

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Karolína Košvancová

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Statický přepočet stožáru v Pardubicích ve Starých Čivicích

Bc. Karolína Košvancová

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karolína Košvancová**
Osobní číslo: **D18511**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Statický přepočít stozáru v Pardubicích ve Starých Čivicích**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Statický přepočít stozáru v Pardubicích ve Starých Čivicích, který je kotvený ve třech výškových úrovních pomocí předepnutých lan. Rozsah bude v průběhu práce upřesněn na konzultacích s vedoucím DP.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 1990

ČSN EN 1991

ČSN EN 1993

KOZÁK, Jiří, Ocelové stožáry a věže, 1. vydání, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 474 s., ISBN 80-03-00374-1

STUDNIČKA, Jiří, Navrhování nosných konstrukcí – Ocelové konstrukce, 1. vydání, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014, 120 s., ISBN 978-80-01-05490-1

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce: **26. října 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **31. ledna 2020**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2019

Prohlašuji:

Tuto práci s názvem Statický přepoččet stožáru v Pardubicích ve Starých Čivcích jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 21. 08. 2021

Bc. Karolína Košvancová

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat doc. Ing. Ladislavu Řoutilovi, Ph.D. za čas, ochotu, trpělivost a cenné rady při vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Janu Špačkovi za cenné pracovní zkušenosti, umožnění studia a zapůjčení licencí potřebných programů pro zpracování této diplomové práce. V neposlední řadě patří díky všem, kteří mě během dlouhé cesty mým studiem, podporovali.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na statický přepočít telekomunikačního stožáru postaveného ze stavebnicového systému Swesite od společnosti Cue Dee AB a kotveného předepjatými lany, který je umístěn v Pardubicích ve Starých Čivcích. Hlavním konstrukčním materiálem je ocel S355. Zatížení stožáru je určeno v souladu s normami ČSN EN. Zatížení kotevních lan je do výpočtového modelu vneseno pomocí adekvátních tahových sil vznikajících od příčného zatížení působením „řetězovky“. Výpočtový model je vytvořen a posuzován v programech SCIA Engineer a FIN EC Ocel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Statický přepočít, Stožár, Ocel, Předpětí, Řetězovka

TITLE

Static recalculation of the mast in Pardubice – Staré Čivice

ANNOTATION

The diploma thesis focuses on the static recalculation of the telecommunication mast in Pardubice – Staré Čivice, which is built of the modular system Swesite from the company Cue Dee AB and which is anchored by prestressed cables. The main structural material is steel S355. Loads are defined in agreement with ČSN EN standards. Loading of prestressed cables is including into static model by adequate tensile forces by „catenary“. Static model is create and assessment in the programs SCIA Engineer and FIN EC Steel.

KEYWORDS

Static recalculation, Mast, Steel, Prestressed, Catenary

Obsah

POUŽITÉ SYMBOLY	13
0. Úvod.....	27
1. Popis konstrukce	28
1.1. Systém Swesite.....	31
1.1.1. Dílec K-600.....	31
1.1.2. Střešní rám kontejneru typu E.....	32
1.1.3. Základy konstrukce	32
1.1.4. Bariéra vůči lezení pro typ dílců K-600.....	33
1.1.5. Světelné překážky	33
1.1.6. Systém ochrany proti pádu.....	34
2. Zatížení konstrukce dle ČSN EN.....	34
2.1. Stálá zatížení	34
2.1.1. Vlastní tíha konstrukce	35
2.1.2. Ostatní stálá zatížení	35
2.1.3. Zatížení telekomunikačními technologie	36
2.1.4. Předpětí kotevních lan.....	39
2.2. Proměnná zatížení	41
2.2.1. Klimatické zatížení větrem	42
2.2.1.1. Maximální dynamický tlak.....	43
2.2.1.2. Tvarový součinitel na holou část konstrukce	47
2.2.1.3. Tvarový součinitel liniového příslušenství.....	51
2.2.1.4. Celkový tvarový součinitel konstrukce	51
2.2.1.5. Tvarový součinitel osamělého příslušenství.....	52
2.2.1.6. Tvarový součinitel kotevních lan	52
2.2.1.7. Ověření možnosti použití ekvivalentní statické metody.....	53
2.2.1.8. Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody	55
2.2.1.9. Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody.....	57
2.2.1.10. Celkové zatížení větrem	59
2.2.2. Zatížení námrazou.....	63
2.2.2.1. Zatížení vlastní tíhou námrazy	64
2.2.2.1.1. Zatížení vlastní tíhou námrazy na konstrukci stožáru	66
2.2.2.1.2. Zatížení vlastní tíhou námrazy na liniovém příslušenství	67
2.2.2.1.3. Zatížení vlastní tíhou námrazy na osamělém příslušenství	68
2.2.2.1.4. Zatížení vlastní tíhou námrazy na kotevních lanech.....	69

2.2.2.2.	Zatížení větrem na konstrukci s námrazou	69
2.2.2.2.1.	Tvarový součinitel na holou část konstrukce	70
2.2.2.2.2.	Tvarový součinitel liniového příslušenství.....	71
2.2.2.2.3.	Celkový tvarový součinitel konstrukce	71
2.2.2.2.4.	Tvarový součinitel osamělého příslušenství.....	71
2.2.2.2.5.	Tvarový součinitel kotevních lan	72
2.2.2.2.6.	Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody	72
2.2.2.2.7.	Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody.....	73
2.2.2.2.8.	Celkové zatížení větrem	75
2.2.3.	Zatížení teplotou	78
2.3.	Mimořádná zatížení.....	81
2.3.1.	Pád obsluhy.....	81
2.3.2.	Přetržení kotevních lan	82
2.3.3.	Seizmické zatížení.....	85
2.3.3.1.	Zjednodušený rovinný výpočtový model	86
2.3.3.2.	Ověření možnosti využití metody výpočtu pomocí příčných sil.....	90
2.3.3.3.	Metoda výpočtu pomocí příčných sil	90
2.3.4.	Zatížení větrem pro rozkmit napětí únavového zatížení.....	93
2.3.4.1.	Maximální dynamický tlak větru pro rozkmit únavového napětí.....	94
2.3.4.2.	Střední zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí dle ekvivalentní statické metody	97
2.3.4.3.	Náhradní zatížení větrem pro rozkmit únavového zatížení dle ekvivalentní statické metody	99
2.3.4.4.	Celkové zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí	100
3.	Kombinace zatížení.....	103
3.1.	Mezní stavy použitelnosti.....	104
3.2.	Mezní stavy únosnosti	104
3.3.	Mimořádné mezní stavy	104
3.4.	Kombinace zatížení pro seizmické návrhové situace.....	104
3.5.	Výpis použitých mezních stavů.....	105
4.	Rovnice řetězovky	108
4.1.3.	Celkové zatížení větrem na konstrukci s námrazou	123
4.1.4.	Zatížení při přetržení lana.....	130
4.1.5.	Zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí.....	134
5.	Výpočet.....	139
5.1.	Výpis vnitřních sil a posouzení využití	140

5.2. Posouzení spojů.....	188
5.3. Natočení konstrukce.....	190
6. Závěr	190
Použité zdroje.....	192

POUŽITÉ SYMBOLY

2. kapitola:

2.1.4. Předpětí kotevních lan

Malá písmena:

l	vodorovné rozpětí
n	počet stejných drátů nebo pramenů, ze kterých je lano vyrobeno
w	jednotková tíha lana

Velká písmena:

A	plocha průřezu kotevního lana
E	modul pružnosti lana
E_t	účinný modul pružnosti lana
L	původní délka kotevního lana

Řecká písmena:

ΔL	změna délky kotevního lana
$\varepsilon_{teoret.}$	teoretické poměrné prodloužení
$\sigma_{(G+P)}$	napětí v laně od vlastní tíhy a předpětí

2.2.1.1. Maximální dynamický tlak

Malá písmena:

c_{dir}	součinitel směru větru
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu
c_{season}	součinitel ročního období
$c_0(z)$	součinitel orografie
k_l	součinitel turbulence
k_r	součinitel terénu
$l_v(z)$	intenzita turbulence
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak
v_b	základní rychlost větru

$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru
$v_m(z)$	střední rychlost větru
z	výška nad terénem
$z_{0,x}$	parametr příslušné x-té kategorie terénu

Řecká písmena:

ρ	měrná hmotnost vzduchu
--------	------------------------

2.2.1.4. Tvarový součinitel na holou část konstrukce

Malá písmena:

b	šířka stožáru
$c_{f,0,c}$	tvarový součinitel pro kruhové průřezy
$c_{f,s}$	celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce pro jednotlivé směry větru
$c_{f,s,0}$	celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce
c_1	součinitel pro výpočet tvarového součinitele pro holou část konstrukce
c_2	součinitel pro výpočet tvarového součinitele pro holou část konstrukce
q_p	maximální dynamický tlak
$v(z_e)$	maximální rychlost větru

Velká písmena:

A_c	celkový kolmý průmět plochy kruhových prvků v podkritickém režimu
$A_{c,sup}$	celkový kolmý průmět plochy kruhových prvků v nadkritickém režimu
A_f	celkový kolmý průmět plochy plochých prvků
A_s	celkový kolmý průmět plochy všech prvků
A_T	plocha ohraničená okraji čelní plochy, promítnutá kolmo k čelní ploše
K_A	redukční součinitel stínění
K_1	součinitel pro výpočet součinitele úhlu náběhu větru
K_2	součinitel pro výpočet součinitele úhlu náběhu větru
K_θ	součinitel úhlu náběhu větru
Re	Reynoldsovo číslo

Řecká písmena:

θ	úhel náběhu větru
ν	kinematická viskozita vzduchu
ρ	měrná hmotnost vzduchu
φ	součinitel plnosti

2.2.1.3. Tvarový součinitel liniového příslušenství

Malá písmena:

$c_{f,A,0}$	tvarový součinitel liniového příslušenství
$c_{f,A}$	celkový tvarový součinitel liniového příslušenství

Řecká písmena:

ψ	úhel směru větru k podélné ose liniového prvku
--------	--

2.2.1.4. Celkový tvarový součinitel konstrukce

Malá písmena:

c_f	celkový tvarový součinitel přepočítaný na plochu
$c_{f,A}$	celkový tvarový součinitel liniového příslušenství
$c_{f,S}$	celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce pro jednotlivé směry větru

Velká písmena:

A_A	plocha liniového příslušenství
A_S	celkový kolmý průmět plochy všech prvků

2.2.1.5. Tvarový součinitel osamělého příslušenství

Malá písmena:

$c_{f,OP}$	celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství
$c_{f,OP,0}$	tvarový součinitel osamělého příslušenství

Velká písmena:

K_A	redukční součinitel stínění
-------	-----------------------------

2.2.1.6. Tvarový součinitel kotevních lan

Malá písmena:

$c_{f,G}$ celkový tvarový součinitel kotevních lan

$c_{f,G,0}$ tvarový součinitel kotevních lan

Řecká písmena:

ψ úhel směru větru k podélné ose liniového prvku

2.2.1.7. Ověření možnosti použití ekvivalentní statické metody

Malá písmena:

h rozteč mezi kotvenými

m_0 průměrná hmotnost stožáru na jednotku délky

Velká písmena:

A_{Gi} plocha průřezu kotevních lan v jednotlivých kotevních úrovních

D_0 průměrná šířka stožáru

E_{Gi} osový modul pružnosti lana

E_m modul pružnosti stožáru

H výška stožáru včetně horní konzoly

H_{Gi} výška jednotlivých kotevních úrovní nad terénem

I_m průměrný moment setrvačnosti stožáru

K_{Gi} pomocný parametr jednotlivých kotevních úrovní

L délka horní konzoly

L_{Gi} délka kotevních lan jednotlivých kotevních úrovní

L_S průměrná vzdálenost mezi kotevními úrovněmi

N počet kotevních úrovní

N_i počet lan v jednotlivých kotevních úrovních

Q parametr kritéria pro statickou metodu

R průměrný aerodynamický odpor vzduchu

V_H střední hodnota rychlosti větru ve vrcholu stožáru

Řecká písmena:

α_{Gi}	sklon osy tětiny kotevního lana vůči vodorovné rovině
β_S	parametr kritéria pro statickou metodu

2.2.1.8. Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Malá písmena:

$c_f(z)$	celkový tvarový součinitel na stožár včetně liniového příslušenství
$c_{f,OP}(z)$	celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství
$c_{f,G}$	celkový tvarový součinitel kotevních lan
$c_0(z)$	součinitel orografie
$l_v(z)$	intenzita turbulence
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak

Velká písmena:

A_G	plocha podélného průřezu lana v místě největší tloušťky
$A_{OP}(z)$	plocha osamělého příslušenství
$A_S(z)$	celkový kolmý průmět plochy všech prvků
$F_{G,w}$	střední zatížení větrem kotevních lan
$F_{m,w}$	střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství
$F_{OP,w}$	střední zatížení větrem osamělých příslušenství

2.2.1.9. Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Malá písmena:

$c_f(z)$	celkový tvarový součinitel na stožár včetně liniového příslušenství
$c_{f,G}(z)$	celkový tvarový součinitel kotevních lan
$c_{f,OP}(z)$	celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství
$c_0(z)$	součinitel orografie
$l_v(z)$	intenzita turbulence
k_S	součinitel maximální hodnoty

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak

Velká písmena:

A_G plocha podélného průřezu lana v místě největší tloušťky

A_{OP} plocha osamělého příslušenství

$A_s(z)$ celkový kolmý průmět plochy všech prvků

$F_{OP,w}$ náhradní zatížení větrem osamělého příslušenství

F_{PG} náhradní zatížení kotevních lan

$F_{P,w}$ náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové zatížení

2.2.1.10. Celkové zatížení větrem

Velká písmena:

S_M účinky středního zatížení větrem

S_p účinky náhradního zatížení větrem

S_{TM} celkové účinky zatížení

3. kapitola:

2.2.2.1.1. Zatížení vlastní tíhou námrazy na konstrukci stožáru

Malá písmena:

d průměr kruhového prvku

g_n tíha námrazy na kruhových prvcích

tl_n tloušťka námrazy

Velká písmena:

S_d plocha příčného řezu kruhového prvku

S_n plocha námrazy v příčném řezu

S_{n+d} plocha příčného řezu namrzlého kruhového prvku

Řecká písmena:

Υ_n objemová hmotnost námrazy

2.2.2.1.2. Zatížení vlastní tíhou námrazy na liniovém příslušenství

Malá písmena:

g_n tíha námrazy na kabelové trase

h hloubka kabelové trasy

\check{s} šířka kabelové trasy

Velká písmena:

S_k plocha kabelové trasy v příčném řezu

S_n plocha námrazy v příčném řezu

S_{n+k} plocha namrzlé kabelové trasy

Řecká písmena:

Υ_n objemová hmotnost námrazy

2.2.2.1.3. Zatížení vlastní tíhou námrazy na osamělém příslušenství

Malá písmena:

h hloubka panelové antény

\check{s} šířka panelové antény

tl_n tloušťka námrazy

v výška panelové antény

Velká písmena:

F_n síla odpovídající tíze námrazy na anténě

S_{MW} plocha mikrovlnné antény

S_n plocha námrazy v příčném řezu

S_{n+p} plocha příčného řezu namrzlé panelové antény

S_p plocha příčného řezu panelové antény

Řecká písmena:

Υ_n objemová hmotnost námrazy

2.2.2.1.4. Zatížení vlastní tíhou námrazy na kotevních lanech

Malá písmena:

d	průměr kotevního lana
g_n	tíha námrazy na kotevních lanech
tl_n	tloušťka námrazy

Velká písmena:

S_d	plocha příčného řezu kotevního lana
S_{d+n}	plocha příčného řezu namrzlého kotevního lana
S_n	plocha námrazy v příčném řezu

Řecká písmena:

Υ_n	objemová hmotnost námrazy
--------------	---------------------------

2.2.2.2.1. Tvarový součinitel na holou část konstrukce

Malá písmena:

$c_{f,0,c}$	tvarový součinitel pro kruhové průřezy
$c_{f,S}$	celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce pro jednotlivé směry větru
$c_{f,S,0}$	celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce

Velká písmena:

A_c	celkový kolmý průmět plochy kruhových prvků v podkritickém režimu
$A_{c,sup}$	celkový kolmý průmět plochy kruhových prvků v nadkritickém režimu
A_f	celkový kolmý průmět plochy plochých prvků
A_S	celkový kolmý průmět plochy všech prvků
K_1	součinitel pro výpočet součinitele úhlu náběhu větru
K_θ	součinitel úhlu náběhu větru
Re	Reynoldsovo číslo

Řecká písmena:

φ	součinitel plnosti
-----------	--------------------

2.2.2.2.2. Tvarový součinitel liniového příslušenství

Malá písmena:

$c_{f,A}$ celkový tvarový součinitel liniového příslušenství

2.2.2.2.3. Celkový tvarový součinitel konstrukce

Malá písmena:

c_f celkový tvarový součinitel přepočítaný na plochu

2.2.2.2.4. Tvarový součinitel osamělého příslušenství

Malá písmena:

$c_{f,OP}$ celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství

2.2.2.2.5. Tvarový součinitel kotevních lan

Malá písmena:

$c_{f,G}$ celkový tvarový součinitel kotevních lan

2.2.2.2.6. Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Velká písmena:

$F_{G,w}$ střední zatížení větrem kotevních lan

$F_{m,w}$ střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství

$F_{OP,w}$ střední zatížení větrem osamělých příslušenství

2.2.2.2.7. Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Velká písmena:

$F_{OP,w}$ náhradní zatížení větrem osamělých břemen

F_{PG} náhradní zatížení větrem kotevních lan

$F_{P,w}$ náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové zatížení

2.2.2.2.8. Celkové zatížení větrem

Velká písmena:

$F_{TM,w}$	celkové účinky zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství
$F_{TM,OP,w}$	celkové účinky zatížení větrem osamělých břemen
$F_{PG,w}$	celkové účinky zatížení větrem kotevnicích lan

2.2.3. Zatížení teplotou

Malá písmena:

l_0 původní délka

Velká písmena:

T_{max}	maximální teplota vzduchu ve stínu
T_{min}	minimální teplota vzduchu ve stínu
$T_{out,léto}$	teplota vzduchu vnějšího prostředí v létě
$T_{out,zima}$	teplota vzduchu vnějšího prostředí v zimě
T_4	pomocný teplotní součinitel
T_5	pomocný teplotní součinitel

Řecká písmena:

α	součinitel teplotní roztažnosti
Δl	změna délky vyvolaná změnou teploty
ΔT	změna teploty
ΔT_u	změna rovnoměrné složky teploty
$\Delta T_{u,léto}$	změna rovnoměrné složky teploty v létě
$\Delta T_{u,zima}$	změna rovnoměrné složky teploty v zimě

2.3.3. Seizmické zatížení

Malá písmena:

a_g	návrhové zrychlení podloží
$a_{g,R}$	návrhové zrychlení základové půdy
f	vlastní frekvence

l	délka kotevních lan
m	celková hmotnost stavby nad základovou spárrou
$m_{i/j}$	hmotnost stavby do i-tého dílce
n	počet kotevních lan
q	součinitel duktility
$s_{i/j}$	posuny hmot v základním tvaru kmitání

Velká písmena:

A_C	plocha příčného řezu kotevním lanem
E_{eq}	ekvivalentní modul pružnosti
F_b	základní seizmická smyková síla
F_i	vodorovná síla působící v i-tém dílci
$K_{eff,h}$	vodorovná složka tuhosti kotevních lan v jednotlivých výškových úrovních
T	perioda
T_C	největší perioda kmitů, které přísluší konst. hodnota spektra pružného zrychlení
T_1	základní perioda vlastních kmitů
S	součinitel podloží
$S_d(T)$	návrhové spektrum
$S_d(T_1)$	pořadnice návrhového spektra při periodě kmitu T_1

Řecká písmena:

α	sklon osy tětiny kotevního lana vůči vodorovné rovině
β	spodní mez součinitele pro vodorovné návrhové spektrum
γ_{ocel}	objemová hmotnost oceli
γ_1	součinitel spolehlivosti
γ_1	součinitel spolehlivosti
λ	opravný součinitel
ω	úhlová frekvence

2.3.4.1. Maximální dynamický tlak větru pro rozkmit únavového napětí

Malá písmena:

$c_e(z)$	součinitel expozice
$c_s c_d$	součinitel konstrukce
$l_v(z)$	intenzita turbulence
q_b	základní dynamický tlak větru
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak
$q_{p,rozkmít}(z)$	maximální dynamický tlak pro rozkmit únavového napětí
$v_b(z)$	základní rychlost větru
$v_{rozkmít}$	rozkmit rychlosti větru

Velká písmena:

G	součinitel odezvy napětí
-----	--------------------------

Řecká písmena:

ρ	měrná hmotnost vzduchu
--------	------------------------

2.3.4.2. Střední zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí dle ekvival. stat. metody

Velká písmena:

F_{Gw}	střední zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového napětí
$F_{m,w}$	střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství pro rozkmit únavového napětí
$F_{OP,w}$	střední zatížení větrem osamělých příslušenství pro rozkmit únavového napětí

2.3.4.3. Náhradní zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí dle ekvival. stat. metody

Velká písmena:

$F_{OP,w}$	náhradní zatížení větrem osamělých příslušenství pro rozkmit únavového napětí
F_{PG}	náhradní zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového napětí
$F_{P,w}$	náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství pro rozkmit únavového napětí

2.3.4.4. Celkové zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí

$F_{TM,OP,w}$	celkové účinky zatížení větrem osamělých břemen pro rozkmit únavového napětí
$F_{TM,w}$	celkové účinky zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství pro rozkmit únavového napětí
$F_{PG,w}$	celkové účinky zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového napětí

5. kapitola

Malá písmena:

a	účinná výška svaru
f_u	jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části svaru
f_{ub}	mez pevnosti šroubu
$f_{vw,d}$	návrhová pevnost svaru ve smyku
f_y	mez kluzu
$i_{y/z}$	poloměry setrvačnosti
k_2	součinitel charakteristiky šroubu
l	délka svaru
n	počet šroubů

Velká písmena:

A	průřezová plocha
A_{eff}	účinná plocha průřezu
A_s	plocha šroubu účinná v tahu
A_V	smyková plocha
E	modul pružnosti v tahu a tlaku
F_{Ed}	návrhová hodnota osově síly v laně
F_k	charakteristická hodnota zkušební pevnosti taženého lana
F_{Rd}	návrhová hodnota únosnosti v tahu
$F_{t,Ed}$	návrhová tahová únosnost šroubu
$F_{t,Rd}$	únosnost šroubu v tahu
F_{uk}	charakteristická hodnota síly při přetržení

$F_{w,Ed}$	návrhová hodnota síly působící na jednotku délky svaru
$F_{w,Rd}$	návrhová únosnost svaru na jednotku délky
$I_{y/z}$	momenty setrvačnosti
L_{cr}	vzpěrná délka
$M_{x/y/z}$	ohybové momenty
N	normálová síla
$N_{b,Rd}$	návrhová vzpěrná únosnost tlačeného pruhu
N_{Ed}	návrhová osová síla
$V_{c,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku
V_{Ed}	návrhová smyková únosnost
$V_{pl,Rd}$	návrhová plastická únosnost ve smyku
$V_{y/z}$	posouvající síly
$W_{el.y/z}$	pružný modul průřezu
$W_{pl.y/z}$	plastický modul průřezu

Řecká písmena:

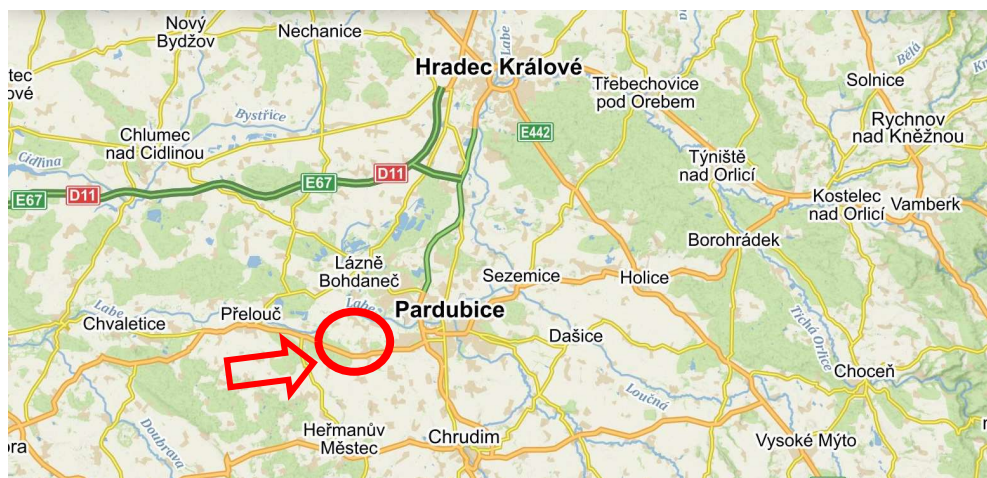
α	součinitel imperfekce
β_w	korelační součinitel
γ_{Mi}	dílčí součinitele
γ_R	dílčí součinitel
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
λ_1	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
Φ	hodnota pro výpočet součinitel vzpěrnosti
χ	součinitel vzpěrnosti

0. Úvod

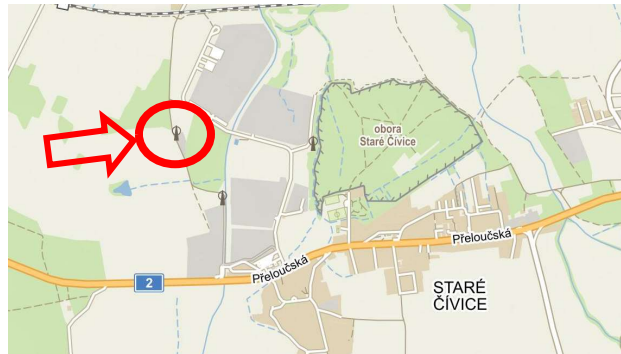
Předmětem této diplomové práce je statický přepočít telekomunikačního ocelového příhradového stožáru složeného ze stavebnicového systému Swesite od společnosti Cue Dee AB a kotveného předepjatými lany. Stožár je umístěn v Pardubicích ve Starých Čivicích v oblasti průmyslové zóny v blízkosti výrobní haly společnosti KYB Manufacturing Czech, s.r.o. Stožár je využíván pro umístění telekomunikační technologie společností Vodafone Czech Republic a.s.



Obrázek 1 - Celkový pohled na stožár



Obrázek 2 - Umístění stožáru - širší vztahy [29]

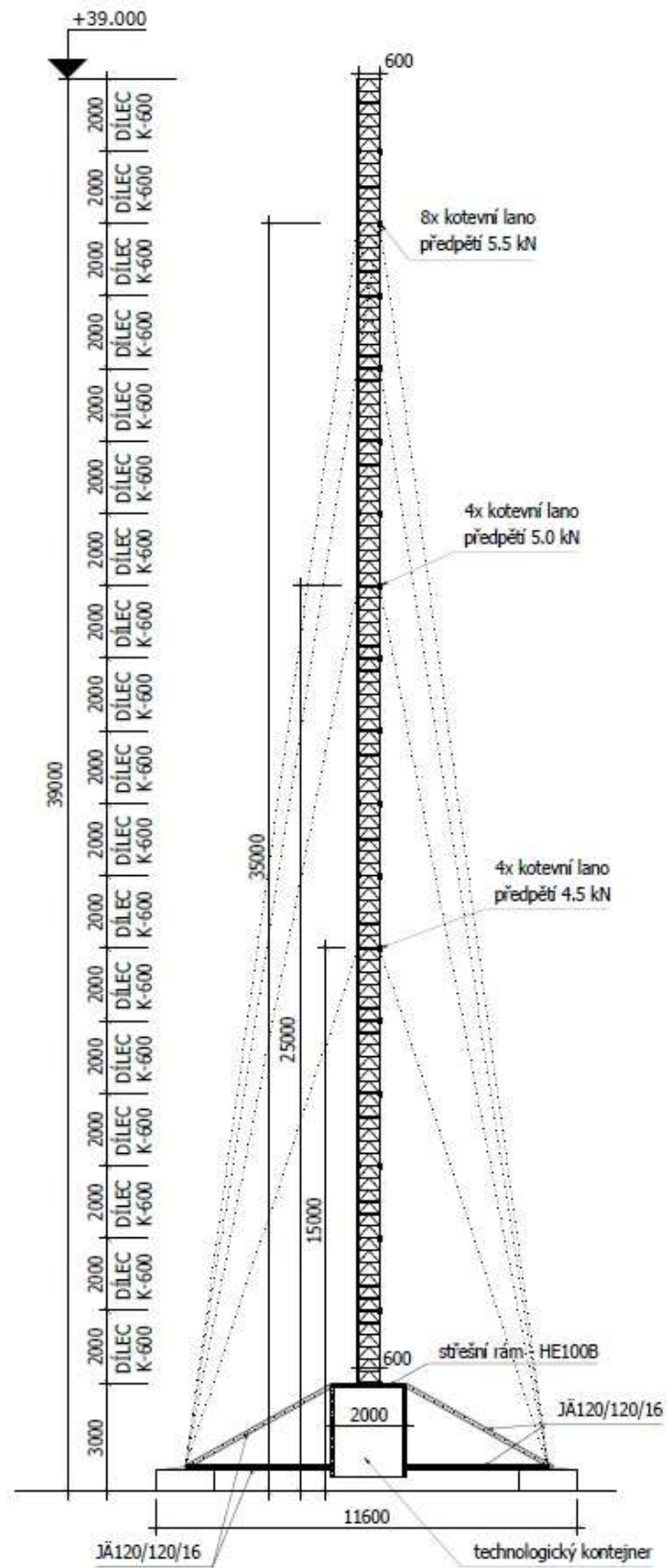


Obrázek 3 - Umístění stožáru - podrobnější poloha [29]

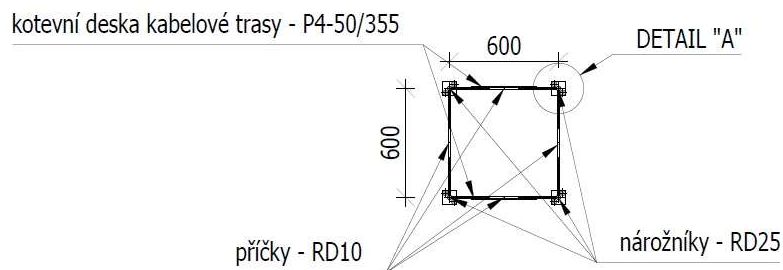
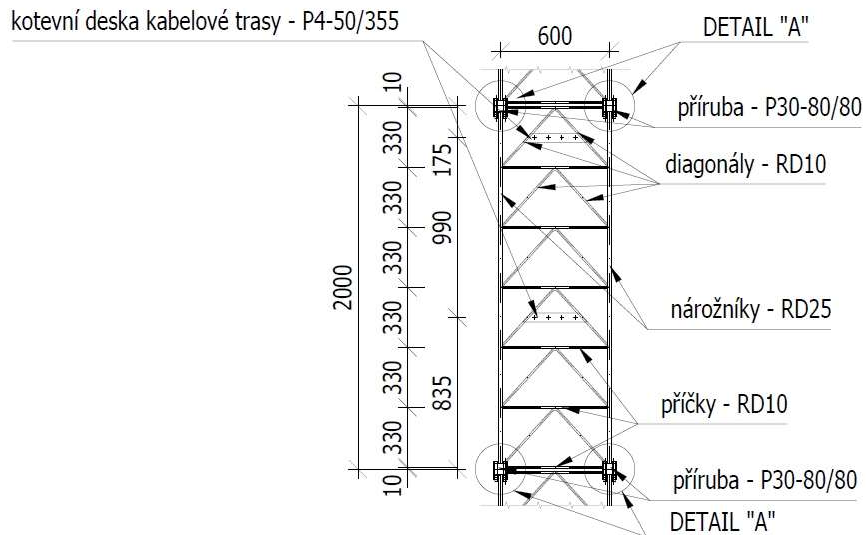
Zatížení konstrukce stožáru v této diplomové práci je provedeno pomocí souboru norem ČSN EN. Je uvažováno zatížení od vlastní tíhy stožáru, ostatní stálá zatížení od příslušenství stožáru a telekomunikačních technologií, zatížení větrem, námrazou, teplotou, zatížení způsobené pádem obsluhy, zatížení vyvolané možným přetržením lan, seismické zatížení a zatížení vyvolané únavou. Výpočtový model je vytvořen v programu SCIA Engineer. Následně je posuzován v programech SCIA Engineer a FIN EC Ocel. Zatížení kotevních lan je do tohoto výpočtového modelu vneseno pomocí adekvátních tahových sil vznikajících od příčného zatížení působením „řetězovky“. Na závěr je provedeno posouzení únosnosti stožáru včetně přípojí.

1. Popis konstrukce

Jedná se o čtyřboký příhradový stožár výšky 39 m, který je složený z 18 typových stavebnicových dílců K-600 systému Swesite od společnosti Cue Dee AB. Délka strany příhrady je 0,6 m. Výška jednotlivých dílců je 2 m. Nárožníky konstrukce jsou provedeny z plnostěnných tyčí RD25 z oceli S355 a příčky s diagonálami jsou provedeny z plnostěnných tyčí RD10 také z oceli S355. Nárožníky jednotlivých dílců jsou spojeny přes čelní plechy P30 pomocí vždy 2x šroubu M16 kategorie 8.8. Čelní plechy jsou k nárožníkům přivařeny pomocí koutových svarů výšky 4 mm. Stožár je namontovaný na střešním rámu z profilu HE100B technologického kontejneru ve výšce 3 m. Tento střešní rám je vzepřený vůči betonovým blokům pomocí vzpěr z profilu JÄ120/120/16. Stožár je ve třech výškových úrovních kotvený pomocí předepjatých lan kotvených k betonovým blokům. Ve výšce 35 m je použito 8 lan předepnutých silami 5,5 kN. Ve výšce 25 m a 15 m jsou použita vždy 4 lana, která jsou předepnuta silami 5 kN ve výšce 25 m a 4,5 kN ve výšce 15 m. Předepjatá lana jsou kategorie pevnosti 1770, což udává jmenovitou pevnost drátu v MPa, a jsou tvořeny 10 dráty. Průřezová plocha kovové části předepjatých lan je 68 mm².

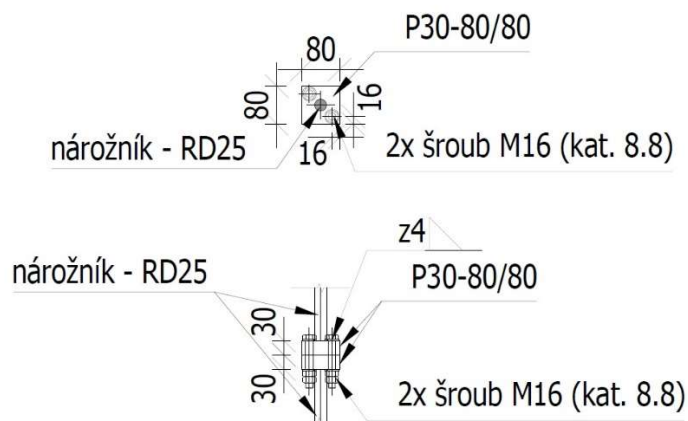


Obrázek 4 - Celkové schéma stožáru [30]



Obrázek 5 - Schéma dílce K-600 [30]

DETAIL "A"



Obrázek 6 - Schéma Detailu "A" [30]

1.1. Systém Swesite

Systém Swesite je stavebnicový koncept telekomunikačních stožárů od švédské společnosti Cue Dee AB, jehož výhodou je zejména kombinace jednotlivých dílců tak, aby stožár vyhovoval přesným požadavkům zákazníka. Další výhodou je, že se jedná o integrovaný systém, který řeší nejen samotný stožár, ale i příslušenství související s provozem instalovaných technologií. Výhodný je i fakt, že stožár je instalován na rám technologického kontejneru, což znamená, že ke stavbě stožáru postačí půdorysně malý prostor. Tento typ stožáru kotvený předepnutými lany lze v závislosti na povětrnostních podmínkách a zatížení anténami sestavit do výšky až 100 m. Stožár je složený ze dvoumetrových příhradových čtyřbokých dílců. V rámci tohoto konkrétního systému jsou k dispozici dílce K-600 s délkou strany 0,6 m, K-900 s délkou strany 0,9 m, K-1350 s délkou strany 1,35 m a dále přechodové dílce mezi jednotlivými délkami stran. Dále tento systém zahrnuje příslušenství jako například bariéru vůči lezení, osvětlení stožáru, základový systém, rám kontejneru atd.

1.1.1. Dílec K-600

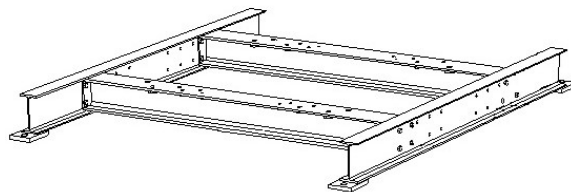
Stožár řešený v této práci je složený pouze z dílců K-600.

Dílec K-600	
Materiál	S355
Povrchová úprava	Žárově zinkovaný
Tvar konstrukce	Čtyřboká příhradová s konstantní šířkou
Výška dílce	2 m
Šířka dílce	600 mm
Hmotnost	70 kg
Profil nárožníků	RD25
Profil diagonál	RD10
Profil příček	RD10
Větrná plocha	0,22 m ² /m
Moment setrvačnosti	17,5x10 ⁷ mm ⁴

Tabulka 1 - Parametry dílce K-600 [28]

1.1.2. Střešní rám kontejneru typu E

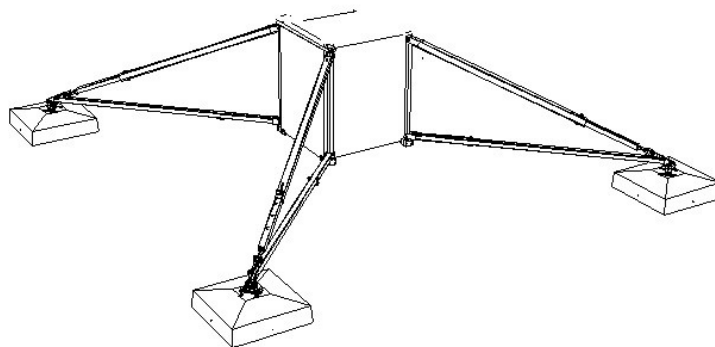
Na střešní rám kontejneru je přímo upevněn spodní typový dílec stožáru. V případě řešeného stožáru je využit střešní rám typu E, který se hodí pro upevnění všech typů stožárových dílců (K-600, K-900 i K-1350). Rám je složený ze dvou podélníků a dvou příček profilu HE100B.



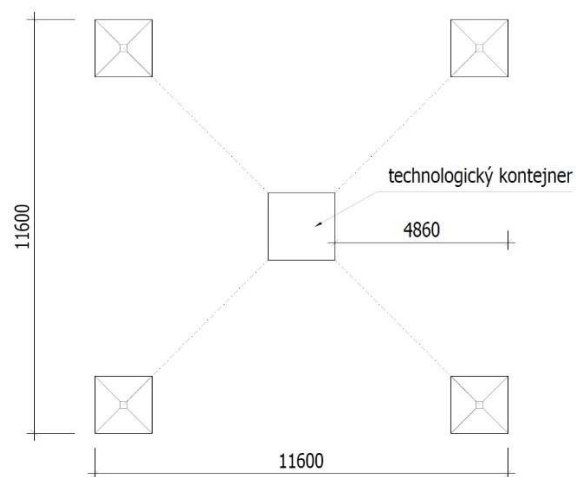
Obrázek 7 – Použitý střešní rám typu E [28]

1.1.3. Základy konstrukce

Střešní rám je pomocí příček vzepřený k betonovým blokům z profilu JÄ120/120/16, ke kterým jsou kotvena i předepjatá kotevní lana. Přesný rozestup mezi kotevními bloky je vyznačen na schématu níže.



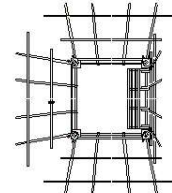
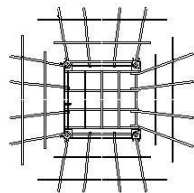
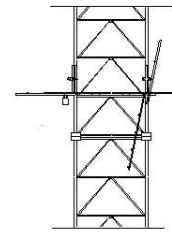
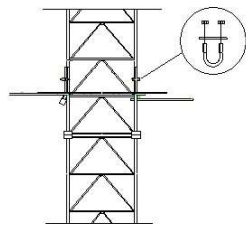
Obrázek 8 - Použitý základ konstrukce [28]



Obrázek 9 - Půdorys použitého základu konstrukce [28]

1.1.4. Bariéra vůči lezení pro typ dílců K-600

Na řešeném stožáru je ve výšce 4 m instalována hliníková bariéra vůči vylezení neoprávněných osob. Bariéra má půdorysně tvar čtverce a její hmotnost je 60 kg. Upevněna je k nárožníkům pomocí třmenů M8. Tři vnější strany bariéry jsou upevněny napevno. Jednu z vnějších stran a prostřední část bariéry je možné odklopit, jelikož na stožár je možné vylézt nejen po vnější straně, ale i uvnitř příhradové konstrukce. Tyto odklopné části jsou zajištěny pomocí visacího zámku.



Obrázek 10 - Bariéra vůči vylezení v zamčené poloze [28]

Obrázek 11 - Bariéra vůči vylezení v otevřené poloze [28]

1.1.5. Světelné překážky

Vzhledem k výšce stožáru je na jeho vrcholu umístěna dvojice světelných překážek, které jsou upevněny vždy pomocí dvojice svorníků M16. Hmotnost osvětlovací překážky je 5 kg.



Obrázek 12 - Dvojice světelných překážek umístěných na řešeném stožáru [27]

1.1.6. Systém ochrany proti pádu

Na konstrukci stožáru je umístěn vertikální jisticí systém Söll, který je upevněn na vodorovné příčce konstrukce. Hmotnost tohoto jisticího systému je 0,24 kg/m.



Obrázek 13 - Systém ochrany proti pádu [27]

2. Zatížení konstrukce dle ČSN EN

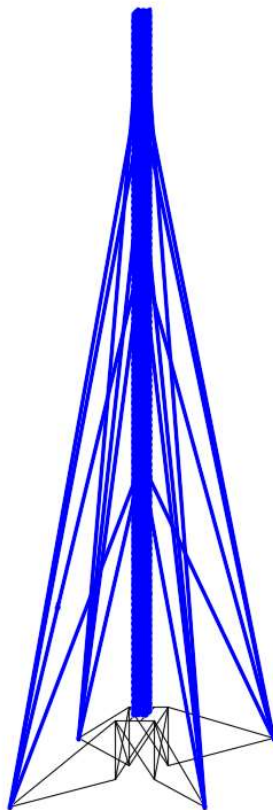
Eurokódy jsou soustavou evropských technických norem, dle kterých jsou navrhovány a posuzovány stavební konstrukce. Princip eurokódů je založen na teorii mezních stavů s použitím dílčích součinitelů. Eurokódy vstoupily v ČR v platnost březnu roku 2010 a nahradily České národní normy.

2.1. Stálá zatížení

Stálá zatížení jsou násobena dílčím součinitel, kterým se zohledňují možné nepříznivé odchylky hodnot zatížení od reprezentativních hodnot. Obecně je dílní součinitel pro stálá zatížení roven 1,35. Dle ČSN EN 1993-3-1 *Věže, stožáry a komíny příloha A.1* je ale možné stožár zařadit do třídy spolehlivosti „2“, ve které stožár není postaven v hustě zastavěném území, ale ani v otevřené krajině, kde by při jeho pádu nehrozilo zranění osob. V tomto případě je dílčí součinitel redukován na hodnotu 1,1.

2.1.1. Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce stožáru působí ve směru -Z a je generována programem SCIA Engineer.



Obrázek 14 - Schéma zatížení vlastní tíhou konstrukce [30]

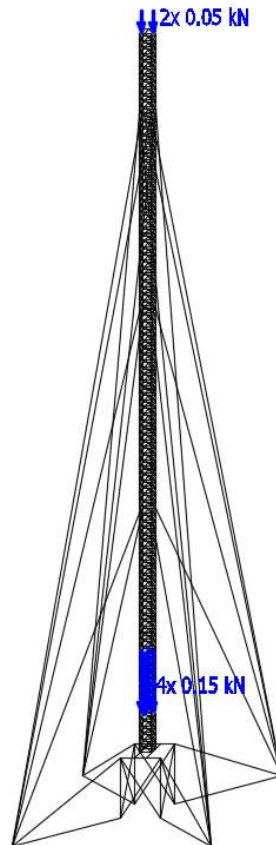
2.1.2. Ostatní stálá zatížení

V tomto zatěžovacím stavu jsou uvažována zatížení od dodatečně instalované technologie související přímo s konstrukcí stožáru a jeho obsluhou.

Hmotnost bariéry vůči lezení je 60 kg, čemuž odpovídá tíha 0,6 kN, která je do modelu vnesena pomocí čtveřice bodových zatížení 0,15 kN působících na nárožníky v místě skutečného ukotvení bariéry.

Hmotnost každé z dvojice světelných překážek je 5 kg, čemuž odpovídá tíha 0,05 kN. Toto zatížení je do modelu vneseno pomocí dvojice bodových sil působících v polovinách protilehlých vrcholových příček, kde jsou světelné překážky instalovány.

Hmotnost použitého jisticího systému proti pádu je dle předpisů společnosti Cue Dee AB uvažována 0,24 kg/m. Jisticí systém je upevněn k příčkám konstrukce. Zatížení příček je tedy vždy 0,069 kg, čemuž odpovídá zanedbatelná hodnota tíhy. Toto zatížení je ve výpočtu zanedbáno.



Obrázek 15 - Schéma zatížení ostatním stálým zatížením [30]

2.1.3. Zatížení telekomunikačními technologiemi

V tomto zatěžovacím stavu je zahrnuto zatížení od technologií instalovaných společností Vodafone Czech Republic a.s. Obecně lze tyto technologie rozdělit do čtyř skupin.

První skupinou jsou mikrovlnné antény, které slouží k přenosu signálu mezi dvěma nebo více místy. Díky nim tedy tato základnová stanice přebírá signál z jiné stanice. Mikrovlnné antény jsou tedy pro přenos signálu zcela zásadní, a proto je na natočení konstrukce, v místě jejich umístění, kladeno přísnější kritérium.



Obrázek 16 - Ukázka mikrovlnných antén umístěných na obdobném stožáru [27]

Druhou skupinu tvoří panelové antény, které slouží k přenosu signálu přímo k cílovým uživatelům, respektive k jejich mobilním zařízením. Tyto antény jsou pro výpočet zásadnější z hlediska své hmotnosti, ale i velikostí návětrné plochy.



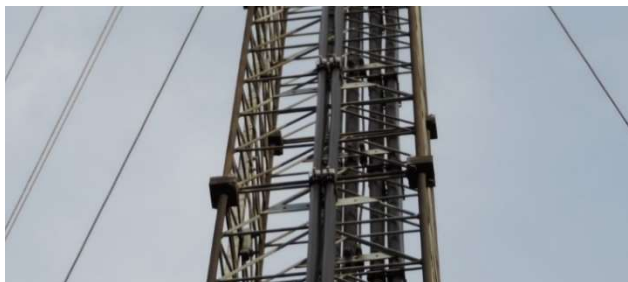
Obrázek 17 - Ukázka panelových antén umístěných na obdobném stožáru [27]

Třetí skupinu telekomunikačních technologií tvoří RRH a RRU moduly, jejichž název pochází z anglických výrazů *remote radio head resp. unit*. Tyto moduly slouží k převodu analogického signálu na digitální a opačně. Jelikož jejich funkcí není přijímat ani odesílat signál, není potřeba je instalovat do velkých výšek a mohou být instalovány i uvnitř technologických kontejnerů.



Obrázek 18 - Ukázka umístění RRH modulů na jiném stožáru [27]

Poslední technologií potřebnou k provozu základnové stanice je kabelová trasa spojující antény umístěné na stožáru s technologickým kontejnerem.

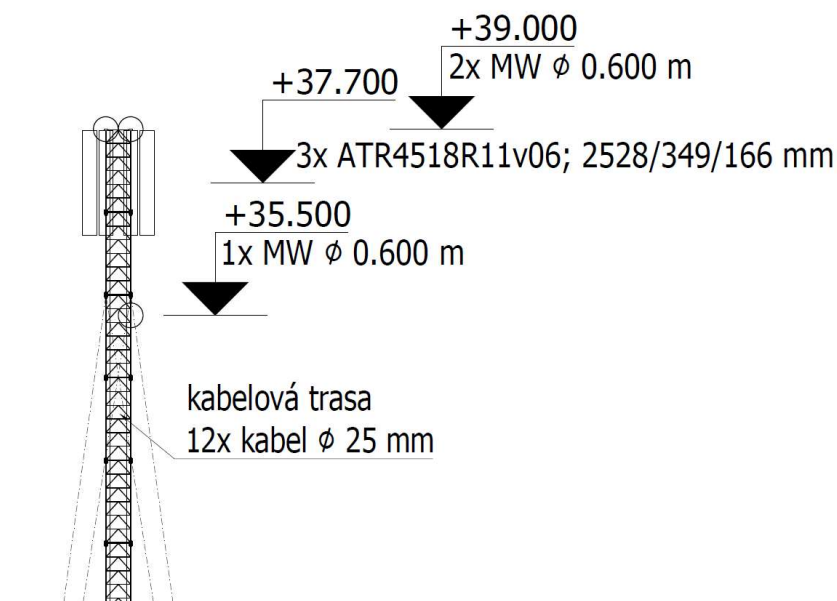


Obrázek 19 - Ukázka vedení kabelové trasy na obdobném stožáru [27]

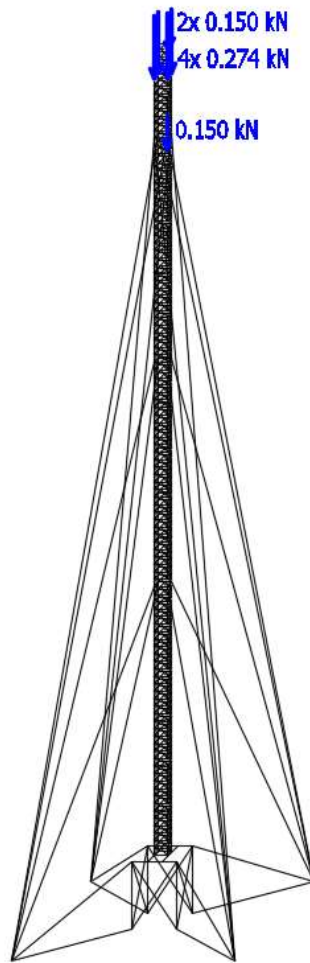
Na posuzovaném stožáru jsou umístěny panelové a mikrovlnné antény dle následující tabulky (Tabulka 2) a schématu (Obrázek 20). Kabelová trasa je tvořena 12 kabely průměru 25 mm.

Konkrétní osazení řešeného stožáru:			
Typ antény	ATR4518R11v06	MW \varnothing 0,6 m	MW \varnothing 0,6 m
Hmotnost [kg]	27,4	15,0	15,0
Tíha [kN]	0,274	0,150	0,150
Výška umístění [m]	37,70	39,00	35,50
Počet [ks]	4	2	1

Tabulka 2 - Konkrétní osazení řešeného stožáru



Obrázek 20 - Schéma umístění telekomunikační technologie [30]



Obrázek 21 - Schéma zatížení telekomunikačními technologiemi [30]

2.1.4. Předpětí kotevních lan

Do kotevních lan kotvených ke stožáru ve výšce +35 m je vneseno předpětí 5,5 kN. Do lan kotvených ke stožáru ve výšce +25 m je vneseno předpětí 5,0 kN a do lan kotvených ke stožáru ve výšce +15 m je vneseno předpětí 4,5 kN. Předpětí je do modelu vneseno pomocí zkrácení kotevních lan. Jelikož má na vynucené zkrácení vliv i samotná konstrukce stožáru, je nutné při zadávání zkrácení lan postupovat iterací v programu SCIA Engineer, aby zkrácení odpovídalo stanoveným předpětím.

Poměrné přetvoření kotevních lan:

Použité vzorce:

$$\sigma_{(G+P)} = \frac{P + n \cdot L \cdot w}{A}$$

$$E_t = \frac{E}{1 + \frac{w^2 \cdot l^2 \cdot E}{12 \cdot \sigma_{(G+P)}^3}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 5.4.2, (5.1)}$$

$$\varepsilon_{teoret.} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{P}{E_t \cdot A}$$

Použité konstanty:

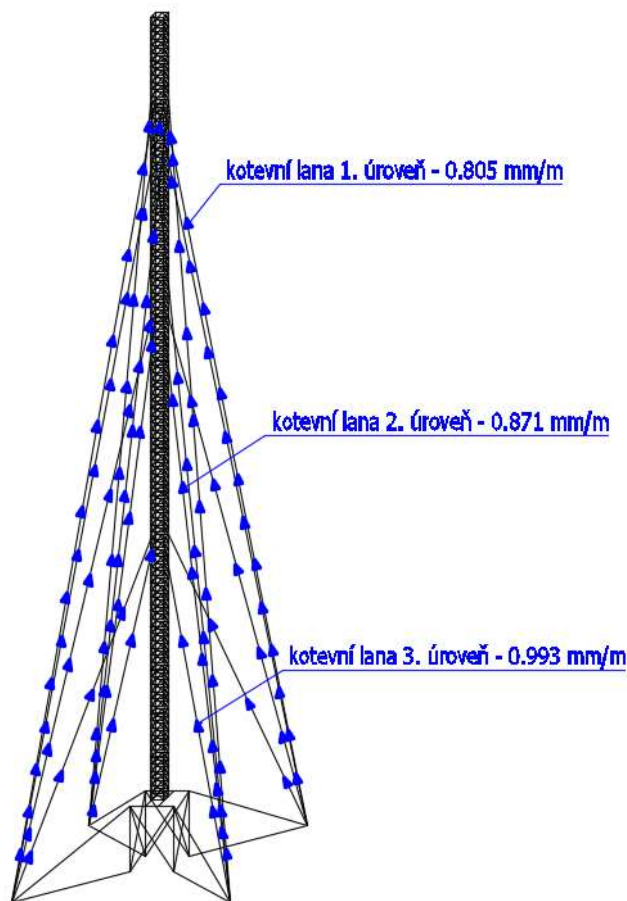
$$E = 180 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 3.2.2, obr. 3.1}$$

$$w = 830 \times 10^{-7} \text{ N/mm}^3 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 2.3.1, tab. 2.2}$$

Výpočet:

Úroveň	$\sigma_{(G+P)}$ [N/mm ²]	E_t [N/mm ²]	$\varepsilon_{teoret.}$ [mm/m]	$\varepsilon_{skuteč.}$ [mm/m]
1.	81,315	$178,867 \times 10^3$	0,452	0,805
2.	73,842	$178,491 \times 10^3$	0,412	0,871
3.	66,372	$177,928 \times 10^3$	0,372	0,993

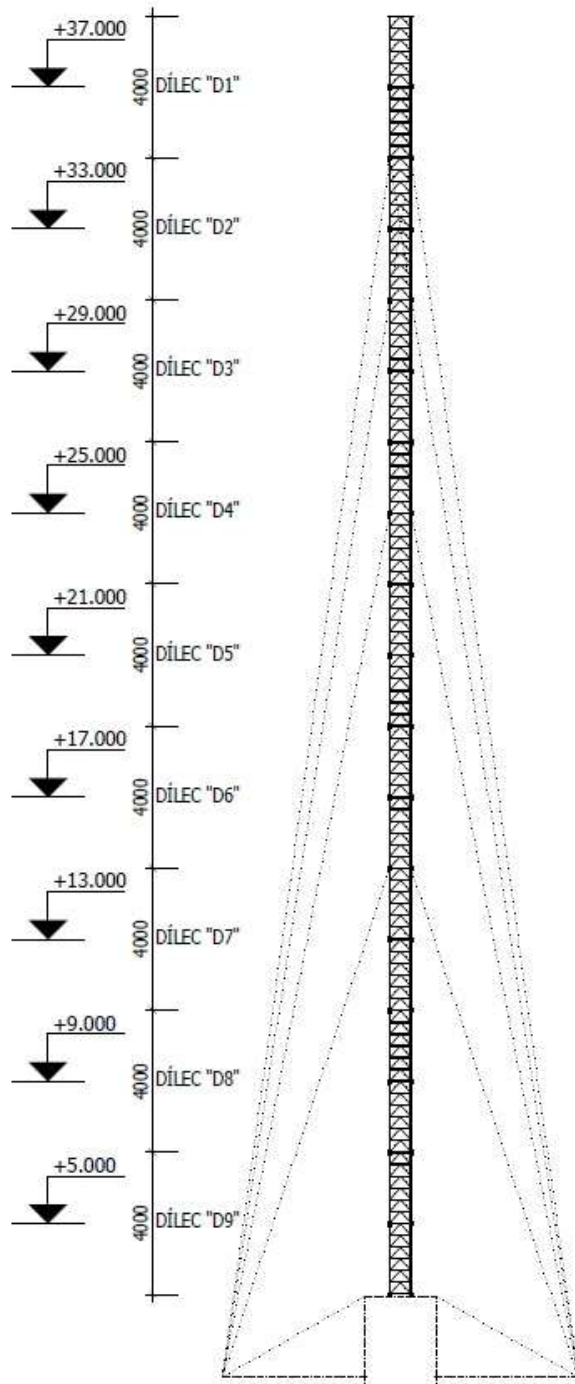
Tabulka 3 - Poměrné přetvoření pro jednotlivé kotevní úrovně



Obrázek 22 - Schéma zatížení předpětím kotevních lan [30]

2.2. Proměnná zatížení

Proměnná zatížení jsou násobena dílčím součinitelem, kterým se zohledňují možné nepříznivé odchylky hodnot zatížení od reprezentativních hodnot. Obecně je dílní součinitel pro proměnná zatížení roven $1,5$. Dle ČSN EN 1993-3-1 *Věže, stožáry a komíny příloha A.1* je ale možné stožár zařadit do třídy spolehlivosti „2“, ve které stožár není postaven v hustě zastavěném území, ale ani v otevřené krajině, kde by při jeho pádu nehrozilo zranění osob. V tomto případě je dílčí součinitel redukován na hodnotu $1,4$.



Obrázek 24 - Rozdělení výpočtového modelu na výpočtové dílce [30]

2.2.1.1. Maximální dynamický tlak

Základní rychlost větru:

Použité vzorce:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

ČSN EN 1991-1-4, 4.2, (4.1)

Použité konstanty:

$$c_{dir} = 1,0$$

ČSN EN 1991-1-4, 4.2, pozn. 2

$$c_{season} = 1,0$$

ČSN EN 1991-1-4, 4.2, pozn. 3

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu:

Použité vzorce:

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

ČSN EN 1991-1-4, 4.3.2, (4.5)

Použité konstanty:

$$z_{0,II} = 0,05$$

ČSN EN 1991-1-4, 4.3.2, tab. 4.1

Výpočet shodný pro všechny dílce:

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

Součinitel drsnosti terénu:

Použité vzorce:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

ČSN EN 1991-1-4, 4.3.2, (4.4)

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$c_r(z)[-]$
D1	1,255
D2	1,234
D3	1,209
D4	1,181
D5	1,148

Dílec	$c_r(z)[-]$
D6	1,107
D7	1,057
D8	0,987
D9	0,875

Tabulka 4 - Součinitel drsnosti terénu pro jednotlivé dílce

Střední rychlost větru:

Použité vzorce:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.3.1, (4.3)}$$

Použité konstanty:

$$c_0(z) = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.3.1, pozn. 1}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$v_m(z)$ [m/s]	Dílec	$v_m(z)$ [m/s]
D1	31,375	D6	27,675
D2	30,850	D7	26,425
D3	30,225	D8	24,675
D4	29,525	D9	21,875
D5	28,700		

Tabulka 5 - Střední rychlost větru pro jednotlivé dílce

Intenzita turbulence větru:

Použité vzorce:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.4, (4.7)}$$

Použité konstanty:

$$k_I = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.4, (4.7)}$$

$$c_0(z) = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.3.1, pozn. 1}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$l_v(z)[-]$	Dílec	$l_v(z)[-]$
D1	0,151	D6	0,172
D2	0,154	D7	0,180
D3	0,157	D8	0,193
D4	0,161	D9	0,217
D5	0,166		

Tabulka 6 - Intenzita turbulence větru pro jednotlivé dílce

Maximální dynamický tlak:

Použité vzorce:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, (4.8)}$$

Použité konstanty:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, pozn. 2}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

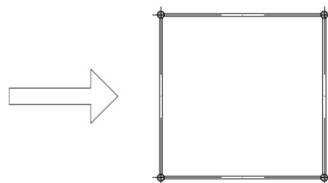
Dílec	$q_p(z)[kN/m^2]$	Dílec	$q_p(z)[kN/m^2]$
D1	1,266	D6	1,055
D2	1,236	D7	0,986
D3	1,198	D8	0,894
D4	1,159	D9	0,753
D5	1,113		

Tabulka 7 - Maximální dynamický tlak pro jednotlivé dílce

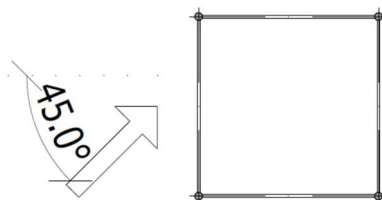
2.2.1.2. Tvarový součinitel na holou část konstrukce

Pro potřeby výpočtu jsou stanoveny plochy kolmého průmětu prvků a na základě těchto ploch je stanoven součinitel plnosti pro jednotlivé dílce. Plocha kruhových průřezů je rozdělena na základě režimu, ve kterém je obtékána, na plochu obtékanou v podkritickém a nadkritickém režimu, o čemž rozhoduje hodnota Reynoldsova čísla. Za průřezy, které jsou obtékány v podkritickém režimu, jsou považovány ty, jejichž hodnota Reynoldsova čísla je menší než 4×10^5 . Konzervativně je nicméně možné dle ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2 (2) přistupovat ke kruhovým profilům obtékaným v nadkritickém režimu, jako by byly obtékány v podkritickém.

V souladu s normou ČSN-EN 1993-3-1 B.2.1.3 (2) jsou uvažovány dva směry větru naznačené níže (Obrázek 25, Obrázek 26).



Obrázek 25 - První uvažovaný směr větru [30]



Obrázek 26 - Druhý uvažovaný směr větru [30]

Hodnota Reynoldsova čísla:

Použité vzorce:

$$v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}$$

ČSN EN 1991-1-4, 7.9.1, pozn. 2

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

ČSN EN 1991-1-4, 7.9.1, (7.15)

Použité konstanty:

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

ČSN EN 1991-1-4, 4.5, pozn. 2

$$\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

ČSN EN 1991-1-4, 7.9.1, (7.15)

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	Re [-]	Dílec	Re [-]
D1	$1,800 \times 10^6$	D6	$1,643 \times 10^6$
D2	$1,779 \times 10^6$	D7	$1,589 \times 10^6$
D3	$1,751 \times 10^6$	D8	$1,513 \times 10^6$
D4	$1,723 \times 10^6$	D9	$1,388 \times 10^6$
D5	$1,688 \times 10^6$		

Tabulka 8 - Reynoldsova čísla pro jednotlivé dílce

Plochy průřezů a součinitel plnosti:

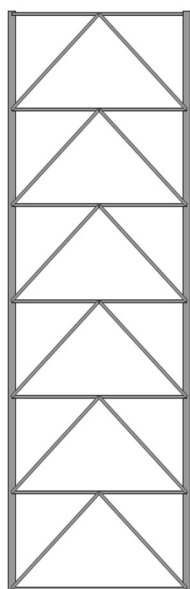
Použité vzorce:

$$A_S = A_f + A_c + A_{c,sup}$$

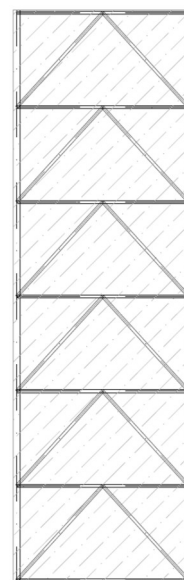
ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.1, (2)

$$\varphi = \frac{A_S}{A_T}$$

ČSN EN 1991-1-4, 7.11, (7.26)



Obrázek 27 - Vyznačení plochy A_S [30]



Obrázek 28 - Vyznačení plochy A_T [30]

Výpočet pro jednotlivé dílce:

<i>Dílec</i>	<i>D1 – D9</i>
$A_f [m^2/m']$	0,00000
$A_c [m^2/m']$	0,00000
$A_{c,sup} [m^2/m']$	0,09776
$A_s [m^2/m']$	0,09776
$\varphi [-]$	0,16293

Tabulka 9 - Plochy průřezů a součinitele plnosti pro jednotlivé dílce

Pozn.: Dále je s plochou průřezů obtékanou v nadkritickém režimu zacházeno jako by byla obtékána v režimu podkritickém dle ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2 (2).

Součinitel úhlu náběhu větru:

Použité vzorce:

$$K_1 = \frac{0,55 \cdot A_f}{A_s} + \frac{0,8 \cdot (A_c + A_{c,sup})}{A_s} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.1, (B.3c)}$$

$$K_\theta = 1,0 + K_1 \cdot K_2 \cdot \sin^2 2 \cdot \theta \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.1, (B.3a)}$$

Použité konstanty:

$$K_2 = 0,2 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.1, (B.3d)}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$K_1 = \frac{0,55 \cdot 0}{0,09776} + \frac{0,8 \cdot (0 + 0,09776)}{0,09776} = 0,8$$

$$K_\theta = 1,0 + 0,8 \cdot 0,2 \cdot \sin^2 2 \cdot 0 = 1,0 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$K_\theta = 1,0 + 0,8 \cdot 0,2 \cdot \sin^2 2 \cdot 45 = 1,16 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

Tvarový součinitel pro jednotlivé typy průřezu:

Použité vzorce:

$$c_{f,0,c} = c_1 \cdot (1 - c_2 \cdot \varphi) + (c_1 + 0,875) \cdot \varphi^2 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2, (B.5b)}$$

Použité konstanty:

$$c_1 = 2,25 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2 (1)}$$

$$c_2 = 1,5 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2 (1)}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_{f,0,c} = 2,25 \cdot (1 - 1,5 \cdot 0,16293) + (2,25 + 0,875) \cdot 0,16293^2$$

$$c_{f,0,c} = 1,783$$

Celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce:

Použité vzorce:

$$c_{f,s,0} = c_{f,0,f} \cdot \frac{A_f}{A_s} + c_{f,0,c} \cdot \frac{A_c}{A_s} + c_{f,0,c,sup} \cdot \frac{A_{c,sup}}{A_s} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.2.2, (B.4)}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_{f,s,0} = 1,783 \cdot \frac{0,09776}{0,09776} = 1,783$$

Celkové tvarové součinitele na holou část konstrukce pro jednotlivé směry větru:

Použité vzorce:

$$c_{f,s} = K_A \cdot K_\theta \cdot c_{f,s,0} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.3, (1), pozn.}$$

Použité konstanty:

$$K_A = 0,8 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.3, tab. B.2.2}$$

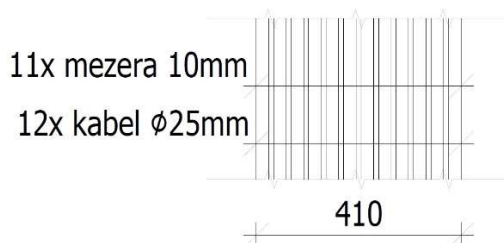
Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_{f,s} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,783 = 1,426 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$c_{f,s} = 0,8 \cdot 1,16 \cdot 1,783 = 1,655 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

2.2.1.3. Tvarový součinitel liniového příslušenství

Jako liniové příslušenství je uvažována kabelová trasa, jejíž geometrie je naznačena na schématu níže (Obrázek 29).



Obrázek 29 - Geometrie kabelové trasy [30]

Celkový tvarový součinitel liniového příslušenství:

Použité vzorce:

$$c_{f,A} = c_{f,A,0} \cdot \sin^2 \psi \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.3, (B.6)}$$

Použité konstanty:

$$c_{f,A,0} = 2,0 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, tab. B.2.1}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_{f,A} = 2,0 \cdot \sin^2 90 = 2,0$$

2.2.1.4. Celkový tvarový součinitel konstrukce

Celkový tvarový součinitel je dán jako součet tvarových součinitelů konstrukce a instalovaného příslušenství, které lze dále rozdělit na liniové a osamělé.

Celkový tvarový součinitel přepočítaný na plochu:

Použité vzorce:

$$c_f = c_{f,S} \cdot A_S + c_{f,A} \cdot A_A \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.1.3 (B.1)}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_f = 1,426 \cdot 0,09776 + 2,0 \cdot 3 = 0,739 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$c_f = 1,655 \cdot 0,09776 + 2,0 \cdot 3 = 0,762 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

2.2.1.5. Tvarový součinitel osamělého příslušenství

Do osamělého příslušenství jsou zařazeny antény, jejichž tvarový součinitel je stanoven na základě testů prováděných v aerodynamickém tunelu výrobcem.

Celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství:

Použité vzorce:

$$c_{f,OP} = c_{f,OP,0} \cdot K_A \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.4, (B.7)}$$

Použité konstanty:

$$K_A = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.3, (2)}$$

$$c_{f,OP,0} = 1,4 \quad \text{(určen výrobcem)}$$

Výpočet:

$$c_{f,OP} = 1,4 \cdot 1,0 = 1,4$$

2.2.1.6. Tvarový součinitel kotevních lan

Celkový tvarový součinitel kotevních lan:

Použité vzorce:

$$c_{f,G} = c_{f,G,0} \cdot \sin^2 \psi \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.5, (B.8)}$$

Použité konstanty:

$$c_{f,G,0} = 1,1 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.2.3, tab. B.2.1}$$

Výpočet shodný pro všechny dílce:

$$c_{f,G} = 1,1 \cdot \sin^2 90 = 1,1$$

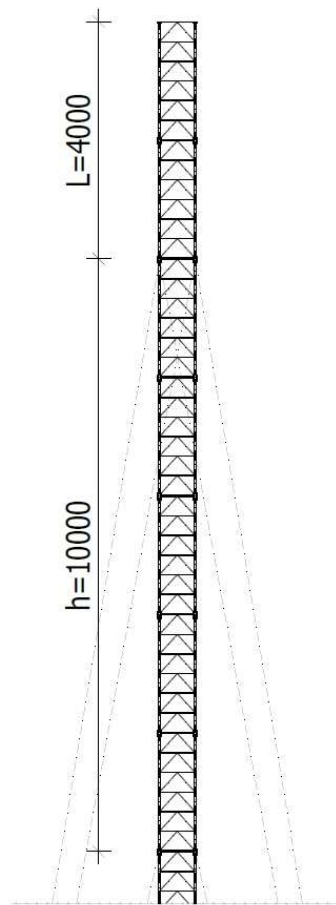
2.2.1.7. Ověření možnosti použití ekvivalentní statické metody

Ekvivalentní statická metoda se používá pro výpočet zatížení větrem kotvených stožárů v případě, že jsou splněny níže uvedené podmínky. V případě že podmínky splněny nejsou, a stožár je tedy náchylný k dynamické odezvě, je nutné použít spektrální analytickou metodu.

1. Podmínka pro délku konzoly

Délka volného konce nad vrchním kotvením musí být menší než polovina vzdálenosti mezi předposledním a vrchním kotvením.

Ověření podmínky: $L < \frac{h}{2} \rightarrow 4 < \frac{10}{2} \rightarrow$ SPLNĚNO



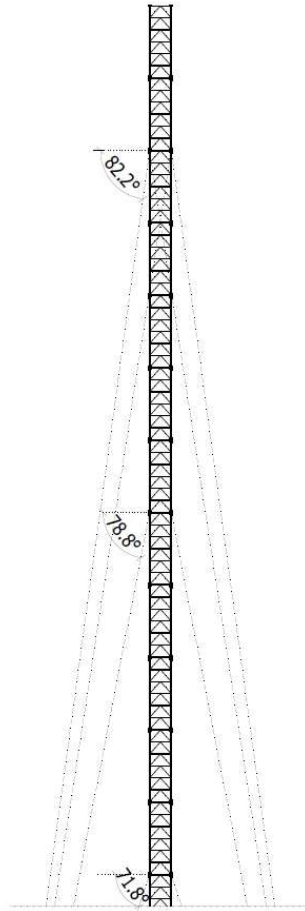
Obrázek 30 - Vyznačení hodnot L a h [30]

2. Podmínka pro parametr β_s

$$\text{Podmínka: } \beta_s = \frac{4 \left(\frac{E_m \cdot I_m}{L_s^2} \right)}{\left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N K_{Gi} \cdot H_{Gi} \right)} < 1$$

Výpočet K_{Gi} pro jednotlivá kotvení:

$$K_{Gi} = 0,5 \cdot N_i \cdot A_{gi} \cdot E_{Gi} \cdot \cos^2 \alpha_{Gi} / L_{Gi}$$



Obrázek 31 - Vyznačení úhlů pro ověření druhé podmínky [30]

$$K_{G1} = 0,5 \cdot 8,68 \cdot 0,19 \cdot 10^6 \cdot \cos^2 82,2 / 35468 = 26,838$$

$$K_{G2} = 0,5 \cdot 4,68 \cdot 0,19 \cdot 10^6 \cdot \cos^2 78,8 / 25651 = 38,005$$

$$K_{G3} = 0,5 \cdot 4,68 \cdot 0,19 \cdot 10^6 \cdot \cos^2 71,8 / 16061 = 156,950$$

$$\text{Ověření podmínky: } \frac{4 \cdot \left(\frac{0,21 \cdot 10^6 \cdot 1,9 \cdot 10^8}{10000^2} \right)}{\left(\frac{1}{3} \cdot (26,838 \cdot 35000 + 38,005 \cdot 25000 + 15,950 \cdot 15000) \right)} < 1 \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

3. Podmínka pro parametr Q

$$\text{Podmínka: } Q = \frac{1}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot V_H}{D_0}} \cdot \sqrt{\frac{m_0}{H \cdot R}} < 1$$

$$\text{Ověření podmínky: } \frac{1}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{39,31,375}{0,6}} \cdot \sqrt{\frac{35}{39,1,8}} < 1 \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

2.2.1.8. Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Střední zatížení větrem zahrnuje pouze statickou složku bez vlivu turbulence, jelikož intenzita turbulence uvedená ve vzorci je obsažena již v hodnotě maximálního dynamického tlaku a je tedy ve vzorci zkrácena. Dynamická složka bude řešena níže pomocí náhradního statického zatížení.

Střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Použité vzorce:

$$F_{m,w} = \frac{q_p(z)}{1+7.l_v(z)} \sum c_f(z) \cdot A_S(z) \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2, (B.22)}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']
D1	0,455	D6	0,354
D2	0,440	D7	0,322
D3	0,422	D8	0,281
D4	0,403	D9	0,221
D5	0,380		

Tabulka 10 - Střední zatížení větrem na stožár pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']
D1	0,469	D6	0,365
D2	0,453	D7	0,333
D3	0,435	D8	0,290
D4	0,415	D9	0,228
D5	0,392		

Tabulka 11 - Střední zatížení větrem na stožár pro druhý směr větru

Střední zatížení větrem osamělého příslušenství:

Osamělá příslušenství neboli antény jsou umístěny v horním dílci, proto pro výpočet středního zatížení větrem je uvažována hodnota maximálního dynamického tlaku dílce D1.

Použité vzorce:

$$F_{OP,w} = \frac{q_p(z)}{1+7 \cdot l_v(z)} \sum c_{f,OP}(z) \cdot A_{OP}(z) \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2, (B.22)}$$

Výpočet pro jednotlivé typy antén:

Typ antény	Plocha antény [m ²]	F _{OP,w} [kN]
ATR4518R11v06	0,882	0,760
MW ø0,6m	0,283	0,244

Tabulka 12 - Střední zatížení větrem osamělého příslušenství

Střední zatížení větrem kotevních lan:

Při použití rovnoměrného zatížení kotevních lan je v souladu s normou dle ČSN EN 1993-3-1 B.4.3.2.1, (4) uvažována hodnota dynamického tlaku vždy ve 2/3 výšky daného kotevního lana. K výpočtu tedy je použita hodnota maximálního dynamického tlaku dílce, který je na úrovni výšky 2/3 kotevního lana.

Použité vzorce:

$$F_{G,w} = \frac{q_p(z)}{1+7 \cdot l_v(z)} \cdot c_{f,G}(z) \cdot A_G \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2, (B.23)}$$

Výpočet pro jednotlivá kotevní lana:

Úroveň kotevních lan	Odpovídající dílec	F _{G,w} [kN/m']
1.	D4	5,570 × 10 ⁻³
2.	D6	4,897 × 10 ⁻³
3.	D8	3,890 × 10 ⁻³

Tabulka 13 - Střední zatížení větrem kotevních lan

2.2.1.9. Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Náhradní dynamické zatížení je dle ČSN EN 1993-3-1 B.4.3.2.2 rozděleno do několika případů, které působí zároveň se středním zatížením větrem. Dle ČSN EN 1993-3-1 B.4.3.2.2, (4) je u stožáru do výšky 50 m možno uvažovat jen jeden případ náhradního dynamického zatížení po celé výšce stožáru.

Náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Použité vzorce:

$$F_{P,w} = 2 \cdot k_s \cdot \frac{q_p(z)}{1+7 \cdot l_v(z)} \cdot \frac{l_v(z)}{c_0(z)} \cdot \sum c_f(z) \cdot A_s \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.2, (B.24)}$$

Použité konstanty:

$$k_s = 3,5 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.2, pozn.}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']
D1	0,481	D6	0,426
D2	0,474	D7	0,406
D3	0,464	D8	0,380
D4	0,454	D9	0,336
D5	0,442		

Tabulka 14 - Náhradní zatížení větrem na stožár pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w}[kN/m']</i>	<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w}[kN/m']</i>
D1	0,496	D6	0,439
D2	0,489	D7	0,419
D3	0,478	D8	0,391
D4	0,468	D9	0,346
D5	0,456		

Tabulka 15 - Náhradní zatížení větrem na stožár pro druhý směr větru

Náhradní zatížení větrem osamělého příslušenství:

Osamělé příslušenství je převážně umístěno v horním dílci, proto pro výpočet středního zatížení větrem je uvažována hodnota maximálního dynamického tlaku dílce D1.

Použité vzorce:

$$F_{OP,w} = 2 \cdot k_s \cdot \frac{q_p(z)}{1+7 \cdot l_v(z)} \cdot \frac{l_v(z)}{c_0(z)} \sum c_{f,OP}(z) \cdot A_{OP} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2, (B.22)}$$

Použité konstanty:

$$k_s = 3,5 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.2, pozn.}$$

Výpočet pro jednotlivé typy antén:

<i>Typ antény</i>	<i>Plocha antény [m²]</i>	<i>F_{OP,w} [kN]</i>
ATR4518R11v06	0,882	0,803
MW \varnothing 0,6m	0,283	0,258

Tabulka 16 - Náhradní zatížení větrem osamělého příslušenství

Náhradní zatížení větrem kotevních lan:

Při použití rovnoměrného zatížení kotevních lan je v souladu s normou ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.3, (2) možné uvažovat se zatížením po celé délce kotevních lan.

Použité vzorce:

$$F_{PG} = 2 \cdot k_s \cdot \frac{q_p(z)}{1+7 \cdot l_v(z)} \cdot c_{f,G}(z) \cdot A_G \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.2.3, (B.25)}$$

Použité konstanty:

$$k_s = 3,5 \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.3, pozn.}$$

Výpočet pro jednotlivá kotevní lana:

Úroveň kotevních lan	Odpovídající dílec	F_{PG} [kN/m']
1.	D4	$6,278 \times 10^{-3}$
2.	D6	$5,896 \times 10^{-3}$
3.	D8	$5,256 \times 10^{-3}$

Tabulka 17 - Náhradní zatížení větrem kotevních lan

2.2.1.10. Celkové zatížení větrem

Jelikož je s náhradním zatížením počítáno vždy jako s rovnoměrným po celé výšce, nejhorší celkové zatížení větrem je získáno součtem středního a náhradního zatížení.

Celkové zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Použité vzorce:

$$S_{TM} = S_M \pm S_P \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.5, (B.27)}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']
D1	0,936	D6	0,780
D2	0,914	D7	0,728
D3	0,886	D8	0,661
D4	0,857	D9	0,557
D5	0,822		

Tabulka 18 - Celkové zatížení větrem na stožár pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']
D1	0,965	D6	0,804
D2	0,942	D7	0,752
D3	0,913	D8	0,681
D4	0,883	D9	0,574
D5	0,848		

Tabulka 19 - Celkové zatížení větrem na stožár pro druhý směr větru

Celkové zatížení větrem osamělého příslušenství:

Použité vzorce:

$$S_{TM} = S_M \pm S_P \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.5, (B.27)}$$

Výpočet pro jednotlivé typy antén:

<i>Typ antény</i>	$F_{TM,OP,w}$ [kN]
<i>ATR4518R11v06</i>	1,563
<i>MW ø0,6m</i>	0,502

Tabulka 20 - Celkové zatížení větrem osamělého příslušenství:

Celkové zatížení větrem kotevních lan:

Použité vzorce:

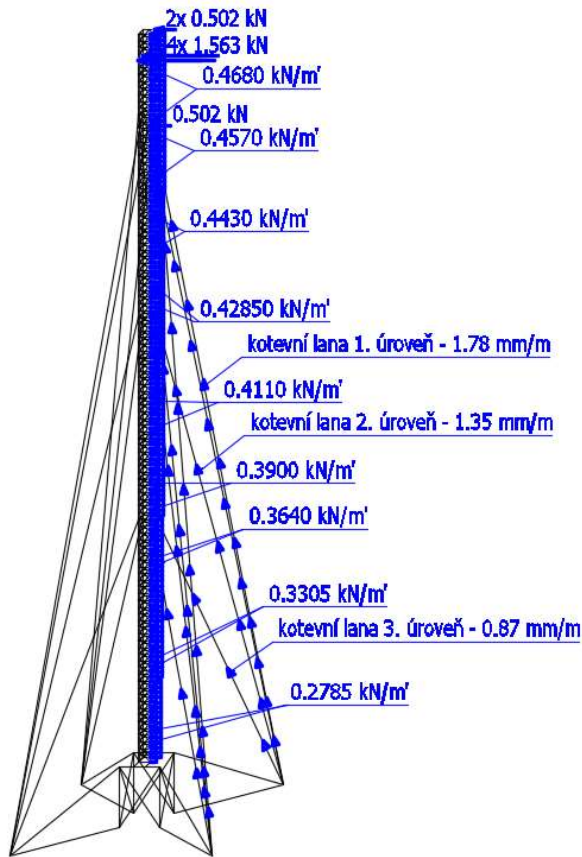
$$S_{TM} = S_M \pm S_P \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, B.4.3.2.5, (B.27)}$$

Výpočet pro jednotlivá kotevní lana:

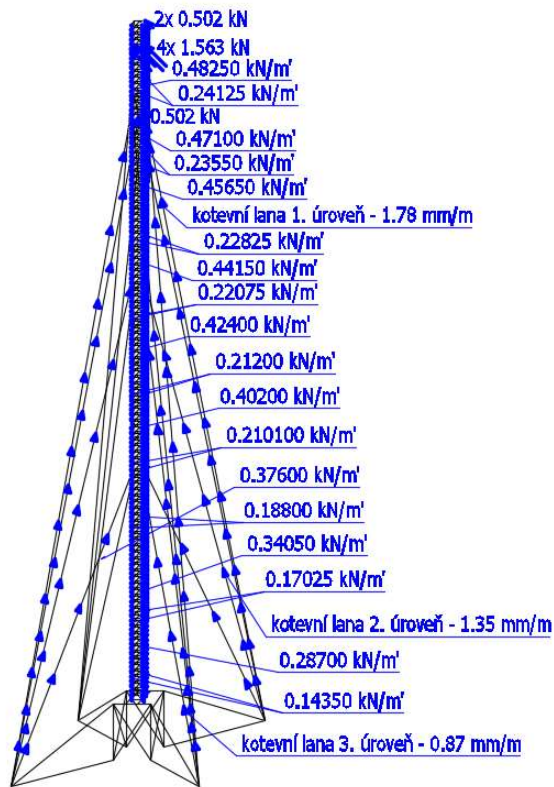
<i>Úroveň kotevních lan</i>	$F_{TM,G,w}$ [kN/m']
1.	$11,848 \times 10^{-3}$
2.	$10,793 \times 10^{-3}$
3.	$9,146 \times 10^{-3}$

Tabulka 21 - Celkové zatížení větrem kotevních lan

Celkové zatížení kotevních lan větrem je rozděleno na složku kolmou a rovnoběžnou s prameny lan. Kolmá složka je do výpočtu vnesena pomocí vynuceného zkrácení lan odpovídajícího adekvátním tahovým silám – působením „řetězovky“ (4.1.1).



Obrázek 32 - Schéma zatížení kolmým větrem [30]



Obrázek 33 - Schéma zatížení diagonálním větrem [30]

2.2.2. Zatížení námrazou

Zatížení konstrukce námrazou je v současnosti v ČR prováděno v souladu s normou ČSN ISO 12949. V rámci uvedení 2. generace Eurokódů vzniká zcela nová norma EN 1991-1-9, jež bude popisovat způsob tvorby námrazy a ledovky a jak uvážit zatížení námrazou na konstrukci. Tato norma by však měla pouze zjednodušovat a zpřesňovat zatím platnou normu ČSN ISO 12949.

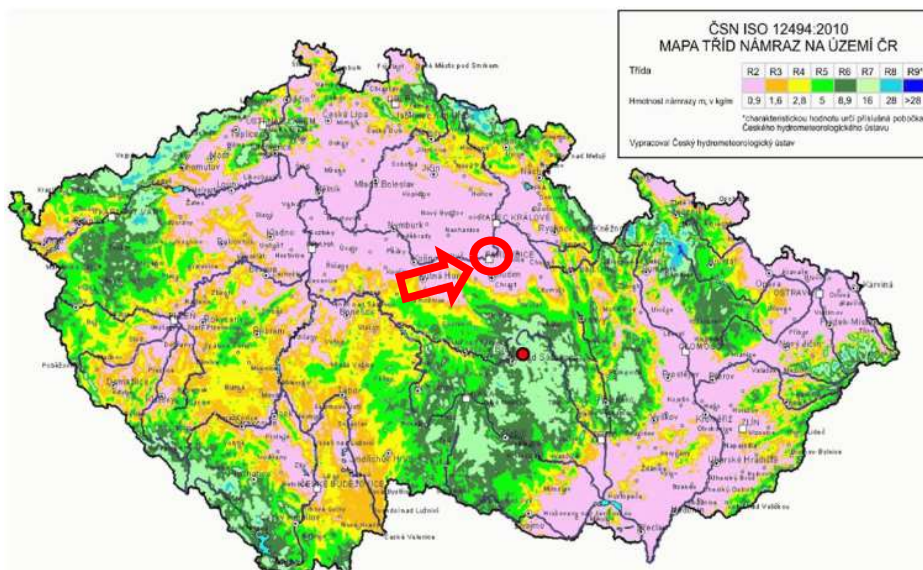
S účinky námrazy je nutné počítat u konstrukcí, které jsou na namrzání náchylné, mezi takovéto konstrukce patří právě ocelové stožáry, věže, antény a kotevní lana. Z toho důvodu i norma ČSN EN 1993-3-1 věnována věžím a stožárům se v příloze C zabývá zatížením námrazou.

Obě použité normy rozlišují zatížení námrazou a zatížení ledovkou. Každá z těchto pokrývek konstrukce je vyvolána jiným atmosférickým jevem. Zatímco ledovka vzniká vlivem mrznoucího deště nebo mrholení, námraza vzniká usazováním přechlazených vodních kapek z oblačnosti nebo mlhy. Tyto dva jevy se také liší svou objemovou hmotností a rozložením na konstrukci. Objemová hmotnost ledovky je 900 kg/m^3 a objemová hmotnost námrazy se pohybuje v rozmezí 200 až 900 kg/m^3 v závislosti na síle námrazy. Zatímco ledovka pokrývá konstrukci rovnoměrně, námraza je rozložena nerovnoměrně a zaujímá oválný tvar vůči návětrnému směru.

Zatížení námrazou vyvolává jak statické účinky (například vznik tahových sil v ocelových lanech nebo vznik deformací), tak i dynamické účinky, kdy vlastní frekvence konstrukce se vzrůstajícím zatížením výrazně klesá, neboť nesymetrická námraza kotevních lan vyvolává kmitání. Pokud je však vítr dostatečně silný, může způsobit opadávání námrazy z konstrukce, a proto je nemožné počítat s kombinací, kdy by byly uvažovány účinky plného větru a námrazy.

Norma rozlišuje šest tříd ledovky (ICG1 až ICG6) na základě tloušťky ledu a deset tříd námrazy (ICR1 až ICR10) na základě hmotnosti namrzlého ledu.

Na základě mapy tříd námraz na území ČR, která je národní přílohou normy ČSN ISO 12949, byla konstrukce zařazena do třídy námrazy R2, v níž je hmotnost ledu stavena na 16 kg/m a průměr námrazy pro doporučovanou objemovou hmotnost 500 kg/m^3 je stanoven na 56 mm pro prvek o průměru 30 mm .

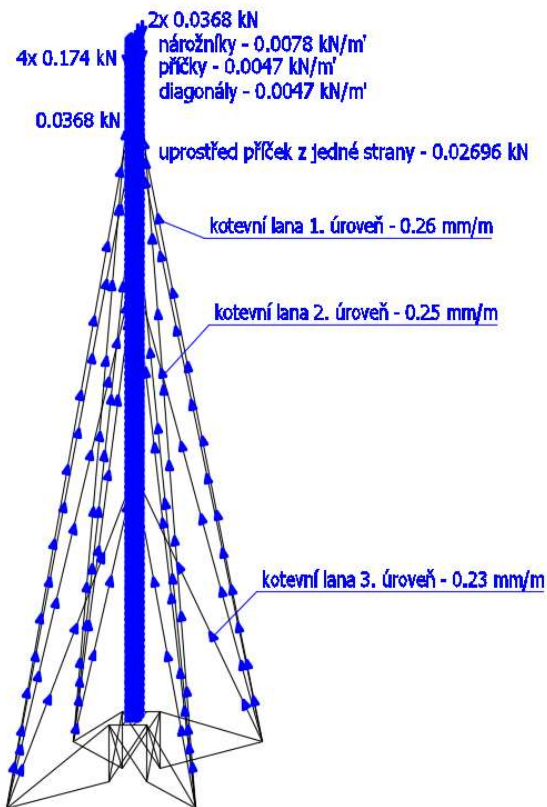


Obrázek 34 - Mapa tříd námraz na území ČR [13]

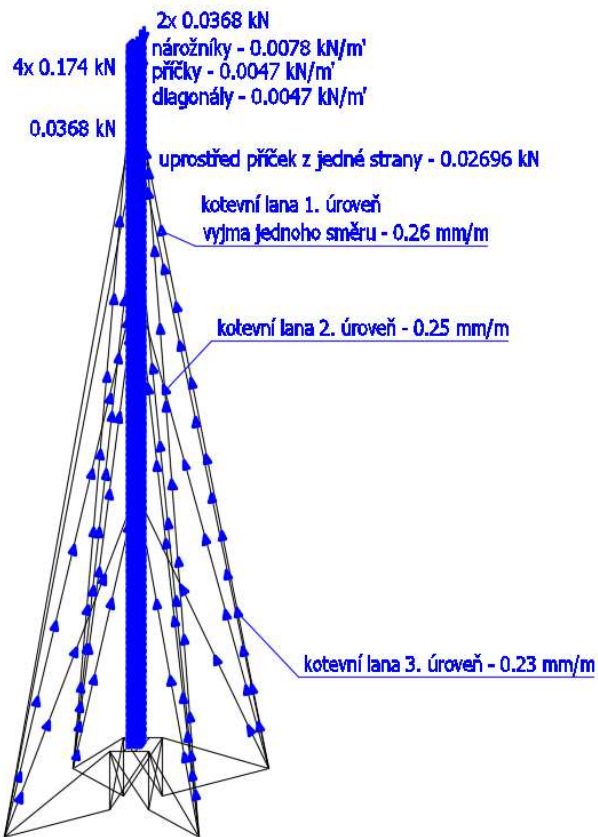
2.2.2.1. Zatížení vlastní tíhou námrazy

Na základě ČSN EN 1993-3-1, přílohy C.3 (1) je uvažováno, že veškeré konstrukční prvky věže i příslušenství jsou námrazou pokryty rovnoměrně. Dále na základě ČSN EN 1993-3-1, přílohy C.5 (1) je uvažováno i asymetrické zatížení. Jako jeden samostatný případ je uvažováno zatížení konstrukce a všech kotevních lan vyjma dvojice kotevních lan do společného směru v nejvyšší kotevní úrovni a jako druhý samostatný případ je uvažováno zatížení konstrukce a všech kotevních lan vyjma čtveřice kotevních lan do dvou směrů v nejvyšší kotevní úrovni.

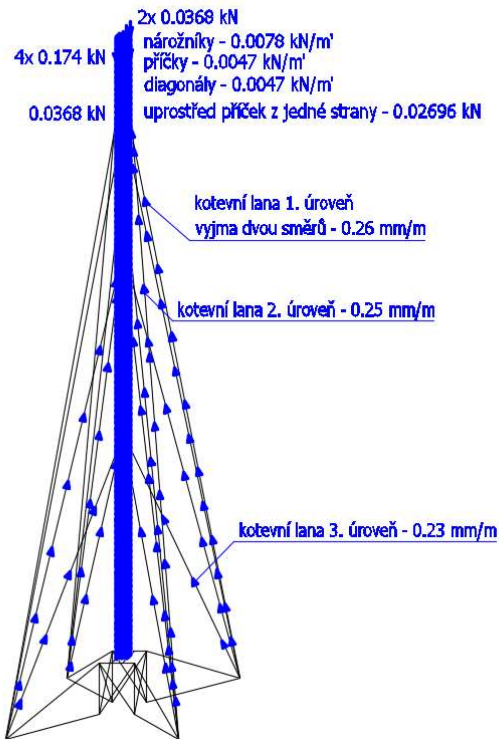
Námraza má objemovou hmotnost 500 kg/m^3 a z faktu, že pro prvek o průměru 30 mm je průměr námrazy 56 mm , vyplývá, že tloušťka námrazy je 13 mm .



Obrázek 35 - Schéma zatížení vlastní tíhou námrazy všech kotevních prvků [30]

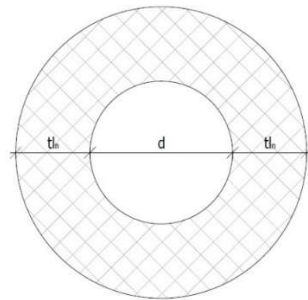


Obrázek 36 - Schéma asymetrického zatížení vlastní tíhou námrazy 1 [30]



Obrázek 37 - Schéma asymetrického zatížení vlastní tíhou námrazy 2 [30]

2.2.2.1.1. Zatížení vlastní tíhou námrazy na konstrukci stožáru



Obrázek 38 - Námraza na kruhovém prvku [30]

Zatížení námrazou na nárožníku stožáru:

$$g_n = S_n \cdot Y_n$$

$$g_n = (S_{n+d} - S_d) \cdot Y_n$$

$$g_n = \left(\frac{\pi \cdot (d + 2 \cdot tl_n)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot Y_n$$

$$g_n = \pi \cdot tl_n \cdot (d + tl_n) \cdot Y_n$$

$$g_n = \pi \cdot 0,013 \cdot (0,025 + 0,013) \cdot 500 = 0,0078 \text{ kN/70m}$$

Zatížení námrazou na diagonálách a příčkách:

$$g_n = S_n \cdot \gamma_n$$

$$g_n = (S_{n+d} - S_d) \cdot \gamma_n$$

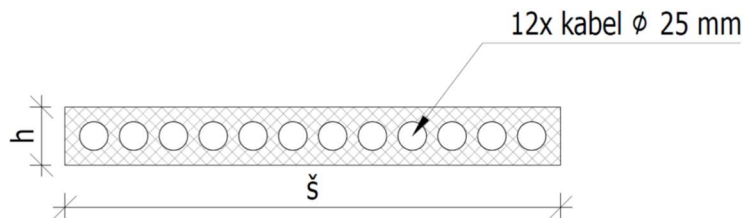
$$g_n = \left(\frac{\pi \cdot (d + 2 \cdot t l_n)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \pi \cdot t l_n (d + t l_n) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \pi \cdot 0,013 \cdot (0,01 + 0,013) \cdot 500 = 0,0047 \text{ kN/m}$$

2.2.2.1.2. Zatížení vlastní tíhou námrazy na liniovém příslušenství

Zatížení námrazou na kabelové trase:



Obrázek 39 - Námraza na kabelové trase [30]

$$g_n = S_n \cdot \gamma_n$$

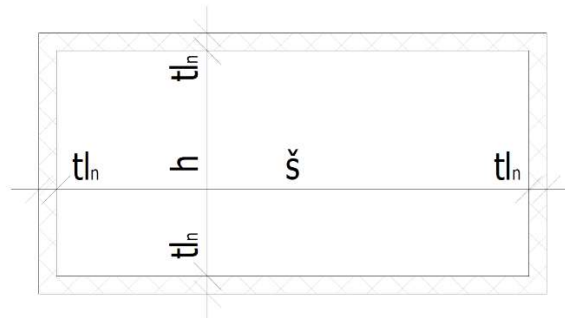
$$g_n = (S_{n+k} - S_k) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \left(\text{š} \cdot h - 12 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \left(0,436 \cdot 0,051 - 12 \cdot \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \right) \cdot 500 = 0,0817 \text{ kN/m}$$

2.2.2.1.3. Zatížení vlastní tíhou námrazy na osamělém příslušenství

Zatížení námrazou na anténě A4518R11v06:



Obrázek 40 - Námraza na panelových anténách [30]

$$F_n = S_n \cdot \gamma_n \cdot v$$

$$F_n = (S_{n+p} - S_p) \cdot \gamma_n \cdot v$$

$$F_n = ((š + 2 \cdot tl_n) \cdot (h + 2 \cdot tl_n) - š \cdot h) \cdot \gamma_n \cdot v$$

$$F_n = 2 \cdot tl_n \cdot (š + h + 2 \cdot tl_n) \cdot \gamma_n \cdot v$$

$$F_n = 2 \cdot 0,013 \cdot (0,349 + 0,166 + 0,013) \cdot 500 \cdot 2,528 = 0,174 \text{ kN}$$

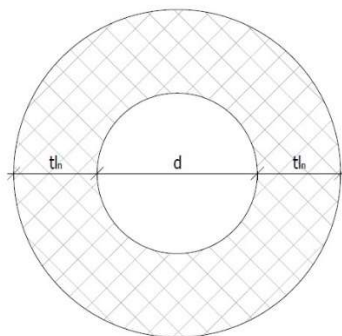
Zatížení námrazou na mikrovlně ø 0,6 m:

$$F_n = 2 \cdot S_{MW} \cdot tl_n \cdot \gamma_n$$

$$F_n = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,6^2}{4} \cdot 0,013 \cdot 500 = 0,0368 \text{ kN}$$

2.2.2.1.4. Zatížení vlastní tíhou námrazy na kotevních lanech

Zatížení námrazou na kotevním laně:



Obrázek 41 - Námraza na kotevních lanech [30]

$$g_n = S_n \cdot \gamma_n$$

$$g_n = (S_{n+d} - S_d) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \left(\frac{\pi \cdot (d + 2 \cdot tl_n)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \pi \cdot tl_n \cdot (d + tl_n) \cdot \gamma_n$$

$$g_n = \pi \cdot 0,013 \cdot (0,0093 + 0,013) \cdot 500 = 0,0046 \text{ kN/m}$$

Zatížení vlastní tíhou námrazy kotevních lan je rozděleno na složku kolmou a rovnoběžnou s prameny lan. Kolmá složka je do výpočtu vnesena pomocí vynuceného zkrácení lan odpovídajícího adekvátním tahovým silám – působením „řetězovky“ (4.1.2).

2.2.2.2. Zatížení větrem na konstrukci s námrazou

Pro výpočet zatížení větrem na konstrukci s námrazou je dle ČSN EN 1993-3-1 příloha C.4 postupováno stejně jako při výpočtu zatížení větrem na konstrukci bez námrazy, s tím rozdílem, že kolmý průmět prvků je zvětšen právě o tloušťku námrazy. Při tvorbě námrazy není uvažováno s hodnotou maximálního dynamického tlaku větru. Maximální dynamický tlak je redukován součinitel k .

Při výpočtu tvarových součinitelů, středního i náhradního zatížení větrem je postupováno dle komentáře, vzorců i konstant uvedených v kapitole (2.2.1). Stejně tak možnost využití ekvivalentní statické metody již byla ověřena v kapitole (2.2.1.7).

2.2.2.2.1. Tvarový součinitel na holou část konstrukce

Hodnota Reynoldsova čísla:

<i>Dílec</i>	<i>Re [-]</i>	<i>Dílec</i>	<i>Re [-]</i>
D1	$1,800 \times 10^6$	D6	$1,643 \times 10^6$
D2	$1,779 \times 10^6$	D7	$1,589 \times 10^6$
D3	$1,751 \times 10^6$	D8	$1,513 \times 10^6$
D4	$1,723 \times 10^6$	D9	$1,388 \times 10^6$
D5	$1,688 \times 10^6$		

Tabulka 22 - Hodnoty Reynoldsova čísla pro jednotlivé dílce

Plochy průřezů a součinitel plnosti:

Výpočet pro jednotlivé dílce:

<i>Dílec</i>	<i>D1 – D9</i>
$A_f [m^2/m']$	0,00000
$A_c [m^2/m']$	0,00000
$A_{c,sup} [m^2/m']$	0,27394
$A_s [m^2/m']$	0,27394
$\varphi [-]$	0,45657

Tabulka 23 - Plochy průřezů a součinitele plnosti pro jednotlivé dílce

Součinitel úhlu náběhu větru:

$$K_1 = \frac{0,55 \cdot 0}{0,27394} + \frac{0,8 \cdot (0 + 0,27394)}{0,27394} = 0,8$$

$$K_\theta = 1,0 + 0,8 \cdot 0,2 \cdot \sin^2 2,0 = 1,0 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$K_\theta = 1,0 + 0,8 \cdot 0,2 \cdot \sin^2 2,45 = 1,16 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

Tvarový součinitel pro jednotlivé typy průřezu:

$$c_{f,0,c} = 2,25 \cdot (1 - 1,5 \cdot 0,45657) + (2,25 + 0,875) \cdot 0,45657^2$$

$$c_{f,0,c} = 1,361$$

Celkový tvarový součinitel na holou část konstrukce:

$$c_{f,s,0} = 1,361 \cdot \frac{0,27394}{0,27394} = 1,361$$

Celkové tvarové součinitele na holou část konstrukce pro jednotlivé směry větru:

$$c_{f,s} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,361 = 1,089 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$c_{f,s} = 0,8 \cdot 1,16 \cdot 1,361 = 1,263 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

2.2.2.2.2. Tvarový součinitel liniového příslušenství

Celkový tvarový součinitel liniového příslušenství:

$$c_{f,A} = 2,0 \cdot \sin^2 90 = 2,0$$

2.2.2.2.3. Celkový tvarový součinitel konstrukce

Celkový tvarový součinitel přepočítaný na plochu:

$$c_f = 1,089 \cdot 0,27394 + 2,0 \cdot 436 = 1,170 \quad (\text{pro } \varphi = 0^\circ)$$

$$c_f = 1,263 \cdot 0,27394 + 2,0 \cdot 436 = 1,218 \quad (\text{pro } \varphi = 45^\circ)$$

2.2.2.2.4. Tvarový součinitel osamělého příslušenství

Celkový tvarový součinitel osamělého příslušenství:

$$c_{f,OP} = 1,4 \cdot 1,0 = 1,4$$

2.2.2.2.5. Tvarový součinitel kotevních lan

Celkový tvarový součinitel kotevních lan:

$$c_{f,G} = 1,1 \cdot \sin^2 90 = 1,1$$

2.2.2.2.6. Střední zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']
D1	0,720	D6	0,560
D2	0,696	D7	0,510
D3	0,668	D8	0,445
D4	0,638	D9	0,348
D5	0,602		

Tabulka 24 - Střední zatížení větrem na stožár pro první směr větru

Ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']
D1	0,750	D6	0,583
D2	0,724	D7	0,531
D3	0,695	D8	0,463
D4	0,664	D9	0,364
D5	0,627		

Tabulka 25 - Střední zatížení větrem na stožár pro druhý směr větru

Střední zatížení větrem osamělých příslušenství:

<i>Typ antény</i>	<i>Plocha antény s námrazou [m²]</i>	<i>F_{OP,w} [kN]</i>
<i>ATR4518R11v06</i>	0,958	0,825
<i>MW ø0,6m</i>	0,308	0,265

Tabulka 26 - Střední zatížení větrem osamělých příslušenství

Střední zatížení větrem kotevních lan:

<i>Úroveň kotevních lan</i>	<i>Odpovídající dílec</i>	<i>F_{G,w} [kN/m']</i>
1.	<i>D4</i>	0,0212
2.	<i>D6</i>	0,0186
3.	<i>D8</i>	0,0148

Tabulka 27 - Střední zatížení větrem kotevních lan

2.2.2.2.7. Náhradní zatížení větrem dle ekvivalentní statické metody

Náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w} [kN/m']</i>	<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w} [kN/m']</i>
<i>D1</i>	0,761	<i>D6</i>	0,674
<i>D2</i>	0,750	<i>D7</i>	0,643
<i>D3</i>	0,734	<i>D8</i>	0,601
<i>D4</i>	0,718	<i>D9</i>	0,531
<i>D5</i>	0,700		

Tabulka 28 - Náhradní zatížení větrem pro první směr větru

Ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w} [kN/m']</i>	<i>Dílec</i>	<i>F_{P,w} [kN/m']</i>
D1	0,792	D6	0,702
D2	0,781	D7	0,670
D3	0,764	D8	0,626
D4	0,748	D9	0,553
D5	0,729		

Tabulka 29 - Náhradní zatížení větrem pro druhý směr větru

Náhradní zatížení větrem osamělých břemen:

<i>Typ antény</i>	<i>Plocha antény [m²]</i>	<i>F_{OP,w} [kN]</i>
ATR4518R11v06	0,958	0,872
MW ø0,6m	0,308	0,280

Tabulka 30 - Náhradní zatížení větrem osamělých břemen

Náhradní zatížení větrem kotevních lan:

<i>Úroveň kotevních lan</i>	<i>Odpovídající dílec</i>	<i>F_{PG} [kN/m']</i>
1.	D4	0,0238
2.	D6	0,0224
3.	D8	0,0199

Tabulka 31 - Náhradní zatížení větrem kotevních lan

2.2.2.2.8. Celkové zatížení větrem

Celkové zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']
D1	1,481	D6	1,234
D2	1,446	D7	1,153
D3	1,402	D8	1,046
D4	1,356	D9	0,879
D5	1,302		

Tabulka 32 - Celkové zatížení větrem na stožár pro první směr větru

Ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']
D1	1,542	D6	1,285
D2	1,505	D7	1,201
D3	1,459	D8	1,089
D4	1,412	D9	0,917
D5	1,356		

Tabulka 33 - Celkové zatížení větrem na stožár pro druhý směr větru

Celkové zatížení větrem osamělých břemen:

<i>Typ antény</i>	$F_{TM,OP,w}$ [kN]
<i>ATR4518R11v06</i>	1,697
<i>MW ø0.6m</i>	0,545

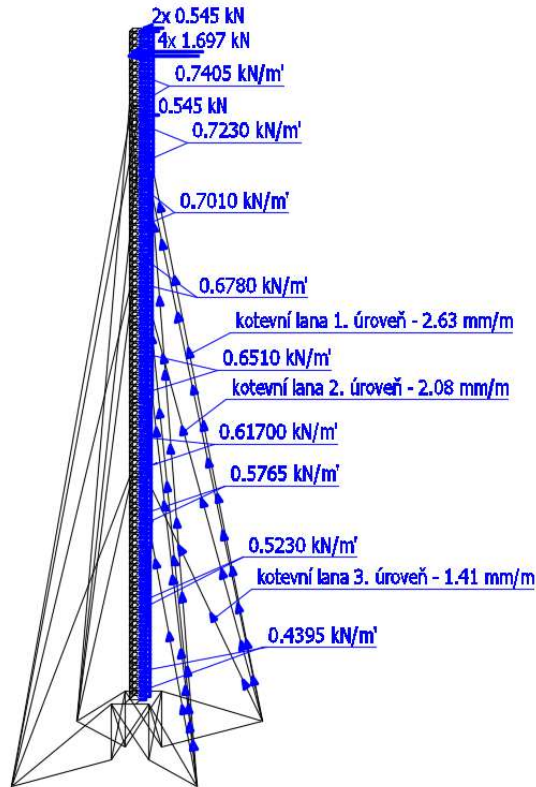
Tabulka 34 - Celkové zatížení větrem osamělých břemen

Celkové zatížení větrem kotevních lan:

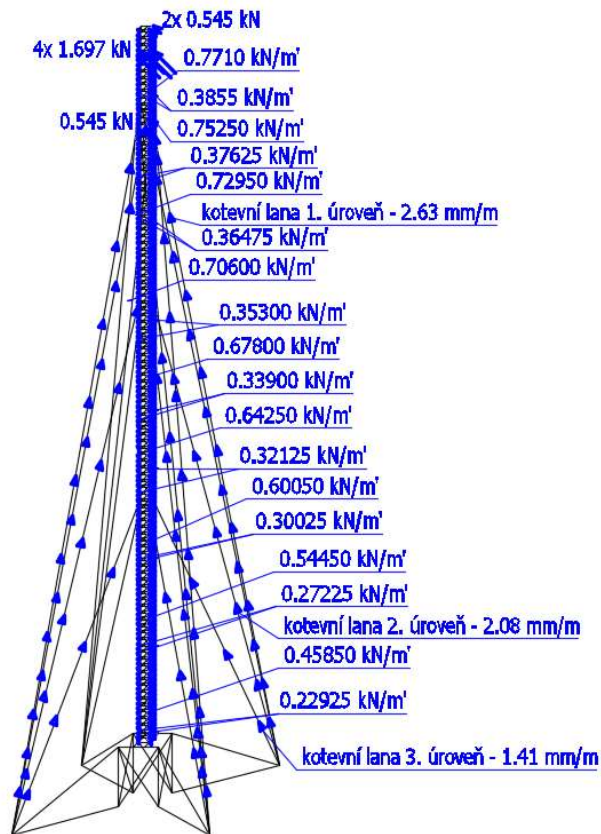
<i>Úroveň kotevních lan</i>	$F_{TM,G,w}$ [kN/m']
1.	0,0450
2.	0,0410
3.	0,0347

Tabulka 35 - Celkové zatížení větrem kotevních lan

Celkové zatížení namrzlých kotevních lan větrem je rozděleno na složku kolmou a rovnoběžnou s prameny lan. Kolmá složka je do výpočtu vnesena pomocí vynuceného zkrácení lan odpovídajícího adekvátním tahovým silám – působením „řetězovky“ (4.1.3).



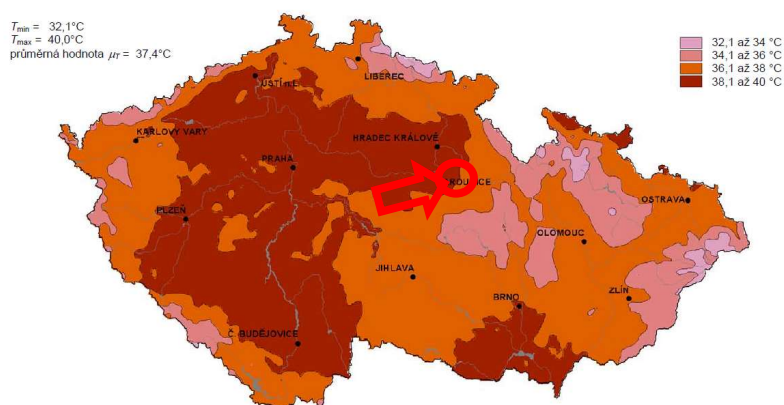
Obrázek 42 - Schéma zatížení namrzlé konstrukce kolmým větrem [30]



Obrázek 43 - Schéma zatížení namrzlé konstrukce diagonálním větrem [30]

2.2.3. Zatížení teplotou

Zatížení konstrukce teplotou je definováno dle ČSN EN 1991-1-5. Maximální hodnota teploty, již je obvykle dosahováno u vodorovných prvků orientovaných na západ nebo jihozápad, je dle ČSN EN 1991-1-5, NA. 1 Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu stanovena na hodnotu $T_{max}=40^{\circ}C$. Minimální hodnota teploty, které je dosahováno u prvků orientovaných na sever, je hodnota dle ČSN EN 1991-1-5, NA. 2 Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu stanovena $T_{min}=-32^{\circ}C$. Jako výchozí teplota při montování konstrukce je uvažováno $T_0=10^{\circ}C$.



Obrázek 44 - Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu na území ČR [4]



Obrázek 45 - Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu na území ČR [4]

Velikost účinků teploty závisí na klimatických podmínkách, na orientaci konstrukce, celkové hmotnosti a na povrchových úpravách. Teplotní změny lze rozdělit na rovnoměrnou složku teploty, lineárně proměnnou rozdílovou složku v obou směrech os a nelineární rozdílovou složku, která představuje systém vlastních rovnovážných napětí. V důsledku rozdělení teplotních změn na tyto 3 složky, jsou v normě uvažovány 3 teplotní veličiny. V případě konstrukce stožáru, který je umístěný ve venkovním prostředí, je ve výpočtu

uvažováno pouze s rovnoměrnou složkou teploty. Zatížení teplotou je do konstrukce vneseno pomocí funkce teplotního zatížení na prutu, která vyvolává účinky prodloužení nebo zkrácení konstrukce dle následujícího vztahu:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Rovnoměrná složka teploty:

Dána rozdílem mezi průměrnou teplotou T a počáteční teplotou.

Použité vzorce:

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad \text{ČSN EN 1991-1-5, 5.2, (5.1)}$$

$$T_{out,leto} = T_{max} + T_{3-5} \quad \text{ČSN EN 1991-1-5, 5.2, tab. 5.2}$$

$$T_{out,zima} = T_{min}$$

Použité konstanty:

$$T_4 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ČSN EN 1991-1-5, 5.2, tab. 5.2}$$

$$T_5 = 42 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ČSN EN 1991-1-5, 5.2, tab. 5.2}$$

Výpočet pro konstrukci stožáru:

$$T_{out,léto} = 40 + 42 = 82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{out,zima} = -32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{u,léto} = 80 - 10 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{u,zima} = -32 - 10 = -42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

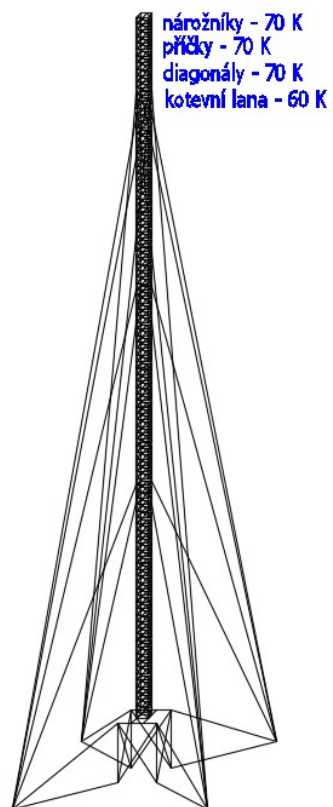
Výpočet pro kotevní lana:

$$T_{out,léto} = 40 + 30 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

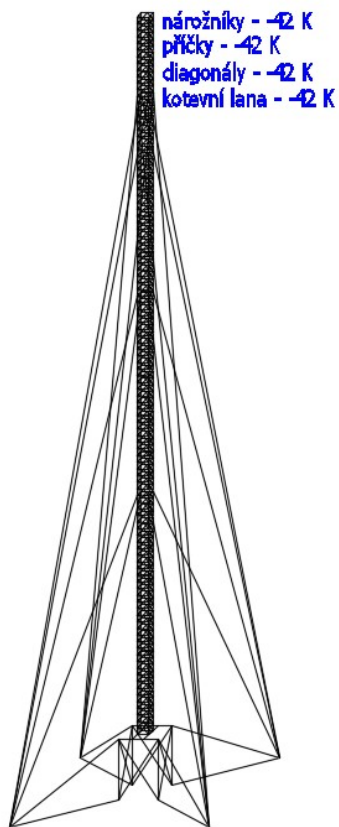
$$T_{out,zima} = -32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{u,léto} = 70 - 10 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{u,zima} = -32 - 10 = -42 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Obrázek 46 - Schéma zatížení maximální teplotou [30]



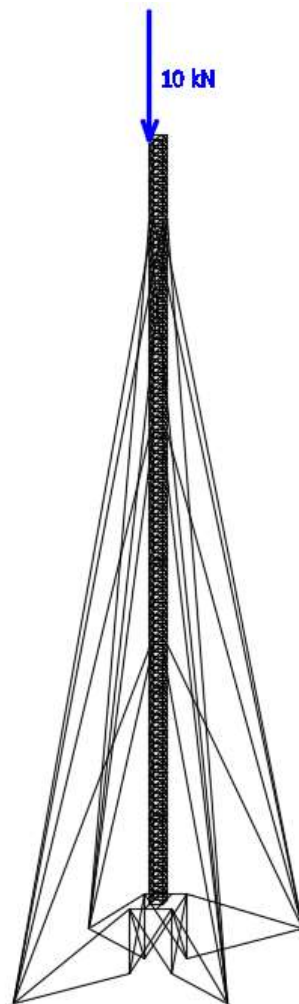
Obrázek 47 - Schéma zatížení minimální teplotou [30]

2.3. Mimořádná zatížení

Mimořádná zatížení jsou často příčinou kolapsu konstrukce, ale navrhovat konstrukce na tato zatížení je neekonomické, proto je uvažováno s tím, že mimořádné zatížení působí na konstrukce obvykle velmi krátce a jejich výskyt je během životnosti konstrukce ojedinělý. Zároveň není počítáno s výskytem více mimořádných zatížení současně.

2.3.1. Pád obsluhy

V místě umístění jistícího oka ve vrcholu stožáru je dle vyhlášky uvažováno se svislou bodovou silou 10 kN, která v sobě zahrnuje i dynamický účinek související s pádem obsluhujícího zajištěného pracovníka.



Obrázek 48 - Schéma zatížení pádem obsluhy [30]

2.3.2. Přetržení kotevních lan

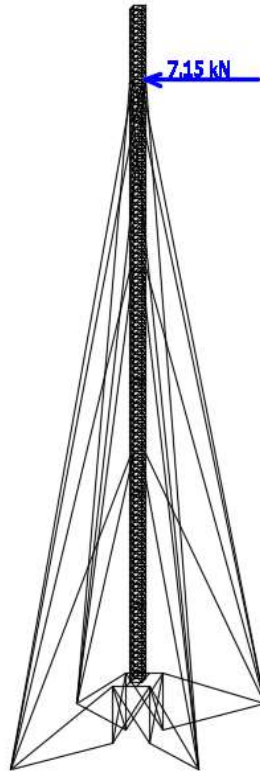
Přesná dynamická analýza konstrukce po přetržení lana by byla velmi náročná, proto je v souladu s normou *ČSN EN 1993-3-1 příloha E* možno použít zjednodušený analytický model anebo konzervativní postup.

Zjednodušená analytická metoda vychází z faktu, že při přetržení jednoho kotevního lana, začne na stožár v místě kotvení tohoto lana působit síla vyvolávající výchylku zbylých kotevních lan, jejíž hodnota se snižuje s rostoucí výchylkou. Zároveň lze vyjádřit vztah mezi vnější vodorovnou silou působící na stožár bez ukotvení v uvažované úrovni a jeho výchylkou. Hodnota, v níž se obě síly rovnají, je považována za statickou náhradní sílu.

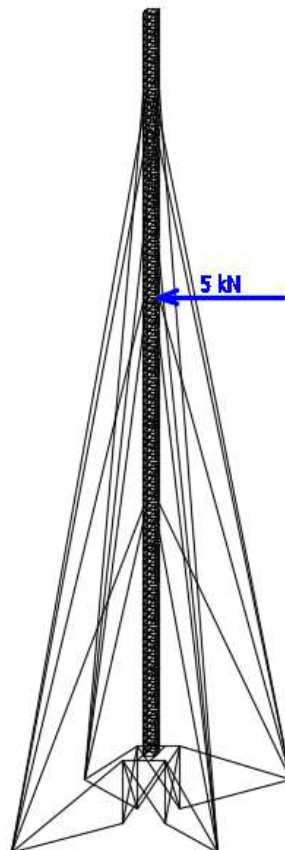
Na základě konzervativního postupu je možné síly vyvolané přetržením lana v místě kotvení stožáru nahradit silou, která působí v neporušeném kotevním laně, tj. předpínací silou, která by v případě horního kotvení měla být vynásobena faktorem 1,3. Přetržení lana v každé kotevní úrovni je uvažováno jako samostatný zatěžovací stav.

Dle normy musí stožár bez přetrženého kotevního lana odolat 50 % charakteristickému zatížení větrem bez dynamické složky, tedy středního zatížení větrem (2.2.1.8), které je do modelu vneseno jako samostatný zatěžovací stav.

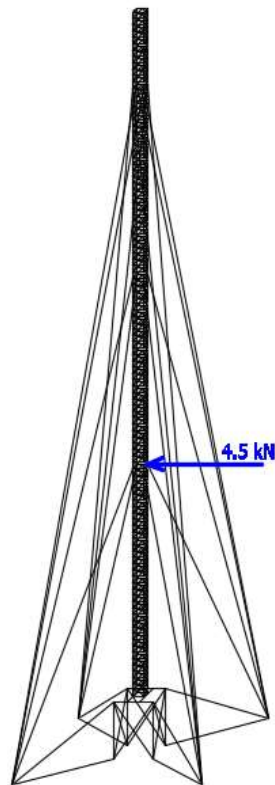
Zatížení kotevních lan při přetržení je rozděleno na složku kolmou a rovnoběžnou s prameny lan. Kolmá složka je do výpočtu vnesena pomocí vynuceného zkrácení lan odpovídajícího adekvátním tahovým silám – působením „řetězovky“ (4.1.4).



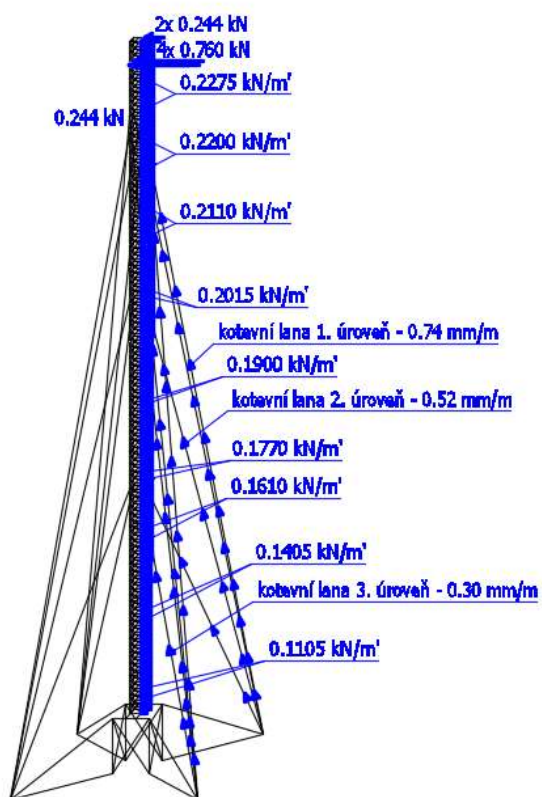
Obrázek 49 - Schéma zatížení při přetržení lana v 1. kotevní úrovni [30]



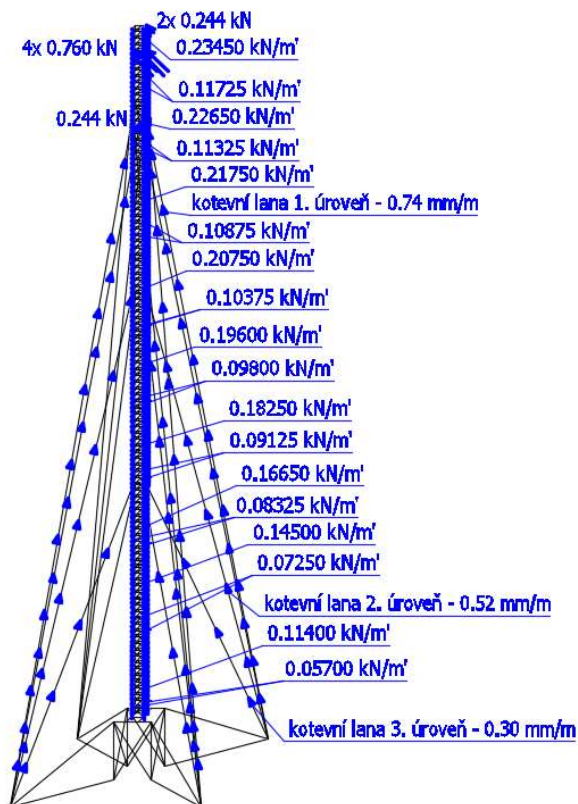
Obrázek 50 - Schéma zatížení při přetržení lana ve 2. kotevní úrovni [30]



Obrázek 51 - Schéma zatížení při přetržení lana ve 3. kotevní úrovni [30]



Obrázek 52 - Schéma zatížení kolmým větrem při přetržení lana [30]



Obrázek 53 - Schéma zatížení diagonálním větrem při přetržení lana [30]

2.3.3. Seizmické zatížení

Zatížení konstrukcí seismickou je definováno dle ČSN EN 1998-1. Nejvýznamnějším pojmem týkající se seismického zatížení je *duktilita*, která vyjadřuje schopnost konstrukce odolávat významným ztrátám pevnosti opakovaným cyklem velkých deformací v oblasti nad mezí kluzu. Dle normy ČSN EN 1998-6, věnující se přímo seismickému zatížení věží stožárů a komínů, nejsou kotvené stožáry schopny vysokému seismickému zatížení odolávat a jsou navrženy pro hodnotu součinitele duktility q rovnou 1,5. Pro uvažovaný stožár je na základě mapy seismických oblastí České republiky uvažováno referenční zrychlení základové půdy 0,02 g. Základová půda je na základě ČSN EN 1998-1, 3.2.1, tab. 3.1 stanovena jako typ B, který je popsán jako sedimenty velmi ulehlého písku, šterku nebo velmi tuhého jílu v tloušťce alespoň několik desítek metrů, s mechanickými vlastnostmi rostoucími s hloubkou. Na základě umístění stožáru je uvažováno spektrum typu 1.



Obrázek 54 - Mapa seizmických oblastí České republiky [11]

2.3.3.1. Zjednodušený rovinný výpočtový model

Pro potřeby stanovení frekvence, periody a vlastních tvarů je v programu SCIA Engineer vytvořen zjednodušený rovinný výpočtový model. Jelikož se jedná o stožár výšky 39 m jsou v souladu s normou kotevní lana uvažována jako pružné podpory ve vodorovném směru s tuhostí určenou níže. Výpočtový model je vytvořen z profilu TR350/11 z oceli S355, který má stejnou tuhost jako příhradové dílce konstrukce. Konstrukce je zatížena bodovou hmotou uprostřed prutů.

Stanovení tuhosti pružných podpor:

Použité vzorce:

$$K_{eff,h} = \cos^2 \alpha \cdot \frac{A_c \cdot E_{eq}}{l} \quad \text{ČSN EN 1998-6, 8.2, (8.1)}$$

Výpočet pro jednotlivé kotevní úrovně:

$$K_{eff,1} = \cos^2 82,2^\circ \cdot \frac{4,68 \times 10^{-6} \cdot 150000 \times 10^6}{35,468} = 21188 \text{ N/m}$$

$$K_{eff,2} = \cos^2 78,8^\circ \cdot \frac{2,68 \times 10^{-6} \cdot 150000 \times 10^6}{25,651} = 30004 \text{ N/m}$$

$$K_{eff,3} = \cos^2 71,8^\circ \cdot \frac{2,68 \times 10^{-6} \cdot 150000 \times 10^6}{16,061} = 123908 \text{ N/m}$$

Stanovení bodové hmoty na prutech:

Vlastní tíha dílce K-600: 70 kg

Hmotnost kabelové trasy: 5 kg/m

Hmotnost antén ATR4518R11v06: 27,5 kg

Hmotnost mikrovln ø 0,6m: 15 kg

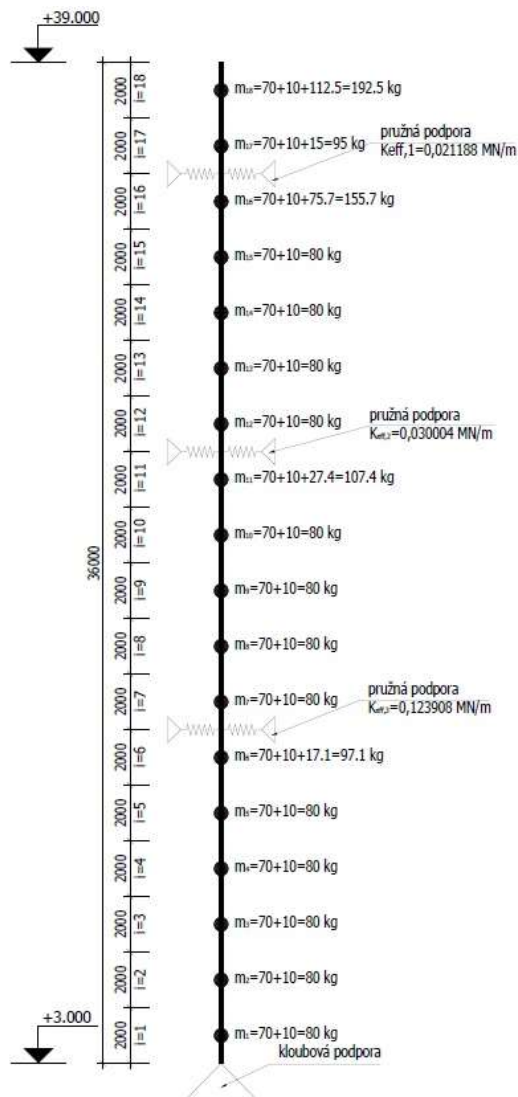
Hmotnost kotevních lan:

$$m_1 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot A_c \cdot \gamma_{ocel} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 8,68 \times 10^{-6} \cdot 7850 \cdot 35,468 = 75,7 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot A_c \cdot \gamma_{ocel} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 4,68 \times 10^{-6} \cdot 7850 \cdot 25,651 = 27,4 \text{ kg}$$

$$m_3 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot A_c \cdot \gamma_{ocel} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 4,68 \times 10^{-6} \cdot 7850 \cdot 16,061 = 17,1 \text{ kg}$$

Zjednodušené prutové výpočtové schéma:



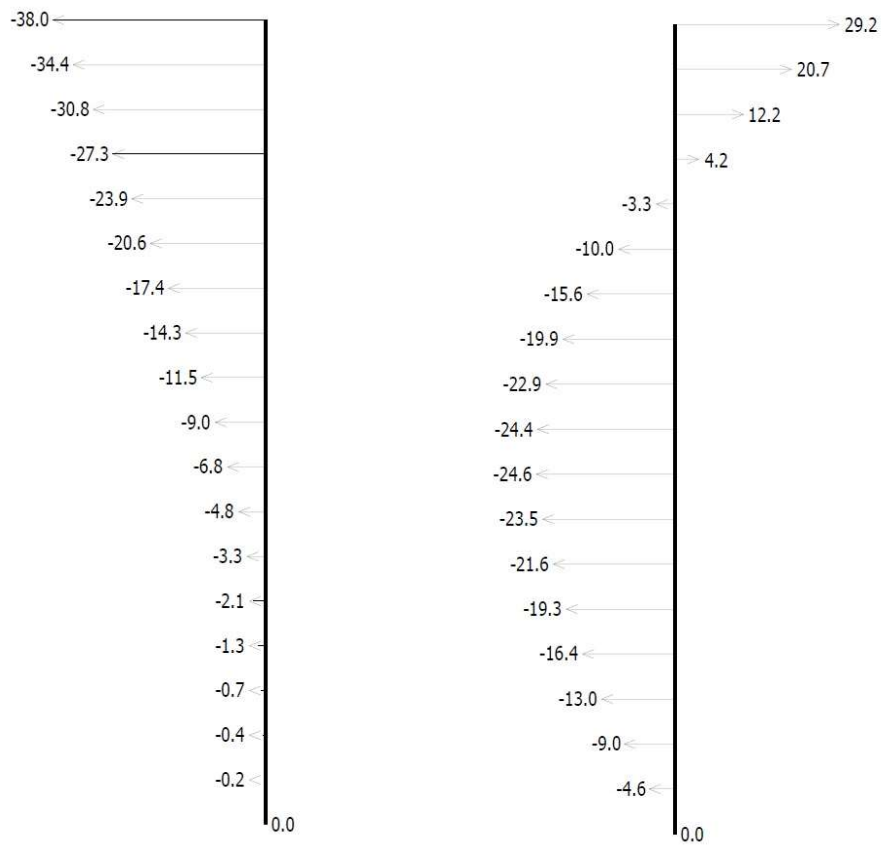
Obrázek 55 – Zjednodušený prutový výpočtový model [30]

Výsledky z programu SCIA Engineer:

Kombinace hmot	f [Hz]	ω [s^{-1}]	T [s]
1	0,94	5,90	1,06
2	1,63	10,25	0,61
3	3,01	18,88	0,33

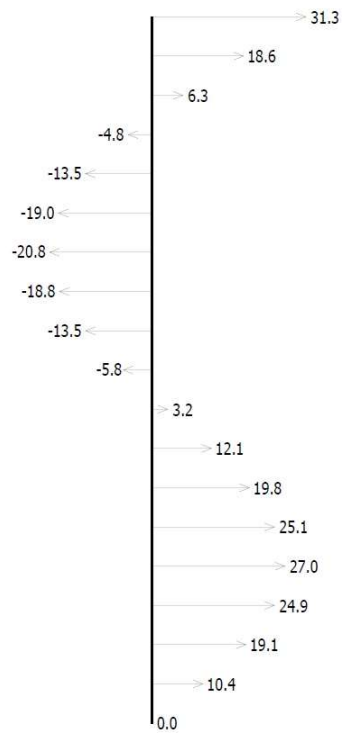
Tabulka 36 - Výpis frekvencí pro jednotlivé kombinace hmot

Schémata vlastních tvarů:



Obrázek 56 - Vlastní tvary pro 1. kombinaci hmot [30]

Obrázek 57 - Vlastní tvary pro 2. kombinaci hmot [30]



Obrázek 58 - Vlastní tvary pro 3. kombinaci hmot [30]

2.3.3.2. Ověření možnosti využití metody výpočtu pomocí příčných sil

Tato metoda se využívá u konstrukcí, u nichž nedochází k významnému kmitání v jiném než hlavním směru. Na základě ČSN EN 1998-1, 4.3.3.2.1, (1)P se tento požadavek považuje za splněný, jsou-li splněny následující podmínky.

1. Hodnota základní periody:

Hodnota základní periody v obou hlavních směrech je menší než $4 \cdot T_c$ a 2,0 s.

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c \\ 2,0 \text{ s} \end{cases} \rightarrow 1,06 \leq \begin{cases} 4 \cdot 0,5 \\ 2,0 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

2. Splnění podmínek dle ČSN EN 1998-1, 4.2.3.3, (5):

Půdorysné rozměry jsou po celé výšce konstantní, podmínky jsou tedy automaticky SPLNĚNY.

2.3.3.3. Metoda výpočtu pomocí příčných sil

Vodorovné složky návrhového spektra v pružné oblasti:

Použité vzorce:

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{g,R}$$

$$S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_c}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \text{ČSN EN 1998-1, 3.2.2.5, (3.13)}$$

Použité konstanty:

$$\gamma_1 = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1998-1, 4.2.5, (5)P}$$

$$S = 1,2 \quad \text{ČSN EN 1998-1, 3.2.2.2, tab. 3.2}$$

$$q = 1,5 \quad \text{ČSN EN 1998-6, 8.2, (1)}$$

$$T_c = 0,5 \text{ s} \quad \text{ČSN EN 1998-1, 3.2.2.2, tab. 3.2}$$

$$\beta = 0,2 \quad \text{ČSN EN 1998-1, 3.2.2.5, (4)P}$$

Výpočet:

$$a_g = 1,0 \cdot 0,04 \cdot 10 = 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$S_d(T) \begin{cases} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{1,5} \cdot \frac{0,5}{1,06} \\ \geq 0,2 \cdot 0,4 \end{cases}$$

$$S_d(T) \begin{cases} = 0,3774 \\ \geq 0,08 \end{cases}$$

$$S_d(T) = 0,3774 \text{ m/s}^2$$

Výpočet celkové náhradní vodorovné síly:

Použité vzorce:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad \text{ČSN EN 1998-1, 4.3.3.2.2, (4.5)}$$

Použité konstanty:

$$\lambda = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1998-1, 4.3.3.2.2., (1)P}$$

Výpočet:

$$F_b = 0,3774 \cdot 1685 \cdot 1,0 = 0,636 \text{ kN}$$

Rozdělení celkové náhradní vodorovné síly:

Použité vzorce:

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \quad \text{ČSN EN 1998-1, 4.3.3.2.3, (4.10)}$$

Výpočet:

$$\begin{aligned} \sum s_j \cdot m_j &= 38.192,5 + 34,4.95 + 30,8.154,3 + 27,3.80 + 23,9.80 + 20,6.80 + \\ &+ 17,4.80 + 14,3.106,7 + 11,5.80 + 9,0.80 + 6,8.80 + 4,8.80 + 3,3.96,5 + \\ &+ 2,1.80 + 1,3.80 + 0,7.80 + 0,4.80 + 0,2.80 = 27259,7 \end{aligned}$$

$$F_1 = 0,636 \cdot \frac{38.192,5}{27259,7} = 0,1707 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,636 \cdot \frac{34,4.95}{27259,7} = 0,0762 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0,636 \cdot \frac{30,8.154,3}{27259,7} = 0,1109 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0,636 \cdot \frac{27,3.80}{27259,7} = 0,0510 \text{ kN}$$

$$F_5 = 0,636 \cdot \frac{23,9.80}{27259,7} = 0,0446 \text{ kN}$$

$$F_6 = 0,636 \cdot \frac{20,6.80}{27259,7} = 0,0384 \text{ kN}$$

$$F_7 = 0,636 \cdot \frac{17,4.80}{27259,7} = 0,0325 \text{ kN}$$

$$F_8 = 0,636 \cdot \frac{14,3.106,7}{27259,7} = 0,0356 \text{ kN}$$

$$F_9 = 0,636 \cdot \frac{11,5.80}{27259,7} = 0,0215 \text{ kN}$$

$$F_{10} = 0,636 \cdot \frac{9,0.80}{27259,7} = 0,0168 \text{ kN}$$

$$F_{11} = 0,636 \cdot \frac{6,8.80}{27259,7} = 0,0127 \text{ kN}$$

$$F_{12} = 0,636 \cdot \frac{4,8.80}{27259,7} = 0,0090 \text{ kN}$$

$$F_{13} = 0,636 \cdot \frac{3,3.96,5}{27259,7} = 0,0074 \text{ kN}$$

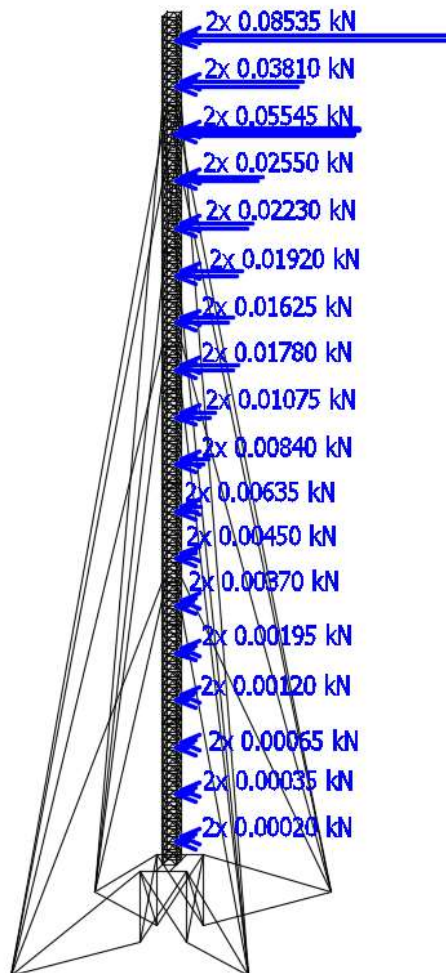
$$F_{14} = 0,636 \cdot \frac{2,1.80}{27259,7} = 0,0039 \text{ kN}$$

$$F_{15} = 0,636 \cdot \frac{1,3.80}{27259,7} = 0,0024 \text{ kN}$$

$$F_{16} = 0,636 \cdot \frac{0,7.80}{27259,7} = 0,0013 \text{ kN}$$

$$F_{17} = 0,636 \cdot \frac{0,4 \cdot 80}{27259,7} = 0,0007 \text{ kN}$$

$$F_{18} = 0,636 \cdot \frac{0,2 \cdot 80}{27259,7} = 0,0004 \text{ kN}$$



Obrázek 59 - Schéma zatížení seizmicitou [30]

2.3.4. Zatížení větrem pro rozkmit napětí únavového zatížení

Při výpočtu zatížení větrem pro rozkmit napětí únavového zatížení dle ČSN EN 1993-3-1, 9.2.1, (2), pozn. a) vycházíme z předpokladu, že rozptyl středních hodnot těchto napětí má statisticky normální rozdělení se směrodatnou odchylkou napětí, která je čtvrtina hodnoty součinitele odezvy napětí G při střední rychlosti větru. Rozkmit napětí $\Delta\sigma_{Si}$ je poté brán jako $1,1$ násobek rozdílu mezi napětím od větru se započítáním součinitele odezvy napětí G a napětím od desetiminutové střední rychlosti větru.

2.3.4.1. Maximální dynamický tlak větru pro rozkmit únavového napětí

Základní dynamický tlak větru:

Použité vzorce:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z) \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, (4.10)}$$

Použité konstanty:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, pozn.}$$

Výpočet shodný pro všechny pro všechny dílce:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 12^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice:

Použité vzorce:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, (4.9)}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$c_e(z)$ [-]	Dílec	$c_e(z)$ [-]
D1	3,238	D6	2,698
D2	3,161	D7	2,522
D3	3,064	D8	2,286
D4	2,964	D9	1,926
D5	2,847		

Tabulka 37 - Součinitel expozice pro jednotlivé dílce

Součinitel odezvy napětí:

Použité vzorce:

$$G = c_e(z) \cdot c_s c_d - 1$$

ČSN EN 1993-3-1, 9.2.1, (2), pozn.

Použité konstanty:

$$c_s c_d = 1,05$$

ČSN EN 1991-1-4, obr. D.1

Výpočet pro jednotlivé dílce:

<i>Dílec</i>	<i>G [-]</i>
<i>D1</i>	2,340
<i>D2</i>	2,320
<i>D3</i>	2,217
<i>D4</i>	2,112
<i>D5</i>	1,989

<i>Dílec</i>	<i>G [-]</i>
<i>D6</i>	1,833
<i>D7</i>	1,648
<i>D8</i>	1,400
<i>D9</i>	1,022

Tabulka 38 - Součinitel odezvy napětí pro jednotlivé dílce

Rozkmit rychlosti větru:

Použité vzorce:

$$v_{rozkmít} = 1,1 \cdot \left(\frac{G}{4} \cdot v_{b,0} + v_{b,0} - v_{b,0} \right) = 1,1 \cdot \left(\frac{G}{4} \cdot v_{b,0} \right)$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$v_{rozkmít}$ [m/s]	Dílec	$v_{rozkmít}$ [m/s]
D1	16,088	D6	12,602
D2	15,950	D7	11,330
D3	15,242	D8	9,625
D4	14,520	D9	7,026
D5	13,674		

Tabulka 39 - Rozkmit rychlosti větru pro jednotlivé dílce

Maximální dynamický tlak pro rozkmit únavového napětí:

Použité vzorce:

$$q_{p,rozkmít}(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{rozkmít}^2 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, (4.8)}$$

Použité konstanty:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4, 4.5, pozn.}$$

Výpočet pro jednotlivé dílce:

Dílec	$q_{p,rozkmít}(z)$ [kN/m^2]	Dílec	$q_{p,rozkmít}(z)$ [kN/m^2]
D1	0,333	D6	0,219
D2	0,330	D7	0,181
D3	0,305	D8	0,136
D4	0,280	D9	0,078
D5	0,253		

Tabulka 40 - Maximální dynamický tlak pro rozkmit únavového napětí pro jednotlivé dílce

2.3.4.2. Střední zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí dle ekvivalentní statické metody

Pro výpočet jsou použity postupy, vzorce a konstanty uvedené v kapitole 2.2.1.

Střední zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{m,w}$ [kN/m']
D1	0,120	D6	0,073
D2	0,117	D7	0,059
D3	0,107	D8	0,043
D4	0,097	D9	0,023
D5	0,086		

Tabulka 41 - Střední zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

<i>Dílec</i>	<i>F_{m,w} [kN/m']</i>	<i>Dílec</i>	<i>F_{m,w} [kN/m']</i>
D1	0,123	D6	0,076
D2	0,121	D7	0,061
D3	0,111	D8	0,044
D4	0,100	D9	0,024
D5	0,089		

Tabulka 42 - Střední zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro druhý směr větru

Střední zatížení větrem osamělých příslušenství:

<i>Typ antény</i>	<i>Plocha antény [m²]</i>	<i>F_{OP,w} [kN]</i>
ATR4518R11v06	0,882	0,200
MW $\varnothing 0,6m$	0,283	0,064

Tabulka 43 - Střední zatížení větrem osamělých příslušenství pro rozkmit únavového zatížení

Střední zatížení větrem kotevních lan:

<i>Úroveň kotevních lan</i>	<i>Odpovídající dílec</i>	<i>F_{G,w} [kN/m']</i>
1.	D4	$1,347 \times 10^{-3}$
2.	D6	$1,017 \times 10^{-3}$
3.	D8	$6,052 \times 10^{-4}$

Tabulka 44 - Střední zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového zatížení

2.3.4.3. Náhradní zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí dle ekvivalentní statické metody

Pro výpočet jsou použity postupy, vzorce a konstanty uvedené v kapitole 2.2.1.

Náhradní zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']
D1	0,126	D6	0,088
D2	0,126	D7	0,075
D3	0,118	D8	0,058
D4	0,110	D9	0,035
D5	0,100		

Tabulka 45 - Náhradní zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{P,w}$ [kN/m']
D1	0,130	D6	0,091
D2	0,130	D7	0,075
D3	0,122	D8	0,060
D4	0,113	D9	0,036
D5	0,104		

Tabulka 46 - Náhradní zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro druhý směr větru

Náhradní zatížení větrem osamělých břemen:

<i>Typ antény</i>	<i>Plocha antény [m²]</i>	<i>F_{OP,w} [kN]</i>
<i>ATR4518R11v06</i>	0,882	0,211
<i>MW ø0,6m</i>	0,283	0,068

Tabulka 47 - Náhradní zatížení větrem osamělých břemen pro rozkmit únavového napětí

Náhradní zatížení větrem kotevních lan:

<i>Úroveň kotevních lan</i>	<i>Odpovídající dílec</i>	<i>F_{PG} [kN/m']</i>
1.	<i>D4</i>	$1,473 \times 10^{-3}$
2.	<i>D6</i>	$1,225 \times 10^{-3}$
3.	<i>D8</i>	$8,176 \times 10^{-4}$

Tabulka 48 - Náhradní zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového napětí

2.3.4.4. Celkové zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí

Pro výpočet jsou použity postupy, vzorce a konstanty uvedené v kapitole 2.2.1.

Celkové zatížení větrem na stožár zahrnující i liniové příslušenství:

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 0^\circ$:

<i>Dílec</i>	<i>F_{TM,m,w} [kN/m']</i>	<i>Dílec</i>	<i>F_{TM,m,w} [kN/m']</i>
<i>D1</i>	0,246	<i>D6</i>	0,161
<i>D2</i>	0,243	<i>D7</i>	0,134
<i>D3</i>	0,225	<i>D8</i>	0,101
<i>D4</i>	0,207	<i>D9</i>	0,058
<i>D5</i>	0,186		

Tabulka 49 - Celkové zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro první směr větru

Výpočet pro jednotlivé dílce ve směru větru $\theta = 45^\circ$:

Dílec	$F_{TM,m,w}$ [kN/m']	Dílec	$F_{TM,mw}$ [kN/m']
D1	0,253	D6	0,167
D2	0,251	D7	0,136
D3	0,233	D8	0,104
D4	0,213	D9	0,060
D5	0,193		

Tabulka 50 - Celkové zatížení větrem na stožár pro rozkmit únavového napětí pro druhý směr větru

Celkové zatížení větrem osamělých břemen:

Typ antény	$F_{TM,OP,w}$ [kN]
ATR4518R11v06	0,411
MW $\varnothing 0,6m$	0,132

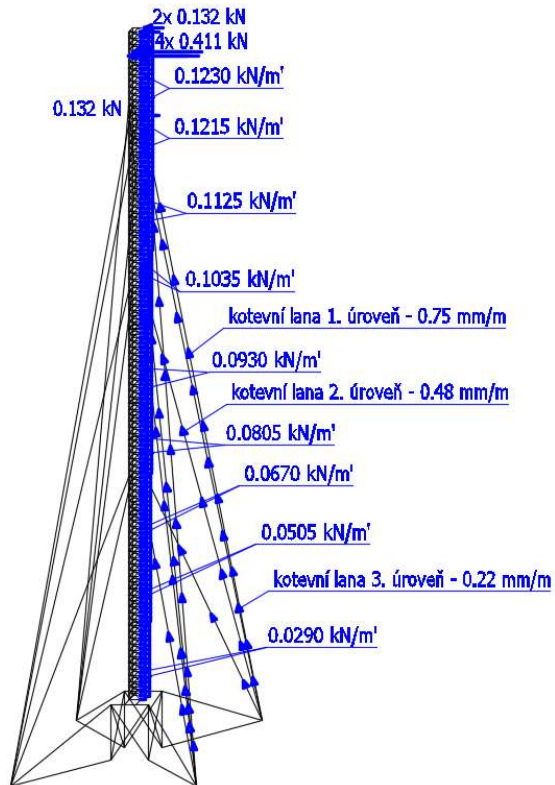
Tabulka 51 - Celkové zatížení větrem osamělých břemen pro rozkmit únavového napětí

Celkové zatížení větrem kotevních lan:

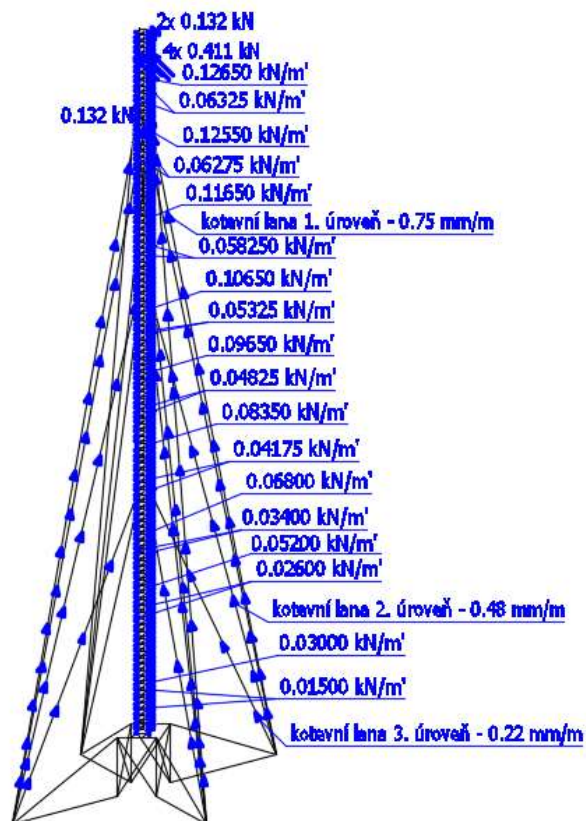
Úroveň kotevních lan	$F_{TM,G,w}$ [kN/m']
1.	$2,820 \times 10^{-3}$
2.	$2,242 \times 10^{-3}$
3.	$1,423 \times 10^{-3}$

Tabulka 52 - Celkové zatížení větrem kotevních lan pro rozkmit únavového napětí

Celkové zatížení kotevních lan větrem pro rozkmit únavového napětí je rozděleno na složku kolmou a rovnoběžnou s prameny lan. Kolmá složka je do výpočtu vnesena pomocí vynuceného zkrácení lan odpovídajícího adekvátním tahovým silám – působením „řetězovky“ (4.1.5).



Obrázek 60 - Zatížení kolmým větrem pro rozkmit únavového napětí [30]



Obrázek 61 - Zatížení diagonálním větrem pro rozkmit únavového napětí [30]

3. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou stanoveny v souladu s normou ČSN EN 1990 pro zatížení konstrukcí bez námrazy a ČSN EN 1993-3-1, kde je stanoven postup pro vytváření kombinací v případě zatížení konstrukcí námrazou. Jelikož je stožár zařazen dle ČSN EN 1993-3-1 příloha A.1 do třídy spolehlivosti „2“, dílčí součinitel γ pro stálá zatížení je 1,1 a pro proměnná zatížení je 1,4. Redukční součinitel k při zatížení konstrukce současně větrem i námrazou je v závislosti na třídě námrazy dle normy ČSN ISO 12494 stanoven na 0,45. Mezní stavy jsou řešeny zvlášť bez působení námrazy a zvlášť s působením námrazy. Kombinace řešené s účinky námrazy jsou řešeny zvlášť pro případ, kdy je dominantní vítr a pro případ, kdy je dominantní námraza. Kombinační součinitele pro zatížení větrem a teplotou jsou dle ČSN EN 1990, A1.2.2, tab. A1.1 stanoveny:

Kombinační součinitele	Zatížení větrem	Zatížení teplotou
ψ_0	0,6	0,6
ψ_1	0,2	0,5
ψ_2	0,0	0,0

Tabulka 53 - Použité hodnoty kombinačních součinitelů

Kombinační součinitele v případě zatížení konstrukce námrazou jsou v souladu s normou ČSN EN 1993-3-1, C.6, pozn. stanoveny:

$$\psi_w = 0,5$$

$$\psi_{ice} = 0,0$$

3.1. Mezní stavy použitelnosti

Bez účinků námrazy:

Použitý vzorec:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + "P" + "Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{ČSN EN 1990, 6.5.3, (6.14b)}$$

S účinky námrazy:

Použité vzorce:

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,j} " + "P" + " Q_{k,ice} " + " k \cdot \psi_w \cdot Q_{k,w} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, C.6, (C.3a)}$$

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,j} " + "P" + " k \cdot Q_{k,w} " + " \psi_{ice} \cdot Q_{k,ice} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, C.6, (C.3b)}$$

3.2. Mezní stavy únosnosti

Bez účinků námrazy:

Použitý vzorec:

$$\sum_{j \geq 1} Y_{G,j} \cdot G_{k,j} " + "Y_P \cdot P" + "Y_{Q,1} \cdot Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} Y_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{ČSN EN 1990, 6.5.3, (6.14b)}$$

S účinky námrazy:

Použité vzorce:

$$\sum_{i \geq 1} Y_G \cdot G_{k,j} " + "Y_P \cdot P" + " Y_{ice} \cdot Q_{k,ice} " + " Y_W \cdot k \cdot \psi_w \cdot Q_{k,w} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, C.6, (C.3a)}$$

$$\sum_{i \geq 1} Y_G \cdot G_{k,j} " + "Y_P \cdot P" + " Y_w \cdot k \cdot Q_{k,w} " + " Y_{ice} \cdot \psi_{ice} \cdot Q_{k,ice} \quad \text{ČSN EN 1993-3-1, C.6, (C.3b)}$$

3.3. Mimořádné mezní stavy

Použitý vzorec:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + "P" + "A_d" + " (\psi_{1,1} \vee \psi_{2,2}) \cdot Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{ČSN EN 1990, 6.4.3.3, (6.11b)}$$

3.4. Kombinace zatížení pro seizmické návrhové situace

Použitý vzorec:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + "P" + "A_d" + " \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{ČSN EN 1990, 6.4.3.3, (6.12b)}$$

3.5. Výpis použitých mezních stavů

	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP /Ú
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stálé – vlastní tíha	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – ostatní stálá zařízení	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – telekomunikační technologie	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – předpětí kotevních lan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Klimatické – vítr kolmý	•									
Klimatické – vítr diagonální		•								
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky			•					•	•	
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma dvojice kotevních lan do společného směru				•						•
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma čtveřice kotevních lan do dvou směrů					•					
Klimatické – námraza – vítr kolmý								•		•
Klimatické – námraza – vítr diagonální									•	
Klimatické – maximální teplota						•				
Klimatické – minimální teplota							•			

Tabulka 54 - Výpis použitých mezních stavů únosnosti a použitelnosti

	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú	MSP/Ú
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Stálé – vlastní tíha	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – ostatní stálá zařízení	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – telekomunikační technologie	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stálé – předpětí kotevních lan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Klimatické – vítr kolmý										
Klimatické – vítr diagonální										
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky				•			•	•		
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma dvojice kotevních lan do společného směru	•				•				•	•
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma čtveřice kotevních lan do dvou směrů		•	•			•				
Klimatické – námraza – vítr kolmý		•					•		•	
Klimatické – námraza – vítr diagonální	•		•					•		•
Klimatické – maximální teplota										
Klimatické – minimální teplota				•	•	•	•	•	•	•

Tabulka 55 - Výpis použitých mezních stavů únosnosti a použitelnosti

	MSP/Ú 21	MSP/Ú 22	MSP/Ú 23	MSP/Ú 24	MSP/Ú 25	MSP/Ú 27
Stálé – vlastní tíha	•	•	•	•	•	•
Stálé – ostatní stálá zařízení	•	•	•	•	•	•
Stálé – telekomunikační technologie	•	•	•	•	•	•
Stálé – předpětí kotevních lan	•	•	•	•	•	•
Klimatické – vítr kolmý			•	•		
Klimatické – vítr diagonální					•	•
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky						
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma dvojice kotevních lan do společného směru						
Klimatické – námraza – vlastní tíha – všechny prvky vyjma čtveřice kotevních lan do dvou směrů	•	•				
Klimatické – námraza – vítr kolmý	•					
Klimatické – námraza – vítr diagonální		•				
Klimatické – maximální teplota			•		•	
Klimatické – minimální teplota	•		•			•

Tabulka 56 - Výpis použitých mezních stavů únosnosti a použitelnosti]

Uvažované mimořádné mezní stavy jsou stejné jako mezní stavy únosnosti a použitelnosti z předešlých tabulek (*Tabulka 54, Tabulka 55, Tabulka 56*), s tím, že každý z předešlých stavů je nyní postupně po jednom skombinován se všemi mimořádnými zatěžovacími stavy (*Tabulka 57*). Mimořádných mezních stavů je tedy 243.

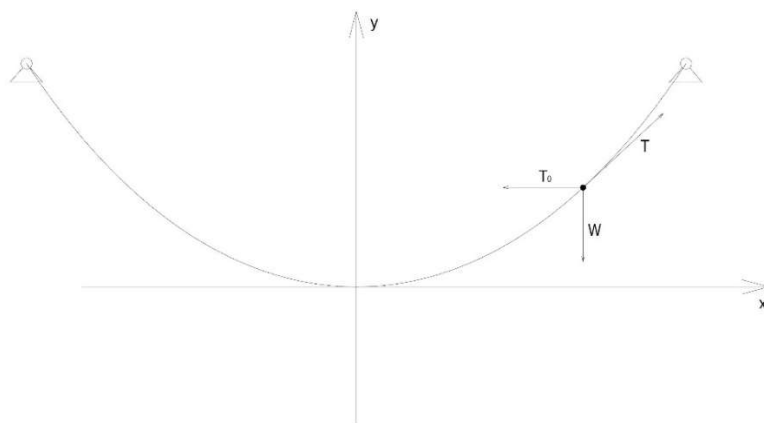
Mimořádné – pád obsluhy
Mimořádné – přetržení lana – 1. úroveň
Mimořádné – přetržení lana – 2. úroveň
Mimořádné – přetržení lana – 3. úroveň
Mimořádné – přetržení lana – kolmý vítr
Mimořádné – přetržení lana – diagonální vítr
Mimořádné – seizmicita
Mimořádné – únava – kolmý vítr
Mimořádné – únava – diagonální vítr

Tabulka 57 - Výpis mimořádných mezních stavů

4. Rovnice řetězovky

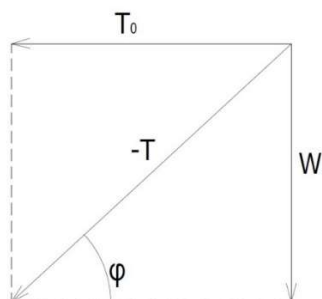
Řetězovkou rozumíme křivku, jejíž polohu zaujme v homogenním gravitačním poli dokonale pevné a ohebné vlákno, které je zavěšené na svých dvou koncích v libovolných výškových úrovních. Touto polohou rozumíme polohu s minimální potenciální energií. Křivka řetězovky je totožná s grafem hyperbolického kosinu, jehož předpis lze vyjádřit pomocí exponenciálních funkcí nebo pomocí goniometrické funkce s imaginárním argumentem.

$$y = a \cdot \cosh \frac{x}{a} = a \cdot \frac{e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}}{2} = a \cdot \cos(i \frac{x}{a}) \quad (4.1)$$



Obrázek 62 - Graf řetězovky s rozkladem sil působících v každém jejím bodě [30]

Na každý bod zavěšeného lana působí trojice sil. První síla T_0 je horizontální, konstantní a působí vždy ke vzdálenější závěsnému bodu. Vertikální síla W je způsobena vlastní tíhou lana a případným vertikálním zatížením. A poslední síla T je tečná síla působící k bližšímu závěsnému bodu. Jelikož je lano v klidu, musí být i síly působící na zkoumaný bod v rovnováze.



Obrázek 63 - Síly působící na libovolný bod řetězovky [30]

Jelikož opačný vektor síly T představuje úhlopříčku rovnoběžníku, respektive v tomto případě obdélníku (Obrázek 63), který vzniká doplněním na rovnoběžník vektorů sil T_0 a W , je zřejmé, že platí rovnice (4.2).

$$-T = W + T_0 \quad (4.2)$$

Na základě znalosti goniometrických funkcí můžeme vyjádřit úhel φ (Obrázek 63) v závislosti na velikosti sil W a T_0 . Tangens tohoto úhlu φ představuje zároveň směrnici tečny ke grafu funkce, což znamená, že se jedná o derivaci dané funkce.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W}{T_0} \quad (4.3)$$

$$y' = \frac{W}{T_0} \quad (4.4)$$

Jelikož velikost síly W je dána vlastní tíhou lana a případným svislým zatížením působícím vždy od počátku souřadného systému až do zkoumaného bodu, lze její velikost vyjádřit pomocí délky křivky a konstantního zatížení F , které zahrnuje jak vlastní tíhu lana, tak působící svislé zatížení. Díky znalosti integrálního počtu můžeme délku křivky vyjádřit jako $\int_a^b \sqrt{1 + [y']^2} dx$. Dosazením tohoto integrálu do rovnice (4.4) dostáváme diferenciální rovnici prvního řádu (4.6).

$$W = F \int_0^x \sqrt{1 + [y']^2} dx \quad (4.5)$$

$$y' = \frac{F \int_0^x \sqrt{1 + [y']^2} dx}{T_0} \quad (4.6)$$

Zderivováním rovnice (4.6), které jsme provedli z důvodu odstranění integrálu na pravé straně rovnice, získáváme diferenciální rovnici druhého řádu (4.7), kterou umocníme z důvodu odstranění odmocniny na pravé straně rovnice.

$$y'' = \frac{F}{T_0} \cdot \sqrt{1 + [y']^2} \quad (4.7)$$

$$(y'')^2 = \frac{F^2}{T_0^2} \cdot (1 + [y']^2) \quad (4.8)$$

Z důvodu odstranění mocnin přítomných derivací provedeme opětovnou derivaci rovnice (4.8) a následné vykrácení rovnice (4.9).

$$2 \cdot y'' \cdot y''' = \frac{F^2}{T_0^2} \cdot 2 \cdot y' \cdot y'' \quad (4.9)$$

$$y''' = \frac{F^2}{T_0^2} \cdot y' \quad (4.10)$$

Nyní máme diferenciální rovnici (4.10) třetího řádu, u které je možné provést substituci z důvodu snížení řádu diferenciální rovnice.

$$z = y' \quad (4.11)$$

$$z' = y'' \quad (4.12)$$

$$z'' = y''' \quad (4.13)$$

Dosazením substituce (4.11), (4.12) a (4.13) do rovnice (4.10) dostáváme homogenní diferenciální rovnici druhého řádu s konstantními koeficienty (4.15).

$$z'' = \frac{F^2}{T_0^2} \cdot z \quad (4.14)$$

$$z'' - \frac{F^2}{T_0^2} \cdot z = 0 \quad (4.15)$$

Tento typ diferenciální rovnice (4.15) je možné řešit vytvořením charakteristické algebraické rovnice a následným vyřešením této rovnice (4.16).

$$\lambda^2 - \frac{F^2}{T_0^2} = 0 \quad (4.16)$$

$$\lambda_{1,2} = \pm \frac{F}{T_0} \quad (4.17)$$

Z výsledků (4.17) charakteristické rovnice (4.16) jsme schopni stanovit obecné řešení diferenciální rovnice (4.18), která vznikla substitucí původně řešené diferenciální rovnice (4.10).

$$z = c_1 \cdot e^{\frac{F}{T_0}x} + c_2 \cdot e^{-\frac{F}{T_0}x} \quad (4.18)$$

$$z' = c_1 \cdot \frac{F}{T_0} \cdot e^{\frac{F}{T_0}x} - c_2 \cdot \frac{F}{T_0} e^{-\frac{F}{T_0}x} \quad (4.19)$$

Partikulární řešení získáme dosazením počátečních podmínek do obecného řešení rovnice (4.18). Vzhledem k umístěnému souřadného systému (Obrázek 62) je zřejmé, že průhyb i natočení křivky je v počátku souřadného systému nulové. Musí tedy platit $y(0) = 0$ a $y'(0) = 0$. A po dosazení těchto podmínek do rovnice (4.7) získáváme další podmínku a to $y''(0) = \frac{F}{T_0}$. Po dosazení počátečních podmínek, na něž byla také nejdříve aplikovaná použitá substituce (4.11), (4.12), získáváme neznáme konstanty (4.22) a (4.23).

$$0 = c_1 \cdot e^{\frac{F}{T_0} \cdot 0} + c_2 \cdot e^{-\frac{F}{T_0} \cdot 0} \quad (4.20)$$

$$\frac{F}{T_0} = c_1 \cdot \frac{F}{T_0} \cdot e^{\frac{F}{T_0} \cdot 0} - c_2 \cdot \frac{F}{T_0} \cdot e^{-\frac{F}{T_0} \cdot 0} \quad (4.21)$$

$$c_1 = \frac{1}{2} \quad (4.22)$$

$$c_2 = -\frac{1}{2} \quad (4.23)$$

Dosazením těchto konstant (4.22) a (4.23) do obecného řešení (4.18) dostáváme tedy partikulární řešení (4.24) diferenciální rovnice, o kterém na základě provedené substituce (4.11) víme, že je derivací řešení původní diferenciální rovnice.

$$z = y' = \frac{1}{2} \cdot e^{\frac{F}{T_0}x} - \frac{1}{2} \cdot e^{-\frac{F}{T_0}x} \quad (4.24)$$

Nyní tedy můžeme stanovit nejdříve obecné řešení (4.25) původní diferenciální rovnice a poté na základně uplatnění počáteční podmínky $y(0) = 0$ i partikulární řešení (4.28).

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot e^{\frac{F}{T_0}x} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot e^{-\frac{F}{T_0}x} + c \quad (4.25)$$

$$0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot e^{\frac{F}{T_0} \cdot 0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot e^{-\frac{F}{T_0} \cdot 0} + c \quad (4.26)$$

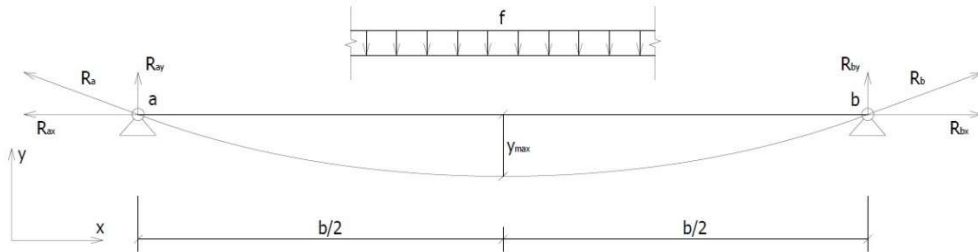
$$c = -\frac{T_0}{F} \quad (4.27)$$

Tímto postupem získáváme rovnici funkce popisující průběh křivky (4.28) respektive (4.29), jejíž polohu zaujímá lano zavěšené v homogenním gravitačním poli (Obrázek 62).

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot \left(e^{\frac{F}{T_0}x} + e^{-\frac{F}{T_0}x} \right) - \frac{T_0}{F} \quad (4.28)$$

$$y = \frac{T_0}{F} \cosh\left(\frac{F}{T_0} x\right) - \frac{T_0}{F} \quad (4.29)$$

Nyní můžeme na základě sestavení podmínek rovnováhy stanovit reakce v závěsných bodech. Konkrétně je využita silová podmínka ve svislém směru a momentová podmínka sestavená k bodu a .



Obrázek 64 - Schéma řetězovky s reakcemi v podporách [30]

Sestavíme tedy soustavu dvou rovnic (4.30) a (4.31) o dvou neznámých, jejíž vyřešením získáme svislé složky reakcí v obou podporách (4.32).

$$-R_{ay} - R_{by} - f \cdot b = 0 \quad (4.30)$$

$$R_{by} \cdot b - f \cdot b \cdot \frac{b}{2} = 0 \quad (4.31)$$

$$R_{ay} = R_{by} = f \cdot \frac{b}{2} \quad (4.32)$$

Vodorovné složky reakcí (4.34) vyjádříme využitím Pythagorovy věty pro pravoúhlý trojúhelník, jež je vytvořen reakcemi v podporách a jejich rozloženými složkami do jednotlivých os.

$$R_{ax} = R_{bx} = \sqrt{R_{a/b}^2 - R_{ay/by}^2} \quad (4.33)$$

$$R_{ax} = R_{bx} = \sqrt{R_{a/b}^2 - \frac{f^2 \cdot b^2}{4}} \quad (4.34)$$

Maximální průhyb:

$$y_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_0}{F} \cdot \left(e^{\frac{F}{T_0} \cdot x} + e^{-\frac{F}{T_0} \cdot x} \right) - \frac{T_0}{F} = \frac{T_0}{F} \cdot \left(\cosh \frac{F}{T_0} \cdot x - 1 \right) \quad (4.35)$$

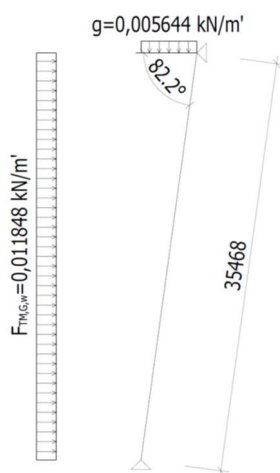
4.1. Přepočítání zatížení kotevních lan

Kolmá složka zatížení kotevních lan jednotlivých zatěžovacích stavů vypočítaných v kapitole 2 je pomocí rovnice řetězovky (4.35) přepočítána na vynucené zkrácení lan odpovídající adekvátním tahovým silám působením „řetězovky“.

4.1.1. Celkové zatížení větrem

V této podkapitole je spočítáno vynucené zkrácení lan vyvolané celkovým zatížením větrem na kotevní lana spočítané v kapitole 2.2.1.10.

1. výšková úroveň:



Obrázek 65 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g = \sin 7,8^\circ \cdot 0,005644 = 0,000765979 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,W}} = \sin 82,2^\circ \cdot F_{TM,G,W} = \sin 82,2^\circ \cdot 0,011848 = 0,01173838 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0_g} = \sqrt{P_1^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,5^2 - \frac{0,000765979^2 \cdot 35,468^2}{4}} = 5,499983225 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0_g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0_g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{5,499983225}{0,000765979} \cdot \left(\cosh \frac{0,000765979}{5,499983225} \cdot \frac{35,468}{2} - 1 \right) = 0,0219m$$

Následně je provedeno vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana. V prvním kroku je za průhyb od kolmé složky zatížení větrem uvažován maximální průhyb vyvolaný kolmou složkou zatížení od vlastní tíhy, pro který je vodorovná složka reakce získána, vzhledem k implicitně zadané rovnici řetězovky, metodou postupného přibližování. Poté je proveden výpočet šikmé reakce v podpoře a na základě něho je proveden výpočet prodloužení lana. Prodloužení lana je v dalším kroku kompletně přičteno k hodnotě průhybu vyvolaného kolmou složkou zatížení od vlastní tíhy a výpočet ostatních hodnot se pro daný průhyb opakuje jako v prvním kroku. Počet kroků je upraven tak, aby výsledná reakce v podpoře byla shodná na jedno desetinné místo. Tyto výpočty jsou provedeny na základě následujících vzorců:

$$y_1 = \frac{T_{01}}{F_{TM,G,w}} \cdot \left(\cosh \frac{F_{TM,G,w}}{T_{01}} \cdot \frac{b}{1} - 1 \right) \quad (4.36)$$

$$R_{a/b_i} = \sqrt{T_{0_i}^2 + \frac{F_{TM,G,w}^2 \cdot b^2}{4}} \quad (4.37)$$

$$\Delta l_i = \frac{R_{a/b_i} \cdot l \cdot 1000}{E \cdot A} \quad (4.38)$$

$$y_{i+1} = y_1 + \Delta l_i \quad (4.39)$$

<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	y_i [m]	T_{0_i} [kN]	R_{a/b_i} [kN]	Δl_i [m]
1	0,0219	84,274	84,274	0,2453
2	0,2672	6,909	6,912	0,0201
3	0,0420	43,936	43,937	0,1279
4	0,1498	12,325	12,327	0,0359
5	0,0578	31,948	31,949	0,0930
6	0,1149	16,067	16,068	0,0468
7	0,0687	26,881	26,882	0,0782
8	0,1001	18,433	18,434	0,0536
9	0,0756	24,431	24,432	0,0711
10	0,0930	19,846	19,847	0,0578
11	0,0797	23,170	23,171	0,0674

Tabulka 58 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 1

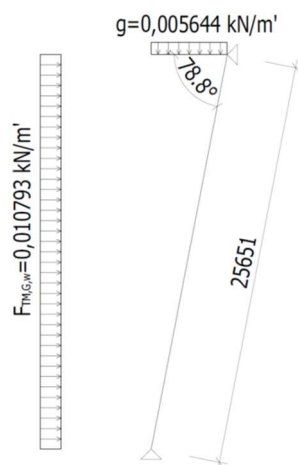
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_{0i} [kN]	R_{a/b_i} [kN]	Δl_i [m]
12	0,0893	20,661	20,662	0,0601
13	0,0820	22,500	22,501	0,065
14	0,0874	21,122	21,123	0,615
15	0,0834	22,138	22,139	0,0644
16	0,0863	21,380	21,381	0,0622
17	0,0841	21,941	21,942	0,0639
18	0,0858	21,523	21,524	0,0626
19	0,0845	21,833	21,834	0,0635
20	0,8554	21,602	21,603	0,0629
21	0,0848	21,773	21,774	0,0634
22	0,0853	21,646	21,647	0,0630
23	0,0849	21,741	21,742	0,0633
24	0,0852	21,670	21,671	0,0631

Tabulka 59 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 2

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{21,7 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00178 \text{ mm/m}$$

2. výšková úroveň:



Tabulka 60 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g = \sin 11,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,001096259 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,w}} = \sin 78,8^\circ \cdot F_{TM,G,w} = \sin 78,8^\circ \cdot 0,010793 = 0,010587449 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_2^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,0^2 - \frac{0,001096259^2 \cdot 25,651^2}{4}} = 4,999980231 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,999980231}{0,001096259} \cdot \left(\cosh \frac{0,001096259}{4,999980231} \cdot \frac{25,651}{2} - 1 \right) = 0,0180 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v této kapitole u výpočtu 1. výškové úrovně:

Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0180	48,284	48,284	0,1016
2	0,1197	7,277	7,278	0,0153
3	0,0334	26,108	26,108	0,0550
4	0,0730	11,931	11,932	0,0251
5	0,0431	20,181	20,182	0,0425
6	0,0605	14,390	14,391	0,0303
7	0,0483	18,020	18,021	0,0379
8	0,0560	15,560	15,561	0,0328
9	0,0508	17,146	17,147	0,0361
10	0,0541	16,088	16,089	0,0339
11	0,0519	16,779	16,780	0,0353
12	0,0534	16,322	16,323	0,0344

Tabulka 61 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 1

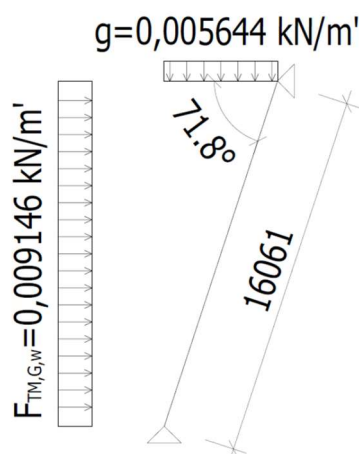
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
13	0,0524	16,621	16,622	0,0346
14	0,0530	16,424	16,425	0,0346
15	0,0526	16,553	16,554	0,0348
16	0,0529	16,468	16,469	0,0347
17	0,0527	16,525	16,526	0,0348

Tabulka 62 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 2

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{16,5 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00135 \text{ mm/m}$$

3. výšková úroveň:



Obrázek 66 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g = \sin 18,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,00176281828 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,w}} = \sin 71,8^\circ \cdot F_{TM,G,w} = \sin 71,8^\circ \cdot 0,009146 = 0,008688444 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_3^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{4,5^2 - \frac{0,008688444^2 \cdot 16,061^2}{4}} = 4,499977733 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{4,499977733}{0,00176281828} \cdot \left(\cosh \frac{0,00176281828}{4,499977733} \cdot \frac{26,061}{2} - 1 \right) = 0,0126 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v této kapitole u výpočtu 1. výškové úrovně:

Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0126	22,178	22,178	0,0292
2	0,0419	6,692	6,692	0,0088
3	0,0215	13,059	13,059	0,0172
4	0,0298	9,388	9,388	0,0124
5	0,0250	11,204	11,204	0,0148
6	0,0274	10,225	10,225	0,0135
7	0,0261	10,732	10,732	0,0141
8	0,0268	10,463	10,463	0,0138
9	0,0264	10,603	10,603	0,0140
10	0,0266	10,530	10,530	0,0139
11	0,0265	10,568	10,658	0,0139
12	0,0266	10,549	10,549	0,0139
13	0,0265	10,559	10,559	0,0139
14	0,0265	10,552	10,552	0,0139

Tabulka 63 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

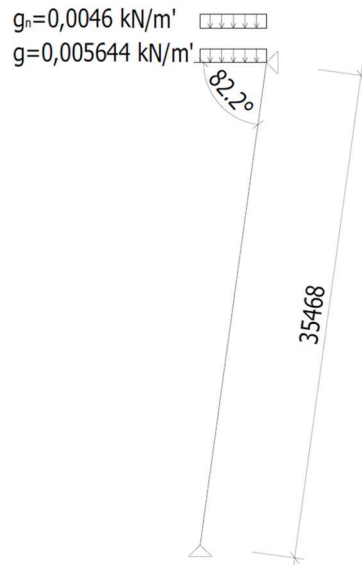
Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{10,6 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00087 \text{ mm/m}$$

4.1.2. Zatížení vlastní tíhou námrazy

V této podkapitole je spočítáno vynucené zkrácení lan vyvolané vlastní tíhou námrazy na kotevní lana spočítané v kapitole 2.2.2.1.4.

1.výšková úroveň:



Obrázek 67 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy námrazy:

$$F_g = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g = \sin 7,8^\circ \cdot 0,005644 = 0,000765979 \text{ kN/m}'$$

$$F_{g_n} = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g_n = \sin 7,8^\circ \cdot 0,0046 = 0,0006242924 \text{ kN/m}'$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_1^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,5^2 - \frac{0,000765979^2 \cdot 35,468^2}{4}} = 5,499983225 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{5,499983225}{0,000765979} \cdot \left(\cosh \frac{0,000765979}{5,499983225} \cdot \frac{35,468}{2} - 1 \right) = 0,0219 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

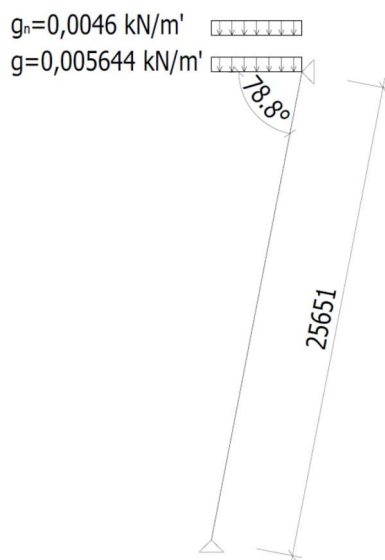
<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0219	4,482	4,482	0,0130
2	0,0349	2,807	2,807	0,0082
3	0,0301	3,264	3,264	0,0095
4	0,0314	3,126	3,126	0,0091
5	0,0310	3,166	3,166	0,0092
6	0,0311	3,155	3,155	0,0092

Tabulka 64 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{3,2 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00026 \text{ mm/m}$$

2. výšková úroveň:



Obrázek 68 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy námrazy:

$$F_g = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g = \sin 11,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,001096259 \text{ kN/m'}$$

$$F_{g_n} = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g_n = \sin 11,2^\circ \cdot 0,0046 = 0,000893478 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0_g} = \sqrt{P_2^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,0^2 - \frac{0,001096259^2 \cdot 25,651^2}{4}} = 4,999980231 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0_g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0_g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,999980231}{0,001096259} \cdot \left(\cosh \frac{0,001096259}{4,999980231} \cdot \frac{25,651}{2} - 1 \right) = 0,0180 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

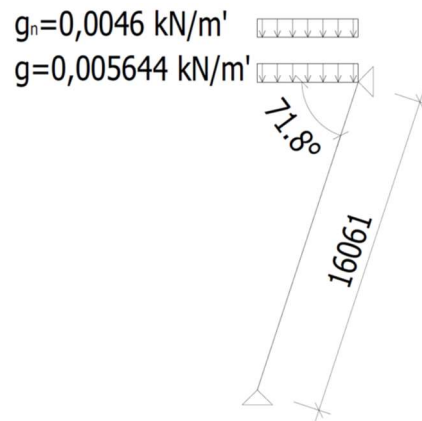
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0180	4,075	4,075	0,0086
2	0,0266	2,761	2,761	0,0058
3	0,0238	3,082	3,082	0,0065
4	0,0245	2,997	2,997	0,0063
5	0,0243	3,019	3,019	0,0064

Tabulka 65 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{3,0 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00025 \text{ mm/m}$$

3. výšková úroveň:



Obrázek 69 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy námrazy:

$$F_g = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g = \sin 18,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,00176281828 \text{ kN/m'}$$

$$F_{g_n} = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g_n = \sin 18,2^\circ \cdot 0,0046 = 0,001436741 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_3^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{4,5^2 - \frac{0,008688444^2 \cdot 16,061^2}{4}} = 4,499977733 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{4,4999777333}{0,00176281828} \cdot \left(\cosh \frac{0,00176281828}{4,499977733} \cdot \frac{26,061}{2} - 1 \right) = 0,0126 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0126	3,668	3,668	0,0048
2	0,0175	2,652	2,652	0,0035
3	0,0161	2,873	2,873	0,0038
4	0,0164	2,822	2,822	0,0037
5	0,0164	2,833	2,833	0,0037

Tabulka 66 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

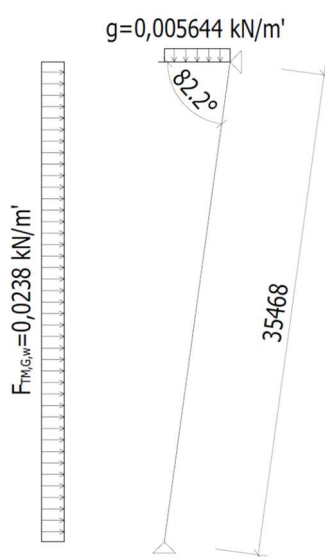
Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{2,8 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00023 \text{ mm/m}$$

4.1.3. Celkové zatížení větrem na konstrukci s námrazou

V této podkapitole je spočítáno vynucené zkrácení lan vyvolané celkovým zatížením větrem na kotevní lana spočítané v kapitole 2.2.2.2.8.

1. výšková úroveň:



Obrázek 70 - Schéma působícího zatížení na kotevní lana [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od větru na namrzlou konstrukci:

$$F_g = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g = \sin 7,8^\circ \cdot 0,005644 = 0,000765979 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,W}} = \sin 82,2^\circ \cdot F_{TM,G,W} = \sin 82,2^\circ \cdot 0,0238 = 0,023579799 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_1^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,5^2 - \frac{0,000765979^2 \cdot 35,468^2}{4}} = 5,499983225 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{5,499983225}{0,000765979} \cdot \left(\cosh \frac{0,000765979}{5,499983225} \cdot \frac{35,468}{2} - 1 \right) = 0,0219 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
<i>i</i>	<i>y_i</i> [m]	<i>T₀</i> [kN]	<i>R_{a/b}</i> [kN]	<i>Δl</i> [m]
1	0,0219	169,284	169,285	0,4927
2	0,5146	7,207	7,219	0,0210
3	0,0429	86,404	86,405	0,2515
4	0,2734	13,565	13,571	0,0395
5	0,0614	60,388	60,389	0,1758
6	0,1977	18,760	18,765	0,0546
7	0,0765	46,460	46,462	0,1410
8	0,1629	22,756	22,760	0,0662
9	0,0881	42,067	42,069	0,1224
10	0,1443	25,689	25,692	0,0748
11	0,0967	38,354	38,356	0,1116
12	0,1335	27,768	27,771	0,0808

Tabulka 67 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 1

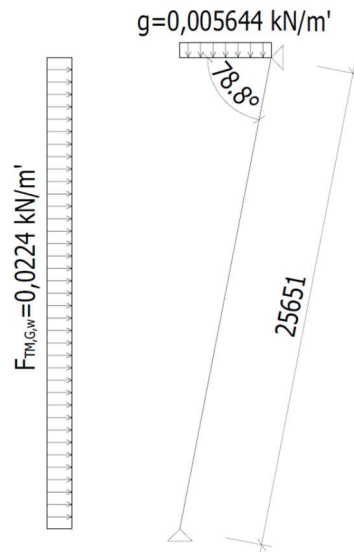
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
13	0,1027	36,095	36,097	0,1051
14	0,1270	29,206	29,209	0,0850
15	0,1069	34,682	34,685	0,1009
16	0,1228	30,183	30,186	0,0879
17	0,1098	33,784	33,787	0,0983
18	0,1202	30,840	30,843	0,0898
19	0,1117	33,205	33,208	0,0910
20	0,1185	31,278	31,281	0,0910
21	0,1129	32,831	32,834	0,0956
22	0,1175	31,568	31,571	0,0919
23	0,1138	32,587	32,590	0,0948
24	0,1167	31,759	31,762	0,0924
25	0,1143	32,429	32,432	0,0944
26	0,1163	31,885	31,888	0,0928
27	0,1147	32,325	32,328	0,0941
28	0,1160	31,968	31,971	0,0930
29	0,1149	32,257	32,260	0,0939
30	0,1158	32,023	32,026	0,0932
31	0,1151	32,213	32,216	0,0938
32	0,1157	32,058	32,061	0,0933
33	0,1152	32,184	32,187	0,0937
34	0,1156	32,082	32,085	0,0934
35	0,1153	32,158	32,161	0,0936
36	0,1155	32,103	32,106	0,0934
37	0,1153	31,147	32,149	0,0936
38	0,1155	32,112	32,115	0,0935

Tabulka 68 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana 2

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{32,1 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00263 \text{ mm/m}$$

2. výšková úroveň:



Obrázek 71 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od větru na namrzlou konstrukci:

$$F_g = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g = \sin 11,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,001096259 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,w}} = \sin 78,8^\circ \cdot F_{TM,G,w} = \sin 78,8^\circ \cdot 0,0224 = 0,021973395 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_2^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,0^2 - \frac{0,001096259^2 \cdot 25,651^2}{4}} = 4,999980231 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,999980231}{0,001096259} \cdot \left(\cosh \frac{0,001096259}{4,999980231} \cdot \frac{25,651}{2} - 1 \right) = 0,0180 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

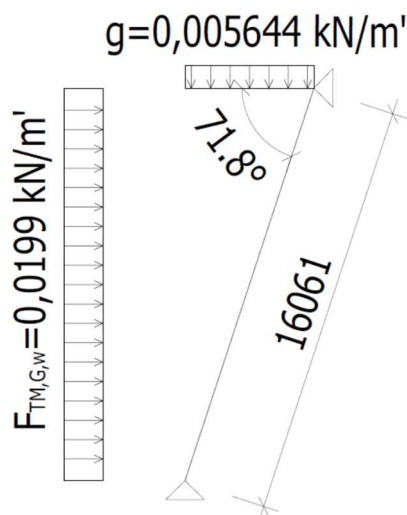
<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	$y_i [m]$	$T_0 [kN]$	$R_{a/b} [kN]$	$\Delta l [m]$
1	0,0180	100,210	100,210	0,2109
2	0,2290	7,894	7,899	0,0166
3	0,0347	52,141	52,142	0,1097
4	0,1278	14,143	14,146	0,0298
5	0,0478	37,802	37,803	0,0796
6	0,0976	18,517	18,519	0,0390
7	0,0570	31,699	31,700	0,0667
8	0,0848	21,323	21,325	0,0449
9	0,0629	28,723	28,724	0,0605
10	0,0785	23,024	23,026	0,0485
11	0,0665	27,177	27,179	0,0572
12	0,0752	24,020	24,022	0,0506
13	0,0686	26,347	26,349	0,0555
14	0,0735	24,591	24,593	0,0518
15	0,0698	25,893	25,895	0,0545
16	0,0725	24,915	24,917	0,0524
17	0,0705	25,643	25,645	0,0540
18	0,0720	25,097	25,099	0,0528
19	0,0709	25,504	25,506	0,0537
20	0,0717	25,199	25,201	0,0530
21	0,0711	25,427	25,429	0,0535
22	0,0716	25,256	25,258	0,0532
23	0,0712	25,384	25,386	0,0534
24	0,0715	25,288	25,290	0,0532
25	0,0713	25,360	25,362	0,0534
26	0,0714	25,306	25,308	0,0533
27	0,0713	25,347	25,349	0,0534
28	0,0714	25,316	25,318	0,0533

Tabulka 69 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{25,3 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00208 \text{ mm/m}$$

3. výšková úroveň:



Obrázek 72 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od větru na namrzlou konstrukci:

$$F_g = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g = \sin 18,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,00176281828 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,w}} = \sin 71,8^\circ \cdot F_{TM,G,w} = \sin 71,8^\circ \cdot 0,0199 = 0,018904444 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_3^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{4,5^2 - \frac{0,00176281828^2 \cdot 16,061^2}{4}} = 4,499977733 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{4,499977733}{0,00176281828} \cdot \left(\cosh \frac{0,00176281828}{4,499977733} \cdot \frac{26,061}{2} - 1 \right) = 0,0126 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	$y_i [m]$	$T_0 [kN]$	$R_{a/b} [kN]$	$\Delta l [m]$
1	0,0126	48,255	48,255	0,0636
2	0,0762	7,997	7,998	0,0105
3	0,0232	26,310	26,310	0,0347
4	0,0473	14,617	14,618	0,0193
5	0,0319	19,119	19,120	0,0252
6	0,0378	16,114	16,115	0,0212
7	0,0339	17,998	17,999	0,0237
8	0,0364	16,769	16,770	0,0221
9	0,0347	17,550	17,551	0,231
10	0,0358	17,044	17,045	0,0225
11	0,0351	17,367	17,368	0,0229
12	0,0355	17,159	17,160	0,0226
13	0,0352	17,294	17,295	0,0228
14	0,0354	17,209	17,210	0,0227
15	0,0353	17,262	17,263	0,0228
16	0,0354	17,229	17,230	0,0227
17	0,0353	17,249	17,250	0,0227
18	0,3534	17,236	17,237	0,0227
19	0,0353	17,245	17,246	0,0227

Tabulka 70 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

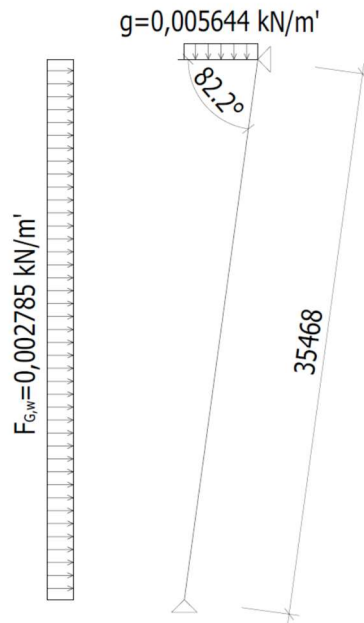
Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{17,2 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00141 \text{ mm/m}$$

4.1.4. Zatížení při přetržení lana

V této podkapitole je spočítáno vynucené zkrácení lan vyvolané polovičním středním zatížením větrem na kotevní lana spočítané v kapitole 2.2.1.8, které je uvažováno při přetržení lana.

1. výšková úroveň:



Obrázek 73 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od polovičního středního zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g = \sin 7,8^\circ \cdot 0,005644 = 0,000765979 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{G,w}} = \sin 82,2^\circ \cdot F_{G,w} = \sin 82,2^\circ \cdot 0,002785 = 0,002759233 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_1^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,5^2 - \frac{0,000765979^2 \cdot 35,468^2}{4}} = 5,499983225 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{5,499983225}{0,000765979} \cdot \left(\cosh \frac{0,000765979}{5,499983225} \cdot \frac{35,468}{2} - 1 \right) = 0,0219 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

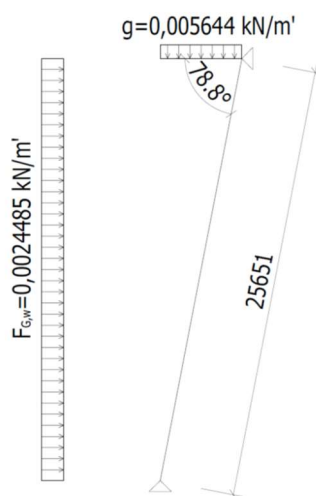
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0219	19,812	19,812	0,0577
2	0,0796	5,447	5,447	0,0159
3	0,0378	11,493	11,493	0,0334
4	0,0553	7,839	7,839	0,0228
5	0,0447	9,703	9,703	0,0282
6	0,0501	8,654	8,654	0,0252
7	0,0471	9,215	9,215	0,0268
8	0,0487	8,906	8,906	0,0259
9	0,0478	9,073	9,073	0,0264
10	0,0483	8,982	8,982	0,0261
11	0,0480	9,031	9,031	0,0263

Tabulka 71 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{9,0 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00074 \text{ mm/m}$$

2. výšková úroveň:



Obrázek 74 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od polovičního středního zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g = \sin 11,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,001096259 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{G,w}} = \sin 78,8^\circ \cdot F_{G,w} = \sin 78,8^\circ \cdot 0,0024485 = 0,002401869 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0_g} = \sqrt{P_2^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,0^2 - \frac{0,001096259^2 \cdot 25,651^2}{4}} = 4,999980231 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0_g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0_g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,999980231}{0,001096259} \cdot \left(\cosh \frac{0,001096259}{4,999980231} \cdot \frac{25,651}{2} - 1 \right) = 0,0180 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

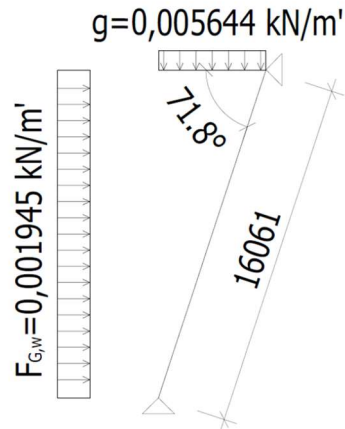
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [kN]	Δl [m]
1	0,0180	10,955	10,955	0,0231
2	0,0411	4,807	4,807	0,0101
3	0,0282	7,017	7,017	0,0148
4	0,0328	6,022	6,022	0,0127
5	0,0307	6,433	6,433	0,0135
6	0,0316	6,257	6,257	0,0132
7	0,0312	6,331	6,331	0,0133

Tabulka 72 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{6,3 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00052 \text{ mm/m}$$

3. výšková úroveň:



Obrázek 75 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od polovičního středního zatížení větrem:

$$F_g = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g = \sin 18,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,00176281828 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{G,w}} = \sin 71,8^\circ \cdot F_{G,w} = \sin 71,8^\circ \cdot 0,001945 = 0,001847696 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_3^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{4,5^2 - \frac{0,008688444^2 \cdot 16,061^2}{4}} = 4,499977733 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,499977733}{0,00176281828} \cdot \left(\cosh \frac{0,00176281828}{4,499977733} \cdot \frac{26,061}{2} - 1 \right) = 0,0126 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [m]	Δl [m]
1	0,0126	4,717	4,717	0,0062
2	0,0188	3,161	3,161	0,0042
3	0,0168	3,547	3,547	0,0047
4	0,0173	3,443	3,443	0,0045
5	0,0172	3,470	3,470	0,0046
6	0,0172	3,463	3,463	0,0046

Tabulka 73 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

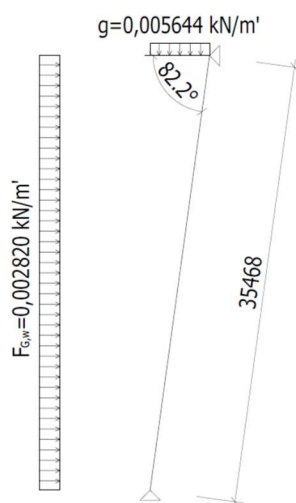
Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00029 \text{ mm/m}$$

4.1.5. Zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí

V této podkapitole je spočítáno vynucené zkrácení lan vyvolané zatížením větrem pro rozkmit únavového napětí na kotevní lana spočítané v kapitole 2.3.4.4.

1. výšková úroveň:



Obrázek 76 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí:

$$F_g = \sin(90^\circ - 82,2^\circ) \cdot g = \sin 7,8^\circ \cdot 0,005644 = 0,000765979 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,W}} = \sin 82,2^\circ \cdot F_{TM,G,W} = \sin 82,2^\circ \cdot 0,00282 = 0,00279309 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_1^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,5^2 - \frac{0,000765979^2 \cdot 35,468^2}{4}} = 5,499983225 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{5,499983225}{0,000765979} \cdot \left(\cosh \frac{0,000765979}{5,499983225} \cdot \frac{35,468}{2} - 1 \right) = 0,0219m$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

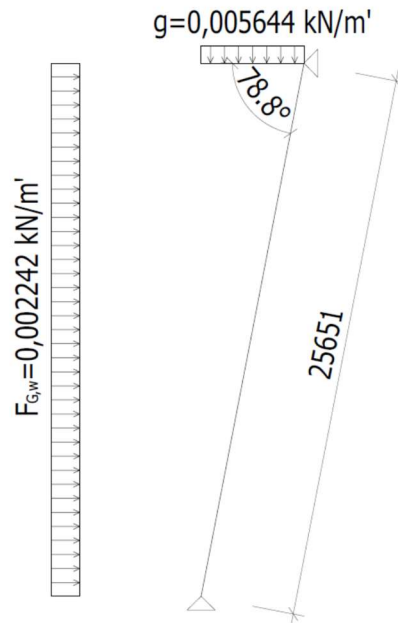
Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [m]	Δl [m]
1	0,0219	20,061	20,061	0,0584
2	0,0803	5,472	5,472	0,0159
3	0,0378	11,615	11,651	0,0338
4	0,0557	7,887	7,887	0,0230
5	0,0449	9,745	9,795	0,0285
6	0,0504	8,716	8,716	0,0254
7	0,0473	9,295	9,295	0,0271
8	0,0490	8,975	8,975	0,0261
9	0,0480	9,149	9,149	0,0266
10	0,0485	9,054	9,054	0,0264

Tabulka 74 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{9,1 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00074 \text{ mm/m}$$

2. výšková úroveň:



Tabulka 75 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí:

$$F_g = \sin(90^\circ - 78,8^\circ) \cdot g = \sin 11,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,001096259 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,w}} = \sin 78,8^\circ \cdot F_{TM,G,w} = \sin 78,8^\circ \cdot 0,002242 = 0,0002199301 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_2^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{5,0^2 - \frac{0,001096259^2 \cdot 25,651^2}{4}} = 4,999980231 \text{ kN}$$

$$y_{max_g} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{max_g} = \frac{4,999980231}{0,001096259} \cdot \left(\cosh \frac{0,001096259}{4,999980231} \cdot \frac{25,651}{2} - 1 \right) = 0,0180 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

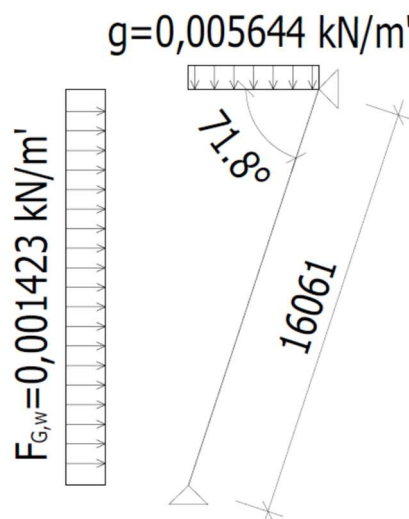
<u>Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:</u>				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [m]	Δl [m]
1	0,0180	10,031	10,031	0,0211
2	0,0391	4,621	4,621	0,0097
3	0,0278	6,516	6,516	0,0137
4	0,0317	5,680	5,680	0,0120
5	0,0300	6,0320	6,032	0,0127
6	0,0307	5,886	5,886	0,0124
7	0,0304	5,946	5,946	0,0125

Tabulka 76 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{5,9 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00048 \text{ mm/m}$$

3. výšková úroveň:



Obrázek 77 - Schéma působícího zatížení na kotevní lano [30]

Nejdříve je nutné vypočítat kolmou složku zatížení působící na lano od vlastní tíhy i kolmou složku zatížení působící na lano od zatížení větrem pro rozkmit únavového napětí:

$$F_g = \sin(90^\circ - 71,8^\circ) \cdot g = \sin 18,2^\circ \cdot 0,005644 = 0,00176281828 \text{ kN/m'}$$

$$F_{F_{TM,G,W}} = \sin 71,8^\circ \cdot F_{TM,G,W} = \sin 71,8^\circ \cdot 0,001423 = 0,00135181 \text{ kN/m'}$$

Poté je proveden výpočet maximálního průhybu při působení kolmé složky zatížení od vlastní tíhy a předepsaného předpětí v lanech:

$$T_{0g} = \sqrt{P_3^2 - \frac{F_g^2 \cdot b^2}{4}} = \sqrt{4,5^2 - \frac{0,008688444^2 \cdot 16,061^2}{4}} = 4,499977733 \text{ kN}$$

$$y_{maxg} = \frac{T_{0g}}{F_g} \cdot \left(\cosh \frac{F_g}{T_{0g}} \cdot \frac{b}{2} - 1 \right)$$

$$y_{maxg} = \frac{4,4999777333}{0,00176281828} \cdot \left(\cosh \frac{0,00176281828}{4,499977733} \cdot \frac{26,061}{2} - 1 \right) = 0,0126 \text{ m}$$

Následné vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana je provedeno dle vzorců (4.36), (4.37), (4.38) a (4.39) a postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 u výpočtu 1. výškové úrovně:

Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana:				
i	y_i [m]	T_0 [kN]	$R_{a/b}$ [m]	Δl [m]
1	0,0126	3,451	3,451	0,0045
2	0,0172	2,537	2,537	0,0033
3	0,0160	2,728	2,728	0,0036
4	0,0162	2,686	2,686	0,0035

Tabulka 77 - Vyšetření vzájemné závislosti na zatížení a prověšení lana

Na závěr je pro výslednou získanou reakci proveden pomocí Hookova zákona výpočet vynuceného přetvoření, které je vneseno do výpočtového modelu:

$$\varepsilon = \frac{R_{a/b} \cdot 10^3}{E \cdot A} = \frac{2,7 \cdot 10^3}{179220,68} = 0,00022 \text{ mm/m}$$

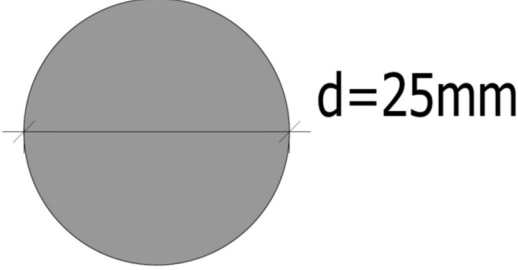
5. Výpočet

Výpočtový model je vytvořen v programu SCIA Engineer, z něhož jsou níže vypsány průřezové charakteristiky jednotlivých dílců a také extrémní hodnoty vnitřních sil, které jsou následně posouzeny v programu FIN EC Ocel.

Výpočtový model je vytvořen pomocí prutových prvků. Spoje mezi příčkami, diagonálami a jejich napojení k nárožníkům je v modelu řešeno vetknutím, jelikož v realitě jsou tyto spoje vyřešeny svařením. Kotevní lana jsou namodelována jako ocelové tyče, v nichž je vyloučeno působení tlaku. Model je zatížen zatěžovacími stavy řešenými v kapitole 2. Zatížení z těchto zatěžovacích stavů je do výpočtu vneseno pomocí spojitého zatížení, bodové síly a zatěžování funkce v programu SCIA Engineer *Zatížení teplotou*. Spojité zatížení působící na kotevní lana je v kapitole 4 přepočítáno na hodnotu zkrácení lan, které toto zatížení vyvolává. Celý model je poté posouzen pro jednotlivé kombinace zatěžovacích stavů řešených v kapitole 3 pro jednotlivé mezní stavy.

V kapitole 5.1 je u prvku 1. dílec – nárožník provedeno vzorové posouzení únosnosti dle ČSN EN 1993-1-1. U prvků *kotevních lan* je provedeno posouzení možnosti přetržení lana dle ČSN EN 1993-1-11. Následně je v kapitole 5.2 provedeno posouzení únosnosti přírubových spojů nárožníků a posouzení únosnosti svaru nárožníků k přírubám dle ČSN EN 1993-1-8. Dále je v kapitole 5.3 zobrazeno natočení konstrukce, které je důležité zejména z důvodu správného přenosu signálu.

5.1. Výpis vnitřních sil a posouzení využití

<u>1. až 18. dílec – nárožník</u>	
RD25	
	
[30]	
$A [m^2]$	$4,9062 \cdot 10^{-4}$
$I_{y/z} [m^4]$	$1,8773 \cdot 10^{-8}$
$i_{y/z} [mm]$	6
$W_{el.y/z} [m^3]$	$1,5018 \cdot 10^{-6}$
$W_{pl.y/z} [m^3]$	$2,5631 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 78 - Průřezové charakteristiky profilu nárožníků

<u>1. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
-21,43	-2,62	2,38	0,00	0,00	0,00
18,28	-1,93	2,17	0,00	0,02	-0,02
-12,50	-3,84	0,04	0,00	0,00	0,00
0,88	2,23	0,06	0,00	0,02	0,04
1,23	1,54	-1,54	0,00	-0,03	0,03
-19,23	-3,21	2,94	0,00	0,00	0,00
-0,14	-1,62	1,58	0,00	-0,01	0,02
-2,52	-2,18	0,00	0,00	0,00	0,02
0,27	-0,25	0,25	0,00	-0,04	0,04
-0,34	-0,03	0,17	0,00	0,04	-0,01
-1,16	-0,24	-0,06	0,00	-0,01	-0,06
0,09	-0,30	0,16	0,00	-0,03	0,04

Tabulka 79 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 1. dílec – nárožník

<u>1. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	13,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 80 - Využití průřezu 1. dílec – nárožník

Posudek smyku od posouvající síly V_y :

Pozn.: Průřez klasifikován do třídy průřezů 1.

Použité vzorce:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.2.6, (6.17)}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.2.6, (6.18)}$$

Použité konstanty:

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{hodnota vyplývá z použité oceli}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.1, pozn. 2B}$$

Výpočet:

$$V_{c,Rd} = \frac{2,4531 \times 10^{-1} \cdot 355 \times 10^6 / \sqrt{3}}{1,0} = 50,279 \text{ kN}$$

$$\frac{2,62}{50,279} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posudek smyku od posouvající síly V_z :

Pozn.: Průřez klasifikován do třídy průřezů 1.

Použité vzorce:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.2.6, (6.17)}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.2.6, (6.18)}$$

Použité konstanty:

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{hodnota vyplývá z použité oceli}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.1, pozn. 2B}$$

Výpočet:

$$V_{c,Rd} = \frac{2,4531 \times 10^{-10} \cdot 355 \times 10^6 / \sqrt{3}}{1,0} = 50,279 \text{ kN}$$

$$\frac{2,38}{50,279} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posudek vzpěru:

Pozn. 1: Průřez klasifikován do třídy průřezů 1.

Pozn. 2: Posudek proveden pouze na vzpěr (bez ohybového účinku), z průběhu vnitřních sil nárožníků je zřejmé, že rozhodující je hodnota tlakové normálové síly.

Použité vzorce:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.1, (6.46)}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.1, (6.47)}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.2, (6.49)}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}^2 - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.2, (6.49)}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.3, (6.50)}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.3, (6.50)}$$

Použité konstanty:

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{hodnota vyplývá z použité oceli}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.1, pozn. 2B}$$

$$L_{cr} = 0,165 \text{ m} \quad \text{vyplývá z délky a uložení prutu}$$

$$E = 2,1 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad \text{hodnota vyplývá z použité oceli}$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1, 6.3.1.2, tab. 6.1}$$

Výpočet:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \times 10^{11}}{355 \times 10^6}} = 76,409$$

$$\bar{\lambda} = \frac{0,165}{0,006} \cdot \frac{1}{76,409} = 0,3599$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,3599 - 0,2) + 0,3599^2] = 0,6039$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,6039 + \sqrt{0,6039^2 - 0,3599^2}} = 0,9184$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,9184 \cdot 4,9062 \times 10^{-10} \cdot 355 \times 10^6}{1,0} = 159,96 \text{ kN}$$

$$\frac{21,43}{159,96} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

2. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-66,96	-1,56	1,31	0,00	-0,01	0,01
48,68	-0,66	0,94	0,00	-0,02	0,02
6,77	-6,75	5,24	0,00	-0,08	0,08
-6,28	2,21	-1,04	0,00	0,01	-0,04
-43,52	-4,53	-3,29	0,00	0,04	0,06
7,16	-4,97	6,46	0,00	-0,08	0,08
5,69	-0,07	0,17	0,00	-0,03	0,01
-0,65	-1,95	1,61	0,00	-0,02	0,01
7,36	-6,73	5,25	0,00	-0,08	0,08
-41,97	-4,75	-3,22	0,00	0,04	0,06
-6,48	2,18	-1,03	0,00	0,01	-0,04
7,51	-4,99	6,44	0,00	-0,08	0,08

Tabulka 81 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 2. dílec – nárožník

2. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	41,5 %	VYHOVUJE

Tabulka 82 - Využití průřezu 2. dílec – nárožník

<u>3. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-7,81	0,15	0,04	0,00	-0,01	-0,01
124,83	-0,07	0,24	0,00	-0,03	0,03
4,65	-3,44	0,32	0,00	0,01	-0,01
42,14	0,04	-0,10	0,00	0,01	0,00
23,38	0,48	-0,46	0,00	0,00	0,00
37,87	2,97	-3,93	0,00	-0,08	0,08
9,74	1,01	3,43	0,00	0,04	0,06
74,10	-0,40	-0,02	0,00	0,00	-0,05
37,89	4,16	-3,23	0,00	-0,08	0,08

Tabulka 83 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 3. dílec – nárožník

<u>3. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	71,6 %	VYHOVUJE

Tabulka 84 - Využití průřezu 3. dílec – nárožník

<u>4. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,55	-0,62	0,39	0,00	0,00	0,00
106,96	0,90	-0,71	0,00	-0,01	0,01
9,70	-1,49	0,46	0,00	-0,01	0,01
103,41	0,94	-0,73	0,00	-0,01	0,01
106,91	0,93	-0,75	0,00	-0,01	0,01
6,75	0,15	0,72	0,00	0,00	0,00
35,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00
24,74	0,19	-0,61	0,00	0,00	0,00
101,63	0,13	-0,13	0,00	-0,01	0,01
5,85	0,04	-0,03	0,00	0,01	-0,01
3,42	-1,45	0,62	0,00	0,01	-0,01
73,95	0,21	-0,01	0,00	0,00	0,02

Tabulka 85 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 4. dílec – nárožník

4. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	61,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 86 - Využití průřezu 4. dílec – nárožník

5. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-10,09	-0,86	0,63	0,00	0,00	0,00
112,01	-1,14	1,33	0,00	0,00	0,00
-2,47	-2,06	0,07	0,00	0,00	0,00
4,81	0,46	0,04	0,00	0,00	0,00
31,30	-1,46	-0,71	0,00	-0,01	0,01
56,21	-1,29	1,40	0,00	0,00	0,00
39,48	-0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
28,16	-0,05	-0,67	0,00	-0,01	0,01
109,37	0,17	-0,15	0,00	0,01	-0,01
55,76	-1,28	1,40	0,00	0,00	-0,02
-2,92	-2,06	0,07	0,00	0,00	0,02
74,96	0,20	-0,01	0,00	0,00	0,02

Tabulka 87 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 5. dílec – nárožník

5. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	64,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 88 - Využití průřezu 5. dílec – nárožník

<u>6. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-22,18	-2,55	-0,01	0,00	0,00	0,01
136,07	-2,28	2,47	0,00	0,01	-0,01
-19,12	-3,04	0,07	0,00	0,00	0,01
1,35	0,55	-0,06	0,00	0,00	0,00
36,64	-1,61	-0,74	0,00	0,00	0,00
52,74	-1,59	2,54	0,00	-0,01	0,01
22,49	0,08	-0,05	0,00	0,00	-0,01
33,64	-0,23	-0,70	0,00	0,00	0,00
111,99	0,16	-0,17	0,00	-0,02	0,02
52,28	-1,59	-1,59	0,00	0,02	-0,01
-19,57	-3,04	-3,04	0,00	0,00	-0,02
84,69	0,24	0,24	0,00	0,00	0,03

Tabulka 89 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 6. dílec – nárožník

<u>6. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	78,1 %	VYHOVUJE

Tabulka 90 - Využití průřezu 7. dílec – nárožník

<u>7. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-43,47	-5,32	-3,81	0,00	0,05	0,07
173,33	-3,50	3,69	0,00	-0,02	0,02
-42,02	-5,41	-3,90	0,00	0,05	0,07
38,46	-0,10	0,02	0,00	0,00	0,02
41,06	0,27	-0,75	0,00	0,00	0,01
-34,97	-5,35	5,08	0,00	-0,06	0,06
-1,55	2,47	-0,56	0,00	0,00	-0,04

Tabulka 91 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 7. dílec – nárožník

<u>7. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	99,5 %	VYHOVUJE

Tabulka 92 - Využití průřezu 7. dílec – nárožník

<u>8. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-7,08	0,12	0,04	0,00	-0,01	0,00
146,67	1,87	-1,68	0,00	-0,06	0,06
70,82	-3,48	-1,51	0,00	-0,04	0,01
0,38	2,67	-3,88	0,00	-0,01	0,04
51,59	-0,02	-0,04	0,00	0,00	0,01
40,77	0,31	-0,70	0,00	0,01	0,00
12,25	3,54	-3,81	0,00	-0,06	0,06
1,98	-3,18	0,12	0,00	0,00	-0,04
0,14	2,53	4,04	0,00	0,05	0,07

Tabulka 93 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 8. dílec – nárožník

<u>8. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	84,2 %	VYHOVUJE

Tabulka 94 - Využití průřezu 8. dílec – nárožník

9. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,65	-0,60	0,43	0,00	0,00	0,00
131,63	0,70	-0,50	0,00	-0,01	0,01
35,06	0,84	-0,72	0,00	0,00	0,00
44,20	-0,46	-0,80	0,00	0,00	0,00
4,68	0,70	0,76	0,00	0,00	0,00
51,62	0,65	-0,21	0,00	0,00	0,00
38,57	0,71	-0,71	0,00	0,00	0,00
129,56	0,13	-0,14	0,00	-0,01	0,01
2,57	0,70	0,73	0,00	0,01	0,01
18,35	-1,25	0,43	0,00	0,00	-0,01
106,77	0,18	-0,01	0,00	0,00	0,02

Tabulka 95 - Extrémní hodnoty průřezu 9. dílec – nárožník

9. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	75,5 %	VYHOVUJE

Tabulka 96 - Využití průřezu 9. dílec – nárožník

<u>10. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-9,56	-1,63	0,03	0,00	0,00	0,01
141,87	-1,25	1,45	0,00	0,10	0,00
-0,18	-1,70	0,07	0,00	0,00	0,01
27,13	0,81	-0,69	0,00	0,00	0,00
39,74	-0,68	-0,74	0,00	0,01	0,01
79,92	-0,95	1,53	0,00	-0,01	0,01
53,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
38,57	0,71	-0,71	0,00	-0,01	0,00
130,25	0,13	-0,14	0,00	-0,02	0,01
76,90	-0,97	1,53	0,00	0,01	0,00
13,01	-1,32	0,51	0,00	0,01	-0,01
107,38	0,18	-0,01	0,00	0,00	0,02

Tabulka 97 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 10. dílec – nárožník

<u>10. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	81,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 98 - Využití průřezu 10. dílec – nárožník

<u>11. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-22,40	-2,38	0,04	0,00	0,00	0,01
166,26	-2,21	2,42	0,00	0,01	-0,01
-14,01	-2,56	0,07	0,00	0,00	0,01
26,13	0,82	-0,68	0,00	0,00	0,00
39,76	-0,82	-0,73	0,00	0,01	0,01
73,87	-1,258	2,50	0,00	-0,01	0,01
72,46	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01
39,96	0,47	-0,70	0,00	0,00	0,00
141,84	0,16	-0,17	0,00	-0,02	0,02
-71,06	-1,28	2,50	0,00	0,02	-0,01
-14,87	-2,56	0,07	0,00	0,00	-0,02

Tabulka 99 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 11. dílec – nárožník

<u>11. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	95,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 100 - Využití průřezu 11. dílec – nárožník

<u>12. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-40,80	-3,90	-3,98	0,00	0,05	0,08
173,63	-4,97	5,42	0,00	-0,04	0,04
-37,57	-4,13	-4,22	0,00	0,05	0,08
42,94	-1,03	-1,55	0,00	0,01	0,03
41,72	1,10	-0,40	0,00	0,00	0,00
155,85	-5,39	5,87	0,00	-0,09	0,10
7,39	2,37	-0,55	0,00	0,00	-0,04

Tabulka 101 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 12. dílec – nárožník

<u>12. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	99,6 %	VYHOVUJE

Tabulka 102 - Využití průřezu 12. dílec – nárožník

<u>13. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-17,45	0,10	0,04	0,00	-0,01	0,00
151,25	5,19	-4,74	0,00	-0,09	0,09
64,57	-0,03	-0,03	0,00	0,00	0,01
42,86	0,73	-0,87	0,00	0,01	0,00
140,86	5,57	-5,09	0,00	-0,09	0,10
-10,27	4,44	4,35	0,00	0,05	0,08
9,72	-2,88	0,19	0,00	0,00	-0,04

Tabulka 103 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 13. dílec – nárožník

<u>13. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	86,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 104 - Využití průřezu 13. dílec – nárožník

14. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
2,99	-0,109	0,00	0,00	0,00	0,01
27,64	-0,85	-0,85	0,00	0,00	0,01
105,73	3,07	3,07	0,00	0,00	0,01
136,48	2,52	2,52	0,00	-0,01	0,01
16,56	1,23	1,23	0,00	0,00	0,00
57,27	1,72	1,72	0,00	0,01	-0,01
37,92	1,36	1,36	0,00	0,01	-0,01
109,48	1,69	1,69	0,00	-0,02	0,02
72,66	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01
8,16	3,05	3,05	0,00	0,00	-0,02
84,46	2,27	2,27	0,00	0,00	0,03

Tabulka 105 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 14. dílec – nárožník

14. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	78,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 106 - Využití průřezu 14. dílec – nárožník

15. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
11,77	0,02	-0,02	0,00	0,00	0,00
24,83	-0,77	0,43	0,00	0,00	0,01
88,22	2,26	-0,04	0,00	0,00	0,01
113,24	1,68	-0,98	0,00	-0,01	0,01
19,68	1,12	0,70	0,00	0,00	0,00
61,14	1,20	-0,75	0,00	0,00	-0,01
33,69	1,25	-0,68	0,00	0,01	-0,01
86,00	0,99	-0,44	0,00	-0,01	0,01
31,51	-0,03	0,02	0,00	0,01	-0,01
25,18	2,24	0,08	0,00	0,00	-0,02
72,10	1,53	-0,04	0,00	0,00	-0,02

Tabulka 107 - Extrémní hodnoty průřezu 15. dílec – nárožník

15. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	65,0 %	VYHOVUJE

Tabulka 108 - Využití průřezu 15. dílec – nárožník

<u>16. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
12,81	0,02	-0,03	0,00	0,00	0,00
100,00	1,01	-0,31	0,00	-0,01	0,00
22,82	-0,72	0,48	0,00	0,00	0,01
75,84	1,53	-0,04	0,00	0,00	0,01
29,52	-0,37	-0,75	0,00	0,00	0,00
21,80	0,98	0,74	0,00	0,00	0,00
63,49	0,78	-0,49	0,00	0,00	-0,01
21,17	0,99	0,74	0,00	0,00	0,00
95,64	0,08	-0,11	0,00	-0,01	0,00
18,78	-0,38	0,73	0,00	0,01	0,00
40,80	-0,06	0,00	0,00	0,00	-0,01
64,64	0,80	-0,05	0,00	0,00	0,01

Tabulka 109 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 16. dílec – nárožník

<u>16. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	57,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 110 - Využití průřezu 16. dílec – nárožník

<u>17. dílec – nárožník</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
14,15	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,00
99,20	-0,19	0,90	0,00	0,00	0,00
21,39	-0,68	0,52	0,00	-0,01	0,01
27,76	1,00	-0,72	0,00	0,00	0,00
26,72	-0,38	-0,83	0,00	0,00	0,00
60,66	-0,06	0,96	0,00	0,00	0,00
31,59	-0,03	-0,01	0,00	0,00	0,00
17,10	0,81	0,80	0,00	0,00	0,00
95,53	0,07	-0,09	0,00	-0,01	0,00
21,16	-0,40	0,80	0,00	0,01	0,00
21,17	0,99	0,74	0,00	-0,01	-0,01
26,54	0,84	-0,79	0,00	-0,01	0,01

Tabulka 111 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 17. dílec – nárožník

<u>17. dílec – nárožník</u>		
Využití průřezu:	56,9 %	VYHOVUJE

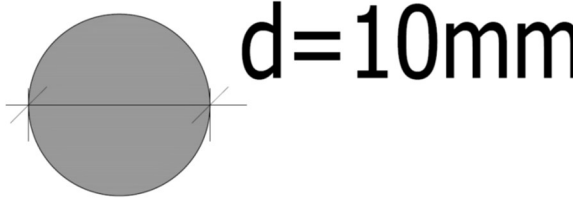
Tabulka 112 - Využití průřezu 17. dílec – nárožník

18. dílec – nárožník					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
14,59	0,22	-2,71	0,01	0,00	0,00
110,19	-0,80	1,73	0,01	0,02	-0,01
34,40	-1,07	-9,10	0,00	0,00	0,00
48,57	1,00	0,00	0,00	0,00	0,07
32,35	0,33	15,96	0,00	0,00	0,00
28,98	-0,93	-15,37	0,00	0,00	0,00
30,52	0,63	0,88	0,02	0,00	0,00
20,22	-0,41	-15,44	0,00	-0,15	0,00
32,25	0,33	15,96	0,00	0,16	0,00
33,05	-0,79	-0,20	0,00	-0,01	-0,25
20,56	0,70	0,04	0,02	0,00	0,22

Tabulka 113 - Extrémní hodnoty průřezu 18. dílec – nárožník

18. dílec – nárožník		
Využití průřezu:	63,2 %	VYHOVUJE

Tabulka 114 - Využití průřezu 18. dílec – nárožník

1. až 18. dílec – příčka	
RD10	
	
	[30]
A [m ²]	$7,8500 \cdot 10^{-5}$
$I_{y/z}$ [m ⁴]	$4,8059 \cdot 10^{-10}$
$i_{y/z}$ [mm]	2
$W_{el.y/z}$ [m ³]	$9,6118 \cdot 10^{-8}$
$W_{pl.y/z}$ [m ³]	$1,6404 \cdot 10^{-7}$

Tabulka 115 - Průřezové charakteristiky profilu příček

<u>1. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,74	-0,12	0,00	0,00	0,00	0,03
-0,18	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
1,62	0,07	0,00	0,00	0,00	-0,02
1,86	-0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,04	-0,03	0,00	0,00	0,01
-0,03	0,04	-0,02	0,00	0,00	0,00
0,13	-0,12	0,00	0,00	0,00	-0,03

Tabulka 116 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 1. dílec – příčka

<u>1. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	49,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 117 - Využití průřezu 1. dílec – příčka

<u>2. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,27	-0,08	0,01	0,00	0,00	0,02
-1,72	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-3,83	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
-4,11	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,01
-1,24	0,02	-0,02	0,00	0,00	0,01
-1,17	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
3,14	0,08	0,01	0,00	0,00	-0,02
2,57	0,08	-0,01	0,00	0,00	0,02

Tabulka 118 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 2. dílec – příčka

<u>2. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	60,6 %	VYHOVUJE

Tabulka 119 - Využití průřezu 2. dílec – příčka

<u>3. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,03	-0,05	0,01	0,00	0,00	0,01
3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,10	-0,05	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,37	0,05	0,01	0,00	0,00	-0,01
-0,17	-0,05	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,40	0,56	0,01	0,00	0,00	-0,01
-3,70	0,05	-0,01	0,00	0,00	0,01

Tabulka 120 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 3. dílec – příčka

<u>3. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	45,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 121 - Využití průřezu 3. dílec – příčka

4. dílec – příčka					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,52	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,51	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
0,38	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
-0,52	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,60	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01
0,58	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-1,35	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01

Tabulka 122 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 4. dílec – příčka

4. dílec – příčka		
Využití průřezu:	18,6 %	VYHOVUJE

Tabulka 123 - Využití průřezu 4. dílec – příčka

5. dílec – příčka					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,88	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
0,16	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,73	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,60	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,17	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-1,36	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 124- Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 5. dílec – příčka

<u>5. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	27,1 %	VYHOVUJE

Tabulka 125 - Využití průřezu 5. dílec – příčka

<u>6. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-3,22	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
2,89	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,41	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,51	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-1,40	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	-0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 126 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 6. dílec – příčka

<u>6. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	39,5 %	VYHOVUJE

Tabulka 127 - Využití průřezu 6. dílec – příčka

7. dílec – příčka					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
3,70	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,09	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
0,29	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-2,65	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-2,58	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,33	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
0,38	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,16	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
-0,17	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 128 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 7. dílec – příčka

7. dílec – příčka		
Využití průřezu	49,9 %	VYHOVUJE

Tabulka 129 - Využití průřezu 7. dílec – příčka

8. dílec – příčka					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1,83	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00
-1,06	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3,79	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,51	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00

Tabulka 130 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 8. dílec – příčka

<u>8. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	46,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 131 - Využití průřezu 8. dílec – příčka

<u>9. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,30	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,26	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,26	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,41	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,40	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
-1,25	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 132 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 9. dílec – příčka

<u>9. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	15,9 %	VYHOVUJE

Tabulka 133 - Využití průřezu 9. dílec – příčka

<u>10. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,06	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,39	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,50	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-1,21	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 134 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 10. dílec – příčka

<u>10. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	22,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 135 - Využití průřezu 10. dílec – příčka

<u>11. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,72	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
2,42	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,30	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
-1,41	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 136 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 11. dílec – příčka

<u>11. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	33,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 137 - Využití průřezu 11. dílec – příčka

<u>12. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,33	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
1,09	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
0,13	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-2,65	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-2,42	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
2,64	-0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
0,13	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
3,33	-0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00

Tabulka 138 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 12. dílec – příčka

<u>12. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	51,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 139 - Využití průřezu 12. dílec – příčka

<u>13. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,55	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
5,31	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,62	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
2,50	-0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
-4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,19	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,00
3,19	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-1,35	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00
5,14	0,01	-0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 140 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 13. dílec – příčka

<u>13. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	55,7 %	VYHOVUJE

Tabulka 141 - Využití průřezu 13. dílec – příčka

<u>14. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-3,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
1,53	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
1,26	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
2,50	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
-0,03	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00

Tabulka 142 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 14. dílec – příčka

<u>14. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	38,7 %	VYHOVUJE

Tabulka 143 - Využití průřezu 14. dílec – příčka

<u>15. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,21	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
0,79	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
1,16	-0,001	0,01	0,00	0,00	0,00
0,88	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
0,26	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,62	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00

Tabulka 144 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 15. dílec – příčka

<u>15. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	28,5 %	VYHOVUJE

Tabulka 145 - Využití průřezu 15. dílec – příčka

<u>16. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,45	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
0,37	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,46	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,16	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01
0,20	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,01

Tabulka 146 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 16. dílec – příčka

<u>16. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	19,2 %	VYHOVUJE

Tabulka 147 - Využití průřezu 16. dílec – příčka

<u>17. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,01	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
0,29	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,45	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01
0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,01

Tabulka 148 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 17. dílec – příčka

<u>17. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	12,5 %	VYHOVUJE

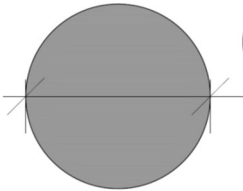
Tabulka 149 - Využití průřezu 17. dílec – příčka

<u>18. dílec – příčka</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-5,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,12	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
-0,32	0,00	-0,05	0,00	-0,02	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,04	0,00	0,06	0,00	-0,02	0,00
0,13	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00
0,66	0,03	0,01	0,00	0,00	-0,01
-0,99	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabulka 150 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 18. dílec – příčka

<u>18. dílec – příčka</u>		
Využití průřezu:	72,4 %	VYHOVUJE

Tabulka 151 - Využití průřezu 18. dílec – příčka

1. až 18. dílec – diagonála	
RD10	
 d=10mm	
[30]	
$A [m^2]$	$7,8500 \cdot 10^{-5}$
$I_{y/z} [m^4]$	$4,8059 \cdot 10^{-10}$
$i_{y/z} [mm]$	2
$W_{el.y/z} [m^3]$	$9,6118 \cdot 10^{-8}$
$W_{pl.y/z} [m^3]$	$1,6404 \cdot 10^{-7}$

Tabulka 152 - Průřezové charakteristiky profilu diagonál

1. dílec – diagonála					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
5,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,35	-0,03	0,00	-0,01	0,00	0,01
-0,27	0,03	0,00	0,01	0,00	-0,01
-5,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,65	-0,03	0,00	-0,01	0,00	-0,01
0,64	-0,03	0,00	-0,01	0,00	0,01

Tabulka 153 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 1. dílec – diagonála

1. dílec – diagonála		
Využití průřezu:	45,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 154 - Využití průřezu 1. dílec – diagonála

<u>2. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-7,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,45	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
3,42	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
3,81	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01
-6,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-5,13	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01
-3,43	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabulka 155 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 2. dílec – diagonála

<u>2. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	56,7 %	VYHOVUJE

Tabulka 156 - Využití průřezu 2. dílec – diagonála

<u>3. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,84	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
2,87	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,51	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
-1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,83	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,51	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
-1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
2,86	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabulka 157 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 3. dílec – diagonála

3. dílec – diagonála		
Využití průřezu:	22,7 %	VYHOVUJE

Tabulka 158 - Využití průřezu 3. dílec – diagonála

4. dílec – diagonála					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,02	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
2,24	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
0,56	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
-0,77	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,55	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,00
-0,57	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
0,77	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
-1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,77	0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00
0,58	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00

Tabulka 159 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 4. dílec – diagonála

4. dílec – diagonála		
Využití průřezu:	16,1 %	VYHOVUJE

Tabulka 160 - Využití průřezu 4. dílec – diagonála

<u>5. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 161 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 5. dílec – diagonála

<u>5. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	16,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 162 - Využití průřezu 5. dílec – diagonála

<u>6. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 163 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 6. dílec – diagonála

<u>6. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	36,2 %	VYHOVUJE

Tabulka 164 - Využití průřezu 6. dílec – diagonála

<u>7. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-5,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,27	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2,27	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,94	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2,79	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,11	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,27	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 165 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 7. dílec – diagonála

<u>7. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	46,1 %	VYHOVUJE

Tabulka 166 - Využití průřezu 7. dílec – diagonála

<u>8. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,76	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,50	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 167 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 8. dílec – diagonála

<u>8. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	19,0 %	VYHOVUJE

Tabulka 168 - Využití průřezu 8. dílec – diagonála

<u>9. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 169 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 9. dílec – diagonála

<u>9. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	15,2 %	VYHOVUJE

Tabulka 170 - Využití průřezu 9. dílec – diagonála

10. dílec – diagonála					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
2,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 171 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 10. dílec – diagonála

10. dílec – diagonála		
Využití průřezu:	19,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 172 - Využití průřezu 10. dílec – diagonála

11. dílec – diagonála					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
3,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 173 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 11. dílec – diagonála

11. dílec – diagonála		
Využití průřezu:	36,3 %	VYHOVUJE

Tabulka 174 - Využití průřezu 11. dílec – diagonála

12. dílec – diagonála					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
4,98	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
4,62	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
4,63	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,59	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,77	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 175 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 12. dílec – diagonála

<u>12. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	39,7 %	VYHOVUJE

Tabulka 176 - Využití průřezu 12. dílec – diagonála

<u>13. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
-5,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-5,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 177 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 13. dílec – diagonála

<u>13. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	43,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 178 - Využití průřezu 13. dílec – diagonála

<u>14. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 179 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 14. dílec – diagonála

<u>14. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	36,6 %	VYHOVUJE

Tabulka 180 - Využití průřezu 14. dílec – diagonála

<u>15. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-3,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,84	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-3,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,24	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,83	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,24	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,62	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 181 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 15. dílec – diagonála

<u>15. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	26,8 %	VYHOVUJE

Tabulka 182 - Využití průřezu 15. dílec – diagonála

<u>16. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-2,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,87	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,48	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,86	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,77	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,94	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 183 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 16. dílec – diagonála

<u>16. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	17,9 %	VYHOVUJE

Tabulka 184 - Využití průřezu 16. dílec – diagonála

<u>17. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,46	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,41	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,67	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,41	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,47	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 185 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 17. dílec – diagonála

<u>17. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	12,0 %	VYHOVUJE

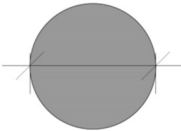
Tabulka 186 - Využití průřezu 17. dílec – diagonála

<u>18. dílec – diagonála</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
2,38	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
-0,08	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2,14	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00
-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,37	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00
2,38	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
-1,26	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01
1,25	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabulka 187 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu 18. dílec – diagonála

<u>18. dílec – diagonála</u>		
Využití průřezu:	18,9 %	VYHOVUJE

Tabulka 188 - Využití průřezu 18. dílec – diagonála

<u>Kotevní lano – 1. až 3. úroveň</u>	
RD9	
	
[30]	
$A [m^2]$	$6,3617 \cdot 10^{-5}$
$I_{y/z} [m^4]$	$3,2206 \cdot 10^{-10}$
$i_{y/z} [mm]$	2
$W_{el.y/z} [m^3]$	$7,1569 \cdot 10^{-8}$
$W_{pl.y/z} [m^3]$	$1,2150 \cdot 10^{-7}$

Tabulka 189 - Průřezové charakteristiky profilu kotevních lan

<u>Kotevní lano – 1. úroveň</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
18,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 190 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu Kotevní lano - 1. úroveň

Posouzení přetržení lana:

Pozn.: Posouzení provedeno pro maximální tahovou sílu, která se může v laně vyskytnout.

Použité vzorce:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.1)}$$

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.2)}$$

Použité symboly:

$$\gamma_R = 1,00$$

ČSN EN 1993-1-11, 6.2, tab. 6.2

$$F_{uk/k} = 93,1 \text{ kN}$$

dle podkladů CueDee AG

Výpočet:

$$F_{Rd} = \frac{93,1}{1,5 \cdot 1,0} = 62,07 \text{ kN}$$

$$\frac{18,12}{62,07} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

<u>Kotevní lano – 2. úroveň</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
31,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 191 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu Kotevní lano - 2. úroveň

Posouzení přetržení lana:

Pozn.: Posouzení provedeno pro maximální tahovou sílu, která se může v laně vyskytnout.

Použité vzorce:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.1)}$$

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.2)}$$

Použité symboly:

$$\gamma_R = 1,00$$

ČSN EN 1993-1-11, 6.2, tab. 6.2

$$F_{uk/k} = 93,1 \text{ kN}$$

dle podkladů CueDee AG

Výpočet:

$$F_{Rd} = \frac{93,1}{1,5 \cdot 1,0} = 62,07 \text{ kN}$$

$$\frac{31,70}{62,07} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

<u>Kotevní lano – 3. úroveň</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
38,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 192 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu Kotevní lano - 3. úroveň

Posouzení přetržení lana:

Pozn.: Posouzení provedeno pro maximální tahovou sílu, která se může v laně vyskytnout.

Použité vzorce:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.1)}$$

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, (6.2)}$$

Použité symboly:

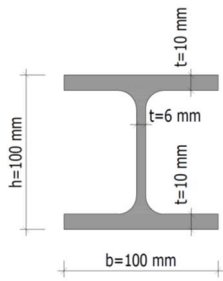
$$\gamma_R = 1,00 \quad \text{ČSN EN 1993-1-11, 6.2, tab. 6.2}$$

$$F_{uk/k} = 93,1 \text{ kN} \quad \text{dle podkladů CueDee AG}$$

Výpočet:

$$F_{Rd} = \frac{93,1}{1,5 \cdot 1,0} = 62,07 \text{ kN}$$

$$\frac{38,27}{62,07} \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

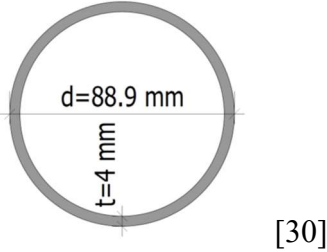
<u>Rám kontejneru – střešní rám</u>	
HEB100	
	
[30]	
$A [m^2]$	$2,6040 \cdot 10^{-3}$
$I_y [m^4]$	$4,4950 \cdot 10^{-6}$
$I_z [m^4]$	$1,6730 \cdot 10^{-6}$
$i_y [mm]$	42
$i_z [mm]$	25
$W_{el.y} [m^3]$	$8,9910 \cdot 10^{-5}$
$W_{el.z} [m^3]$	$3,3450 \cdot 10^{-5}$
$W_{pl.y} [m^3]$	$1,0420 \cdot 10^{-4}$
$W_{pl.z} [m^3]$	$5,1420 \cdot 10^{-5}$

Tabulka 193 - Průřezové charakteristiky profilu Rám kontejneru - střešní rám

<u>Rám kontejneru – střešní rám</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
-7,72	0,00	0,06	0,00	-10,41	0,19
20,31	0,02	-7,15	0,00	-28,87	-0,22
14,71	-9,83	81,17	0,00	-39,33	1,13
16,02	10,48	-85,63	0,00	-42,01	1,38
8,06	0,13	-16,28	-0,01	-45,70	0,40
8,57	0,14	-19,80	0,01	-54,04	0,41
10,90	-0,67	90,33	0,01	-63,18	0,47
16,02	10,48	-85,48	0,00	17,88	-5,96
12,81	-8,00	-69,50	0,00	14,43	4,72

Tabulka 194 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu Rám kontejneru - střešní rám

Pozn.: Není nutné posuzovat únosnost tohoto prvku, prvek usazen po celé své délce na technologickém kontejneru

<u>Rám kontejneru – svislice</u>	
RO88.9/4	
	
$A [m^2]$	$1,0700 \cdot 10^{-3}$
$I_{y/z} [m^4]$	$9,6300 \cdot 10^{-7}$
$i_{y/z} [mm]$	30
$W_{el,y/z} [m^3]$	$2,1700 \cdot 10^{-5}$
$W_{pl,y/z} [m^3]$	$2,8832 \cdot 10^{-5}$

Tabulka 195 - Průřezové charakteristiky profilu Rám kontejneru – svislice

<u>Rám kontejneru – svislice</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
4,57	0,63	-0,12	-0,04	0,29	-0,70
30,18	-2,67	-0,60	-0,25	0,14	2,50
24,30	-2,21	0,44	0,21	-0,06	2,09
25,14	-2,28	0,44	0,21	1,28	-4,67
31,03	-2,74	-0,59	-0,26	-1,66	-5,66
29,44	2,69	-0,58	0,26	-1,62	5,54

Tabulka 196 - Extrémní hodnoty vnitřních sil průřezu Rám kontejneru – svislice

<u>Rám kontejneru – svislice</u>		
Využití průřezu:	58,0 %	VYHOVUJE

Tabulka 197 - Využití průřezu Rám kontejneru – svislice

<u>Rám kontejneru – vzeprění</u>	
MSH120/120/16	
$A [m^2]$	$6,3800 \cdot 10^{-3}$
$I_{y/z} [m^4]$	$1,1200 \cdot 10^{-5}$
$i_{y/z} [mm]$	42
$W_{el.y/z} [m^3]$	$1,8600 \cdot 10^{-4}$
$W_{pl.y/z} [m^3]$	$2,4300 \cdot 10^{-4}$

Tabulka 198 - Průřezové charakteristiky profilu Rám kontejneru – vzeprění

<u>Rám kontejneru – vzeprění</u>					
Extrémní hodnoty vnitřních sil:					
$N [kN]$	$V_y [kN]$	$V_z [kN]$	$M_x [kNm]$	$M_y [kNm]$	$M_z [kNm]$
0,00	0,83	2,40	1,84	-1,71	-0,35
0,00	-0,63	-2,27	-1,51	-1,50	-0,31
37,05	-1,85	3,57	-3,69	-3,25	2,98
38,67	-1,85	0,51	-3,69	9,80	-8,88
36,21	1,80	0,46	3,61	9,54	8,60

Tabulka 199 - Extrémní hodnoty vnitřních sil profilu Rám kontejneru – vzeprění

<u>Rám kontejneru – vzeprění</u>		
Využití průřezu:	11,0 %	VYHOVUJE

Tabulka 200 - Využití průřezu Rám kontejneru – vzeprění

5.2. Posouzení spojů

Přírubový šroubový spoj nárožníků:

Pro spoj nárožníků je použita vždy dvojice šroubů M16 (kat. 8.8). Spoj je znázorněn na *Obrázek 6*. Přírubový spoj je namáhán zejména tahovou silou – velikost posuvných sil je vůči velikosti tahové síly zanedbatelná. Výpočet je tedy proveden na posouzení šroubového spoje v tahu. Pro výpočet je uvažována největší tahová síla vyskytující se nárožnicích v kapitole 5.1.

Použité vzorce:

$$F_{t,Ed} \leq n \cdot F_{t,Rd} \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 3.4.2, tab. 3.2}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 3.6.1, tab. 3.4}$$

Použité konstanty:

$$k_2 = 0,9 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 3.6.1, tab. 3.4}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 3.1.1., tab. 3.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 2.2, pozn}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \quad \text{stanoveno výrobcí}$$

Výpočet:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 800 \times 10^6 \cdot 157 \times 10^{-6}}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$173,63 \text{ kN} \leq 2 \cdot 90,43 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení svarů nárožníků k přírubovým plechům:

Pro svar nárožníků k přírubovým plechům je použit koutový svar s účinnou výškou 4 mm. Svar je znázorněn na *Obrázek 6*. Pro posouzení svaru je použita zjednodušená metoda.

Použité vzorce:

$$F_{w,Ed} \leq l \cdot F_{w,Rd} \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.3, (4.2)}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.3, (4.3)}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.3, (4.4)}$$

Použité symboly:

$$\beta_w = 0,90 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.2, tab. 4.1}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 3.1.1., tab. 3.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{ČSN EN 1993-1-8, 2.2, pozn}$$

Výpočet:

$$f_{vw,d} = \frac{800 \times 10^6 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 410,56 \times 10^6$$

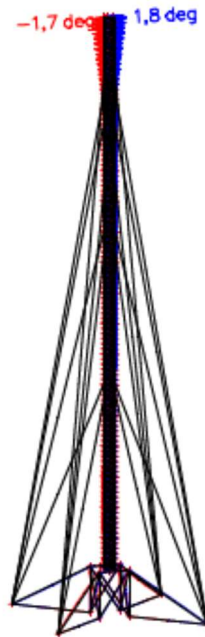
$$F_{w,Rd} = 410,56 \times 10^6 \cdot 0,004 = 1642,24 \text{ kN}$$

$$173,63 \text{ kN} \leq 0,157 \cdot 1642,24 \text{ kN}$$

$$173,63 \text{ kN} \leq 257,83 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3. Natočení konstrukce

Natočení konstrukce ve vrcholu stožáru je $1,8^\circ$. Limitní hodnota natočení v místě umístění panelových antén je 3° . Limitní hodnota natočení v místě umístění mikrovlnných antén je $0,5^\circ$. Hodnota natočení v místě mikrovlnných antén umístěných ve vrcholu stožáru tedy **NEVYHOVUJE**.



Obrázek 78 - Natočení konstrukce ve vrcholu stožáru z programu Scia Engineer

6. Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo posoudit příhradový stožár, kotvený ve třech výškových úrovních předepnutými lany, pro požadovanou konfiguraci telekomunikační technologie danou společností Vodafone Czech Republic a.s. Byl proveden výpočet zatížení konstrukce od vlastní tíhy, stálého zatížení, telekomunikačních technologií, předpětí, větru, námrazy, teploty i mimořádných zatížení jako je zatížení od pádu obsluhy, možnost přetržení lana, zatížení seismicitou a také únavou. Konstrukce byla vymodelována v programu SCIA Engineer, kde bylo nutné vyřešit zatížení kotevních lan od jednotlivých zatěžovacích stavů. Z tohoto důvodu je v práci obsažena kapitola 4 věnující se rovnici řetězovky, díky níž bylo možné vypočítat adekvátní tahové síly odpovídající zatížením lana. Tyto adekvátní tahové síly byly následně do modelu vneseny jako vynucené zkrácení lan, které vyvolávají. Následně byla konstrukce posuzována pomocí programů SCIA Engineer, FIN EC Ocel a také ručních výpočtů.

Lze konstatovat, že konstrukce na požadovanou konfiguraci vyhoví z hlediska únosnosti. Nejvíce zatížený je prvek *12. dílec – nárožník*, jehož využití 99,6 %. Je tedy zřejmé, že na stožár již není možné žádnou další technologii přidávat. Problém nastává z hlediska mezního stavu použitelnosti, kdy jsou ve vrcholu stožáru umístěny mikrovlnné antény. Natočení ve vrcholu stožáru je $1,8^\circ$, které překračuje limitní hodnotu natočení konstrukce v místě umístění mikrovlny, které je $0,5^\circ$. Je tedy na operátorovi daný problém vyřešit. Nabízí se možnost umístit mikrovlnné antény níže nebo nahradit bezdrátový přenos signálu z jiné telekomunikační stanice kabely.

Na konstrukci je nutné dle *ČSN 732604 – Ocelové konstrukce – Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb* provádět 1x za rok běžné prohlídky, při kterých je nutné zkontrolovat zejména kotevní lana stožáru, hlavně dodržení předepsaných předpětí v lanech. Dále je nutné při těchto prohlídkách kontrolovat nadměrné deformace stožáru, hlučnost či kmitání. Při běžných prohlídkách se také provádí vizuální kontrola spojů a protikorozní ochrany. Po 10 letech provozu je nutné provést výměnu lan. Mimořádné prohlídky je nutné provádět vždy po mimořádných událostech (např. úder blesku, silný vítr, zemětřesení).

Použité zdroje

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Český normalizační institut, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Český normalizační institut, 2004
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení –Zatížení větrem, Český normalizační institut, 2007
- [4] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení –Zatížení teplotou, Český normalizační institut, 2005
- [5] ČSN EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení Mimořádná zatížení, Český normalizační institut, 2007
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, 2006
- [7] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků, Český normalizační institut, 2006
- [8] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava, Český normalizační institut, 2006, Český normalizační institut, 2008
- [9] ČSN EN 1993-1-11 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část: 1-11 Navrhování ocelových tažných prvků, Český normalizační institut, 2008
- [10] ČSN EN 1993-3-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry, Český normalizační institut, 2008
- [11] ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby
- [12] ČSN EN 1998-6 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 6: Věže, stožáry a komíny, Český normalizační institut, 2007
- [13] ČSN ISO 12494 Zatížení konstrukcí námrazou, Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [14] Špaček Jan, Statický výpočet – SWE SITE OSBRT – Ostrava Bartovice, Pardubice, 02/2010
- [15] Janošková Lenka, Diplomová práce – Dynamická analýza konstrukce zatížené seismickým zatížením, VUT, Brno, 2013

- [16] Hruška Ondřej, Diplomová práce – Studie stožárů zatížených námrazou, ČVUT, Praha, 2019
- [17] Sotulář Jiří, Diplomová práce – Analýza ocelových přípojů při seismickém zatížení, VUT, Brno, 2017
- [18] Stix Roman, Bakalářská práce – Řetězovka, Masarykova univerzita, Brno, 2013
- [19] Kozák Jiří, Ocelové stožáry a věže, 1. vydání, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 474 s., ISBN 80-03-00374-1
- [20] Studnička Jiří, Navrhování nosných konstrukcí – Ocelové konstrukce, 1. vydání, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014, 120 s., ISBN 978-80-01-05490-1
- [21] Kadlčák Jaroslav, Kytýr Jiří, Statika stavebních konstrukcí I, Brno, 2001, ISBN 80-214-1877-X
- [22] Marková Jana a Holický Milan, Zatížení konstrukcí námrazou, časopis: Konstrukce, 11/2011, dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/zatizeni-konstrukci-namrazou/>
- [23] Holický Milan a Marková Jana, Eurokód EN 1991-1-7 Mimořádná zatížení, časopis: BETON – technologie, konstrukce, sanace, 03/2008, dostupné z: https://www.betontks.cz/sites/default/files/2008-3-66_0.pdf
- [24] Marková Jana, Klimatická zatížení v nové generaci Eurokódů, časopis: TZB-info, 12/2020, dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/21602-klimatickazatizeni-v-nove-generaci-eurokodu>
- [25] Marková Jana, Současný stav přípravy 2. generace Eurokódů pro zásady navrhování a zatížení, časopis: TZB-info, 03/2020, dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/20303-soucasny-stav-pripravy-2-generace-eurokodu-pro-zasady-navrhovani-a-zatizeni>
- [26] Lepš Matěj, studijní materiál k předmětu Zatížení a spolehlivost, ČVUT, v Praze, 04/2014, dostupné z: https://mech.fsv.cvut.cz/homeworks/student/ZASP/ZASP_pr04_teploata.pdf
- [27] fotodokumentace z archivu Suntel Czech, s.r.o.
- [28] CueDee Produkter AB, SWESITE – mast, Interface and Foundation, Installation instruction, 07/1999
- [29] fotomapy z www.maps.google.com
- [30] Schémata vlastní tvorby