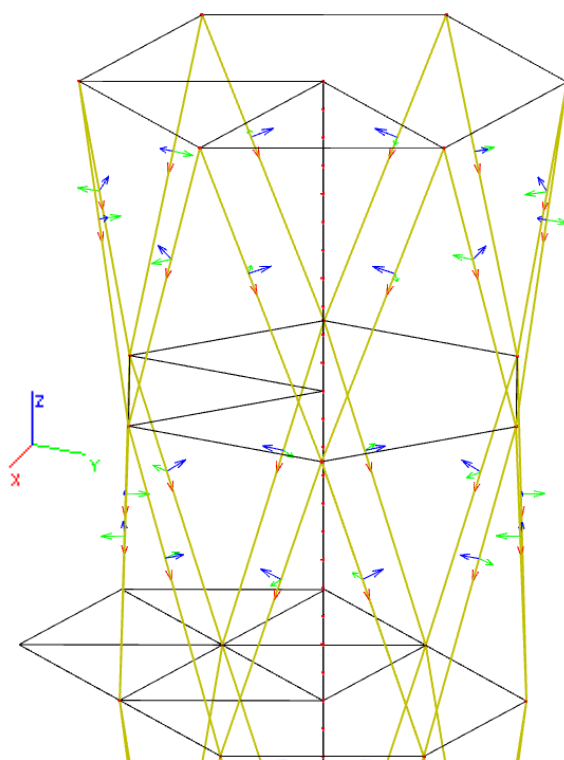
V modelu M3 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K1, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající letnímu období.

2.4. M4

V modelu M4 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

2.5. M5

Vychází z modelu M4. V modelu M5 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K3, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období bez užitého zatížení na celé konstrukci.



Obrázek 2. – Lokální osy vnějších diagonál

2.6. M6

Vychází z modelu M4. V modelu M6 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období. V tomto modelu je změněn profil vnějších diagonál, a to v prvních dvou patrech. Profil těchto diagonál je ROR121/16.

2.7. M7

Vychází z modelu M6. V modelu M7 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období bez užitého zatížení na hlavní vyhlídkové plošině v 8. patře.

2.8. M8

Vychází z modelu M6. V modelu M8 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K4, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající lehkému zimnímu období.

3. Zatížení

Výpočet zatížení byl proveden dle platných ČSN EN a klimatické zatížení bylo stanoveno dle map větrných a sněhových oblastí. Konstrukce rozhledny byla zatížena celkem 9 stavy.

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Ostatní stálé zatížení

ZS3S – Užitné zatížení – na schodišti

ZS3P – Užitné zatížení – na plošinách

ZS3Z – Užitné vodorovné zatížení zábradlí

ZS4 – Zatížení větrem

ZS4L – Zatížení větrem na konstrukci s ledovkou

ZS5 – Zatížení sněhem

ZS6 – Zatížení ledovkou

3.1. Zatížení stálé

Stálá zatížení se u stavebních konstrukcí uvažuje vlastní tíha nosných a nenosných prvků včetně vybavení.

3.1.1. ZS1 – Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha nosné konstrukce je automaticky generována v programu SCIA Engineer.

Ručně je vypočítána vlastní tíha pro modely M1 – M5.

Tabulka 3.1.1.a – vlastní tíha konstrukce M1 – M5 generována programem

Materiál	Hmota [kg]	Povrch [m ²]	Objem [m ³]
Ocel	20178,4	251,267	2,5705e+00
Celkem	20178,4	251,267	2,5705e+00

Tabulka 3.1.1.b – vlastní tíha konstrukce M6-M8 generována programem

Materiál	Hmota [kg]	Povrch [m ²]	Objem [m ³]
Ocel	21787,9	258,671	2,7755e+00
Celkem	21787,9	258,671	2,7755e+00

Tabulka 3.1.1.c – vlastní tího konstrukce vypočítána ručně

Vlastní tíha konstrukce Prvek	Profil [mm]	Délka [m]	Počet kusů [-]	Průřezová plocha prvku [m ²]	Objemová tíha [kg/m ³]	Hmotnost prvku [kg]
Středový sloup	298,5	24,0000	1	9,06E-03	7850	1706,90
Vnější diagonála 0NP, 7NP	121	3,2060	24	3,49E-03	7850	87,83
Vnější diagonála 1NP, 6NP	121	3,1740	24	3,49E-03	7850	86,96
Vnější diagonála 2NP, 5NP	121	3,1440	24	3,49E-03	7850	86,13
Vnější diagonála 3NP, 4NP	121	3,1170	24	3,49E-03	7850	85,39
Obvodové ztužidlo 1NP, 7NP	121	2,0625	12	3,49E-03	7850	56,51
Obvodové ztužidlo 2NP, 6NP	121	1,8750	12	3,49E-03	7850	51,37
Obvodové ztužidlo 3NP, 5NP	121	1,6875	12	3,49E-03	7850	46,23
Obvodové ztužidlo 4NP	121	1,5000	6	3,49E-03	7850	41,09
Obvodové ztužidlo 8NP	121	2,2500	6	3,49E-03	7850	61,64
Nosníky spojující stř. sloup a obv. ztuž. 1NP, 7NP	121	2,0620	6	3,49E-03	7850	56,49
Nosníky spojující stř. sloup a obv. ztuž. 2NP, 6NP	121	1,8750	6	3,49E-03	7850	51,37
Nosníky spojující stř. sloup a obv. ztuž. 3NP, 5NP	121	1,6870	6	3,49E-03	7850	46,22
Nosníky spojující stř. sloup a obv. ztuž. 4NP	121	1,5000	3	3,49E-03	7850	41,09
Nosníky spojující stř. sloup a obv. ztuž. 8NP	121	2,2500	3	3,49E-03	7850	61,64
Nosníky vyhlíkové plošiny 2NP, 6 NP	121	1,8750	14	3,49E-03	7850	51,37
Nosníky vyhlíkové plošiny 4NP	121	1,5000	7	3,49E-03	7850	41,09
Nosníky vyhlíkové plošiny 8NP	121	2,7500	6	3,49E-03	7850	75,34
Nosníky vyhlíkové plošiny 8NP	121	0,5000	6	3,49E-03	7850	13,70
Vzpěra pro 2NP	121	3,2240	2	3,49E-03	7850	88,33
Vzpěra pro 4NP	121	3,4350	2	3,49E-03	7850	94,11
Vzpěra pro 6NP	121	3,3810	2	3,49E-03	7850	92,63
Schodišťový nosník	120	1,2000	80	6,53E-03	7850	61,51
celková hmotnost =						20602,83

Hodnota celkové hmotnosti vypočítané ručně oproti hodnotě vygenerované programem je vyšší s odchylkou 2 %. Tento rozdíl může být způsoben velikostí délky prvku.

3.1.2. ZS2 – Ostatní stálé zatížení

Za ostatní stálé zatížení konstrukce lze považovat tíhu zábradlí, dřevěné plošiny a schodnice.

Zábradlí na plošinách je ve všech modelech zadáváno jako spojitě zatížení na prutu o hodnotě

$$gk = 0,3 \text{ kN/m.}$$

Zábradlí na schodišti je ve všech modelech zadáváno jako bodová síla na konci schodišťového nosníku o hodnotě

$$gk = 0,63 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ kN/m} = 0,189 \text{ kN.}$$

Schodnice jsou uvažovány jako spojitě zatížení na prutu na schodišťové nosníky o hodnotě

$$gk = \frac{0,353 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 5,7 \text{ kN/m}^3}{1,2 \text{ m} - 0,3 \text{ m}} = 0,112 \text{ kN/m.}$$

Dřevěné plošiny jsou modelovány jako plošné zatížení na zatěžovacích panelech o hodnotě

$$gk = 5,7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} = 0,285 \text{ kN/m}^2.$$

3.2. Užiténé zatížení

3.2.1. ZS3 – Na schodišti

Konstrukce schodiště je zařazena do skupiny C5 dle tabulky 4.2.1. ČSN EN 1991-1-1 [2].

Doporučená hodnota užiténého zatížení pro tuto kategorii je

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

Tabulka 3.2.1. – Užiténé kategorie [2]

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 shromažďování 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, nádražních a jiných čekárnách. C3: plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních síních a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních 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, včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště.
D	obchodní plochy	D1: plochy v malých obchodech D2: plochy v obchodních domech
¹⁾ Pozor na odstavec 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.		

Zatížení je zadáváno na schodišťové nosníky jako liniové o hodnotě

$$q_k = \frac{5,0 \cdot 0,353 \text{ m}^2}{1,2 \text{ m} - 0,3 \text{ m}} = 1,961 \text{ kN/m}.$$

Z hlediska zatěžovacích stavů je vytvořeno z tohoto zatížení 7 zatěžovacích stavů. 3 možné varianty pro 3 směry působení větru. Směry působení větru viz obrázek 3.3.b.

ZS3SC – na celé ploše schodiště, vítr A, B, C

ZS3ASN – na polovinu schodiště na straně návětrné, vítr A

ZS3ASZ – na polovinu schodiště na straně závětrné, vítr A

ZS3BSN – na polovinu schodiště na straně návětrné, vítr B

ZS3BSZ – na polovinu schodiště na straně závětrné, vítr B

ZS3CSN – na polovinu schodiště na straně návětrné, vítr C

ZS3CSZ – na polovinu schodiště na straně závětrné, vítr C

3.2.2. ZS3 – Na plošinách

Konstrukce vyhlídkových plošin je zařazena do skupiny C5 dle tabulky 4.2.2. ČSN EN 1991-1-1 [2]. Doporučená hodnota užitného zatížení pro tuto kategorii je $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ viz tabulka 4.2.2. Toto zatížení je zadáno jako plošné na zatěžovacích panely s roznosem zatížení do okrajů panelů a nosníků.

V modelech M1 – M4 a M8 je toto zatížení na všech plošinách. Model M5 je bez užitného zatížení na celé konstrukci. V modelu M7 je zatížení zadáno na plošiny ve čtvrtinách výšky bez horní vyhlídkové plošiny.

Tabulka 3.2.2. – Užitná zatížení stropních konstrukcí, balkónů a schodišť pozemních staveb [2]

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
kategorie A		
– stropní konstrukce	1,5 až <u>2,0</u>	<u>2,0</u> až 3,0
– schodiště	<u>2,0</u> až 4,0	<u>2,0</u> až 4,0
– balkóny	<u>2,5</u> až 4,0	<u>2,0</u> až 3,0
kategorie B	2,0 až <u>3,0</u>	1,5 až <u>4,5</u>
kategorie C		
– C1	2,0 až <u>3,0</u>	3,0 až <u>4,0</u>
– C2	3,0 až <u>4,0</u>	2,5 až 7,0 (<u>4,0</u>)
– C3	3,0 až <u>5,0</u>	<u>4,0</u> až 7,0
– C4	4,5 až <u>5,0</u>	3,5 až <u>7,0</u>
– C5	<u>5,0</u> až 7,5	3,5 až <u>4,5</u>
kategorie D		
– D1	<u>4,0</u> až 5,0	3,5 až 7,0 (<u>4,0</u>)
– D2	4,0 až <u>5,0</u>	3,5 až <u>7,0</u>

Z hlediska zatěžovacích stavů je vytvořeno z tohoto zatížení 7 zatěžovacích stavů. 3 možné varianty pro 3 směry působení větru. Směry působení větru viz obrázek 3.3.b.

ZS3PC – na celé ploše plošin, vítr A, B, C

ZS3APN – na polovinu plošin na straně návětrné, vítr A

ZS3APZ – na polovinu plošin na straně závětrné, vítr A

ZS3BPN – na polovinu plošin na straně návětrné, vítr B

ZS3BPZ – na polovinu plošin na straně závětrné, vítr B

ZS3CPN – na polovinu plošin na straně návětrné, vítr C

ZS3CPZ – na polovinu plošin na straně závětrné, vítr C

3.2.3. ZS3 – Na zábradlí

Užitné vodorovné zatížení na zábradlí je dle tabulky 4.2.3. pro kategorii C5

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

Ve všech modelech je zadáváno jako spojitý moment na prutu o hodnotě

$$m_{qk} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,2 \text{ m} = 3,6 \text{ kN/m}.$$

Tabulka 3.2.3. – Užitná vodorovná zatížení zábradlí [2]

Zatěžované plochy	q_k [kN/m]
Kategorie A	q_k
Kategorie B a C1	q_k
Kategorie C2 – C4 a D	q_k
Kategorie C5	q_k
Kategorie E	q_k
Kategorie F	viz příloha B
Kategorie G	viz příloha B

POZNÁMKA 1 Pro kategorie A, B a C1 může být q_k zvoleno v rozmezí 0,2 kN/m – 1,0 kN/m (0,5 kN/m).

POZNÁMKA 2 Pro kategorie C2 až C4 a D může být q_k zvoleno v rozmezí 0,8 kN/m – 1,0 kN/m.

POZNÁMKA 3 Pro kategorii C5 může být q_k zvoleno v rozmezí 3,0 kN/m – 5,0 kN/m.

POZNÁMKA 4 Pro kategorii E může být q_k zvoleno v rozmezí 0,8 kN/m – 2,0 kN/m. U ploch kategorie E závisí vodorovné zatížení na způsobu používání plochy. Hodnoty q_k jsou proto stanoveny jako minimální hodnoty a mají se posoudit pro konkrétní použití.

POZNÁMKA 5 Tam, kde je v poznámkách 1 až 4 uvedeno rozmezí hodnot, může se hodnota určit v národní příloze. Doporučená hodnota je podtržena.

POZNÁMKA 6 K ověření výpočtem nebo k experimentálním ověření mohou být v národní příloze stanoveny dodatečná soustředěná zatížení Q_k a/nebo specifikováno zatížení nárazem tvrdého nebo pružného tělesa.

Z hlediska zatěžovacích stavů je vytvořeno z tohoto zatížení 1 zatěžovací stav.

ZS3Z

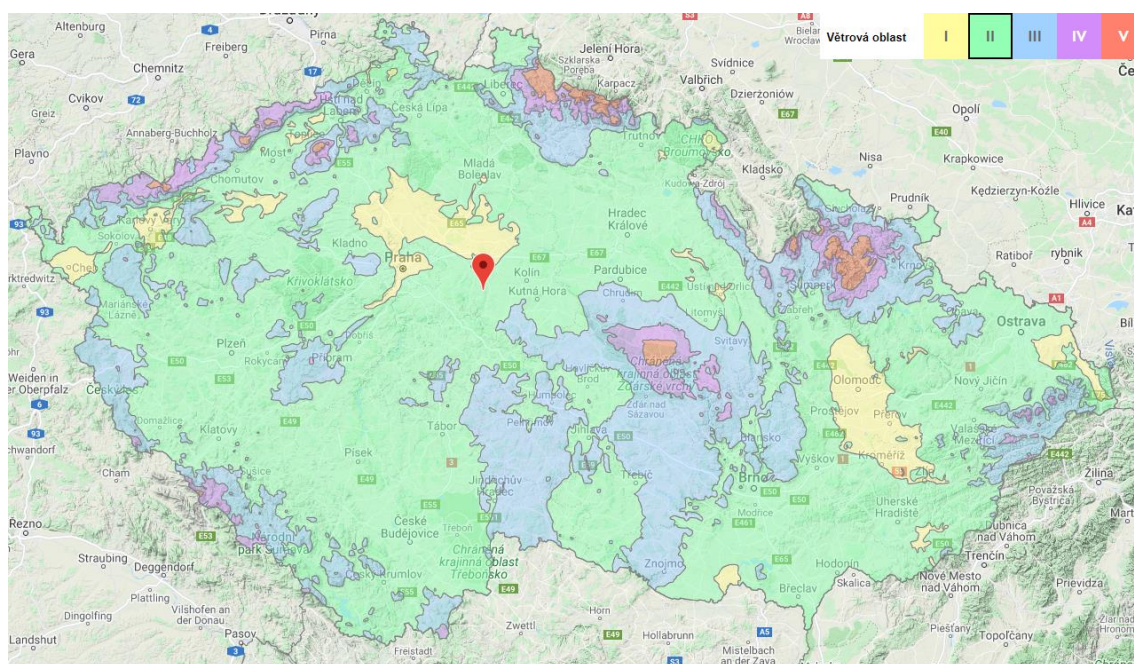
3.3. Zatížení větrem

Správné stanovení zatížení větrem patří k nejsložitější problematice zatížení konstrukcí.

Jelikož se rozhledna řadí ke štíhlé konstrukci, je vítr stěžejním zatížením. Uvažuji zatížení větrem na konkrétní plochu prvků, ale také obtékání větru těchto prvků na další prvky.

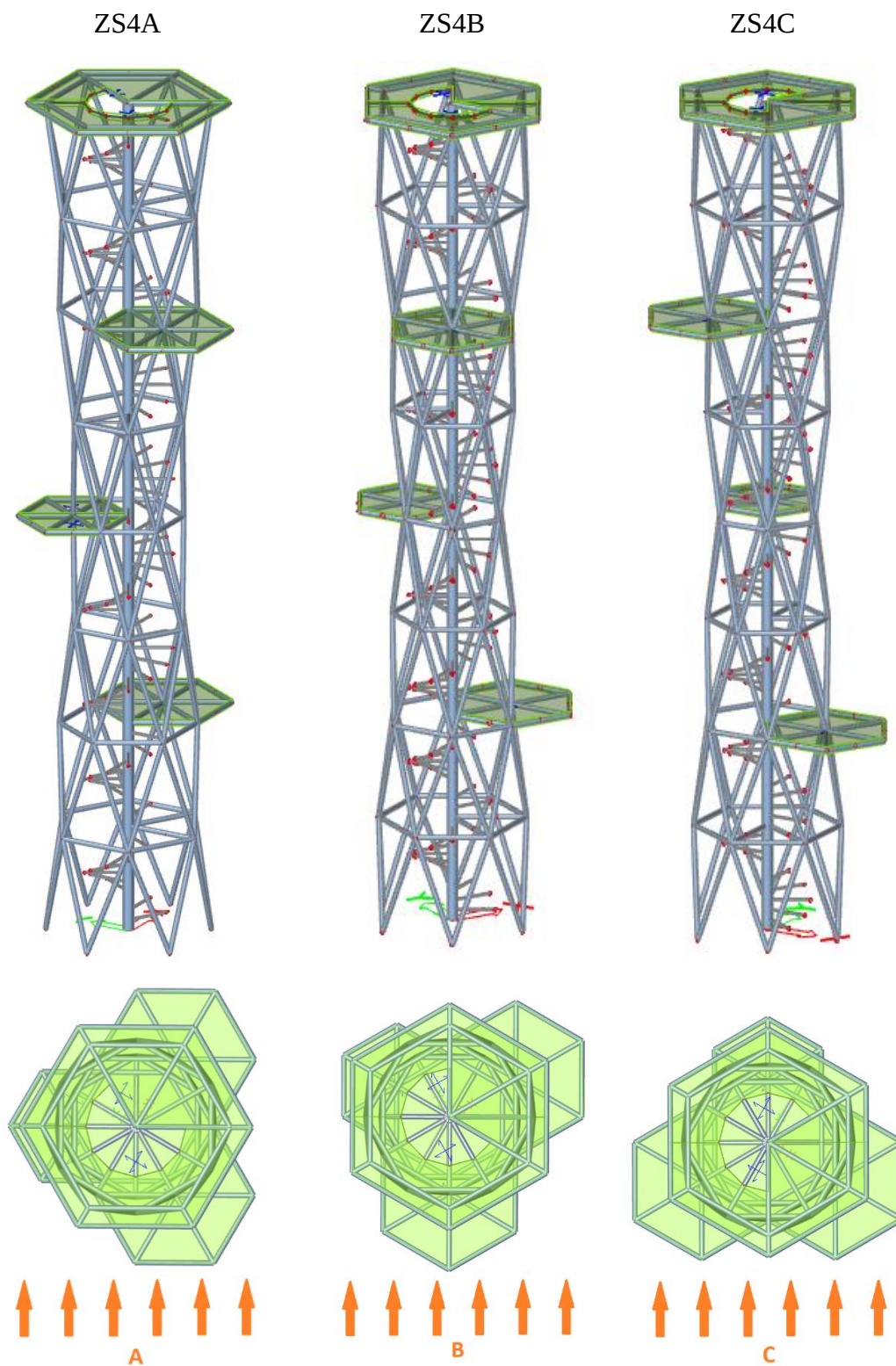
Následující kapitola se zabývá stanovení zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4 [3].

Posuzovaná lokalita Bulánka se nachází ve větrové oblasti II kategorie. Základní rychlost větru pro danou kategorii je $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$.



Obrázek 3.3.a – Mapa větrových oblastí [1]

Z hlediska zatěžovacích stavů jsou vytvořeny z tohoto zatížení 3 zatěžovací stavy, kde vítr působí na konstrukci z různých stran.



Obrázek 3.3.b – Zatížení větrem na konstrukci – zatěžovací stavy

3.3.1. Rychlost větru a dynamický tlak

základní rychlost větru v_b

$$v_{b,0} = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad [m/s]$$

kde c_{dir} je součinitel směru větru, doporučená hodnota $c_{dir} = 1,0$

c_{season} součinitel ročního období, doporučená hodnota $c_{season} = 1$,

$$v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$ je charakteristická desetiminutová střední rychlost větru ve výšce 10 m nad terénem bez překážek (kategorie II), nezávislá na směru větru a ročním období. Určuje se podle mapy větrových oblastí na území České republiky. Je rozlišováno pět větrových oblastí, které mají rozdílné výchozí základní rychlosti větru.

Střední rychlost větru $v_m(z)$ se uvažuje ve výšce z nad terénem a je závislá na drsnosti terénu, orografii a základní rychlosti větru.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_{b,0} \quad [m/s]$$

kde $c_r(z)$ je součinitel drsnosti terénu

$c_0(z)$ součinitel orografie

$v_{b,0}$ základní rychlost větru

Drsnost terénu je popsána součinitelem drsnosti $c_r(z)$, vyjadřující změnu střední rychlosti větru v místě konstrukce způsobenou výškou nad terénem a drsností povrchu terénu na návětrné straně konstrukce pro uvažovaný směr větru

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{pro } z \leq z_{min}$$

kde z_0 je parametr drsnosti terénu

z_{min} minimální výška, závisí na kategorii terénu

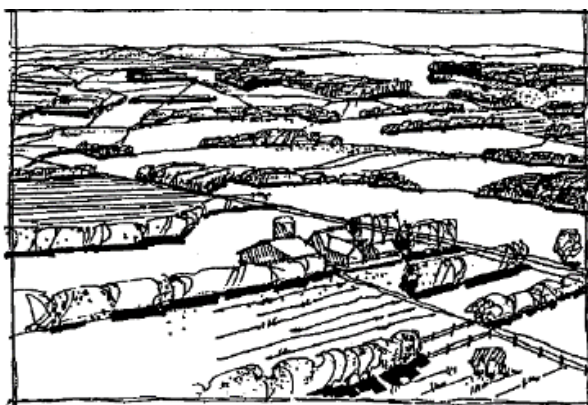
z_{max} se uvažuje 200 m

z výška působiště větru

k_r součinitel terénu, závislý na parametru drsnosti terénu

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

kde $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$ dle kategorie terénu II



Obrázek 3.3.1.a – Ilustrační obrázek kategorie terénu II [3]

Tabulka 3.3.1.a – Kategorie terénů a jejich parametry [3]

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 vzdálenost 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.		

Součinitel orografie

Na izolovaných kopcích, hřebenech, útesech a strmých svazích se vyskytují jiné rychlosti větru závislé na sklonu ϕ a účinné délce svahu Le .

$$c_0(z) = 1 \quad \text{pro } \phi < 0,05$$

$$c_0(z) = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad \text{pro } 0,05 < \phi < 0,3$$

$$\phi = \frac{H}{L_u}$$

kde ϕ je sklon návětrného svahu ve směru větru

s součinitel umístění

H účinná výška kopce

L_u skutečná délka návětrného svahu

$$L_u = Le \quad \text{pro } 0,05 < \phi < 0,3$$

Tabulka 3.3.1.b – Výpočet součinitele orografie

směr větru	H	Le	ϕ	$c_0(z)$
A	2	660	0,003	1
B	31	280	0,111	1
C	5	240	0,021	1

Účinky orografie lze zanedbat, jestliže průměrný sklon návětrného terénu je menší než 3° .

Intenzita turbulence větru $I_v(z)$ je definována jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru.

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad [-] \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{msx}$$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} \quad [-] \quad \text{pro } z \leq z_{min}$$

kde k_l je součinitel turbulence, doporučená hodnota pro ČR je $k_l = 1,0$

$c_0(z)$ součinitel orografie

z_0 parametr drsnosti terénu

Maximální dynamický tlak větru $q_p(ze)$ zahrnuje střední a krátkodobé fluktuace rychlosti větru. Pro stavby, jejichž výška h je větší než $2b$, doporučuje se rozdělit konstrukci na vodorovné pruhy, pro které se stanoví hodnota maximálního dynamického tlaku. U posuzované rozhledny je zvoleno dělení pruhů po výšce jednotlivých pater viz obrázek 3.3.1.b.

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

kde $I_v(z)$ je intenzita turbulence ve výšce z

$v_m(z)$ střední rychlost větru ve výšce z

ρ měrná hmotnost vzduchu, doporučená hodnota $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$c_e(z)$ součinitel expozice

q_b základní dynamický tlak větru

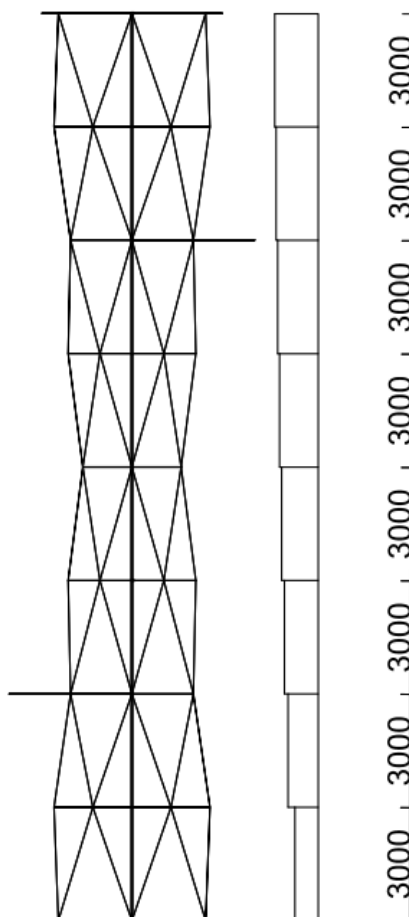
$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

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

Tabulka 3.3.1.c – Výpočet střední rychlosti větru, drsnosti terénu, intenzity turbulence větru a maximálního dynamického tlaku

z	vm(z)	cr(z)	Iv(z)	qp(z)
[m]	[m/s]	[-]	[-]	[kN/m ²]
3	19,448	0,778	0,228	6,024
6	22,741	0,910	0,209	7,807
9	24,667	0,987	0,193	8,759
12	26,033	1,041	0,182	9,462
15	27,093	1,084	0,175	10,024
18	27,959	1,118	0,170	10,493
21	28,691	1,148	0,166	10,896
24	29,325	1,173	0,162	11,251

qp(ze)



Obrázek 3.3.1.b – Zatížení konstrukce větrem vodorovnými pásy

3.3.2. Součinitel konstrukce

Součinitel konstrukce $c_s c_d$ má vzít v úvahu účinek zatížení větrem při nesoučasném výskytu maximálních tlaků větru na povrchu konstrukce (c_s) společně s účinkem kmitání konstrukce vyvolaného turbulencí (c_d).

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad [-]$$

kde k_p je součinitel maximální hodnoty, definovaný jako poměr maximální hodnoty flukтуаční složky odezvy a její směrodatné odchylky

I_v intenzita turbulence definovaná v kapitole 3.3.1.

z_s referenční výška pro stanovení součinitele konstrukce

B^2 součinitel odezvy pozadí

R^2 rezonanční část odezvy, která bere v úvahu turbulenci v rezonanci s tvarem kmitání

Pro pozemní stavby s rámovou konstrukcí a nosnými stěnami, které jsou nižší než 100 m, a jejichž výška je menší než 4násobek délky ve směru větru, lze $c_s c_d$ vzít rovno 1,0 [3].

3.3.3. Síly od větru

Síly od větru na celou konstrukci nebo nosný prvek se mají stanovit:

- výpočtem sil použitím součinitelů sil (viz 3.3.3.2.), nebo
- výpočtem sil z povrchových tlaků (viz 3.3.3.1.)

Síly od větru závisí na Reynoldsových číslech Re .

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \quad [-]$$

kde b je průměr

ν kinematická viskozita vzduchu, $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$v(z_e)$ maximální rychlost větru

Maximální rychlost větru

$$v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho} \quad [m/s]$$

kde q_p je maximální dynamický tlak

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

Tabulka 3.3.2. – Výpočet maximální rychlosti větru a Reynoldsova čísla na konstrukci

b (ROR121) [m]	b (ROR298,5) [m]	v(ze) [m/s]	Re (ROR121) [-]	Re (ROR298,5) [-]
0,121	0,2985	31,3437	2,53E+05	6,24E+05
		35,6828	2,88E+05	7,10E+05
		37,7968	3,05E+05	7,52E+05
		39,2851	3,17E+05	7,82E+05
		40,4335	3,26E+05	8,05E+05
		41,3684	3,34E+05	8,23E+05
		42,1565	3,40E+05	8,39E+05
		42,8376	3,46E+05	8,52E+05

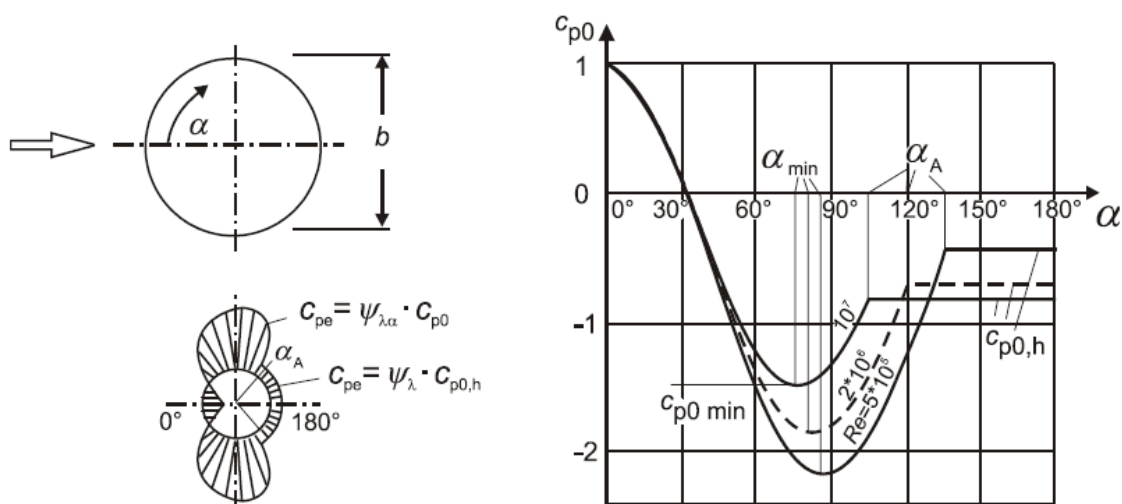
3.3.3.1. Součinitele vnějších tlaků

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro kruhové válce je dán vztahem

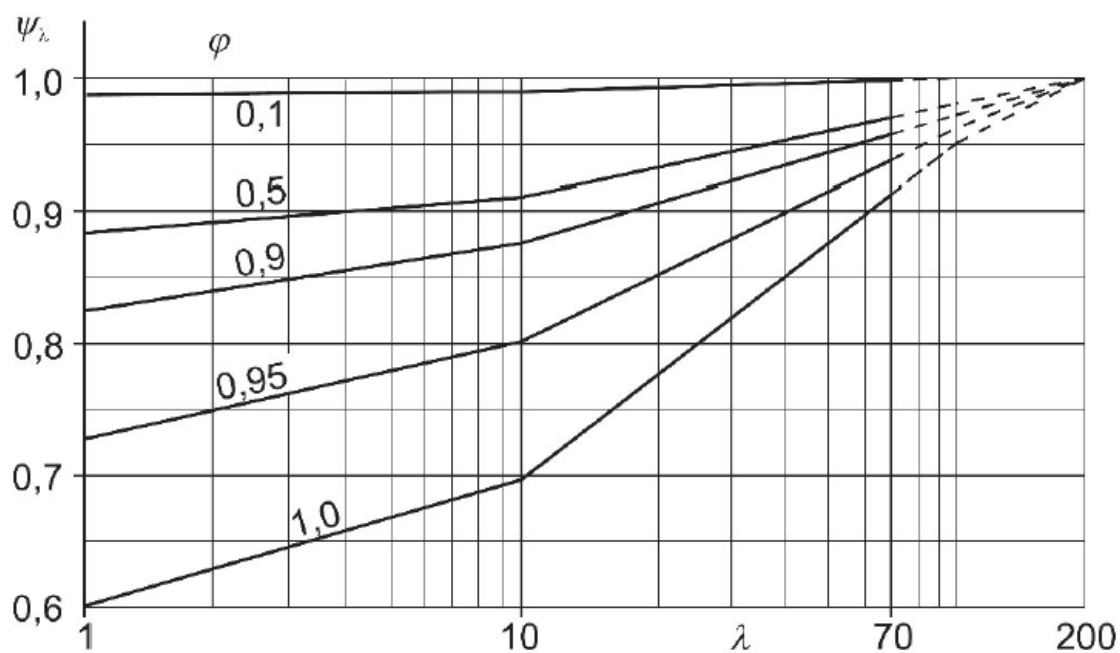
$$c_{pe} = \psi_\lambda \cdot c_{p0,h} \quad [-]$$

kde ψ_λ je součinitel koncového efektu

$c_{p0,h}$ součinitel tlaku na závětrné straně válce



Obrázek 3.3.3.1.a – Rozdělení tlaku pro válce s kruhovým průřezem, pro různé rozsahy Reynoldsova čísla a bez vlivu proudění kolem volných konců [3]

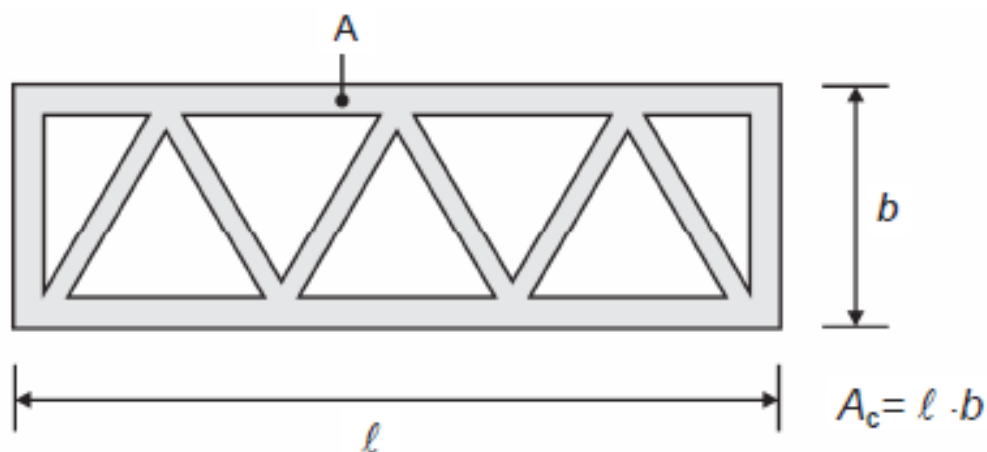


Obrázek 3.3.3.1.b – Směrné hodnoty součinitele koncového efektu ψ_λ jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ [3]

Součinitel plnosti

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad [-]$$

kde A je součet průmětů ploch prutů od čelní plochy
 A_c celková plocha obálky



Obrázek 3.3.3.1.c – Definice součinitele plnosti φ [3]

Tabulka 3.3.3.1.a – Výpočet součinitele plnosti φ konstrukce

Součinitel plnosti	profil	délka	počet kusů	plocha
	[m]	[m]	[-]	[m ²]
Vnější diagonála 0NP, 7NP	0,121	3,206	12	4,655
Vnější diagonála 1NP, 6NP	0,121	3,173	12	4,607
Vnější diagonála 2NP, 5NP	0,121	3,144	12	4,565
Vnější diagonála 3NP, 4NP	0,121	3,116	12	4,524
Sřედový sloup	0,299	24,000	1	7,164
1NP	0,121	3,572	1	0,432
2NP	0,121	4,687	1	0,567
3NP	0,121	2,922	1	0,354
4NP	0,121	4,500	1	0,545
5NP	0,121	2,922	1	0,354
6NP	0,121	4,685	1	0,567
7NP	0,121	3,572	1	0,432
8NP	0,121	5,500	1	0,666
Vzpěra pro 2NP	0,121	3,224	1	0,390
Vzpěra pro 4NP	0,121	3,135	1	0,379
Vzpěra pro 6NP	0,121	3,381	1	0,409
Součet průmětů ploch	A =			30,610
Celková plocha obálky	Ac =			102,250
			φ=	0,299

Štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \quad [-]$$

kde L_{cr} je vzpěrná délka

i poloměr setrvačnosti

Tabulka 3.3.3.1.b – Výpočet štíhlosti prvků

Štíhlost prvek	i [mm]	l _{cr} [mm]	λ [-]
ROR121/10	39	3205	82,17949
ROR298,5/10	102	3000	29,41176

$$\psi_{\lambda} = 0,98$$

pro ROR 298,5

$$\psi_{\lambda} = 0,97$$

pro ROR121

Tabulka 3.3.3.1.c – Typické hodnoty pro rozdělení tlaku na kruhových válcích pro různé hodnoty Reynoldsova čísla bez vlivu proudění kolem volných konců [3]

Re	α_{min}	$C_{p0,min}$	α_A	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
10^7	75	-1,5	105	-0,8
Kde α_{min} je místo minimálního tlaku ve [°]; $C_{p0,min}$ hodnota součinitele minimálního tlaku; α_A poloha bodu oddělení proudu ve [°]; $C_{p0,h}$ součinitel tlaku na závětrné straně válce.				

Tabulka 3.3.3.1.d – Vypočtené hodnoty pro rozdělení tlaku na profil ROR298,5 pro různé hodnoty Reynoldsova čísla bez vlivu proudění kolem volných konců

z [m]	Re [-]	a_{min} [°]	$cp0,min$ [-]	a_A [°]	cpo,h [-]	ψ_λ [-]	cpe [-]
	5,00E+05	85	-2,2	135	-0,4		
3	6,24E+05	84,66	-2,12	133,97	-0,42	0,98	-0,412
6	7,10E+05	84,42	-2,12	133,25	-0,44		-0,426
9	7,52E+05	84,30	-2,12	132,90	-0,44		-0,433
12	7,82E+05	84,22	-2,12	132,65	-0,45		-0,438
15	8,05E+05	84,15	-2,12	132,46	-0,45		-0,442
18	8,23E+05	84,10	-2,12	132,31	-0,45		-0,445
21	8,39E+05	84,06	-2,12	132,18	-0,46		-0,447
24	8,52E+05	84,02	-2,12	132,06	-0,46		-0,450
	2,00E+06	80	-1,9	120	-0,7		

Na základě tabulky 4.3.3.1.c při výpočtu hodnoty pro rozdělení tlaku na ROR121 uvažují $Re = 5 \cdot 10^{-5}$ na stranu bezpečnou.

Tabulka 3.3.3.1.e - Vypočtené hodnoty pro rozdělení tlaku na profil ROR121 pro hodnotu Reynoldsova čísla $Re = 5 \cdot 10^{-5}$ bez vlivu proudění kolem volných konců

z [m]	cpo,h [-]	ψ_λ [-]	cpe [-]
3 až 24	-0,40	0,97	-0,392

Výsledná síla na konstrukci se součinitelem vnějších tlaků

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad [kN/m^2]$$

$$f_{we} = c_s c_d \cdot w_e \cdot b_{ref} \quad [kN/m]$$

Tabulka 3.3.3.1.f – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR298,5

z	qp(ze)	cpe	we	cscd	bref	fwe
[m]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]	[-]	[m]	[kN/m]
3	6,024	0,412	2,483	1	0,2985	0,741
6	7,807	0,426	3,328			0,993
9	8,759	0,433	3,794			1,133
12	9,462	0,438	4,145			1,237
15	10,024	0,442	4,428			1,322
18	10,493	0,445	4,667			1,393
21	10,896	0,447	4,875			1,455
24	11,251	0,450	5,058			1,510

Tabulka 3.3.3.1.g – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR121

z	qp(ze)	cpe	we	cscd	bref	fwe
[m]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]	[-]	[m]	[kN/m]
3	6,024	0,392	2,361	1	0,121	0,286
6	7,807		3,060			0,370
9	8,759		3,434			0,415
12	9,462		3,709			0,449
15	10,024		3,929			0,475
18	10,493		4,113			0,498
21	10,896		4,271			0,517
24	11,251		4,410			0,534

3.3.3.2. Součinitel síly

Použitím normy [3] lze získat součinitel síly výpočtem založeným na vyjádření hodnoty součinitele plnosti ϕ , součinitele koncového efektu ψ_λ a součinitele síly bez vlivu proudění kolem volných konců $c_{f,0}$. Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců se určuje z grafů v závislosti na velikosti Reynoldsova čísla Re .

Celkový Součinitel síly c_f vyjadřuje výslednou sílu. Součinitel výsledného tlaku představuje maximální místní tlak pro všechny směry větru.

Pro válec s kruhovým průřezem konečné délky se má stanovit ze vztahu

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa \quad [-]$$

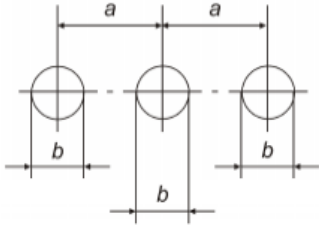
kde $c_{f,0}$ je součinitel síly pro válce bez vlivu proudění kolem volných konců

ψ_λ součinitel koncového efektu

κ součinitel pro svislé válce v řadě

Součinitel pro svislé válce v řadě κ

Tabulka 3.3.3.2.a – Součinitel κ pro svislé válce v řadě [3]

a/b	κ	
$2,5 < a/b < 3,5$	1,15	
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$a/b > 30$	1,00	
a vzdálenost; b průměr.		

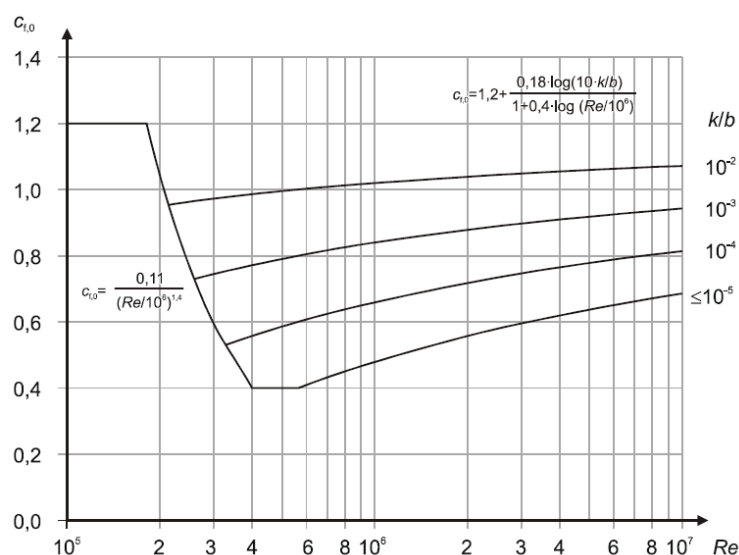
POZNÁMKA Hodnoty κ pro $a/b < 2,5$ lze uvést v národní příloze. NP36b)

Největší vzdálenost $b = 3897 \text{ mm}$, pak $\frac{a}{b} = 32,2$ a $\kappa = 1,00$

Nejmenší vzdálenost $b = cca 10 \text{ mm}$, pak $\frac{a}{b} = 0,08$ a $\kappa = 1,15$

Dále uvažuji součinitel $\kappa = 1,15$ na stranu bezpečnou.

Součinitel síly $c_{f,0}$



Obrázek 3.3.3.2. – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b [3]

kde b je průměr

k ekvivalentní drsnost povrchu $k = 0,2$ dle tabulky 3.3.3.2.b

Tabulka 3.3.3.2.b – Ekvivalentní drsnost povrchu k

Druh povrchu	Ekvivalentní drsnost k [mm]	Druh povrchu	Ekvivalentní drsnost k [mm]
sklo	0,001 5	hladký beton	0,2
leštěný kov	0,002	hoblované dřevo	0,5
jemný nátěr	0,006	drsňý beton	1,0
stříkaný nátěr	0,02	neopracované řezivo	2,0
lesklá ocel	0,05	rez	2,0
šedá litina	0,2	cihelné stěny	3,0
pozinkovaná ocel	0,2		

$$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{298,5} = 6,70 \cdot 10^{-4} \quad \text{pro ROR298,5}$$

$$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{121} = 1,65 \cdot 10^{-3} \quad \text{pro ROR121}$$

Tabulka 3.3.3.2.c – Vypočtené hodnoty součinitele síly pro ROR298,5

z [m]	$v(z)$ [m/s]	b [mm]	Re [-]	$cf,0$ [-]	ψ_λ [-]	κ [-]	cf [-]
3	31,344	298,5	6,24E+05	0,774	0,98	1,15	0,872
6	35,683		7,10E+05	0,784			0,884
9	37,797		7,52E+05	0,788			0,888
12	39,285		7,82E+05	0,791			0,892
15	40,434		8,05E+05	0,793			0,894
18	41,368		8,23E+05	0,795			0,896
21	42,156		8,39E+05	0,796			0,898
24	42,838		8,52E+05	0,798			0,899

Tabulka 3.3.3.2.d – Vypočtené hodnoty součinitele síly pro ROR121

z [m]	$v(z)$ [m/s]	b [mm]	Re [-]	$cf,0$ [-]	ψ_λ [-]	κ [-]	cf [-]
3	31,344	121	2,53E+05	0,754	0,97	1,15	0,841
6	35,683		2,88E+05	0,791			0,882
9	37,797		3,05E+05	0,796			0,888
12	39,285		3,17E+05	0,799			0,892
15	40,434		3,26E+05	0,802			0,894
18	41,368		3,34E+05	0,804			0,897
21	42,156		3,40E+05	0,805			0,898
24	42,838		3,46E+05	0,807			0,900

Výsledná síla na konstrukci se součinitelem síly

$$f_{we} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b_{ref} \quad [kN/m]$$

Tabulka 3.3.3.2.e – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli síly na profil

ROR298,5

z [m]	c_sc_d [-]	c_f [-]	q_p(z) [kN/m ²]	b_{ref} m	f_{we} kN/m
3	1	0,872	6,024	0,2985	1,568
6		0,884	7,807		2,059
9		0,888	8,759		2,323
12		0,892	9,462		2,519
15		0,894	10,024		2,675
18		0,896	10,493		2,806
21		0,898	10,896		2,919
24		0,899	11,251		3,019

Tabulka 3.3.3.2.f – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli síly na profil ROR121

z [m]	c_sc_d [-]	c_f [-]	q_p(z) [kN/m ²]	b_{ref} m	f_{we} kN/m
3	1	0,841	6,024	0,121	0,613
6		0,882	7,807		0,833
9		0,888	8,759		0,941
12		0,892	9,462		1,021
15		0,894	10,024		1,085
18		0,897	10,493		1,138
21		0,898	10,896		1,184
24		0,900	11,251		1,225

3.3.4. Porovnání výsledných sil zatížení větrem

Tabulka 3.3.4.a – Porovnání zatížení větrem na profil ROR298,5 s použitím různých součinitelů

z [m]	b_{ref} m	f_{we} (c_{pe}) [kN/m]	f_{we} (c_f) [kN/m]
3	0,2985	0,741	1,568
6		0,993	2,059
9		1,133	2,323
12		1,237	2,519
15		1,322	2,675
18		1,393	2,806
21		1,455	2,919
24		1,510	3,019

Tabulka 3.3.4.b – Porovnání zatížení větrem na profil ROR121 s použitím různých součinitelů

z	b_{ref}	f_{we} (cpe)	f_{we} (cf)
[m]	m	[kN/m]	[kN/m]
3	0,121	0,286	0,613
6		0,370	0,833
9		0,415	0,941
12		0,449	1,021
15		0,475	1,085
18		0,498	1,138
21		0,517	1,184
24		0,534	1,225

Zatížení větrem na konstrukci uvažují méně příznivé, a to se součinitelem síly c_f .

3.4. Zatížení větrem na konstrukci s ledovkou

Zatížení větrem na namrzlých konstrukcích se řídí normou ČSN ISO 12494 [5].

Z hlediska zatěžovacích stavů jsou vytvořeny z tohoto zatížení 3 zatěžovací stavy, kde vítr působí na konstrukci z různých stran viz kapitola 3.3. Zatížení větrem.

ZS4AL

ZS4BL

ZS4CL

Výpočet součinitele tlaku $c_{p,ice}$ pro ledovku vychází ze součinitele c_p bez ledovky. Dle výpočtu hodnot $c_{pe} \leq 0,45$, uvažují $c_p = 0,5$.

Za tyče lze považovat prvky do šířky 0,3 m.

Tabulka 3.4.a – Součinitele $c_{p,ice}$ pro ledovku na tyčích [5]

Třída ledovky (IC)	Tloušťka ledu [mm]	Součinitele $c_{p,ice}$ pro ledovku na tyčích						
		Součinitele tlaku c_p bez ledovky						
		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
G1	10	0,68	0,88	1,08	1,28	1,48	1,68	1,88
G2	20	0,86	1,01	1,16	1,31	1,46	1,61	1,76
G3	30	1,04	1,14	1,24	1,34	1,44	1,54	1,64
G4	40	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,52
G5	50	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
G6	Používá se v případech extrémní ledovky							

Navýšením hodnoty součinitele tlaku se zvýší výsledné hodnoty zatížení.

Tabulka 3.4.b – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR298,5 s ledovkou

z [m]	q_p(z_e) [kN/m ²]	C_{p,ice} [-]	W_e [kN/m ²]	C_sC_d [-]	b_{ref} [m]	f_{we} [kN/m]
3	6,024	0,860	5,180	1	0,3385	1,754
6	7,807		6,714			2,273
9	8,759		7,533			2,550
12	9,462		8,138			2,755
15	10,024		8,620			2,918
18	10,493		9,024			3,055
21	10,896		9,371			3,172
24	11,251		9,676			3,275

Tabulka 3.4.c – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR121 s ledovkou

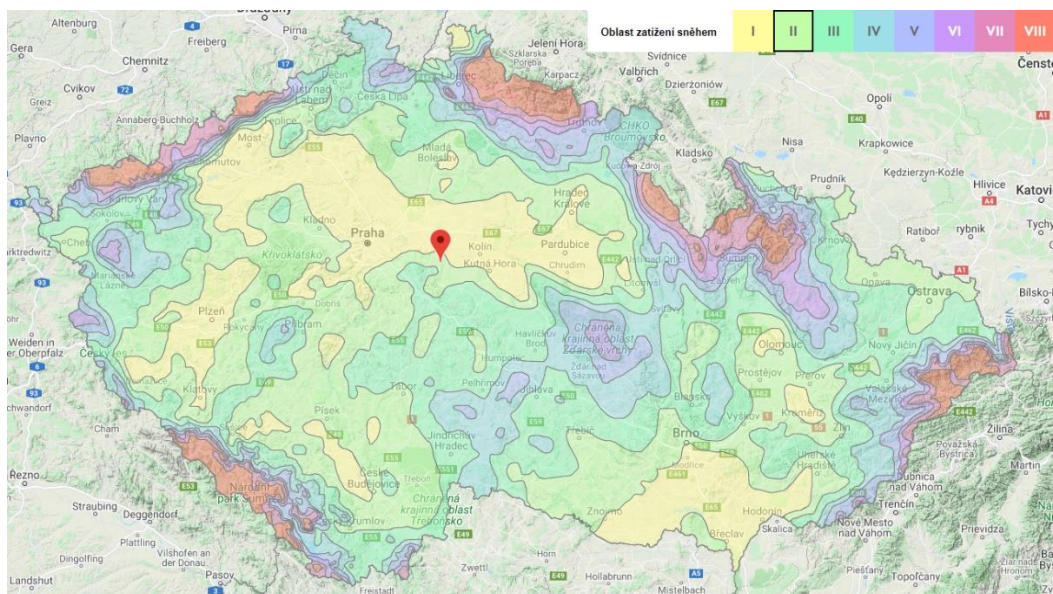
z [m]	q_p(z_e) [kN/m ²]	C_{p,ice} [-]	W_e [kN/m ²]	C_sC_d [-]	b_{ref} [m]	f_{we} [kN/m]
3	6,024	0,860	5,180	1	0,161	0,834
6	7,807		6,714			1,081
9	8,759		7,533			1,213
12	9,462		8,138			1,310
15	10,024		8,620			1,388
18	10,493		9,024			1,453
21	10,896		9,371			1,509
24	11,251		9,676			1,558

3.5. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-3 [4].

Zatížení je uvažováno na všechny vyhlídkové plošiny, a to rovnoměrně. Není uvažován rozdíl navátého a nenavátého sněhu, jelikož na tomto typu konstrukce nevzniká místo, kde by tento případ nastal.

Lokalita se nachází ve sněhové oblasti II kategorie. Charakteristická hodnota zatížení sněhem pro tuto kategorii je $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$.



Obrázek 3.5. – Mapa sněhových oblastí [1]

Z hlediska zatěžovacích stavů je vytvořen z tohoto zatížení 1 zatěžovací stav.

ZS5 – Sníh plný

Sníh plný

$$s = s_k \cdot \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \quad [kN/m^2]$$

kde μ_1 je tvarový součinitel zatížení sněhem

c_e součinitel okolního prostředí

c_t teplotní součinitel

Součinitel okolního prostředí: Otevřená topografie: rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terénem, vyššími stavbami nebo stromy.

Tepelný součinitel se má použít tam, kde je možné vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše, která má vysokou tepelnou prostupnost ($> 1 W/m^2K$), zejména u některých skleněných střech, kde, dochází k tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou. Pro všechny ostatní případy je $c_t = 1,0$.

$$s = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,64 kN/m^2$$

Tabulka 3.5. – Tvarové součinitele zatížení sněhem

úhel sklonu střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	--

3.6. Zatížení námrazou

Zatížení námrazou je určeno dle normy ČSN ISO 12494 [5].

Vlivem námrazy se zvětšují svislá zatížení na konstrukci a zvětšením plochy expozice se zvyšuje účinek větru. Může tak docházet k významnějšímu zatížení větrem než u konstrukce bez námrazy.

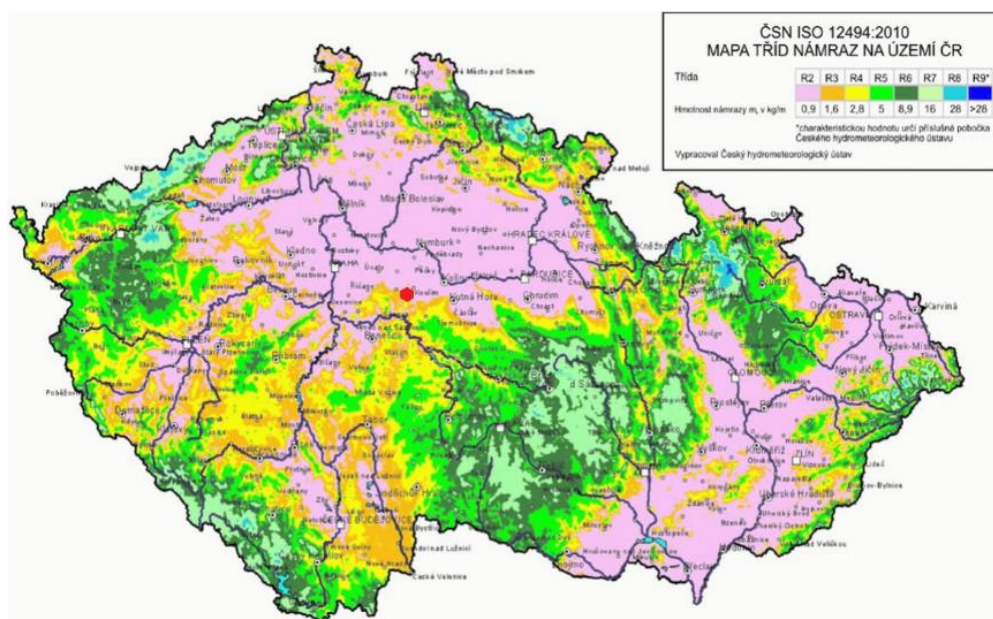
Zatížení námrazou zohledňuje nárůst námrazy kolem jednotlivých prvků konstrukce a s tím související zvětšení plochy a hmotnosti prvku. Vlivem námrazy dochází ke zvětšení účinku větru. Námraza se nejvýznamněji tvoří na prvcích malého průřezu, který je umístěn v rovině kolmé na směr větru.

Námraza může vzniknout zmrznutím srážek (ledovka), nebo z oblačnosti (námraza).

K popsání očekávaného množství námrazy v místě stavby jsou zavedeny třídy námrazy IC, které se rozlišují zvlášť na třídy ICR pro námrazu a třídy ICG pro ledovku.

3.6.1. Námraza

Třída námraz



Obrázek 3.6.1.a – Mapa třídy námraz [5]

Tabulka 3.6.1.a – Třídy námraz (ICR) [5]

Třída (IC)	Hmotnost ledu m [kg/m]	Průměr námrazy D v mm pro prvek o průměru 30 mm			
		Objemová hmotnost námrazy [kg/m³]			
		300	500	700	900
R1	0,5	55	47	43	40
R2	0,9	69	56	50	47
R3	1,6	88	71	62	56
R4	2,8	113	90	77	70
R5	5,0	149	117	100	89
R6	8,9	197	154	131	116
R7	16,0	262	204	173	153
R8	28,0	346	269	228	201
R9	50,0	462	358	303	268
R10	Použije se pro extrémní námrazy				

Podle mapy tříd námraz na obrázku 3.6.1.a lze konstrukci zařadit do třídy R2.

Na základě tříd námraz je možné s pomocí součinitele K_h vyjádřit vliv výšky pro různé výškové úrovně konstrukce.

$$m(z) = m \cdot K_h \quad [kg/m]$$

kde m je hmotnost námrazy dle tabulky, $m = 0,9$ [kg/m]

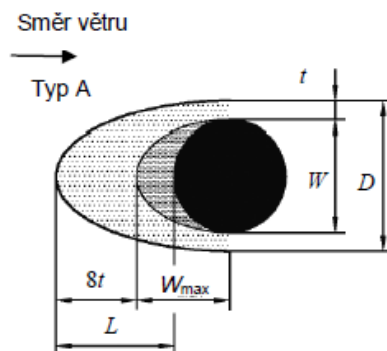
$m(z)$ hmotnost námrazy na prvku ve výšce nad terénem

K_h součinitel výšky, $K_h = e^{0,01H}$



Obrázek 3.6.1.b – Součinitel výšky K_h [5]

Námraza narůstá proti směru větru a předpokládá se se zaoblením orientovaným k návětrné straně.



Obrázek 3.6.1.c – Model narůstání námrazy [5]

Je uvažován model námrazy pro malé prvky. Jako malé prvky jsou definovány prvky o rozměru W do 300 mm.

Počáteční nárůst námrazy W_{max}

$$W_{max} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^6 m(z)}{\pi \cdot \gamma}} \quad [mm]$$

kde γ je objemová hmotnost dle tabulky 4.6.1.b, $\gamma = 200 \text{ kg/m}^3$

Tabulka 3.6.1.b – Typické vlastnosti námrazy [5]

Typ námrazy	Objemová hmotnost v kg/m^3	Adheze a koheze	Klasifikace	
			Barva	Tvar
Ledovka	900	silná	průhledná	rovnoměrně rozložený/rampouchy
Mokrý sníh	300 – 600	slabá (při utváření), silná (zmrznutí)	bílá	rovnoměrně rozložený/nerovnoměrný
Těžká námraza	600 – 900	silná	neprůhledná	nerovnoměrně rozložený, oválný vůči návětrnému směru
Lehká námraza	200 – 600	nízká až střední	bílá	nerovnoměrně rozložený, oválný vůči návětrnému směru

Průměr námrazy D pro základní typy průřezů lze spočítat dle vztahu

$$D = \left(\frac{4 \cdot 10^6 m}{\gamma \cdot \pi} + d^2 \right)^{0,5} \quad [mm]$$

Kde d je šířka prvku [mm], dle obrázku 3.6.1.c značena jako W

Délka zaoblení námrazy L zvětšuje expozici původních profilů a při výpočtu zatížení větrem s námrazou se musí připočítat k původnímu rozměru W bez námrazy

$$L = \frac{4 \cdot 10^6 m}{\gamma \cdot \pi \cdot W} \quad [mm] \quad \text{pro } W \geq W_{max}$$

$$L = \frac{W}{2} + 8t \quad [mm] \quad \text{pro } W < W_{max}$$

Tloušťka námrazy t bude vypočtena, pokud platí $W < W_{max}$, dle vztahu

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10W + \left[68W^2 + 8,149 \cdot 10^7 \frac{m}{\gamma} \right]^{0,5} \right\} \quad \text{pro typ A}$$

V případě, že nastane situace, kdy $W \geq W_{max}$, vyplývá tloušťka námrazy z obrázku 4.6.1.c a je rovna $t = (D - W)/2$

Rozměr D

$$D = W \quad [mm] \quad \text{pro } L \leq \frac{W}{2}$$

$$D = W + 2t \quad [mm] \quad \text{pro } L > \frac{W}{2}$$

Tabulka 3.6.1.c – Výpočet zatížení námrazou

z [m]	W [mm]	Kh(z) [-]	m(z) [kg/m]	W_{max} [mm]	D [mm]	t [mm]	L [mm]	D [mm]
3	121	1,030	0,93	109	143	0	49	121
6	121	1,062	0,96	110	144	0	50	121
9	121	1,094	0,98	112	145	0	52	121
12	121	1,127	1,01	114	145	0	53	121
15	121	1,162	1,05	115	146	0	55	121
18	121	1,197	1,08	117	147	0	57	121
21	121	1,234	1,11	119	147	0	58	121
24	121	1,271	1,14	121	148	0	60	121

Ve výpočtu je uvažován nejméně příznivý stav, kde $\gamma = 200 \text{ kg/m}^3$ a nejmenší průměr prvek z celé konstrukce. Jelikož se rozhledna nachází v lokalitě, která patří do nejnižší třídy námraz, průměr prvku $W \geq$ počáteční nárůst námrazy W_{max} a zároveň délka zaoblení námrazy $L \leq \frac{W}{2}$, pak $D = W$.

Vliv zatížení od námrazy je pro tento typ konstrukce zanedbatelný.

3.6.2. Ledovka

Ledovka vzniká mrznutím deště, mrholení nebo mlhy. Obvykle je rovnoměrně rozložená [5].

Ledovka je rozdělena do 5 tříd, které jsou definovány na základě tloušťky ledovky na referenčním kolektoru. Třída ledovky by měla být volena s ohledem na lokalitu a na základě informací poskytovaných ČHMÚ.

Z hlediska zatěžovacích stavů je vytvořen z tohoto zatížení 1 zatěžovací stav.

ZS6 – Zatížení ledovkou

Tabulka 3.6.2.a – Třídy ledovky (ICG) [5]

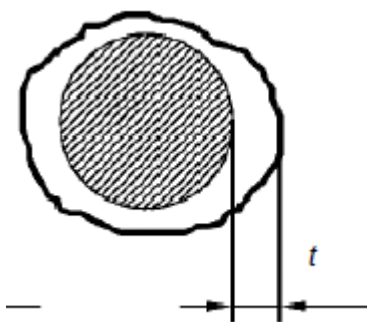
Třída (IC)	Tloušťka ledu t [mm]	Hmotnost ledovky m [kg/m]			
		Průměr válce v mm			
		10	30	100	300
G1	10	0,6	1,1	3,1	8,8
G2	20	1,7	2,8	6,8	18,1
G3	30	3,4	5,1	11	28,0
G4	40	5,7	7,9	15,8	38,5
G5	50	8,5	11,3	21,2	49,5
G6	Použije se při extrémní ledovce				

Vzhledem k dané lokalitě a třídy námraz je zvolena třída ledovky ICG2.

Objemová hmotnost ledu je 900 kg/m^3 .

Tabulka 3.6.2.b – Výpočet hmotnosti ledovky

Třída (IC)	Tloušťka ledu t [mm]	Hmotnost ledovky m [kg/m]			
G2	20	Průměr válce v mm			
		100	121	298,5	300
		6,8	7,987	18,015	18,1



Obrázek 3.6.2. - Model ledovky [5]

Zatížení ledovkou je modelováno jako spojitě zatížení na prutu o hodnotě

$$lk = 0,07987 \text{ kN/m}$$

pro profil ROR121

$$lk = 0,18015 \text{ kN/m}$$

pro profil ROR298,5

4. Statická analýza

Statická analýza byla provedena na 8 modelech. Model M1 a M2 je uvažován s tuhými vazbami. M1 je zatížen kombinací K1 se zatěžovacími stavy v létě a M2 je zatížen K2 se zatěžovacími stavy v zimě. Model M3 – M8 je uvažován s tuhými vazbami a klouby. V těchto modelech jsou na obou koncích všech vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . M3 je zatížen kombinací K1 se zatěžovacími stavy v létě, M4 a M7 kombinací K2 se zatěžovacími stavy v zimě. M6 je zatížen K3 se zatěžovacími stavy odpovídajícími zimnímu období bez užitných zatížení. M8 je zatížen K4 se zatěžovacími stavy v lehké zimě. Přehled zatěžovacích stavů viz kapitola 4.2.1.

4.1. Vnitřní síly

K ověření vypočtených vnitřních sil programem byl proveden ruční výpočet. Jelikož je konstrukce složitá svou geometrií, byl proveden výpočet na části konstrukce, a to na diagonálách 7NP z modelu M1. Normálové síly jsou uvažovány od užitného zatížení na celé ploše plošiny.

4.1.1. Ruční výpočet vnitřních sil diagonál 7NP

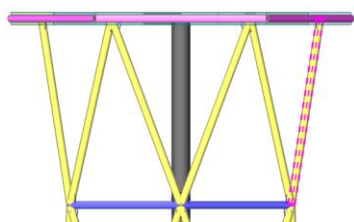
Síla na diagonály z hlavní vyhlídkové plošiny působí na 1/6 plochy šestiúhelníku – 1/6 plochy kruhu viz obrázky 4.1.2. Užitné zatížení je 5 kN/m^2 .

$$S = \frac{1}{6} \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2} \cdot a^2 - \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2} \cdot 2,75^2 - \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 1,2^2 = 2,521 \text{ m}^2$$

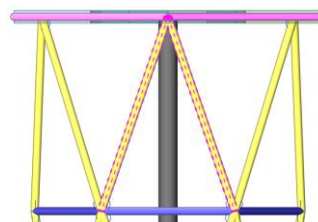
$$F = 2,521 \cdot (-5) = -12,605 \text{ kN}$$

Rozklad sil

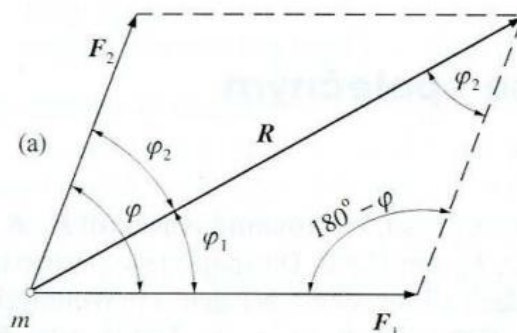
Úhel, který svírají diagonály s vertikálou na obrázku 4.1.1.a je zanedbán. Úhel mezi dvěma diagonálami na obrázku 4.1.1.b je 38° .



Obrázek 4.1.1.a – Úhel vybraných diagonál 7NP s vertikálou



Obrázek 4.1.1.b – Úhel mezi vybranými diagonálami 7NP



Obrázek 4.1.1.c – Dvě síly se společným působištěm [8]

Normálovou sílu v diagonále označím R dle obrázku 5.1.1.c.

$$F_1 = R \cdot \cos \varphi_1 = R \cdot \sin \varphi_2$$

Síla působící na diagonály

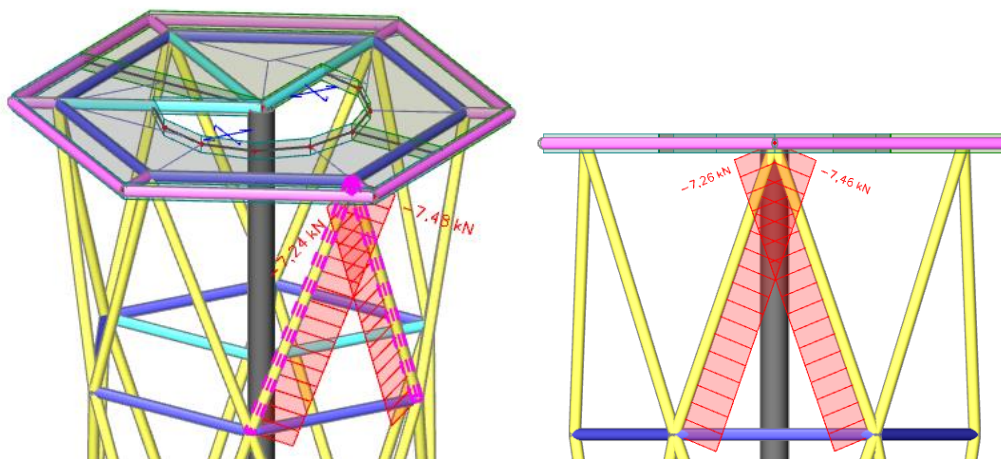
$$F = 2 \cdot F_1 = 2 \cdot R \cdot \cos \varphi_1$$

Normálová síla v diagonále

$$R = \frac{F}{2 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{-12,605}{2 \cdot \cos 19^\circ} = -6,67 \text{ kN}$$

4.1.2. Vnitřní síly diagonál 7NP z programu

Hodnota normálových sil vypočtené programem je -7,24 kN a -7,46 kN.



Obrázek 4.1.2. – M1 – Vnitřní normálové síly na vybraných diagonálách 7NP vypočtené programem

4.1.3. Ruční výpočet momentu od větru

K výpočtu podporových reakcí od zatěžovacího stavu ZS4C v modelu M1 jsem postupovala přes výpočet momentů sil kolem paty sloupu. Síla f_{we} je násobena délkou prvků a počtem prvků nacházející se v daném patře, ne které vítr působí. Moment je vypočten jako výsledná síla od větru v polovině patra násobena ramenem.

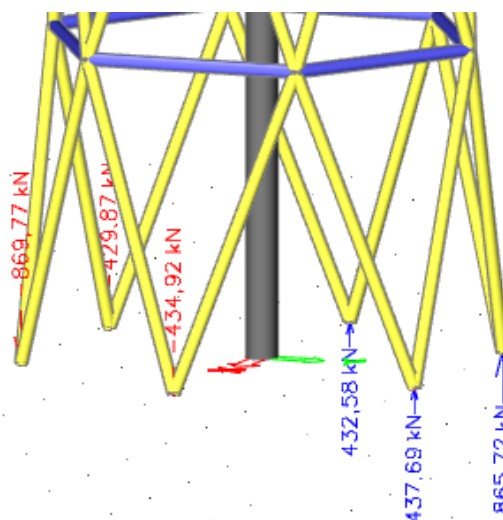
Tabulka 4.1.3.– Výpočet momentu v patě sloupu od větru

z [m]	f_{we} (ROR121) [kN/m]	f_{we} (ROR298,5) [kN/m]	M_{we} [kNm]
3	0,613	1,568	55,02
6	0,833	2,059	196,26
9	0,941	2,323	360,85
12	1,021	2,519	538,40
15	1,085	2,675	729,77
18	1,138	2,806	944,00
21	1,184	2,919	1171,64
24	1,225	3,019	1395,84
Celkový moment			5391,78

4.1.4. Moment od větru z podporových reakcí vypočtených programem

$$\begin{aligned}
 M &= (865,72 + 869,77) \cdot 2,25 + \\
 &+ (437,69 + 432,58 + 434,92 + 429,87) \cdot 1,125 = \\
 &= 6190,92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Moment v patě sloupu od větru je dle programu $M_x = 20,94 \text{ kNm}$ a $M_y = 12,37 \text{ kNm}$.



Obrázek 4.1.4.– Podporové reakce vypočtené programem

4.1.5. Porovnání výpočtů

Diagonály 7NP

Odchylka ručního výpočtu od výpočtu programem je kolem 10 % na stranu bezpečnou. Může být způsobena tím, že ve výpočtu není zohledněn vliv normálových sil přilehlých prvků.

Podporové reakce

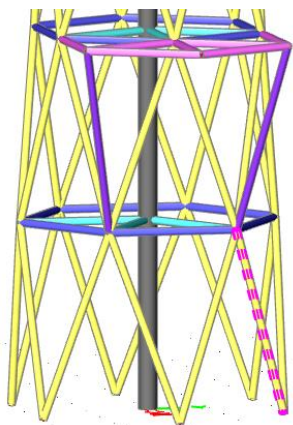
Zkusila jsem odhadem ověřit, zda podporové reakce vypočtené programem odpovídají předpokladu. Odchylka vypočtených momentů je přibližně 13 % na stranu bezpečnou.

Výpočtový program lze považovat za důvěryhodný.

4.1.6. Vnitřní síly diagonál 1NP z programu k posouzení MSÚ

Tabulka 4.1.6. – Vnitřní síly - M1 – Diagonála N76

Jméno	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
N76	3,207	MSÚ-Sada B (auto)/1	-758,70	-2,06	0,04	0,25	-0,01	-2,57



Obrázek 4.1.6.– M1 - Diagonála N76

4.2. Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace se řídí dle normy ČSN EN 1990 [6].

Pro mezní stav únosnosti platí rovnice 6.10a a 6.10b. Z výsledků těchto rovnic se uvažuje méně příznivá hodnota.

6.10a

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

6.10b

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

kde " + " značí kombinovaný s

Σ „kombinovaný účinek“

ξ je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G

Pro mezní stav použitelnosti se používá rovnice s kombinací charakteristických zatížení.

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

Tabulka 4.2.a – Návrhové hodnoty zatížení pro MSÚ

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější (pokud se vyskytuje)	ostatní
Výraz (6.10a)	$1,35 G_{k,j,sup}$	$1,00 G_{k,j,inf}$		$1,5 \psi_{0,1} Q_{k,1}$ (0 pro příznivé)	$1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (0 pro příznivé)
Výraz (6.10b)	$1,35 \times 0,85 G_{k,j,sup}$	$1,00 G_{k,j,inf}$	$1,5 Q_{k,1}$ (0 pro příznivé)		$1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (0 pro příznivé)

Pro aplikaci součinitelů γ pro záměrně vnesenā přetvoření viz EN 1991 až EN 1999.

POZNÁMKA Charakteristické hodnoty všech stálých zatížení stejného původu se násobí $\gamma_{G,sup}$, pokud je výsledný účinek zatížení nepříznivý, a $\gamma_{G,inf}$, pokud je výsledný účinek zatížení příznivý. Například všechna zatížení od vlastní tíhy konstrukce lze považovat za zatížení stejného původu; platí to také v případě použití rozdílných materiálů.

Tabulka 4.2.b– Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby [6]

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H : střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3)			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (s výjimkou požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA: Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.			
* Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Tabulka 4.2.c – Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro zatížení námrazou[6]

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
námrazou	0,5	0,2	0

4.2.1. Seznam kombinačních stavů

K1 – Kombinuje zatěžovací stavy v letním období, platí pro M1 a M3.

Tabulka 4.2.1.a– K1 – Přehled zatěžovacích stavů v letním období pro M1 a M3

Skupina	Typ zatížení	Zatěžovací stavy	Obsah
S1	Stálé	ZS1 - ZS2	Vlastní tíha, ostatní stálá zatížení (schodnice, zábradlí, plošiny)
S2	Užitné	ZS3SC, ZS3ASN, ZS3ASZ, ZS3BSN, ZS3BSZ, ZS3CSN, ZS3CSZ	Užitná zatížení, kategorie C (schodiště)
S3	Užitné	ZS3PC, ZS3APN, ZS3APZ, ZS3BPN, ZS3BPZ, ZS3CPN, ZS3CPZ	Užitná zatížení, kategorie C (plošiny)
S4	Užitné	ZS3Z	Užitné vodorovné zatížení (zábradlí)
S5	Vitr	ZS4A, ZS4B, ZS4C	Zatížení větrem ve směrech A, B, C

K2 – Kombinuje zatěžovací stavy v zimním období, platí pro M2, M4, M6 a M7.

Tabulka 4.2.1.b– K2 – Přehled zatěžovacích stavů v zimním období pro M2, M4, M6 a M7

Skupina	Typ zatížení	Zatěžovací stavy	Obsah
S1	Stálé	ZS1 - ZS2	Vlastní tíha, ostatní stálá zatížení (schodnice, zábradlí, plošiny)
S2	Užitné	ZS3SC, ZS3ASN, ZS3ASZ, ZS3BSN, ZS3BSZ, ZS3CSN, ZS3CSZ	Užitná zatížení, kategorie C (schodiště)
S3	Užitné	ZS3PC, ZS3APN, ZS3APZ, ZS3BPN, ZS3BPZ, ZS3CPN, ZS3CPZ	Užitná zatížení, kategorie C (plošiny)
S4	Užitné	ZS3Z	Užitné vodorovné zatížení (zábradlí)
S5	Vitr	ZS4A, ZS4B, ZS4C, ZS4AL, ZS4BL, ZS4CL	Zatížení větrem ve směrech A, B, C Zatížení větrem při ledovce ve směrech A, B, C
S6	Sníh	ZS5	Plné zatížení sněhem
S7	Námraza	ZS6	Zatížení ledovkou

K3 – Kombinuje zatěžovací stavy v zimním období bez užitného, platí pro M5.

Tabulka 4.2.1.c– K3 – Přehled zatěžovacích stavů v zimním období bez užitného pro M5

Skupina	Typ zatížení	Zatěžovací stavy	Obsah
S1	Stálé	ZS1 - ZS2	Vlastní tíha, ostatní stálá zatížení (schodnice, zábradlí, plošiny)
S2	Vitr	ZS4A, ZS4B, ZS4C, ZS4AL, ZS4BL, ZS4CL	Zatížení větrem ve směrech A, B, C Zatížení větrem při ledovce ve směrech A, B, C
S3	Sníh	ZS5	Plné zatížení sněhem
S4	Námraza	ZS6	Zatížení ledovkou

K4 – Kombinuje zatěžovací stavy v lehkém zimním období, platí pro M8.

Tabulka 4.2.1.d– K4 – Přehled zatěžovacích stavů v lehkém zimním období pro M8

Skupina	Typ zatížení	Zatěžovací stavy	Obsah
S1	Stálé	ZS1 - ZS2	Vlastní tíha, ostatní stálá zatížení (schodnice, zábradlí, plošiny)
S2	Užitné	ZS3SC, ZS3ASN, ZS3ASZ, ZS3BSN, ZS3BSZ, ZS3CSN, ZS3CSZ	Užitná zatížení, kategorie C (schodiště)
S3	Užitné	ZS3PC, ZS3APN, ZS3APZ, ZS3BPN, ZS3BPZ, ZS3CPN, ZS3CPZ	Užitná zatížení, kategorie C (plošiny)
S4	Užitné	ZS3Z	Užitné vodorovné zatížení (zábradlí)
S5	Vitr	ZS4A, ZS4B, ZS4C	Zatížení větrem ve směrech A, B, C
S6	Sníh	ZS5	Plné zatížení sněhem

5. Posouzení

5.1. Posouzení vybraného prvku

Mezní stav únosnosti se řídí normou ČSN EN 1993-1-1 [7].

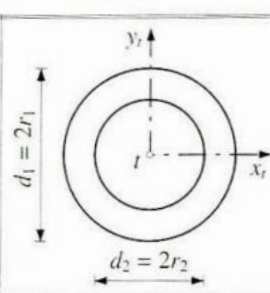
K ověření správnosti výpočtů posouzení programem jsem ručně posoudila několik posudků pro vybranou diagonálu z modelu M1 viz obrázek 4.1.6. Tvoří ji profil ROR121/10.

Tabulka 5.1.a – M1 - Klíč kombinace MSÚ pro diagonály 7NP

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3ASZ + 1.05*ZS3BPZ + 1.50*ZS4B + 1.05*ZS3Z

K výpočtům je potřeba znát geometrické charakteristiky prvku. Jejich výpočet je dán tabulkou 5.1.b.

Tabulka 5.1.b– Geometrické charakteristiky rovinných obrazců – mezikružží [8]

Tvar obrazce	Obsah A, poloha těžiště t , momenty setrvačnosti I , polární I_p a deviační D
Mezikružží 	$A = \pi(r_1^2 - r_2^2) = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)$ $I_{y_i} = I_{x_i} = \frac{\pi}{4}(r_1^4 - r_2^4) = \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4)$ $I_p = \frac{\pi}{2}(r_1^4 - r_2^4) = \frac{\pi}{32}(d_1^4 - d_2^4)$

$$A = 3,49 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$I = 5,41 \cdot 10^{-6} m^4$$

Dále je potřeba provést klasifikaci průřezu.

Tabulka 5.1.c – Zatřídění průřezu – ruční výpočet

Zatřídění	d	t	ε	Posudek			Třída
	[mm]	[mm]	[-]	$d/t < \varepsilon^2$			
ROR121	121	10	0,814	12,1	<	33,1	1

Tabulka 5.1.d– Zatřídění průřezu – výpočet programem

d [mm]	t [mm]	d/t [-]	Třída 1 limit [-]	Třída 2 limit [-]	Třída 3 limit [-]	Třída
121	10	12,10	33,10	46,34	59,58	1

5.1.1. Prostý tlak

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3}$$

Tabulka 5.1.1.a– Posudek na tlak – ruční výpočet

A	3,49E-03	m ²
f _y	355	Mpa
γ _{M0}	1,00	-
N _{c,Rd}	1238,95	kN
N _{ed}	758,7	kN
Posudek	0,61	-

Tabulka 5.1.1.b– Posudek na tlak – výpočet programem

Průřezová plocha	A	3,4900e-03	m ²
Tlaková únosnost	N _{c,Rd}	1238,95	kN
Jedn. posudek		0,61	-

5.1.2. Rovinný vzpěr

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3}$$

Křivka vzpěrné pevnosti

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

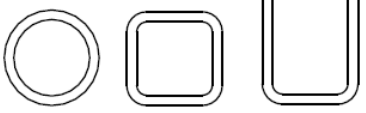
$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

pro průřezy třídy 1, 2 a 3

$$N_{cr} = \pi^2 \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

Tabulka 5.1.2.a– Křivka vzpěrné pevnosti [7]

Duté průřezy		válcované za tepla	všechny	a	a ₀
		tvarované za studena	všechny	c	c

Tabulka 5.1.2.b– Doporučené hodnoty součinitelů imperfekce pro křivky klopení [7]

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 5.1.2.c– Posudek rovinného vzpěru – ruční výpočet

E	210	Gpa
I _y	5,41E-06	m ⁴
L	3,207	m
k	0,50	-
N _{cr}	4360,92	kN
A	3,49E-03	m ²
f _y	355,00	Mpa
$\bar{\lambda}$	0,53	-
α	0,21	-
ϕ	0,68	-
χ	0,91	-
γ_{M1}	1,00	-
N _{b,Rd}	1132,03	kN
N _{ed}	-758,70	kN
Posudek	0,67	-

Tabulka 5.1.2.d– Parametry vzpěru – výpočet programem

Parametry vzpěru		yy	zz	
Typ posuvných styčníků		posuvné	neposuvné	
Systémová délka	L	3,207	3,207	m
Součinitel vzpěru	k	0,50	0,50	
Vzpěrná délka	l_{cr}	1,603	1,603	m
Kritické Eulerovo zatížení	N_{cr}	4361,46	4361,46	kN
Štíhlost	λ	40,72	40,72	
Poměrná štíhlost	λ_{rel}	0,53	0,53	
Mezní štíhlost	$\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Vzpěr. křivka		a	a	
Imperfekce	α	0,21	0,21	
Redukční součinitel	χ	0,91	0,91	
Únosnost na vzpěr	$N_{b,Rd}$	1132,04	1132,04	kN

Tabulka 5.1.2.e– Posudek rovinného vzpěru – výpočet programem

Posudek rovinného vzpěru			
Průřezová plocha	A	3,4900e-03	m ²
Únosnost na vzpěr	$N_{b,Rd}$	1132,04	kN
Jedn. posudek		0,67	-

Výsledky ručního výpočtu a výpočtu programem se shodují.

5.1.3. Smyk

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Smyková plocha A_v se uvažuje pro kruhové duté průřezy $A_v = 2 \cdot A/\pi$

Tabulka 5.1.3.a – Posudek smyku pro V_y – ruční výpočet

A_v	2,22E-03	m ²
f_y	355	Mpa
γ_{M0}	1,00	-
$V_{pl,y,Rd}$	455,38	kN
V_y	-2,06	kN
Posudek	0,00	-

Tabulka 5.1.3.b– Posudek smyku pro V_y – výpočet programem

Součinitel smykové korekce	η	1,20	
Smyk. plocha	A_v	2,2218e-03	m ²
Plastická smyková únosnost pro V_y	$V_{pl,y,Rd}$	455,38	kN
Jedn. posudek		0,00	-

Výsledky ručního výpočtu a výpočtu programem se shodují.

Tabulka 5.1.3.c– Posudek smyku pro V_z – ruční výpočet

A_v	2,22E-03	m ²
f_y	355	Mpa
γ_{M0}	1,00	-
$V_{pl,z,Rd}$	455,38	kN
V_z	0,04	kN
Posudek	0,00	-

Tabulka 5.1.3.d– Posudek smyku pro V_z – výpočet programem

Součinitel smykové korekce	η	1,20	
Smyk. plocha	A_v	2,2218e-03	m ²
Plastická smyková únosnost pro V_z	$V_{pl,z,Rd}$	455,38	kN
Jedn. posudek		0,00	-

Výsledky ručního výpočtu a výpočtu programem se shodují.

5.1.4. Ohyb

Podmínka spolehlivosti pro prostý rovinný ohyb

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 1 nebo 2}$$

Tabulka 5.1.4.a– Posudek ohybového momentu pro M_y – ruční výpočet

$W_{pl,y}$	1,24E-04	m ³
f_y	355	Mpa
γ_{M0}	1,00	-
$M_{pl,y,Rd}$	44,02	kNm
M_y	-0,01	kNm
Posudek	0,00	-

Tabulka 5.1.4.b– Posudek ohybového momentu pro M_y – výpočet programem

Plastický modul průřezu	$W_{pl,y}$	1,2400e-04	m^3
Plastický ohybový moment	$M_{pl,y,Rd}$	44,02	kNm
Jedn. posudek		0,00	-

Výsledky ručního výpočtu a výpočtu programem se shodují.

Tabulka 5.1.4.c– Posudek ohybového momentu pro M_z – ruční výpočet

$W_{pl,z}$	1,24E-04	m^3
f_y	355	Mpa
γ_{M0}	1,00	-
$M_{pl,z,Rd}$	44,02	kNm
M_z	-2,57	kNm
Posudek	0,06	-

Tabulka 5.1.4.d– Posudek ohybového momentu pro M_z – výpočet programem

Plastický modul průřezu	$W_{pl,z}$	1,2400e-04	m^3
Plastický ohybový moment	$M_{pl,z,Rd}$	44,02	kNm
Jedn. posudek		0,06	-

Výsledky ručního výpočtu a výpočtu programem se shodují.

5.2. Posouzení konstrukce na MSÚ

Jelikož v předcházející kapitole bylo ověřeno, že program funguje podle očekávaných předpokladů, byl k posouzení celých modelů použit program. Program se řídí normou ČSN EN 1993-1-1 [7].

M1 a M2 jsou modely konstrukce s pevnými vazbami. V modelech M3 – M8 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y .

Původně zamýšlené byly modely M1 – M4. Vzhledem k nevyhovujícím posudkům na MSÚ u modelu M4 byly vytvořeny modely M5-M8, ve kterých byla provedena postupná optimalizace. Porovnání modelů a postup optimalizace viz kapitola 5.4.

Na obrázcích je pro lepší orientaci na plošinách zvýrazněna návětrná strana větru, který je pro daný posudek rozhodující. Dále je na obrázcích zvýrazněn dílec, který má dle posouzení nejhorší jednotkový posudek. Z modelů je na obrázcích vynecháno schodiště pro lepší přehlednost, jelikož jednotkové posudky schodišťových nosníků na MSÚ jsou malé, a to v řádech setin.

5.2.1. M1

Model konstrukce M1 byl modelován s tuhými spoji. Je zatížen kombinací K1, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající letnímu období.

Tabulka 5.2.1. – Posudek a klíč kombinace M1 na MSÚ

Dílec N76	3,207 / 3,207 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	0,72 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3ASZ + 1.05*ZS3BPZ + 1.50*ZS4B + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

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

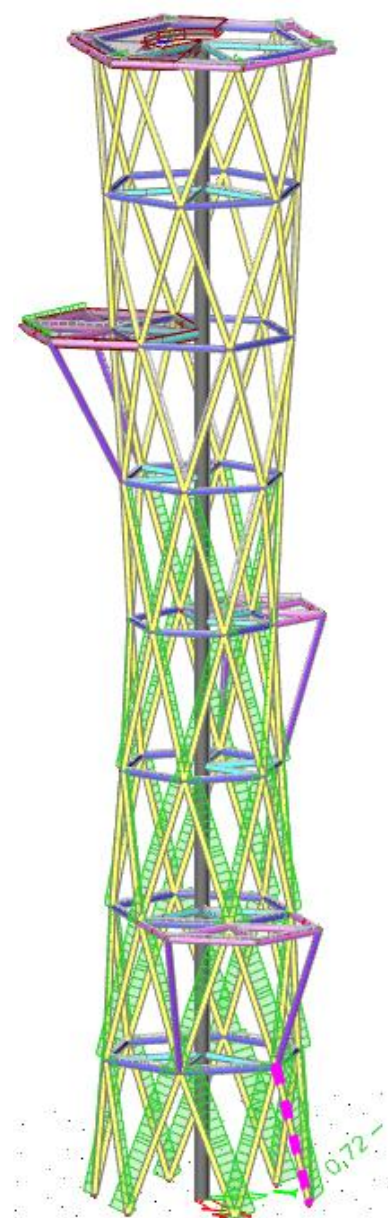
$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4B$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3A + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3BPZ$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z$$

Dle posudku v tabulce 5.2.1. a obrázku 5.2.1. je využití nejvíce namáhaného prutu N76 v modelu M1 72 %.

Pruty v tomto modelu vyhovují na MSÚ.



Obrázek 5.2.1. – Posudek M1 na MSÚ

5.2.2. M2

Model konstrukce M2 byl modelován s tuhými spoji. Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

Tabulka 5.2.2. – Posudek a klíč kombinace M2 na MSÚ

Dílec N76	3,207 / 3,207 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	0,89 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 1.05*ZS3ASZ + 1.05*ZS3BPZ + 0.75*ZS6 + 1.50*ZS4BL + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

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

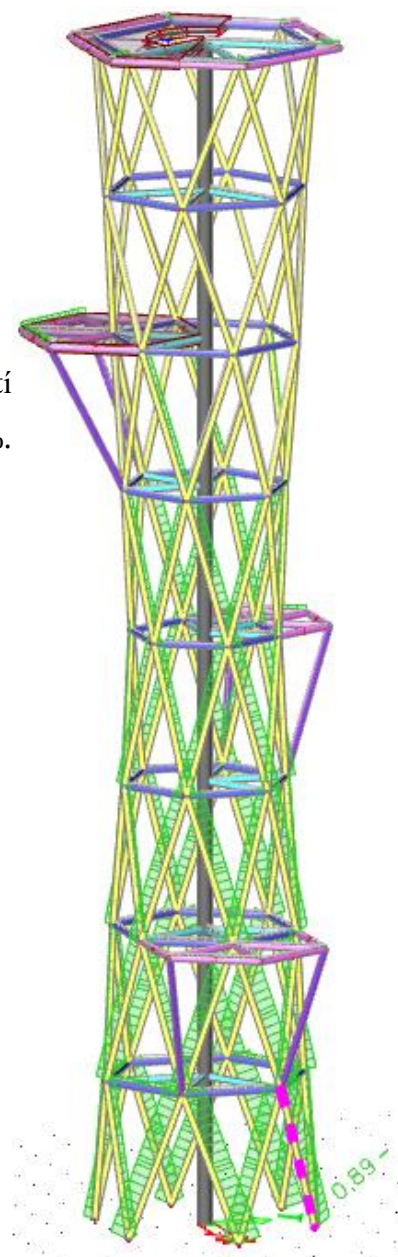
$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4BL$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3ASZ + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3BPZ +$$

$$1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS6$$

Dle posudku v tabulce 5.2.2. a obrázku 5.2.2. je využití nejvíce namáhaného prutu N76 v modelu M2 89 %.

Pruty v tomto modelu vyhovují na MSÚ.



Obrázek 5.2.2. – Posudek M2 na MSÚ

5.2.3. M3

V modelu M3 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K1, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající letnímu období.

Tabulka 5.2.3. – Posudek a klíč kombinace M3 na MSÚ

Dílec N79	3,206 / 3,206 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	0,99 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3CSZ + 1.05*ZS3PC + 1.50*ZS4C + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

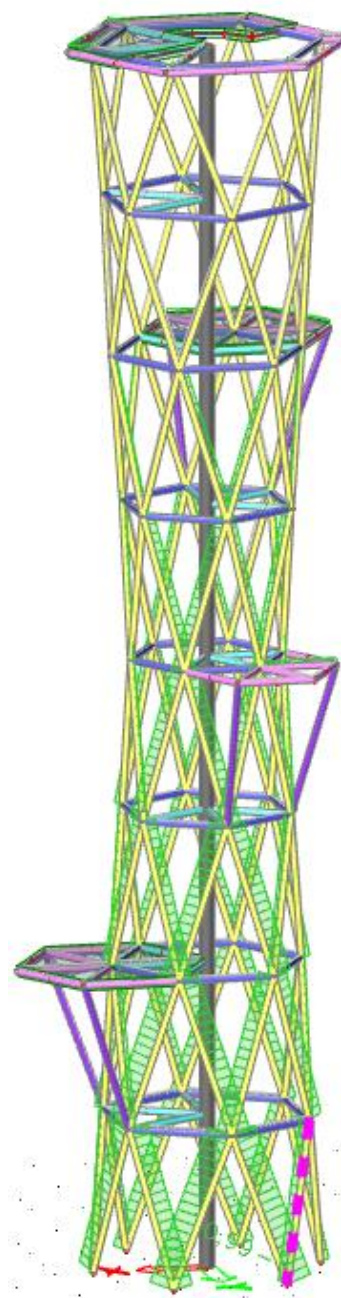
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4B$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3ASZ + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3BPZ +$$

$$1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z$$

Dle posudku v tabulce 5.2.3. a obrázku 5.2.3. je využití nejvíce namáhaného prutu N79 v modelu M3 99 %. Pruty v tomto modelu vyhovují na MSÚ.



Obrázek 5.2.3. – Posudek M3 na MSÚ

5.2.4. M4

V modelu M4 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

Tabulka 5.2.4. – Posudek a klíč kombinace M4 na MSÚ

Dílec N79	3,206 / 3,206 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	1,24 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 1.05*ZS3CSZ + 1.05*ZS3PC + 0.75*ZS6 + 1.50*ZS4CL + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

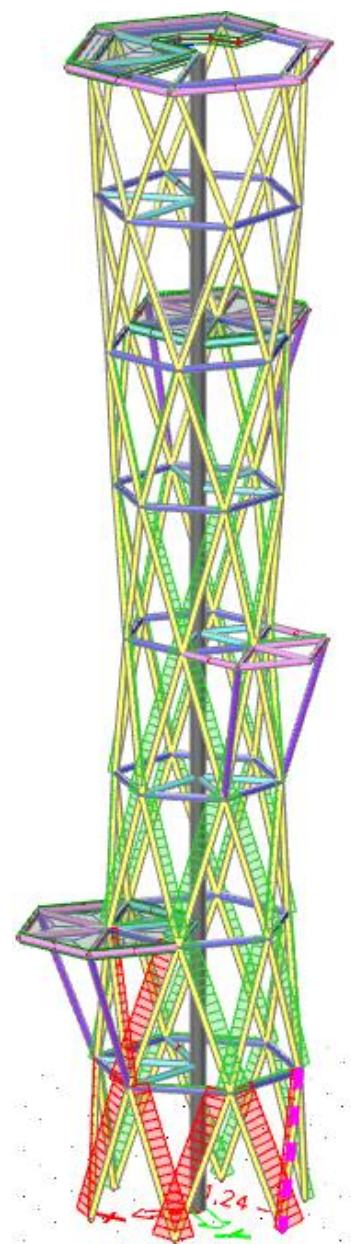
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4CL$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3CSZ + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3PC$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS6$$

Dle posudku v tabulce 5.2.4. a obrázku 5.2.4. je využití nejvíce namáhaného prutu N79 v modelu M4 124 %. Některé pruty v tomto modelu nevyhovují na MSÚ, a proto celý model nevyhovuje.



Obrázek 5.2.4. – Posudek M4 na MSÚ

5.2.5. M5

Vychází z modelu M4. V modelu M5 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K3, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období bez užitečného zatížení na celé konstrukci.

Tabulka 5.2.5. – Posudek a klíč kombinace M5 na MSÚ

Dílec N79	3,206 / 3,206 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	1,21 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.75*ZS6 + 1.50*ZS4CL					

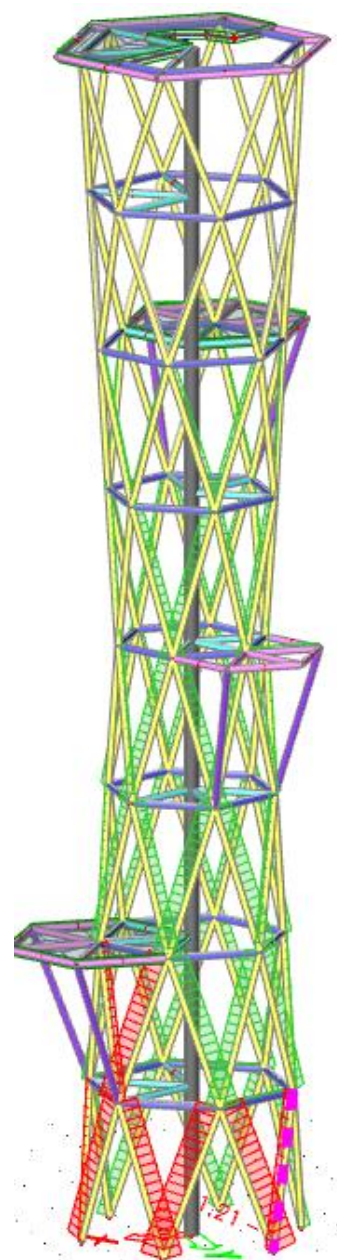
Sestava kombinace dle 6.10b

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

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4CL$$

$$+ 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS6$$

Dle posudku v tabulce 5.2.5. a obrázku 5.2.5. je využití nejvíce namáhaného prutu N79 v modelu M5 121 %. Některé pruty v tomto modelu nevyhovují na MSÚ, a proto celý model nevyhovuje.



Obrázek 5.2.5. – Posudek M5 na MSÚ

5.2.6. M6

V tomto modelu je změněn profil vnějších diagonál, a to v prvních dvou patrech. Profil těchto diagonál je ROR121/16. V modelu M6 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

Tabulka 5.2.6. – Posudek a klíč kombinace M6 na MSÚ

Dílec N103	3,144 / 3,144 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	0,87 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 1.05*ZS3CSZ + 1.05*ZS3PC + 0.75*ZS6 + 1.50*ZS4CL + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

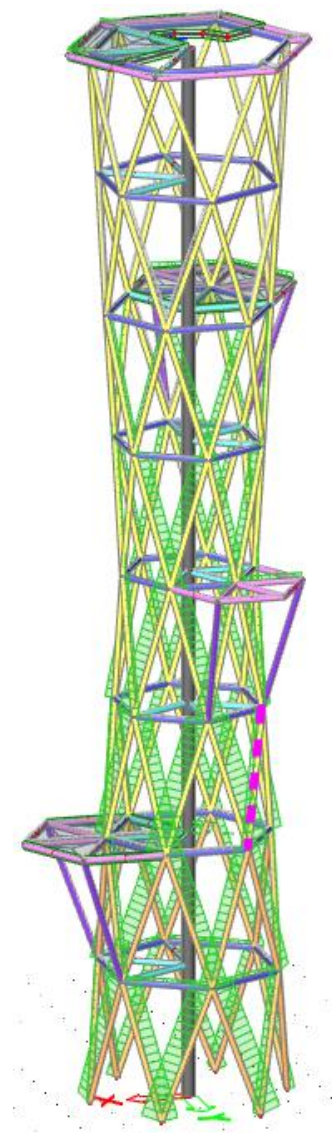
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4CL$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3CSZ + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3PC$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS6$$

Dle posudku v tabulce 5.2.6. a obrázku 5.2.6. je využití nejvíce namáhaného prutu N103 v modelu M6 87 %.
Pruty v tomto modelu vyhovují na MSÚ.



Obrázek 5.2.6. – Posudek M6 na MSÚ

5.2.7. M7

Vychází z modelu M6. V modelu M7 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období bez užitečného zatížení na hlavní vyhlídkové plošině v 8. patře.

Tabulka 5.2.7. – Posudek a klíč kombinace M7 na MSÚ

Dílec N103	3,144 / 3,144 m	ROR121/10.0	S 355	MSÚ-Sada B (auto)	0,86 -
Klíč kombinace					
MSÚ-Sada B (auto) / 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 1.05*ZS3CSZ + 1.05*ZS3PC + 0.75*ZS6 + 1.50*ZS4CL + 1.05*ZS3Z					

Sestava kombinace dle 6.10b

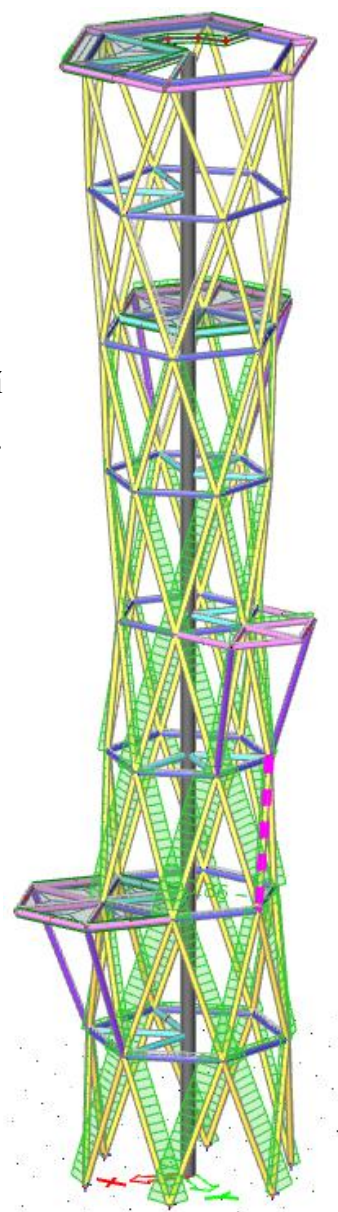
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4CL$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3CSZ + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3PC$$

$$+ 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3Z + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS6$$

Dle posudku v tabulce 5.2.7. a obrázku 5.2.7. je využití nejvíce namáhaného prutu N103 v modelu M7 86 %.
Pruty v tomto modelu vyhovují na MSÚ.



Obrázek 5.2.7. – Posudek M7 na MSÚ

5.3. Posouzení konstrukce na MSP

K posouzení celých modelů byl použit program. Program se řídí normou ČSN EN 1993 - 1-1 [7].

Na obrázcích je pro lepší orientaci na plošinách zvýrazněna návětrná strana větru, který je pro daný posudek rozhodující. V posudcích celých modelů je na obrázcích zvýrazněn dílec, který má dle posouzení nejhorší jednotkový posudek. V těchto obrázcích jsou vynechány diagonály pro lepší přehlednost, jelikož jednotkové posudky diagonál na MSP jsou malé, a to do 0,2.

M1

Maximální posun 71,0 mm v uzlu N99

[0.000, 0.000, 24.000] (zatěžovací stav ZS4C)

Maximální pootočení 8,0 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)

M2

Maximální posun 88,1 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

Maximální pootočení 8,0 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)

M3

Maximální posun 70,7 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4A)

Maximální pootočení 7,4 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)

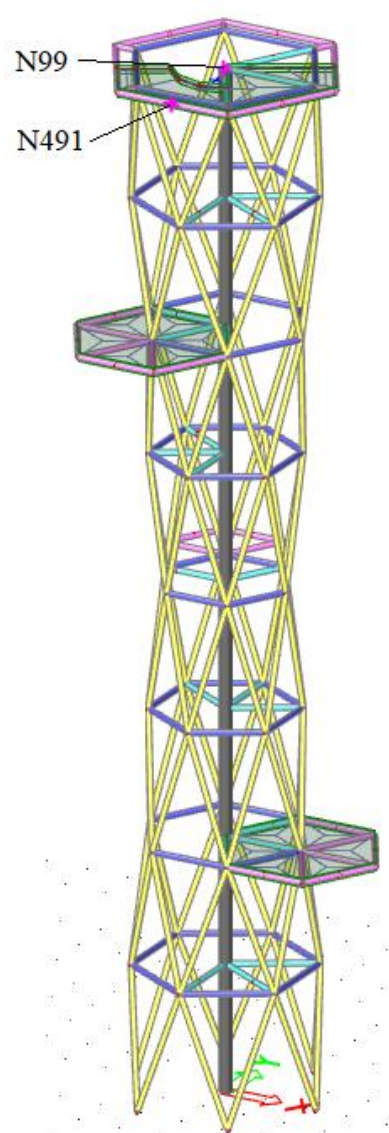
M4

Maximální posun 80,5 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

Maximální pootočení 8,2 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)



Obrázek 5.3.a – Označení významných uzlů pro posun a pootočení u M1

M5

Maximální posun 88,5 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

Maximální pootočení 6,2 mrad v uzlu N42

[0.938, - 1.624, 18.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

M6

Maximální posun 73,0 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

Maximální pootočení 7,9 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)

M7

Maximální posun 73,0 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

Maximální pootočení 5,5 mrad v uzlu N42

[0.938, - 1.624, 18.000] (zatěžovací stav ZS4AL)

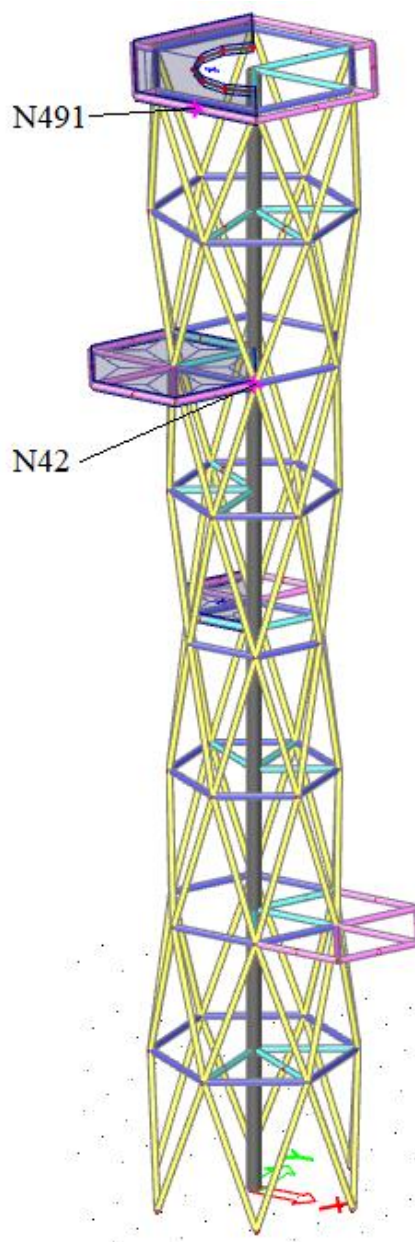
M8

Maximální posun 58,3 mm v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS4A)

Maximální pootočení 7,8 mrad v uzlu N491

[0.000, - 2.382, 24.000] (zatěžovací stav ZS3Z)



Obrázek 5.3.b – Označení významných uzlů pro posun a pootočení u M2 – M8

5.3.1. M2

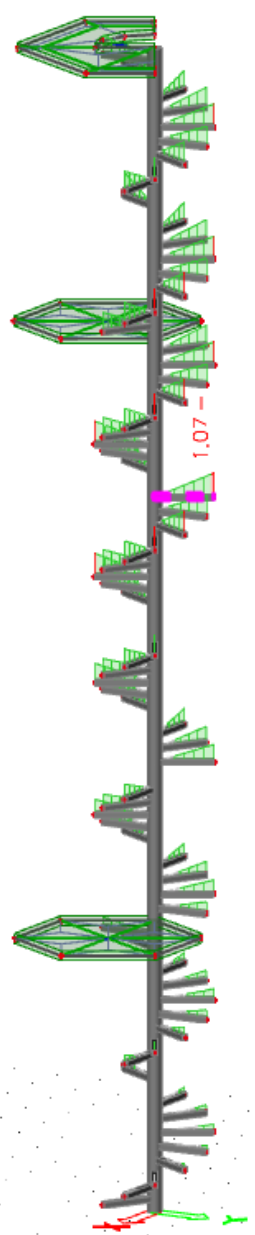
Model konstrukce M2 byl modelován s tuhými spoji. Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

Tabulka 6.3.1.a– M2 - Klíč kombinace MSP pro schodiště i plošiny

Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.70*ZS3CPZ + 0.50*ZS6 + ZS4CL

Tabulka 6.3.1.b– M2 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP

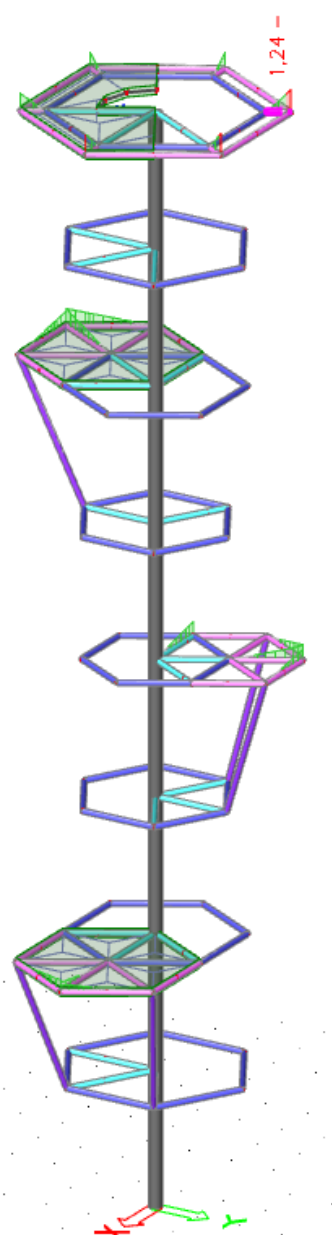
Jméno	dx [m]	Stav	u _{y,max} [mm]	u _{y,var} [mm]	Lim. u _{y,max} [mm]	Lim. u _{y,var} [mm]	Posudek u _{y,max} [-]	Posudek u _{y,var} [-]	Nadvýšení dx u _z [mm]	Posudek Celkový [-]
N267	1,200	MSP-Char (auto)/1	0,0 -7,2	0,0 -7,1	6,0 12,0	3,3 6,7	0,00 0,60	0,00 1,07	-	1,07



Obrázek 6.3.1.a – Posudek schodiště M2 na MSP

Tabulka 6.3.1.c– M2 – Celkový posudek plošin na MSP

Jméno	dx [m]	Stav	u _{y,max} [mm]	u _{y,var} [mm]	Lim. u _{y,max} [mm]	Lim. u _{y,var} [mm]	Posudek u _{y,max} [-]	Posudek u _{y,var} [-]	Nadvýšení dx u _z [mm]	Posudek Celkový [-]
N208	0,500	MSP-Char (auto)/1	0,0 -3,5	0,0 -3,5	2,5 5,0	1,4 2,8	0,00 0,70	0,00 1,24	-	1,24



Obrázek 6.3.1.b – Posudek plošin M2 na MSP

5.3.2. M6

Profil diagonál v prvních dvou patrech je ROR121/16. V modelu M6 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období.

Tabulka 6.3.2.a – M6 – Klíč kombinace MSP pro schodiště

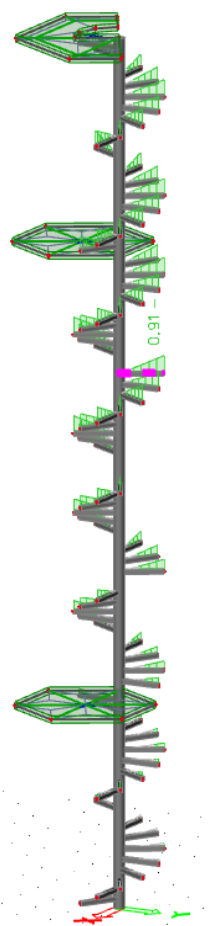
Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.70*ZS3CPZ + 0.50*ZS6 + ZS4CL

Tabulka 6.3.2.b– M6 – Klíč kombinace MSP pro plošiny

Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.50*ZS6 + ZS4CL + 0.70*ZS3Z

Tabulka 6.3.2.c– M6 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP

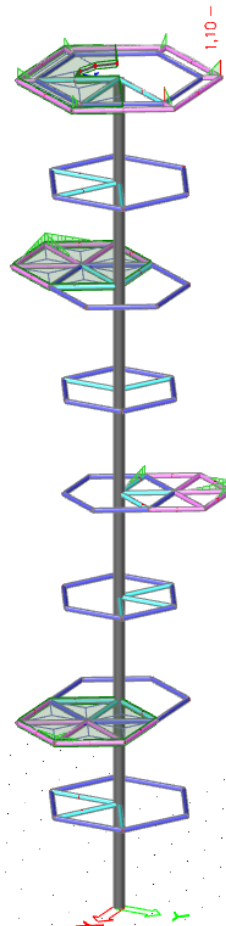
Jméno	dx [m]	Stav	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{y,var}$ [mm]	Lim. $u_{y,max}$ [mm]	Lim. $u_{y,var}$ [mm]	Posudek $u_{y,max}$ [-]	Posudek $u_{y,var}$ [-]	Nadvýšení dx uz [mm]	Nadvýšení Nadvýšení [mm]	Posudek Celkový [-]
N267	1,200	MSP-Char (auto)/1	0,0	0,0	6,0	3,3	0,00	0,00	-	-	0,91
			-6,2	-6,1	12,0	6,7	0,52	0,91	-	-	



Obrázek 6.3.2.a – Posudek schodiště M6 na MSP

Tabulka 6.3.2.d– M6 – Celkový posudek plošin na MSP

Jméno	dx [m]	Stav	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{y,var}$ [mm]	Lim. $u_{y,max}$ [mm]	Lim. $u_{y,var}$ [mm]	Posudek $u_{y,max}$ [-]	Posudek $u_{y,var}$ [-]	Nadvýšení dx uz [mm]	Nadvýšení Nadvýšení [mm]	Posudek Celkový [-]
N208	0,500	MSP-Char (auto)/1	-0,1	-0,1	5,0	2,8	0,02	0,04	-	-	1,10
			-3,1	-3,1	5,0	2,8	0,62	1,10	-	-	



Obrázek 6.3.2.b – Posudek plošin M6 na MSP

5.3.3. M7

Vychází z modelu M6. V modelu M7 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K2, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající zimnímu období bez užitečného zatížení na hlavní vyhlídkové plošině v 8. patře.

Tabulka 6.3.3.a– M7 – Klíč kombinace MSP pro schodiště

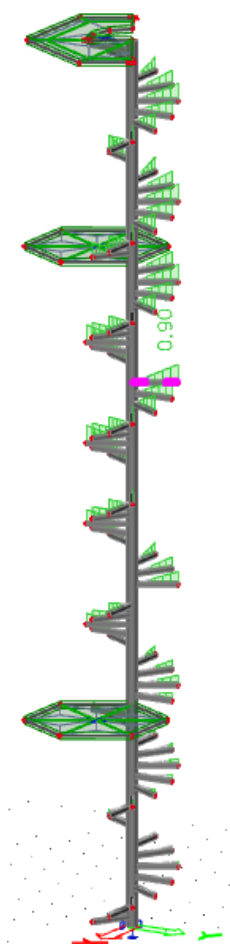
Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.70*ZS3CPZ + 0.50*ZS6 + ZS4CL

Tabulka 6.3.3.b– M7 – Klíč kombinace MSP pro plošiny

Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.70*ZS3CPZ + ZS4CL

Tabulka 6.3.3.c– M7 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP

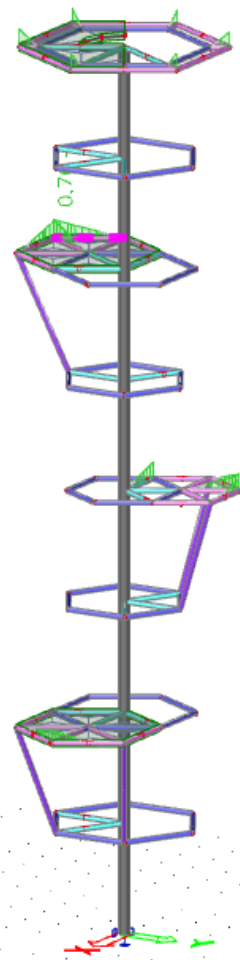
Jméno	dx [m]	Stav	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{z,max}$ [mm]	$u_{y,var}$ [mm]	$u_{z,var}$ [mm]	Lim. $u_{y,max}$ [mm]	Lim. $u_{z,max}$ [mm]	Posudek $u_{y,max}$ [-]	Posudek $u_{z,max}$ [-]	Posudek $u_{y,var}$ [-]	Posudek $u_{z,var}$ [-]	Nadvýšení dx uz [mm]	Nadvýšení [mm]	Posudek celkový [-]
N267	1,200	MSP-Char (auto)/1	0,0	-6,1	0,0	-6,0	6,0	12,0	0,00	0,51	0,00	0,90	-	-	0,90



Obrázek 6.3.3.a – Posudek schodiště M7 na MSP

Tabulka 6.3.3.d– M7 – Celkový posudek plošin na MSP

Jméno	dx [m]	Stav	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{z,max}$ [mm]	$u_{y,var}$ [mm]	$u_{z,var}$ [mm]	Lim. $u_{y,max}$ [mm]	Lim. $u_{z,max}$ [mm]	Posudek $u_{y,max}$ [-]	Posudek $u_{z,max}$ [-]	Posudek $u_{y,var}$ [-]	Posudek $u_{z,var}$ [-]	Nadvýšení dx uz [mm]	Nadvýšení [mm]	Posudek celkový [-]
N52	1,875	MSP-Char (auto)/1	0,0	7,2	0,0	8,0	9,4	18,7	0,00	0,38	0,00	0,76	-	-	0,76



Obrázek 6.3.3.b – Posudek plošin M7 na MSP

5.3.4. M8

Vychází z modelu M6. V modelu M8 jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y . Je zatížen kombinací K4, ve které jsou zatěžovací stavy odpovídající lehkému zimnímu období.

Tabulka 6.3.4.a– M8 – Klíč kombinace MSP pro schodiště

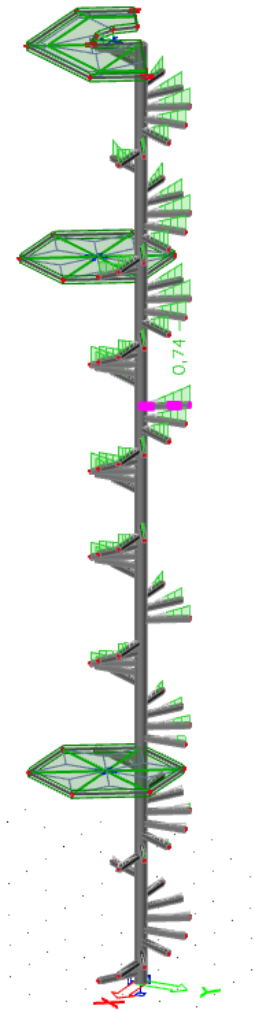
Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + 0.70*ZS3CPZ + ZS4C

Tabulka 6.3.4.b– M8 – Klíč kombinace MSP pro plošiny

Jméno	Klíč kombinace
MSP-Char (auto)/1	ZS1 + ZS2 + 0.70*ZS3CSZ + ZS4C + 0.70*ZS3Z

Tabulka 6.3.4.c– M8 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP

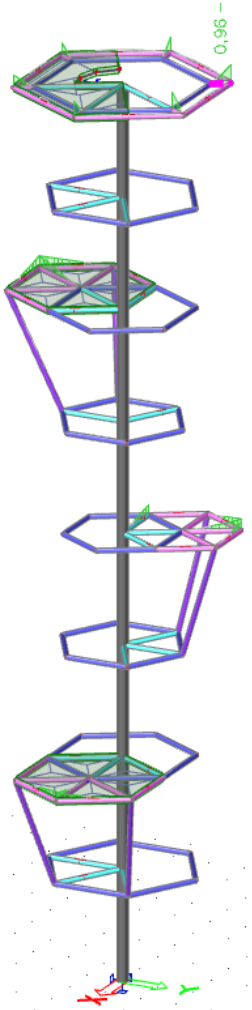
Jméno	dx [m]	Stav	u _{y,max} [mm]	u _{z,max} [mm]	u _{y,var} [mm]	u _{z,var} [mm]	Lim. u _{y,max} [mm]	Lim. u _{z,max} [mm]	Posudek u _{y,max} [-]	Posudek u _{z,max} [-]	Posudek celkový [-]
N267	1,200	MSP-Char (auto)/1	0,0	-5,1	0,0	-4,9	6,0	12,0	0,00	0,42	0,74



Obrázek 6.3.4.a – Posudek schodiště M8 na MSP

Tabulka 6.3.4.d– M8 – Celkový posudek plošin na MSP

Jméno	dx [m]	Stav	u _{y,max} [mm]	u _{z,max} [mm]	u _{y,var} [mm]	u _{z,var} [mm]	Lim. u _{y,max} [mm]	Lim. u _{z,max} [mm]	Posudek u _{y,max} [-]	Posudek u _{z,max} [-]	Posudek celkový [-]
N208	0,500	MSP-Char (auto)/1	-0,1	-2,7	-0,1	-2,7	5,0	5,0	0,02	0,54	0,96



Obrázek 6.3.4.b – Posudek plošin M8 na MSP

5.4. Porovnání modelů

Modely M1 a M2 jsou modelovány s tuhými spoji a jejich posudky na MSÚ vyhovují. Kvůli navýšení zatížení ledovkou a větrem, který na konstrukci s ledovkou působí je v modelu M2 diagonála N76 namáhána více. Jelikož by konstrukce měla odolat maximálním zatížením, byl model M2 posouzen na použitelnost, ve kterém schodiště ani plošiny nevyhověly.

Tuhé spoje ze statického hlediska působí příznivě na vnitřní síly prvků v konstrukci, avšak mohlo by docházet k velkým namáháním spojů a jejich možnému porušení tak, že by neplnily svoji funkci tak, jak byly navrženy. Proto byly vytvořeny modely M3 a M4, kde jsou na obou koncích vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y .

Posudek na MSÚ u M3 vychází méně příznivě než u M1, ale stále vyhoví. Posudek na MSÚ u M4 nevyhoví. Kvůli kloubům jsou konstrukce měkčí, více se zdeformují a vzniknou větší síly. Jelikož model M4 nevyhoví maximálním zatížením, nebyl posouzen na MSP.

Jelikož model M4 s klouby a maximálním zatížením je nevyhovující, byl vytvořen model M5, který vychází z modelu M4. Model M5 je stejný jako M4, co se konstrukce týče. Ke změně došlo v zatížení modelu, to odpovídá zimnímu období bez užitného zatížení.

Posudek M5 na MSÚ vychází sice příznivěji než u M4, ale stále nevyhoví, proto nebyl posouzen na MSP.

Jelikož je posudek i přes snížení zatížení konstrukce užitným zatížením nevyhovující, byl navržen model M6, který vychází z modelu M4. Je zatížen maximálním zatížením stejně jako M4. Ke změně došlo ve zvýšení tloušťky diagonál. Profil diagonál v prvních dvou patrech je ROR121/16, pro ostatní patra zůstává ROR121/10.

Posudek M6 na MSÚ vyhoví, schodiště na MSP také vyhoví, avšak plošiny na MSP nevyhoví. Rozhodujícím zatížením pro nevyhovující posudek je vítr ZS4CL a užitné vodorovné zatížení zábradlí ZS3Z.

Jelikož model M6 nevyhovuje extrémní kombinaci, byl vytvořen model M7 s provozním opatřením, ve kterém je vstup při extrémních klimatických podmínkách zakázán. Model M7 je stejný jako M6, co se konstrukce týče. Ke změně došlo v zatížení modelu, to odpovídá zimnímu období bez užitného zatížení na horní vyhlídkové plošině v 8. patře.

Posudek M7 na MSÚ i MSP vyhoví.

K ověření podmínek, za kterých je možné užité zatížení horní vyhlídkové plošiny byl vytvořen model M8, který vychází z modelu M6. Model M8 je stejný jako M6, co se konstrukce týče. Ke změně došlo v zatížení modelu, to odpovídá lehkému zimnímu období. Na konstrukci nepůsobí zatížení ledovkou, ani zatížení větrem na konstrukci s ledovkou. Z proměnných zatížení je zatížení sněhem a užitným zatížením na celé konstrukci stejně jako M6.

Posudek M8 na MSP vyhoví. Jelikož je zatížení na konstrukci menší než u M6, posudek M8 na MSÚ vyhoví.

Z hlediska posunu a pootočení konstrukce má vliv působící zatížení a tuhost konstrukce. Rozhodujícím stavem pro posun je vítr. Rozhodujícím stavem pro pootočení je vodorovné užité zatížení na zábradlí. V modelech M5 a M7, kde na horní vyhlídkové plošině užité vodorovné zatížení na zábradlí není, rozhoduje vítr.

Závěr

Cílem práce byl vlastní architektonický návrh a následná analýza rozhledny.

Architektonický návrh byl inspirován broušeným sklem s přesýpacími hodinami. Konstrukční řešení rozhledny bylo oproti architektonickému návrhu upraveno. Pro velký posun vyhlídkových plošin ve čtvrtinách výšky byly tyto plošiny podepřeny vzpěrami.

Zatížení je uvažováno ve čtyřech různých kombinacích. Jednotlivá uvažovaná zatížení jsou vlastní tíhou, ostatní stálé zatížení, užité zatížení, zatížení větrem, zatížení větrem na konstrukci s ledovkou, zatížení sněhem a ledovkou. Zatížení větrem má na konstrukci největší vliv. Vliv zatížení od námrazy je pro tento typ konstrukce zanedbatelný.

Bylo vytvořeno celkem 8 modelů ve studentské verzi programu SCIA Engineer 20.0. Původně byly zamýšlené modely M1 – M4, avšak kvůli některým nevyhovujícím posudkům byly navrženy modely M4 – M8, ve kterých byla provedena postupná optimalizace. Podrobný popis modelů se nachází ve třetí kapitole a jejich posouzení a srovnání v paté kapitole.

Vyhovující jsou modely M7 a M8. Tyto modely jsou stejné, co se konstrukce týče. V prvních dvou patrech je profil vnějších diagonál ROR121/16, pro ostatní patra ROR121/10. V těchto modelech jsou na obou koncích všech vnějších diagonál dovolena pootočení φ_y , ostatní spoje jsou tuhé. Středový sloup je navržen jako vetknutý. Pod diagonálami jsou vetknuté styčníky, ke kterým jsou diagonály kloubově připojené.

Model M7 je zatížen kombinací K2 se zatěžovacími stavy odpovídajícími zimnímu období bez užitého zatížení na horní vyhlídkové plošině v 8. patře.

Model M8 je zatížen kombinací K4 se zatěžovacími stavy odpovídajícími lehkému zimnímu období. Za podmínky, že na konstrukci nepůsobí zatížení ledovkou, ani zatížení větrem na konstrukci s ledovkou, je možné zatížení užitém zatížením na celé konstrukci. Před vstupem rozhledny bude umístěn provozní řád, ve kterém bude zákaz vstupu lidí na rozhlednu pokrytou ledovkou v kombinaci se silným větrem.

Seznam zdrojů

[1] Dlubal [online]. [cit. 2021-527]. Dostupné z:

<https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

[2] ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004

[3] ČSN EN 1991-1-4 ED.2, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2020

[4] ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2013

[5] ČSN ISO 12494. Zatížení konstrukcí námrazou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[6] ČSN EN 1990 ED.2 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2015

[7] ČSN EN 1993-1-1 ED. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[8] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. Statika stavebních konstrukcí I. 2. vyd. V Brně: VUTUM, 2001. ISBN 80-214-1877-X.

Seznam obrázků

Obrázek 1.1. – Umístění rozhledny na turistické mapě	11
Obrázek 1.2. – Prostorový a boční pohled na architektonický návrh rozhledny	12
Obrázek 1.3.a – Dispozice – půdorysy konstrukce v jednotlivých patrech	13
Obrázek 1.3.b – Dispoziční řešení 8. patra	14
Obrázek 1.3.c – Konstrukční řešení podchodné výšky	15
Obrázek 1.6. – Konstrukční systém	16
Obrázek 1.6.1. - Průřez profilu středového sloupu	17
Obrázek 1.6.2.a - Průřez profilu vnější diagonály	17
Obrázek 1.6.2.b - Průřez profilu vnější diagonály 1NP a 2NP v M6 a M7	17
Obrázek 1.6.3. - Průřez profilu obvodového ztužidla	18
Obrázek 1.6.4. - Průřez profilu nosníku spojující středový sloup, obvodové ztužidlo a diagonály	18
Obrázek 1.6.5. - Průřez profilu nosníku vynášející vyhlídkovou plošinu	18
Obrázek 1.6.6. - Průřez profilu schodišťového nosníku	19
Obrázek 1.6.8. Průřez profilu vzpěry	19
Obrázek 2. – Lokální osy vnějších diagonál	22
Obrázek 3.3.a – Mapa větrových oblastí [1]	28
Obrázek 3.3.b – Zatížení větrem na konstrukci – zatěžovací stavy	29
Obrázek 3.3.1.a – Ilustrační obrázek kategorie terénu II [3]	31
Obrázek 3.3.1.b – Zatížení konstrukce větrem vodorovnými pásy	33
Obrázek 3.3.3.1.a – Rozdělení tlaku pro válce s kruhovým průřezem, pro různé rozsahy Reynoldsova čísla a bez vlivu proudění kolem volných konců [3]	35
Obrázek 3.3.3.1.b – Směrné hodnoty součinitele koncového efektu $\psi\lambda$ jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ [3]	36
Obrázek 3.3.3.1.c – Definice součinitele plnosti φ [3]	36
Obrázek 3.3.3.2. – Součinitel síly c_f , 0 pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b [3]	40
Obrázek 3.5. – Mapa sněhových oblastí [1]	45

Obrázek 3.6.1.a – Mapa třídy námraz [5]	46
Obrázek 3.6.1.b – Součinitel výšky Kh [5]	47
Obrázek 3.6.1.c – Model narůstání námrazy [5]	48
Obrázek 3.6.2. - Model ledovky [5]	50
Obrázek 4.1.1.a – Úhel vybraných diagonál 7NP s vertikálou	51
Obrázek 4.1.1.b – Úhel mezi vybranými diagonálami 7NP	51
Obrázek 4.1.1.c – Dvě síly se společným působištem [8]	52
Obrázek 4.1.2. – M1 – Vnitřní normálové síly na vybraných diagonálách 7NP vypočtené programem	52
Obrázek 4.1.4.– Podporové reakce vypočtené programem	53
Obrázek 4.1.6.– M1 - Diagonála N76	54
Obrázek 5.2.1. – Posudek M1 na MSÚ	63
Obrázek 5.2.2. – Posudek M2 na MSÚ	64
Obrázek 5.2.3. – Posudek M3 na MSÚ	65
Obrázek 5.2.4. – Posudek M4 na MSÚ	66
Obrázek 5.2.5. – Posudek M5 na MSÚ	67
Obrázek 5.2.6. – Posudek M6 na MSÚ	68
Obrázek 5.2.7. – Posudek M7 na MSÚ	69
Obrázek 5.3.a – Označení významných uzlů pro posun a pootočení u M1	70
Obrázek 5.3.b – Označení významných uzlů pro posun a pootočení u M2 – M8	71
Obrázek 6.3.1.a – Posudek schodiště M2 na MSP	72
Obrázek 6.3.1.b – Posudek plošin M2 na MSP	72
Obrázek 6.3.2.a – Posudek schodiště M6 na MSP	73
Obrázek 6.3.2.b – Posudek plošin M6 na MSP	73
Obrázek 6.3.3.a – Posudek schodiště M7 na MSP	74
Obrázek 6.3.3.b – Posudek plošin M7 na MSP	74
Obrázek 6.3.4.a – Posudek schodiště M8 na MSP	75
Obrázek 6.3.4.b – Posudek plošin M8 na MSP	75

Seznam tabulek

Tabulka 3.1.1.a – vlastní tíha konstrukce M1 – M5 generována programem	23
Tabulka 3.1.1.b – vlastní tíha konstrukce M6-M8 generována programem	23
Tabulka 3.1.1.c – vlastní tíha konstrukce vypočítána ručně	24
Tabulka 3.2.1. – Užité kategorie [2]	25
Tabulka 3.2.2. – Užité zatížení stropních konstrukcí, balkonů a schodišť pozemních staveb [2]	26
Tabulka 3.2.3. – Užité vodorovné zatížení zábradlí [2]	27
Tabulka 3.3.1.a – Kategorie terénů a jejich parametry [3]	31
Tabulka 3.3.1.b – Výpočet součinitele orografie	32
Tabulka 3.3.1.c – Výpočet střední rychlosti větru, drsnosti terénu, intenzity turbulence větru a maximálního dynamického tlaku	33
Tabulka 3.3.2. – Výpočet maximální rychlosti větru a Reynoldsova čísla na konstrukci	35
Tabulka 3.3.3.1.a – Výpočet součinitele plnosti φ konstrukce	37
Tabulka 3.3.3.1.b – Výpočet štíhlosti prvků	37
Tabulka 3.3.3.1.c – Typické hodnoty pro rozdělení tlaku na kruhových válkách pro různé hodnoty Reynoldsova čísla bez vlivu proudění kolem volných konců [3]	38
Tabulka 3.3.3.1.d – Vypočtené hodnoty pro rozdělení tlaku na profil ROR298,5 pro různé hodnoty Reynoldsova čísla bez vlivu proudění kolem volných konců	38
Tabulka 3.3.3.1.e – Vypočtené hodnoty pro rozdělení tlaku na profil ROR121 pro hodnotu Reynoldsova čísla $Re = 5 \cdot 10^5$ bez vlivu proudění kolem volných konců	38
Tabulka 3.3.3.1.f – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR298,5	39
Tabulka 3.3.3.1.g – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR121	39
Tabulka 3.3.3.2.a – Součinitel κ pro svislé válce v řadě [3]	40

Tabulka 3.3.3.2.b – Ekvivalentní drsnost povrchu k	41
Tabulka 3.3.3.2.c – Vypočtené hodnoty součinitele síly pro ROR298,5	41
Tabulka 3.3.3.2.d – Vypočtené hodnoty součinitele síly pro ROR121	41
Tabulka 3.3.3.2.e – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli síly na profil ROR298,5.....	42
Tabulka 3.3.3.2.f – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli síly na profil ROR121.....	42
Tabulka 3.3.4.a – Porovnání zatížení větrem na profil ROR298,5 s použitím různých součinitelů	42
Tabulka 3.3.4.b – Porovnání zatížení větrem na profil ROR121 s použitím různých součinitelů	43
Tabulka 3.4.a – Součinitele c_p <i>ice</i> pro ledovku na tyčích [5]	43
Tabulka 3.4.b – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR298,5 s ledovkou	44
Tabulka 3.4.c – Vypočtené výsledné hodnoty zatížení větrem se součiniteli vnějších tlaků na profil ROR121 s ledovkou	44
Tabulka 3.5. – Tvarové součinitele zatížení sněhem	45
Tabulka 3.6.1.a – Třídy námraz (ICR) [5]	47
Tabulka 3.6.1.b – Typické vlastnosti námrazy [5]	48
Tabulka 3.6.1.c – Výpočet zatížení námrazou.....	49
Tabulka 3.6.2.a – Třídy ledovky (ICG) [5].....	49
Tabulka 3.6.2.b – Výpočet hmotnosti ledovky	50
Tabulka 4.1.3.– Výpočet momentu v patě sloupu od větru	53
Tabulka 4.1.6. – Vnitřní síly - M1 – Diagonála N76.....	54
Tabulka 4.2.a – Návrhové hodnoty zatížení pro MSÚ	55
Tabulka 4.2.b– Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby [6]	55
Tabulka 4.2.c – Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro zatížení námrazou[6]	56
Tabulka 4.2.1.a– K1 – Přehled zatěžovacích stavů v letním období pro M1 a M3.....	56
Tabulka 4.2.1.b– K2 – Přehled zatěžovacích stavů v zimním období pro M2, M4, M6 a M7	56

Tabulka 4.2.1.c– K3 – Přehled zatěžovacích stavů v zimním období bez užitého pro M5	56
Tabulka 4.2.1.d– K4 – Přehled zatěžovacích stavů v lehkém zimním období pro M8 ..	56
Tabulka 5.1.a – M1 - Klíč kombinace MSÚ pro diagonály 7NP	57
Tabulka 5.1.b– Geometrické charakteristiky rovinných obrazců – mezikruží [8]	57
Tabulka 5.1.c – Zatřídění průřezu – ruční výpočet	57
Tabulka 5.1.d– Zatřídění průřezu – výpočet programem.....	57
Tabulka 5.1.1.a– Posudek na tlak – ruční výpočet	58
Tabulka 5.1.1.b– Posudek na tlak – výpočet programem.....	58
Tabulka 5.1.2.a– Křivka vzpěrné pevnosti [7].....	59
Tabulka 5.1.2.b– Doporučené hodnoty součinitelů imperfekce pro křivky klopení [7].	59
Tabulka 5.1.2.c– Posudek rovinného vzpěru – ruční výpočet	59
Tabulka 5.1.2.e– Posudek rovinného vzpěru – výpočet programem.....	60
Tabulka 5.1.3.a – Posudek smyku pro V_y – ruční výpočet	60
Tabulka 5.1.3.b– Posudek smyku pro V_y – výpočet programem.....	61
Tabulka 5.1.3.c– Posudek smyku pro V_z – ruční výpočet	61
Tabulka 5.1.3.d– Posudek smyku pro V_z – výpočet programem	61
Tabulka 5.1.4.a– Posudek ohybového momentu pro M_y – ruční výpočet	61
Tabulka 5.1.4.b– Posudek ohybového momentu pro M_y – výpočet programem.....	62
Tabulka 5.1.4.c– Posudek ohybového momentu pro M_z – ruční výpočet.....	62
Tabulka 5.1.4.d– Posudek ohybového momentu pro M_z – výpočet programem	62
Tabulka 5.2.1. – Posudek a klíč kombinace M1 na MSÚ	63
Tabulka 5.2.2. – Posudek a klíč kombinace M2 na MSÚ	64
Tabulka 5.2.3. – Posudek a klíč kombinace M3 na MSÚ	65
Tabulka 5.2.4. – Posudek a klíč kombinace M4 na MSÚ	66
Tabulka 5.2.5. – Posudek a klíč kombinace M5 na MSÚ	67
Tabulka 5.2.6. – Posudek a klíč kombinace M6 na MSÚ	68
Tabulka 5.2.7. – Posudek a klíč kombinace M7 na MSÚ	69
Tabulka 6.3.1.a– M2 - Klíč kombinace MSP pro schodiště i plošiny	72
Tabulka 6.3.1.b– M2 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP	72

Tabulka 6.3.1.c– M2 – Celkový posudek plošin na MSP.....	72
Tabulka 6.3.2.a – M6 – Klíč kombinace MSP pro schodiště	73
Tabulka 6.3.2.b– M6 – Klíč kombinace MSP pro plošiny	73
Tabulka 6.3.2.c– M6 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP	73
Tabulka 6.3.2.d– M6 – Celkový posudek plošin na MSP	73
Tabulka 6.3.3.a– M7 – Klíč kombinace MSP pro schodiště	74
Tabulka 6.3.3.b– M7 – Klíč kombinace MSP pro plošiny	74
Tabulka 6.3.3.c– M7 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP	74
Tabulka 6.3.3.d– M7 – Celkový posudek plošin na MSP	74
Tabulka 6.3.4.a– M8 – Klíč kombinace MSP pro schodiště	75
Tabulka 6.3.4.b– M8 – Klíč kombinace MSP pro plošiny	75
Tabulka 6.3.4.c– M8 – Celkový posudek schodišťového nosníku na MSP	75
Tabulka 6.3.4.d– M8 – Celkový posudek plošin na MSP	75