



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

134 Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kotvený meteorologický stožár

The guyed meteorological mast

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Studijní program: | Stavební inženýrství |
| Studijní obor: | Konstrukce a dopravní stavby |
| Vedoucí diplomové práce: | prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. |

Bc. Jan Ulrich

Praha 2020

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE****I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

| | | |
|---|-------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Bc. Ulrich</u> | Jméno: <u>Jan</u> | Osobní číslo: <u>460666</u> |
| Zadávací katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u> | | |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u> | | |
| Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u> | | |

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

| | |
|--|--|
| Název diplomové práce: <u>Kotvený meteorologický stožár.</u> | |
| Název diplomové práce anglicky: <u>The guyed meteorological mast.</u> | |
| Pokyny pro vypracování: Vypracujte pro kotvený meteorologický stožár dané výšky: - variantní řešení (dispozice a hrubý návrh hlavního nosného prvku), - výběr a dispoziční řešení optimální varianty, - statické řešení stožáru podle dostupných norem a dimenzování hlavních nosných prvků, - orientační posouzení dynamické odezvy, - podrobné výkresy vybraných detailů, - technickou zprávu včetně předběžného návrhu ochrany proti korozi. | |
| Seznam doporučené literatury: 1) Kozák, J.: Ocelové stožáry a věže. SNTL, 1990 2) ČSN EN 1993-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry. 3) Eurokódy řady 1991 pro zatížení stožárů větrem, námrazou, teplotou. | |
| Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.</u> | |
| Datum zadání diplomové práce: <u>23. 9. 2020</u> | Termín odevzdání diplomové práce: <u>3. 1. 2021</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small> |
| Podpis vedoucího práce | Podpis vedoucího katedry |

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

| | |
|---|-------------------------|
| <u>23.9.2020</u> Datum převzetí zadání | Podpis studenta(ky) |
|---|-------------------------|



Abstrakt:

Cílem mé diplomové práce je návrh kotveného meteorologického stožáru. Práce je rozdělena na 4 podkapitoly, které se podrobněji zaměřují na danou problematiku. V první části je na základně statického výpočtu vybrána optimální varianta konstrukčního systému. Druhá část je technická zpráva, která popisuje dispoziční řešení a použitý materiál. Ve třetí části jsou porovnány účinky námrazy na konstrukci podle stávající a připravované evropské normy. A v poslední čtvrté části je ukázán výpočet dynamické analýzy konstrukce.

Klíčová slova:

ocel, kotvený stožár, zatížení, vítr, námraza, dynamická analýza

Abstract:

The aim of my diploma thesis is the design of a guyed meteorological mast. The thesis is divided into 4 parts, which focus in more detail on the given problem. In the first part, the optimal variant of the structural system is selected based on a static calculation. The second part provides a technical report that describes the selected layout and the used material. The third part compares the effect of icing on the structure according to the current and forthcoming European standard. And in the last fourth part the dynamic analysis of the structure is presented.

Keywords:

steel, guyed mast, load, wind, icing, dynamic analysis



Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne.....

.....



Poděkování:

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Josefu Macháčkovi, DrSc., svému vedoucímu práce, za trpělivost, rady a podporu. Dále také panu Ing. Jiřímu Lahodnému, Ph.D., odbornému specialistovi z firmy EXCON, a.s., za cenné rady a čas, který mi věnoval během osobních konzultací.



Obsah

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Úvod | 9 |
| 2 | Schéma konstrukce | 10 |
| 3 | Vlastnosti konstrukce..... | 12 |
| 3.1. | Vlastnosti dřívku | 12 |
| 3.2. | Vlastnosti kotevních lan | 13 |
| 4 | Zatížení | 15 |
| 4.1. | Třída spolehlivosti a dílčí součinitele zatížení | 15 |
| 4.2. | Svislé zatížení stálé..... | 16 |
| 4.2.1. | Rovnoměrné zatížení dřívku | 16 |
| 4.2.2. | Osamělé zatížení dřívku | 17 |
| 4.3. | Zatížení větrem | 18 |
| 4.3.1. | Střední rychlost větru a maximální dynamický tlak..... | 18 |
| 4.3.2. | Návětrné plochy a tvarové součinitele (bez námrazy) | 22 |
| 4.3.3. | Metoda pro stanovení odezvy na zatížení větrem | 43 |
| 4.3.4. | Střední a náhradní zatížení větrem pro stanovení mimorezonanční odezvy ... | 45 |
| 5 | Výpočetní model..... | 55 |
| 5.1. | Geometrie a okrajové podmínky | 55 |
| 5.1. | Nastavení sítě..... | 58 |
| 5.2. | Nastavení řešiče | 59 |
| 5.3. | Průřezy | 60 |
| 5.3.1. | Nárožník..... | 60 |
| 5.3.1. | Diagonála A..... | 60 |
| 5.3.1. | Diagonála B..... | 61 |
| 5.3.1. | Horizontála | 61 |
| 5.4. | Výsledky | 62 |
| 6 | Závěr..... | 65 |
| 1 | Základní údaje..... | 67 |
| 1.1. | Identifikační údaje..... | 67 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.2. | Charakteristika konstrukce | 67 |
| 1.3. | Výchozí údaje a podklady | 67 |
| 1.4. | Seznam použitých norem | 67 |
| 2 | Technický popis konstrukce | 68 |
| 2.1. | Dispoziční řešení a situace | 70 |
| 2.2. | Konstrukční řešení nosné konstrukce tělesa stožáru..... | 70 |
| 2.3. | Kotevní lana | 71 |
| 2.4. | Kotevní rošty..... | 71 |
| 2.5. | Doplňkové konstrukce | 71 |
| 3 | Statické řešení | 72 |
| 3.1. | Zatížení a jejich kombinace | 72 |
| 3.2. | Použité metody | 72 |
| 3.3. | Posouzení..... | 72 |
| 4 | Požadavky na kvalitu nosných konstrukcí | 72 |
| 4.1. | Materiál | 72 |
| 4.2. | Antikorozní ochrana konstrukce | 73 |
| 4.3. | Výroba..... | 73 |
| 4.4. | Montáž..... | 73 |
| 4.5. | Předpínání..... | 73 |
| 5 | Závěr | 74 |
| 1 | Úvod..... | 76 |
| 2 | Společná část pro obě normy | 76 |
| 2.1. | Geometrie námrazy | 78 |
| 2.1.1. | Nárožník | 79 |
| 2.1.2. | Diagonála 1..... | 80 |
| 3 | Stávající norma..... | 80 |
| 4 | Nová norma..... | 82 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Porovnání..... | 83 |
| 6 | Závěr..... | 83 |
| 1 | Úvod..... | 85 |
| 2 | Postup výpočtu..... | 86 |
| 2.1. | Základní část odezvy..... | 86 |
| 2.1.1. | Teoretická část..... | 86 |
| 2.1.2. | Výpočet směrodatných odchylek veličin..... | 87 |
| 2.2. | Rezonanční část odezvy..... | 88 |
| 2.2.1. | Teoretická část..... | 88 |
| 2.2.2. | Výpočet..... | 90 |
| 2.3. | Celkové účinky od zatížení..... | 101 |
| 3 | Závěr..... | 103 |



Obsah diplomové práce

Předmětem diplomové práce je problematika návrhu kotveného stožáru sloužícího jako meteorologická stanice. Jedná se o příhradový stožár s výškou 267,75 m, kotvený v pěti výškových úrovních lany do tří směrů a osazený potřebným příslušenstvím pro měření meteorologických jevů.

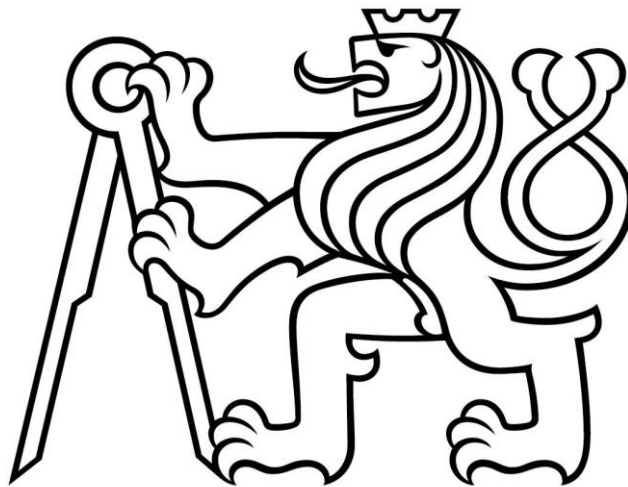
Práce je rozdělena na 4 části:

- I. Statický výpočet kotveného stožáru a výběr optimální varianty uložení v patě dříku
- II. Technická zpráva k optimální variantě
- III. Porovnání vlivu námrazy podle stávající a připravované evropské normy
- IV. Dynamická analýza kotveného stožáru

Část III a IV jsou výzkumného charakteru, jsou zde popsány principy řešení a demonstrován výpočet pouze na části konstrukce.



Statický výpočet kotveného stožáru a výběr optimální varianty uložení v patě dříku

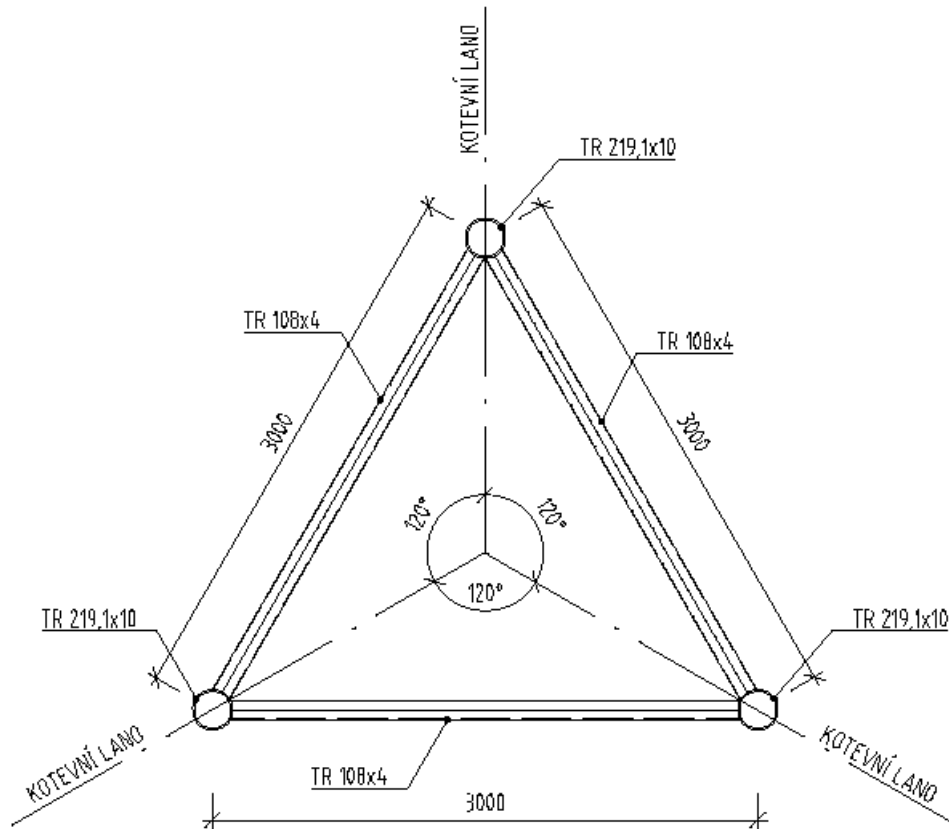




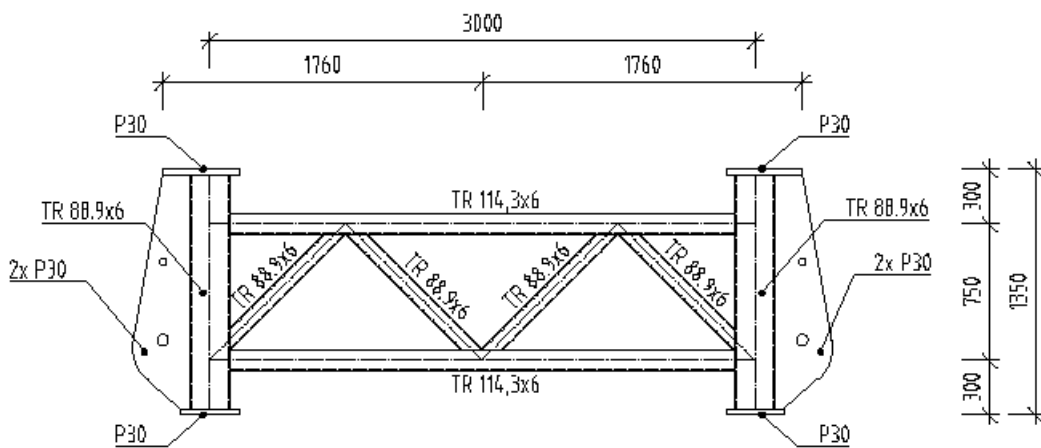
1 Úvod

Tato část diplomové práce se soustřeďuje na výběr ze dvou možných variant konstrukce. Jak již bylo zmíněno, navrhuje se nosná konstrukce příhradového kotveného stožáru výšky 267,750 m, s pěti kotevními úrovněmi pomocí lan vedených do tří směrů. Rozdíl ve variantách bude v uložení dřívku stožáru: kloubové uložení nebo vetknutí. V praxi se jedná o velmi běžný problém rozhodování mezi těmito dvěma variantami.

Výběr optimálního řešení bude založen na odezvě pro kombinaci zatížení od vlastní tíhy, stálého zatížení, tíhy příslušenství a zatížení větrem bez námrazy.



Obrázek 2.2 Půdorysné schéma kotevních lan



Obrázek 2.3 Schéma kotevního dílu.



3 Vlastnosti konstrukce

3.1. Vlastnosti dřívku

Geometrie příhradového dřívku

Dřík stožáru je rozdělen na libovolný počet polí, pro něž je následně vypočteno zatížení větrem a námrazou. Vzhledem k tomu, že průběhy těchto zatížení jsou na polích konstantní, je nutné stožár rozdělit na dostatečný počet polí.

| Číslo pole | Číslo horního bodu pole | Výška panelu | Výška horního bodu nad terémem | Šířka příhrady (osová) | Výška příhrady | Modul pružnosti |
|------------|-------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| | | h_i | z | | | E |
| | | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [MPa] |
| 44 | 45 | 0,750 | 267,750 | 1500 | 3000 | 210000 |
| 43 | 44 | 7,500 | 267,000 | 1500 | 3000 | 210000 |
| 42 | 43 | 9,000 | 259,500 | 1500 | 3000 | 210000 |
| 41 | 42 | 3,000 | 250,500 | 2250 | 3000 | 210000 |
| 40 | 41 | 0,375 | 247,500 | 3000 | 750 | 210000 |
| 39 | 40 | 0,375 | 247,125 | 3000 | 750 | 210000 |
| 38 | 39 | 12,000 | 246,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 37 | 38 | 12,000 | 234,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 36 | 37 | 0,375 | 222,750 | 3000 | 750 | 210000 |
| 35 | 36 | 0,375 | 222,375 | 3000 | 750 | 210000 |
| 34 | 35 | 12,000 | 222,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 33 | 34 | 12,000 | 210,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 32 | 33 | 0,375 | 198,000 | 3000 | 750 | 210000 |
| 31 | 32 | 0,375 | 197,625 | 3000 | 750 | 210000 |
| 30 | 31 | 12,000 | 197,250 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 29 | 30 | 12,000 | 185,250 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 28 | 29 | 0,375 | 173,250 | 3000 | 750 | 210000 |
| 27 | 28 | 0,375 | 172,875 | 3000 | 750 | 210000 |
| 26 | 27 | 12,000 | 172,500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 25 | 26 | 12,000 | 160,500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 24 | 25 | 0,375 | 148,500 | 3000 | 750 | 210000 |
| 23 | 24 | 0,375 | 148,125 | 3000 | 750 | 210000 |
| 22 | 23 | 12,000 | 147,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 21 | 22 | 12,000 | 135,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 20 | 21 | 0,375 | 123,750 | 3000 | 750 | 210000 |
| 19 | 20 | 0,375 | 123,375 | 3000 | 750 | 210000 |
| 18 | 19 | 12,000 | 123,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 17 | 18 | 12,000 | 111,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 16 | 17 | 0,375 | 99,000 | 3000 | 750 | 210000 |
| 15 | 16 | 0,375 | 98,625 | 3000 | 750 | 210000 |
| 14 | 15 | 12,000 | 98,250 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 13 | 14 | 12,000 | 86,250 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 12 | 13 | 0,375 | 74,250 | 3000 | 750 | 210000 |
| 11 | 12 | 0,375 | 73,875 | 3000 | 750 | 210000 |
| 10 | 11 | 12,000 | 73,500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 9 | 10 | 12,000 | 61,500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 8 | 9 | 0,375 | 49,500 | 3000 | 750 | 210000 |
| 7 | 8 | 0,375 | 49,125 | 3000 | 750 | 210000 |
| 6 | 7 | 12,000 | 48,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 5 | 6 | 12,000 | 36,750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 4 | 5 | 0,375 | 24,750 | 3000 | 750 | 210000 |
| 3 | 4 | 0,375 | 24,375 | 3000 | 750 | 210000 |
| 2 | 3 | 12,000 | 24,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 1 | 2 | 12,000 | 12,000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| | 1 | | | | | |

Tabulka 3.1 Geometrie příhradového dřívku



3.2. Vlastnosti kotevnických lan

Navržena jsou jednopramenná lana dle EN 1385-10+A1 (skladba 1-6-12-18-24). Třída pevnosti 1770.

Geometrie kotevnických lan

| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Číslo uzlu | Výška kotevní úrovně | Výškový doplněk | Vodorovná vzdálenost kotvení | Excentricita (vzdálenost kotvení od osy dřívku) | Sklon lana | Sklon lana | Půdorysný úhel od lana ve směru č. 1 | Půdorysný úhel od lana ve směru č. 1 |
|-------------------|---------|------------|----------------------|-----------------|------------------------------|---|------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | Z_k | δZ_k | H_k | exc | α | α | β | β |
| | | | [m] | [m] | [m] | [m] | [deg] | [rad] | [deg] | [rad] |
| 5 | 1 | 40 | 247,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 64,4 | 1,124 | 0 | 0,000 |
| | 2 | | 247,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 64,4 | 1,124 | 120 | 2,094 |
| | 3 | | 247,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 64,4 | 1,124 | 240 | 4,189 |
| 4 | 1 | 32 | 197,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 59,1 | 1,031 | 0 | 0,000 |
| | 2 | | 197,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 59,1 | 1,031 | 120 | 2,094 |
| | 3 | | 197,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 59,1 | 1,031 | 240 | 4,189 |
| 3 | 1 | 24 | 148,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 51,3 | 0,895 | 0 | 0,000 |
| | 2 | | 148,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 51,3 | 0,895 | 120 | 2,094 |
| | 3 | | 148,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 51,3 | 0,895 | 240 | 4,189 |
| 2 | 1 | 16 | 98,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 39,8 | 0,695 | 0 | 0,000 |
| | 2 | | 98,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 39,8 | 0,695 | 120 | 2,094 |
| | 3 | | 98,625 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 39,8 | 0,695 | 240 | 4,189 |
| 1 | 1 | 8 | 49,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 22,5 | 0,393 | 0 | 0,000 |
| | 2 | | 49,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 22,5 | 0,393 | 120 | 2,094 |
| | 3 | | 49,125 | 0,000 | 120,000 | 1,760 | 22,5 | 0,393 | 240 | 4,189 |

Tabulka 3.2 Geometrie kotevnických lan

V reálných případech konstrukcí kotvených stožárů nebývají základové bloky kotevnických lan ve stejné výškové úrovni ani ve stejné vzdálenosti od dřívku stožáru. Pokud ale nejsou rozdíly velké, je vybrán jeden směr kotevnických lan a jeho geometrie je aplikována na zbylé směry. Takto nám vznikne symetrická konstrukce, která je jednodušší pro následnou analýzu. Takové zjednodušení je uvažováno i v tomto případě.

Průřezové charakteristiky kotevních lan a předpětí

| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Počet lan v jednom směru | Průměr lana | Průřezová plocha lana | Tíha lana | Modul pružnosti lana | Předpětí |
|-------------------|---------|--------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| | | | $d_{l,i}$ [mm] | $A_{l,i}$ [mm ²] | $g_{l,i}$ [kN/m] | $E_{l,i}$ [MPa] | $\sigma_{l,0,i}$ [MPa] |
| 5 | 1 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 155,00 |
| | 2 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 155,00 |
| | 3 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 155,00 |
| 4 | 1 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 150,00 |
| | 2 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 150,00 |
| | 3 | 1 | 50 | 1460 | 0,121 | 1,50E+05 | 150,00 |
| 3 | 1 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 150,00 |
| | 2 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 150,00 |
| | 3 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 150,00 |
| 2 | 1 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |
| | 2 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |
| | 3 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |
| 1 | 1 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |
| | 2 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |
| | 3 | 1 | 40 | 931 | 0,0773 | 1,50E+05 | 140,00 |

Tabulka 3.3 Průřezové charakteristiky kotevních lan a jejich předpětí

Aby se možnost vzniku kmitání lan při klidných větrných podmínkách omezila na minimum, má se hodnota předpětí pro každé lano zvolit menší než 10 % jeho mezní únosnosti při přetržení [2].



4 Zatížení

4.1. Třída spolehlivosti a dílčí součinitele zatížení

Jelikož bývají kotvené stožáry kvůli svým velkým geometrickým nárokům obvykle stavěny mimo obydlené oblasti, je tato konstrukce v souladu s ČSN EN 1993-3-1[2] zařazena do třídy spolehlivosti 1.

Diferenciace spolehlivosti stožárů

| Třída spolehlivosti | |
|---------------------|---|
| 3 | Stožáry postavené v hustě obydlených územích nebo kde jejich zřícení pravděpodobně způsobí zranění nebo ztrátu lidských životů: stožáry pro důležitá telekomunikační zařízení, jiné významné konstrukce, kde jsou negativní důsledky zřícení pravděpodobně velmi vysoké |
| 2 | Všechny stožáry, které nemohou být definovány jako třída 1 nebo jako třída 3. |
| 1 | Stožáry postavené na neobydlených místech v otevřené krajině: stožáry, jejichž zřícení pravděpodobně nezpůsobí zranění lidí. |

Tabulka 4.1 Třídy spolehlivosti [2]

| Typ účinku | Třída spolehlivosti | Stálé zatížení | Proměnné zatížení (Q_s) |
|-------------------|---------------------|----------------|-----------------------------|
| Nepříznivý | 3 | 1.2 | 1.6 |
| | 2 | 1.1 | 1.4 |
| | 1 | 1.0 | 1.2 |
| Příznivý | Všechny třídy | 1.0 | 0.0 |
| Mimořádné situace | | 1.0 | 1.0 |

Tabulka 4.2 Dílčí součinitele pro stálá a proměnná zatížení [2]



4.2. Svislé zatížení stálé

4.2.1. Rovnoměrné zatížení dřívku

Tíha příslušenství

| Číslo pole | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu nad terénem | Žebříky | Kabelové lávky | Kabely | Profily výtahu | Měřicí zařízení (zadávané rovnoměrně) | Antény (zadávané rovnoměrně) | Stálé rovnoměrné zatížení celkem |
|------------|-------------------------|--------------------------------|---------|----------------|--------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | | z | | | | | | | $g_{an,i}$ |
| | | [m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] |
| 44 | 45 | 267,750 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | | 0,05 | | 0,50 |
| 43 | 44 | 267,000 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | | 0,05 | | 0,50 |
| 42 | 43 | 259,500 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | | 0,05 | | 0,50 |
| 41 | 42 | 250,500 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | | 0,05 | | 0,50 |
| 40 | 41 | 247,500 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | | 0,05 | | 0,50 |
| 39 | 40 | 247,125 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 38 | 39 | 246,750 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 37 | 38 | 234,750 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 36 | 37 | 222,750 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 35 | 36 | 222,375 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 34 | 35 | 222,000 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 33 | 34 | 210,000 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 32 | 33 | 198,000 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 31 | 32 | 197,625 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 30 | 31 | 197,250 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 29 | 30 | 185,250 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 28 | 29 | 173,250 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 27 | 28 | 172,875 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 26 | 27 | 172,500 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 25 | 26 | 160,500 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 24 | 25 | 148,500 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 0,05 | | 1,30 |
| 23 | 24 | 148,125 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 22 | 23 | 147,750 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 21 | 22 | 135,750 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 20 | 21 | 123,750 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 19 | 20 | 123,375 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 18 | 19 | 123,000 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 17 | 18 | 111,000 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 16 | 17 | 99,000 | 0,15 | 0,40 | 0,30 | 0,70 | 0,05 | 0,50 | 2,10 |
| 15 | 16 | 98,625 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 14 | 15 | 98,250 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 13 | 14 | 86,250 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 12 | 13 | 74,250 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 11 | 12 | 73,875 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 10 | 11 | 73,500 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 9 | 10 | 61,500 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 8 | 9 | 49,500 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 7 | 8 | 49,125 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 6 | 7 | 48,750 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 5 | 6 | 36,750 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 4 | 5 | 24,750 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 3 | 4 | 24,375 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 2 | 3 | 24,000 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 1 | 2 | 12,000 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,05 | | 1,70 |
| 0 | 1 | 0,000 | | | | | | | |

Tabulka 4.3 Svislé rovnoměrné zatížení příslušenstvím



4.2.2. Osamělé zatížení dříku

Tíha příslušenství

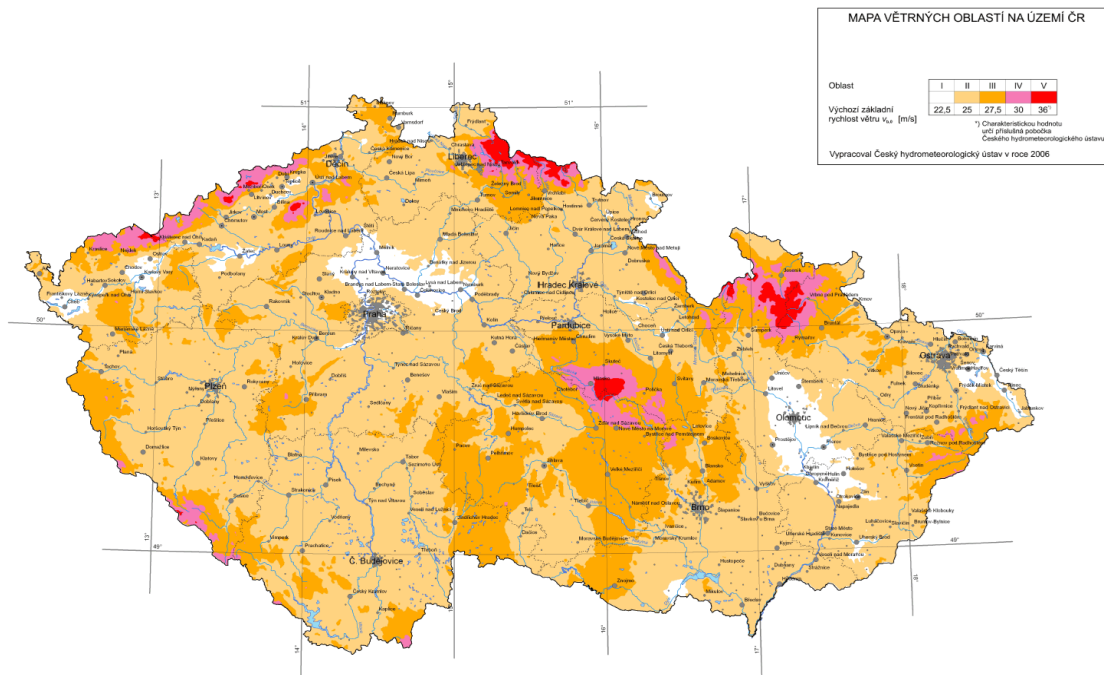
| Číslo pole | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu nad terénem | Antény (zadávané v bodech) | Plošiny a konzoly | Měřicí zařízení (zadávané v bodech) | Stálé osamělé zatížení celkem |
|------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | z | | | | $G_{an,i}$ |
| | | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 44 | 45 | 267,750 | | 3,00 | | 3,00 |
| 43 | 44 | 267,000 | | | | 0,00 |
| 42 | 43 | 259,500 | | 4,00 | 2,50 | 6,50 |
| 41 | 42 | 250,500 | | | | 0,00 |
| 40 | 41 | 247,500 | | 6,00 | 2,50 | 8,50 |
| 39 | 40 | 247,125 | | | | 0,00 |
| 38 | 39 | 246,750 | | | | 0,00 |
| 37 | 38 | 234,750 | | | | 0,00 |
| 36 | 37 | 222,750 | | | | 0,00 |
| 35 | 36 | 222,375 | | | | 0,00 |
| 34 | 35 | 222,000 | | | | 0,00 |
| 33 | 34 | 210,000 | | | | 0,00 |
| 32 | 33 | 198,000 | | 3,50 | | 3,50 |
| 31 | 32 | 197,625 | | | | 0,00 |
| 30 | 31 | 197,250 | | | | 0,00 |
| 29 | 30 | 185,250 | | | | 0,00 |
| 28 | 29 | 173,250 | | | | 0,00 |
| 27 | 28 | 172,875 | | | | 0,00 |
| 26 | 27 | 172,500 | | | | 0,00 |
| 25 | 26 | 160,500 | | | | 0,00 |
| 24 | 25 | 148,500 | | 3,50 | | 3,50 |
| 23 | 24 | 148,125 | | | | 0,00 |
| 22 | 23 | 147,750 | | | | 0,00 |
| 21 | 22 | 135,750 | | | | 0,00 |
| 20 | 21 | 123,750 | | | | 0,00 |
| 19 | 20 | 123,375 | | | | 0,00 |
| 18 | 19 | 123,000 | | | | 0,00 |
| 17 | 18 | 111,000 | | | | 0,00 |
| 16 | 17 | 99,000 | | 3,50 | | 3,50 |
| 15 | 16 | 98,625 | | | | 0,00 |
| 14 | 15 | 98,250 | | | | 0,00 |
| 13 | 14 | 86,250 | | | | 0,00 |
| 12 | 13 | 74,250 | | | | 0,00 |
| 11 | 12 | 73,875 | | | | 0,00 |
| 10 | 11 | 73,500 | | | | 0,00 |
| 9 | 10 | 61,500 | | | | 0,00 |
| 8 | 9 | 49,500 | | 3,50 | | 3,50 |
| 7 | 8 | 49,125 | | | | 0,00 |
| 6 | 7 | 48,750 | | | | 0,00 |
| 5 | 6 | 36,750 | | | | 0,00 |
| 4 | 5 | 24,750 | | | | 0,00 |
| 3 | 4 | 24,375 | | | | 0,00 |
| 2 | 3 | 24,000 | | | | 0,00 |
| 1 | 2 | 12,000 | | | | 0,00 |
| 0 | 1 | 0,000 | | | | 0,00 |

Tabulka 4.4 Svislé osamělé zatížení příslušenstvím

4.3. Zatížení větrem

4.3.1. Střední rychlost větru a maximální dynamický tlak

Konstrukce se nachází v II. větrné oblasti dle ČSN EN 1991-1-4 [1]. Charakteristiky větru byly aplikovány na celou konstrukci, přestože norma uvažuje maximální výšku konstrukce 200 m.



Obrázek 4.1 Mapa větrných oblastí ČR [1]

Větrná oblast

II

| | | |
|---------------------------------|----------------|---------------|
| Výchozí základní rychlost větru | $v_{b,0} =$ | 25 m/s |
| součinitel směru větru | $c_{dir} =$ | 1 |
| součinitel ročního období | $c_{season} =$ | 1 |
| základní rychlost větru | $v_b =$ | 25 m/s |

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

Kategorie terénu

II

| | | |
|-------------------------------|--------------|------------------------|
| parametry | $z_0 =$ | 0.05 |
| | $z_{min} =$ | 2 |
| | $z_{0,II} =$ | 0.05 |
| | $k_r =$ | 0.19 |
| součinitel turbulence | $k_l =$ | 1 |
| měrná hmotnost vzduchu | $\rho =$ | 1.25 kg/m ³ |
| Základní dynamický tlak větru | $q_b =$ | 0.39 kN/m ² |



Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right) \quad (4.2)$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (4.3)$$

Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b \quad (4.4)$$

Intenzita turbulence větru

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (4.5)$$

Maximální dynamický tlak větru

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2 \quad (4.6)$$

Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 \quad (4.7)$$

Součinitel expozice

$$c_e(z) = \frac{q_p}{q_b} \quad (4.8)$$

Dřík stožáru

| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Součinitel drsnosti terénu | Součinitel orografie | Střední rychlost větru | Intenzita turbulence | Maximální dynamický tlak | Součinitel expozice | Maximální rychlost větru |
|------------|--------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| | z | $c_r(z)$ | $c_o(z)$ | $v_m(z)$ | $I_v(z)$ | $q_p(z)$ | $c_e(z)$ | $v_{max}(z)$ |
| | [m] | [-] | [-] | [m/s] | [-] | [kN/m ²] | [-] | [m/s] |
| 45 | 267,750 | 1,631 | 1,000 | 40,782 | 0,116 | 1,887 | 4,831 | 54,948 |
| 44 | 267,000 | 1,631 | 1,000 | 40,769 | 0,117 | 1,886 | 4,828 | 54,934 |
| 43 | 259,500 | 1,625 | 1,000 | 40,634 | 0,117 | 1,876 | 4,803 | 54,792 |
| 42 | 250,500 | 1,619 | 1,000 | 40,466 | 0,117 | 1,864 | 4,773 | 54,617 |
| 41 | 247,500 | 1,616 | 1,000 | 40,409 | 0,118 | 1,860 | 4,762 | 54,557 |
| 40 | 247,125 | 1,616 | 1,000 | 40,402 | 0,118 | 1,860 | 4,761 | 54,550 |
| 39 | 246,750 | 1,616 | 1,000 | 40,395 | 0,118 | 1,859 | 4,760 | 54,542 |
| 38 | 234,750 | 1,606 | 1,000 | 40,158 | 0,118 | 1,842 | 4,717 | 54,294 |
| 37 | 222,750 | 1,596 | 1,000 | 39,908 | 0,119 | 1,825 | 4,671 | 54,034 |
| 36 | 222,375 | 1,596 | 1,000 | 39,900 | 0,119 | 1,824 | 4,670 | 54,025 |
| 35 | 222,000 | 1,596 | 1,000 | 39,892 | 0,119 | 1,824 | 4,669 | 54,017 |
| 34 | 210,000 | 1,585 | 1,000 | 39,628 | 0,120 | 1,805 | 4,621 | 53,741 |
| 33 | 198,000 | 1,574 | 1,000 | 39,349 | 0,121 | 1,785 | 4,571 | 53,448 |
| 32 | 197,625 | 1,574 | 1,000 | 39,340 | 0,121 | 1,785 | 4,569 | 53,439 |
| 31 | 197,250 | 1,573 | 1,000 | 39,331 | 0,121 | 1,784 | 4,567 | 53,429 |
| 30 | 185,250 | 1,561 | 1,000 | 39,033 | 0,122 | 1,763 | 4,514 | 53,117 |
| 29 | 173,250 | 1,549 | 1,000 | 38,715 | 0,123 | 1,741 | 4,458 | 52,783 |
| 28 | 172,875 | 1,548 | 1,000 | 38,704 | 0,123 | 1,741 | 4,456 | 52,773 |
| 27 | 172,500 | 1,548 | 1,000 | 38,694 | 0,123 | 1,740 | 4,454 | 52,762 |
| 26 | 160,500 | 1,534 | 1,000 | 38,352 | 0,124 | 1,716 | 4,394 | 52,403 |
| 25 | 148,500 | 1,519 | 1,000 | 37,983 | 0,125 | 1,691 | 4,329 | 52,015 |
| 24 | 148,125 | 1,519 | 1,000 | 37,970 | 0,125 | 1,690 | 4,327 | 52,003 |
| 23 | 147,750 | 1,518 | 1,000 | 37,958 | 0,125 | 1,689 | 4,325 | 51,990 |
| 22 | 135,750 | 1,502 | 1,000 | 37,556 | 0,126 | 1,662 | 4,255 | 51,567 |
| 21 | 123,750 | 1,485 | 1,000 | 37,116 | 0,128 | 1,632 | 4,179 | 51,105 |
| 20 | 123,375 | 1,484 | 1,000 | 37,102 | 0,128 | 1,631 | 4,176 | 51,090 |
| 19 | 123,000 | 1,484 | 1,000 | 37,088 | 0,128 | 1,630 | 4,174 | 51,075 |
| 18 | 111,000 | 1,464 | 1,000 | 36,600 | 0,130 | 1,598 | 4,090 | 50,562 |
| 17 | 99,000 | 1,442 | 1,000 | 36,057 | 0,132 | 1,562 | 3,998 | 49,990 |
| 16 | 98,625 | 1,442 | 1,000 | 36,039 | 0,132 | 1,561 | 3,995 | 49,971 |
| 15 | 98,250 | 1,441 | 1,000 | 36,020 | 0,132 | 1,559 | 3,992 | 49,951 |
| 14 | 86,250 | 1,416 | 1,000 | 35,402 | 0,134 | 1,519 | 3,889 | 49,299 |
| 13 | 74,250 | 1,388 | 1,000 | 34,690 | 0,137 | 1,473 | 3,771 | 48,547 |
| 12 | 73,875 | 1,387 | 1,000 | 34,666 | 0,137 | 1,471 | 3,767 | 48,522 |
| 11 | 73,500 | 1,386 | 1,000 | 34,642 | 0,137 | 1,470 | 3,763 | 48,496 |
| 10 | 61,500 | 1,352 | 1,000 | 33,795 | 0,141 | 1,416 | 3,625 | 47,600 |
| 9 | 49,500 | 1,311 | 1,000 | 32,764 | 0,145 | 1,352 | 3,461 | 46,507 |
| 8 | 49,125 | 1,309 | 1,000 | 32,728 | 0,145 | 1,350 | 3,455 | 46,469 |
| 7 | 48,750 | 1,308 | 1,000 | 32,692 | 0,145 | 1,347 | 3,449 | 46,430 |
| 6 | 36,750 | 1,254 | 1,000 | 31,349 | 0,152 | 1,266 | 3,240 | 45,002 |
| 5 | 24,750 | 1,179 | 1,000 | 29,472 | 0,161 | 1,155 | 2,958 | 42,994 |
| 4 | 24,375 | 1,176 | 1,000 | 29,399 | 0,162 | 1,151 | 2,947 | 42,917 |
| 3 | 24,000 | 1,173 | 1,000 | 29,325 | 0,162 | 1,147 | 2,936 | 42,838 |
| 2 | 12,000 | 1,041 | 1,000 | 26,033 | 0,182 | 0,965 | 2,469 | 39,285 |
| 1 | 0,000 | | | | | | | |

Tabulka 4.5 Střední rychlost větru, intenzita turbulence a maximální dynamický tlak

Kotevní lana

| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Výška kotevní úrovně | Výškový doplněk | Ekvivalentní výška | Součinitel drsnosti terénu | Součinitel orografie | Střední rychlost větru | Intenzita turbulence | Maximální dynamický tlak |
|-------------------|---------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| | | z_k | Δz_k | $z_{2/3}$ | $C_r(z)$ | $C_o(z)$ | $v_m(z)$ | $I_v(z)$ | $q_p(z)$ |
| | | [m] | [m] | [m] | [-] | [-] | [m/s] | [-] | [kN/m ²] |
| 5 | 1 | 247,125 | 0,000 | 164,750 | 1,539 | 1,000 | 38,476 | 0,123 | 1,725 |
| | 2 | 247,125 | 0,000 | 164,750 | 1,539 | 1,000 | 38,476 | 0,123 | 1,725 |
| | 3 | 247,125 | 0,000 | 164,750 | 1,539 | 1,000 | 38,476 | 0,123 | 1,725 |
| 4 | 1 | 197,625 | 0,000 | 131,750 | 1,497 | 1,000 | 37,414 | 0,127 | 1,652 |
| | 2 | 197,625 | 0,000 | 131,750 | 1,497 | 1,000 | 37,414 | 0,127 | 1,652 |
| | 3 | 197,625 | 0,000 | 131,750 | 1,497 | 1,000 | 37,414 | 0,127 | 1,652 |
| 3 | 1 | 148,125 | 0,000 | 98,750 | 1,442 | 1,000 | 36,045 | 0,132 | 1,561 |
| | 2 | 148,125 | 0,000 | 98,750 | 1,442 | 1,000 | 36,045 | 0,132 | 1,561 |
| | 3 | 148,125 | 0,000 | 98,750 | 1,442 | 1,000 | 36,045 | 0,132 | 1,561 |
| 2 | 1 | 98,625 | 0,000 | 65,750 | 1,365 | 1,000 | 34,113 | 0,139 | 1,436 |
| | 2 | 98,625 | 0,000 | 65,750 | 1,365 | 1,000 | 34,113 | 0,139 | 1,436 |
| | 3 | 98,625 | 0,000 | 65,750 | 1,365 | 1,000 | 34,113 | 0,139 | 1,436 |
| 1 | 1 | 49,125 | 0,000 | 32,750 | 1,232 | 1,000 | 30,802 | 0,154 | 1,233 |
| | 2 | 49,125 | 0,000 | 32,750 | 1,232 | 1,000 | 30,802 | 0,154 | 1,233 |
| | 3 | 49,125 | 0,000 | 32,750 | 1,232 | 1,000 | 30,802 | 0,154 | 1,233 |

Tabulka 4.6 Střední rychlost větru, intenzita turbulence a maximální dynamický tlak ve 2/3 výšky kotevních lan



4.3.2. Návětrné plochy a tvarové součinitele (bez námrazy)

Příhradová konstrukce

Návětrné plochy a tvarové součinitele jsou stanoveny podle postupu v ČSN EN 1993-3-1 [2].

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu nad terénem z | Délky prvků v 1 stěně na běžný metr | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Nárožníky | Diagonály A | Diagonály B | Horizontály |
| | [m] | [m/m'] | [m/m'] | [m/m'] | [m/m'] |
| 45 | 267,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 44 | 267,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 43 | 259,500 | 2,000 | 1,414 | | |
| 42 | 250,500 | 2,062 | 1,414 | | |
| 41 | 247,500 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 40 | 247,125 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 39 | 246,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 38 | 234,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 37 | 222,750 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 36 | 222,375 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 35 | 222,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 34 | 210,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 33 | 198,000 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 32 | 197,625 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 31 | 197,250 | 2,000 | 1,414 | | |
| 30 | 185,250 | 2,000 | 1,414 | | |
| 29 | 173,250 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 28 | 172,875 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 27 | 172,500 | 2,000 | 1,414 | | |
| 26 | 160,500 | 2,000 | 1,414 | | |
| 25 | 148,500 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 24 | 148,125 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 23 | 147,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 22 | 135,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 21 | 123,750 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 20 | 123,375 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 19 | 123,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 18 | 111,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 17 | 99,000 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 16 | 98,625 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 15 | 98,250 | 2,000 | 1,414 | | |
| 14 | 86,250 | 2,000 | 1,414 | | |
| 13 | 74,250 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 12 | 73,875 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 11 | 73,500 | 2,000 | 1,414 | | |
| 10 | 61,500 | 2,000 | 1,414 | | |
| 9 | 49,500 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 8 | 49,125 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 7 | 48,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 6 | 36,750 | 2,000 | 1,414 | | |
| 5 | 24,750 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 4 | 24,375 | 2,000 | | 5,657 | 8,000 |
| 3 | 24,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 2 | 12,000 | 2,000 | 1,414 | | |
| 1 | 0,000 | | | | |

Tabulka 4.7 Délky nárožníků, diagonál 1, diagonál 2 a horizontál na bm konstrukce

Průměr/šířka prvků, Reynoldsovo číslo, režim obtékání

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Maximální rychlost větru | Nárožníky | | | Diagonály A | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|---|
| | | | Průměr/ šířka | Re | Režim obtékání | Průměr/ šířka | Re | Režim obtékání | |
| | | | | | | | | | z |
| | [m] | [m/s] | [mm] | | | | [mm] | | |
| 45 | 267,750 | 54,948 | 219,1 | 8,03E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,96E+05 | podkritické | |
| 44 | 267,000 | 54,934 | 219,1 | 8,02E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,96E+05 | podkritické | |
| 43 | 259,500 | 54,792 | 219,1 | 8,00E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,95E+05 | podkritické | |
| 42 | 250,500 | 54,617 | 219,1 | 7,98E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,93E+05 | podkritické | |
| 41 | 247,500 | 54,557 | 219,1 | 7,97E+05 | nadkritické | | | | |
| 40 | 247,125 | 54,550 | 219,1 | 7,97E+05 | nadkritické | | | | |
| 39 | 246,750 | 54,542 | 219,1 | 7,97E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,93E+05 | podkritické | |
| 38 | 234,750 | 54,294 | 219,1 | 7,93E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,91E+05 | podkritické | |
| 37 | 222,750 | 54,034 | 219,1 | 7,89E+05 | nadkritické | | | | |
| 36 | 222,375 | 54,025 | 219,1 | 7,89E+05 | nadkritické | | | | |
| 35 | 222,000 | 54,017 | 219,1 | 7,89E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,89E+05 | podkritické | |
| 34 | 210,000 | 53,741 | 219,1 | 7,85E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,87E+05 | podkritické | |
| 33 | 198,000 | 53,448 | 219,1 | 7,81E+05 | nadkritické | | | | |
| 32 | 197,625 | 53,439 | 219,1 | 7,81E+05 | nadkritické | | | | |
| 31 | 197,250 | 53,429 | 219,1 | 7,80E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,85E+05 | podkritické | |
| 30 | 185,250 | 53,117 | 219,1 | 7,76E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,82E+05 | podkritické | |
| 29 | 173,250 | 52,783 | 219,1 | 7,71E+05 | nadkritické | | | | |
| 28 | 172,875 | 52,773 | 219,1 | 7,71E+05 | nadkritické | | | | |
| 27 | 172,500 | 52,762 | 219,1 | 7,71E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,80E+05 | podkritické | |
| 26 | 160,500 | 52,403 | 219,1 | 7,65E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,77E+05 | podkritické | |
| 25 | 148,500 | 52,015 | 219,1 | 7,60E+05 | nadkritické | | | | |
| 24 | 148,125 | 52,003 | 219,1 | 7,60E+05 | nadkritické | | | | |
| 23 | 147,750 | 51,990 | 219,1 | 7,59E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,74E+05 | podkritické | |
| 22 | 135,750 | 51,567 | 219,1 | 7,53E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,71E+05 | podkritické | |
| 21 | 123,750 | 51,105 | 219,1 | 7,46E+05 | nadkritické | | | | |
| 20 | 123,375 | 51,090 | 219,1 | 7,46E+05 | nadkritické | | | | |
| 19 | 123,000 | 51,075 | 219,1 | 7,46E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,68E+05 | podkritické | |
| 18 | 111,000 | 50,562 | 219,1 | 7,39E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,64E+05 | podkritické | |
| 17 | 99,000 | 49,990 | 219,1 | 7,30E+05 | nadkritické | | | | |
| 16 | 98,625 | 49,971 | 219,1 | 7,30E+05 | nadkritické | | | | |
| 15 | 98,250 | 49,951 | 219,1 | 7,30E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,60E+05 | podkritické | |
| 14 | 86,250 | 49,299 | 219,1 | 7,20E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,55E+05 | podkritické | |
| 13 | 74,250 | 48,547 | 219,1 | 7,09E+05 | nadkritické | | | | |
| 12 | 73,875 | 48,522 | 219,1 | 7,09E+05 | nadkritické | | | | |
| 11 | 73,500 | 48,496 | 219,1 | 7,08E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,49E+05 | podkritické | |
| 10 | 61,500 | 47,600 | 219,1 | 6,95E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,43E+05 | podkritické | |
| 9 | 49,500 | 46,507 | 219,1 | 6,79E+05 | nadkritické | | | | |
| 8 | 49,125 | 46,469 | 219,1 | 6,79E+05 | nadkritické | | | | |
| 7 | 48,750 | 46,430 | 219,1 | 6,78E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,34E+05 | podkritické | |
| 6 | 36,750 | 45,002 | 219,1 | 6,57E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,24E+05 | podkritické | |
| 5 | 24,750 | 42,994 | 219,1 | 6,28E+05 | nadkritické | | | | |
| 4 | 24,375 | 42,917 | 219,1 | 6,27E+05 | nadkritické | | | | |
| 3 | 24,000 | 42,838 | 219,1 | 6,26E+05 | nadkritické | 108,0 | 3,08E+05 | podkritické | |
| 2 | 12,000 | 39,285 | 219,1 | 5,74E+05 | nadkritické | 108,0 | 2,83E+05 | podkritické | |
| 1 | 0,000 | | | | | | | | |

Tabulka 4.8 Reynoldsovo číslo a režim obtékání pro nárožníky a diagonály 1



| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu z [m] | Diagonály B | | | Horizontály | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|----------|----------------|--------------|----------|----------------|
| | | Průměr/šířka | Re | Režim obtékání | Průměr/šířka | Re | Režim obtékání |
| | | [mm] | | | [mm] | | |
| 45 | 267,750 | | | | | | |
| 44 | 267,000 | | | | | | |
| 43 | 259,500 | | | | | | |
| 42 | 250,500 | | | | | | |
| 41 | 247,500 | 88,9 | 3,23E+05 | podkritické | 114,3 | 4,16E+05 | nadkritické |
| 40 | 247,125 | 88,9 | 3,23E+05 | podkritické | 114,3 | 4,16E+05 | nadkritické |
| 39 | 246,750 | | | | | | |
| 38 | 234,750 | | | | | | |
| 37 | 222,750 | 88,9 | 3,20E+05 | podkritické | 114,3 | 4,12E+05 | nadkritické |
| 36 | 222,375 | 88,9 | 3,20E+05 | podkritické | 114,3 | 4,12E+05 | nadkritické |
| 35 | 222,000 | | | | | | |
| 34 | 210,000 | | | | | | |
| 33 | 198,000 | 88,9 | 3,17E+05 | podkritické | 114,3 | 4,07E+05 | nadkritické |
| 32 | 197,625 | 88,9 | 3,17E+05 | podkritické | 114,3 | 4,07E+05 | nadkritické |
| 31 | 197,250 | | | | | | |
| 30 | 185,250 | | | | | | |
| 29 | 173,250 | 88,9 | 3,13E+05 | podkritické | 114,3 | 4,02E+05 | nadkritické |
| 28 | 172,875 | 88,9 | 3,13E+05 | podkritické | 114,3 | 4,02E+05 | nadkritické |
| 27 | 172,500 | | | | | | |
| 26 | 160,500 | | | | | | |
| 25 | 148,500 | 88,9 | 3,08E+05 | podkritické | 114,3 | 3,96E+05 | podkritické |
| 24 | 148,125 | 88,9 | 3,08E+05 | podkritické | 114,3 | 3,96E+05 | podkritické |
| 23 | 147,750 | | | | | | |
| 22 | 135,750 | | | | | | |
| 21 | 123,750 | 88,9 | 3,03E+05 | podkritické | 114,3 | 3,89E+05 | podkritické |
| 20 | 123,375 | 88,9 | 3,03E+05 | podkritické | 114,3 | 3,89E+05 | podkritické |
| 19 | 123,000 | | | | | | |
| 18 | 111,000 | | | | | | |
| 17 | 99,000 | 88,9 | 2,96E+05 | podkritické | 114,3 | 3,81E+05 | podkritické |
| 16 | 98,625 | 88,9 | 2,96E+05 | podkritické | 114,3 | 3,81E+05 | podkritické |
| 15 | 98,250 | | | | | | |
| 14 | 86,250 | | | | | | |
| 13 | 74,250 | 88,9 | 2,88E+05 | podkritické | 114,3 | 3,70E+05 | podkritické |
| 12 | 73,875 | 88,9 | 2,88E+05 | podkritické | 114,3 | 3,70E+05 | podkritické |
| 11 | 73,500 | | | | | | |
| 10 | 61,500 | | | | | | |
| 9 | 49,500 | 88,9 | 2,76E+05 | podkritické | 114,3 | 3,54E+05 | podkritické |
| 8 | 49,125 | 88,9 | 2,75E+05 | podkritické | 114,3 | 3,54E+05 | podkritické |
| 7 | 48,750 | | | | | | |
| 6 | 36,750 | | | | | | |
| 5 | 24,750 | 88,9 | 2,55E+05 | podkritické | 114,3 | 3,28E+05 | podkritické |
| 4 | 24,375 | 88,9 | 2,54E+05 | podkritické | 114,3 | 3,27E+05 | podkritické |
| 3 | 24,000 | | | | | | |
| 2 | 12,000 | | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | |

Tabulka 4.9 Reynoldsovo číslo a režim obtékání pro diagonály 2 horizontály

$$Re = \frac{b * v_{crit,i}}{v} \quad (4.9)$$

Kinematická viskozita vzduchu je uvažována hodnotou $\nu = 15 * 10^{-6} m^2 s^{-1}$



| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Průměty ploch jednotlivých prvků kolmo na stěnu | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Náročníky | Diagonály A | Diagonály B | Horizontály | Styčnickové plechy |
| | | z | | | | |
| | [m] | [m ² /m'] | [m ² /m'] | [m ² /m'] | [m ² /m'] | [m ² /m'] |
| 45 | 267,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 44 | 267,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 43 | 259,500 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 42 | 250,500 | 0,452 | 0,153 | | | 0,005 |
| 41 | 247,500 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 40 | 247,125 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 39 | 246,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 38 | 234,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 37 | 222,750 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 36 | 222,375 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 35 | 222,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 34 | 210,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 33 | 198,000 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 32 | 197,625 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 31 | 197,250 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 30 | 185,250 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 29 | 173,250 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 28 | 172,875 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 27 | 172,500 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 26 | 160,500 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 25 | 148,500 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 24 | 148,125 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 23 | 147,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 22 | 135,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 21 | 123,750 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 20 | 123,375 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 19 | 123,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 18 | 111,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 17 | 99,000 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 16 | 98,625 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 15 | 98,250 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 14 | 86,250 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 13 | 74,250 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 12 | 73,875 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 11 | 73,500 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 10 | 61,500 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 9 | 49,500 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 8 | 49,125 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 7 | 48,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 6 | 36,750 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 5 | 24,750 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 4 | 24,375 | 0,438 | | 0,503 | 0,914 | 0,005 |
| 3 | 24,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 2 | 12,000 | 0,438 | 0,153 | | | 0,005 |
| 1 | 0,000 | | | | | |

Tabulka 4.10 Průměty prvků kolmo na stěnu



| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu z [m] | Celkové průměry ploch panelů kolmo na stěnu | | | |
|-------------------------|--------------------------------|---|--|--|---|
| | | Ploché prvky A_f [m ² /m'] | Kruhové prvky v podkritickém režimu A_c [m ² /m'] | Kruhové prvky v nadkritickém režimu $A_{c,sup}$ [m ² /m'] | Součet A_s [m ² /m'] |
| | | | | | |
| 45 | 267,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 44 | 267,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 43 | 259,500 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 42 | 250,500 | 0,005 | 0,153 | 0,452 | 0,609 |
| 41 | 247,500 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 40 | 247,125 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 39 | 246,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 38 | 234,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 37 | 222,750 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 36 | 222,375 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 35 | 222,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 34 | 210,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 33 | 198,000 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 32 | 197,625 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 31 | 197,250 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 30 | 185,250 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 29 | 173,250 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 28 | 172,875 | 0,005 | 0,503 | 1,353 | 1,861 |
| 27 | 172,500 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 26 | 160,500 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 25 | 148,500 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 24 | 148,125 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 23 | 147,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 22 | 135,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 21 | 123,750 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 20 | 123,375 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 19 | 123,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 18 | 111,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 17 | 99,000 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 16 | 98,625 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 15 | 98,250 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 14 | 86,250 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 13 | 74,250 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 12 | 73,875 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 11 | 73,500 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 10 | 61,500 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 9 | 49,500 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 8 | 49,125 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 7 | 48,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 6 | 36,750 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 5 | 24,750 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 4 | 24,375 | 0,005 | 1,417 | 0,438 | 1,861 |
| 3 | 24,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 2 | 12,000 | 0,005 | 0,153 | 0,438 | 0,596 |
| 1 | 0,000 | | | | |

Tabulka 4.11 Návětrná plocha holé konstrukce

$$A_s = A_f + A_c + A_{c,sup} \quad (4.10)$$



| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Šířka konstrukce | Součinitel plnosti | Tvarové součinitele | | | Celkový tvarový součinitel | | |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------|-------------|
| | | | | φ | $C_{f,0,f}$ | $C_{f,0,c}$ | | $C_{f,0,c,sup}$ | $C_{f,s,0}$ |
| | | | | [m] | [m] | [-] | | [-] | [-] |
| 45 | 267,750 | 1,719 | 0,347 | 2,123 | 1,311 | 1,100 | 1,162 | | |
| 44 | 267,000 | 1,719 | 0,347 | 2,123 | 1,311 | 1,100 | 1,162 | | |
| 43 | 259,500 | 1,719 | 0,347 | 2,123 | 1,311 | 1,100 | 1,162 | | |
| 42 | 250,500 | 2,469 | 0,247 | 2,392 | 1,413 | 1,085 | 1,178 | | |
| 41 | 247,500 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 40 | 247,125 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 39 | 246,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 38 | 234,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 37 | 222,750 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 36 | 222,375 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 35 | 222,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 34 | 210,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 33 | 198,000 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 32 | 197,625 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 31 | 197,250 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 30 | 185,250 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 29 | 173,250 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 28 | 172,875 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,215 | | |
| 27 | 172,500 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 26 | 160,500 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 25 | 148,500 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 24 | 148,125 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 23 | 147,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 22 | 135,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 21 | 123,750 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 20 | 123,375 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 19 | 123,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 18 | 111,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 17 | 99,000 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 16 | 98,625 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 15 | 98,250 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 14 | 86,250 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 13 | 74,250 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 12 | 73,875 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 11 | 73,500 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 10 | 61,500 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 9 | 49,500 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 8 | 49,125 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 7 | 48,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 6 | 36,750 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 5 | 24,750 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 4 | 24,375 | 3,219 | 0,578 | 1,755 | 1,290 | 1,185 | 1,266 | | |
| 3 | 24,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 2 | 12,000 | 3,219 | 0,185 | 2,592 | 1,503 | 1,083 | 1,203 | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | | | |

Tabulka 4.12 Součinitel plnosti, celkový tvarový součinitel



Součinitel plnosti:

$$\varphi = \frac{A_s}{h * b} \quad (4.11)$$

Tvarové součinitele v pořadí, ploché prvky, kruhové prvky v podkritickém režimu obtékání a kruhové prvky v nadkritickém režimu obtékání

$$c_{f,0f} = 1,76 * C_1 * [1 - C_2 * \varphi + \varphi^2] \quad (4.12)$$

$$c_{f,0,c} = C_1 * (1 - C_2 * \varphi) + (C_1 + 0,875) * \varphi^2 \quad (4.13)$$

$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{\{(1 - \varphi) * (2,8 - 1,14 * C_1 + \varphi)\}} \quad (4.14)$$

Celkový tvarový součinitel

$$c_{f,s,0} = \frac{c_{f,0,f} * A_f + c_{f,0,c} * A_c + c_{f,0,c,sup} * A_{c,sup}}{A_s} \quad (4.15)$$

Pro trojúhelníkové příhradové konstrukce:

$$C_1 = 1,9 \quad (4.16)$$

$$C_2 = 1,4 \quad (4.17)$$



Směr větru: $\theta = 0^\circ$ (úhel mezi půdorysnými průměty směru působení větru a normály ke stěně 1).

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Součinitel úhlu náběhu | $C_{f,s}$ |
|-------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| | z | K_θ | $K_\theta \cdot C_{f,s,0}$ |
| | [m] | [-] | [-] |
| 45 | 267,750 | 1,000 | 1,162 |
| 44 | 267,000 | 1,000 | 1,162 |
| 43 | 259,500 | 1,000 | 1,162 |
| 42 | 250,500 | 1,000 | 1,178 |
| 41 | 247,500 | 1,000 | 1,215 |
| 40 | 247,125 | 1,000 | 1,215 |
| 39 | 246,750 | 1,000 | 1,203 |
| 38 | 234,750 | 1,000 | 1,203 |
| 37 | 222,750 | 1,000 | 1,215 |
| 36 | 222,375 | 1,000 | 1,215 |
| 35 | 222,000 | 1,000 | 1,203 |
| 34 | 210,000 | 1,000 | 1,203 |
| 33 | 198,000 | 1,000 | 1,215 |
| 32 | 197,625 | 1,000 | 1,215 |
| 31 | 197,250 | 1,000 | 1,203 |
| 30 | 185,250 | 1,000 | 1,203 |
| 29 | 173,250 | 1,000 | 1,215 |
| 28 | 172,875 | 1,000 | 1,215 |
| 27 | 172,500 | 1,000 | 1,203 |
| 26 | 160,500 | 1,000 | 1,203 |
| 25 | 148,500 | 1,000 | 1,266 |
| 24 | 148,125 | 1,000 | 1,266 |
| 23 | 147,750 | 1,000 | 1,203 |
| 22 | 135,750 | 1,000 | 1,203 |
| 21 | 123,750 | 1,000 | 1,266 |
| 20 | 123,375 | 1,000 | 1,266 |
| 19 | 123,000 | 1,000 | 1,203 |
| 18 | 111,000 | 1,000 | 1,203 |
| 17 | 99,000 | 1,000 | 1,266 |
| 16 | 98,625 | 1,000 | 1,266 |
| 15 | 98,250 | 1,000 | 1,203 |
| 14 | 86,250 | 1,000 | 1,203 |
| 13 | 74,250 | 1,000 | 1,266 |
| 12 | 73,875 | 1,000 | 1,266 |
| 11 | 73,500 | 1,000 | 1,203 |
| 10 | 61,500 | 1,000 | 1,203 |
| 9 | 49,500 | 1,000 | 1,266 |
| 8 | 49,125 | 1,000 | 1,266 |
| 7 | 48,750 | 1,000 | 1,203 |
| 6 | 36,750 | 1,000 | 1,203 |
| 5 | 24,750 | 1,000 | 1,266 |
| 4 | 24,375 | 1,000 | 1,266 |
| 3 | 24,000 | 1,000 | 1,203 |
| 2 | 12,000 | 1,000 | 1,203 |
| 1 | 0,000 | | |

Tabulka 4.13 Součinitel úhlu náběhu a celkový tvarový součinitel holé konstrukce pro $\theta = 0^\circ$

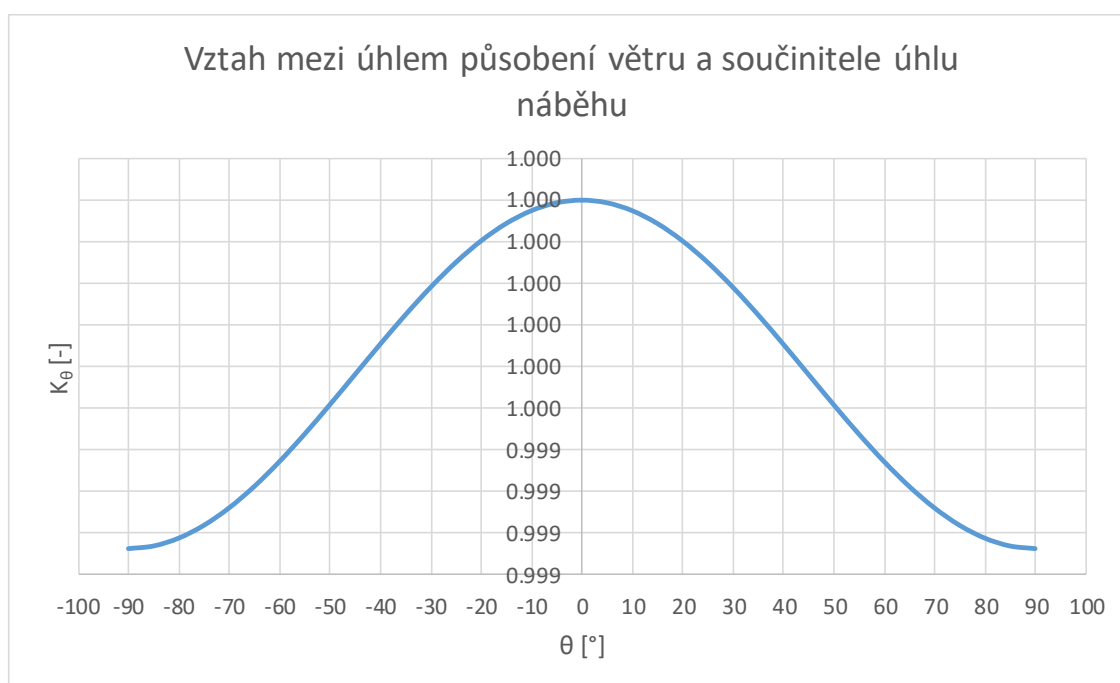
Součinitel úhlu náběhu:

$$K_{\theta} = \frac{A_c + A_{c,sup}}{A_s} + \frac{A_f}{A_s} * (1 - 0,1 * \sin^2(1,5 * \theta)) \quad (4.18)$$

Celkový tvarový součinitel holé konstrukce pro daný směr větru:

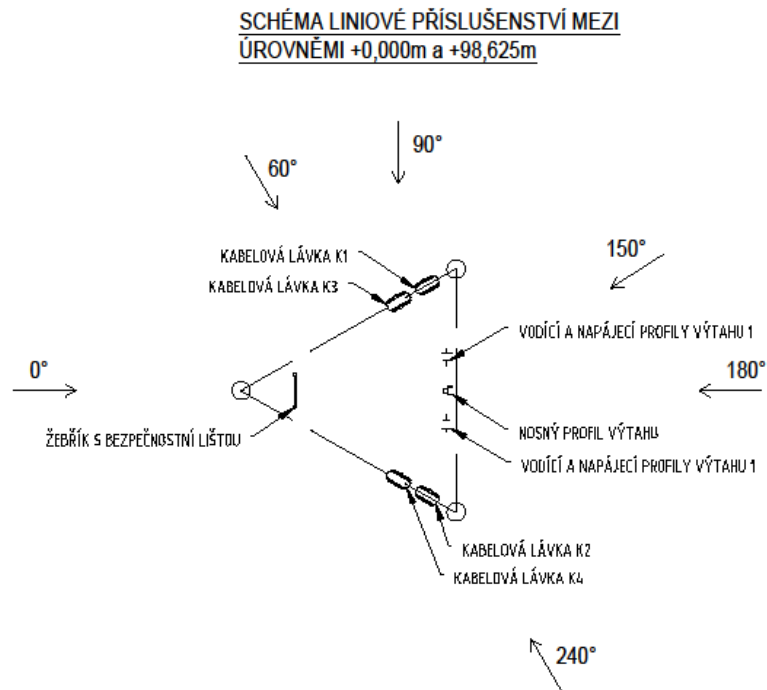
$$c_{f,S} = K_{\theta} * c_{f,S,0} \quad (4.19)$$

Vzhledem k tomu, že konstrukce se skládá zejména z kruhových prvků a návětrná plocha plochých prvků se blíží nule, byla provedena krátká úvaha o vlivu plochých prvků na součinitel úhlu náběhu, a tedy i na celkový tvarový součinitel holé konstrukce.

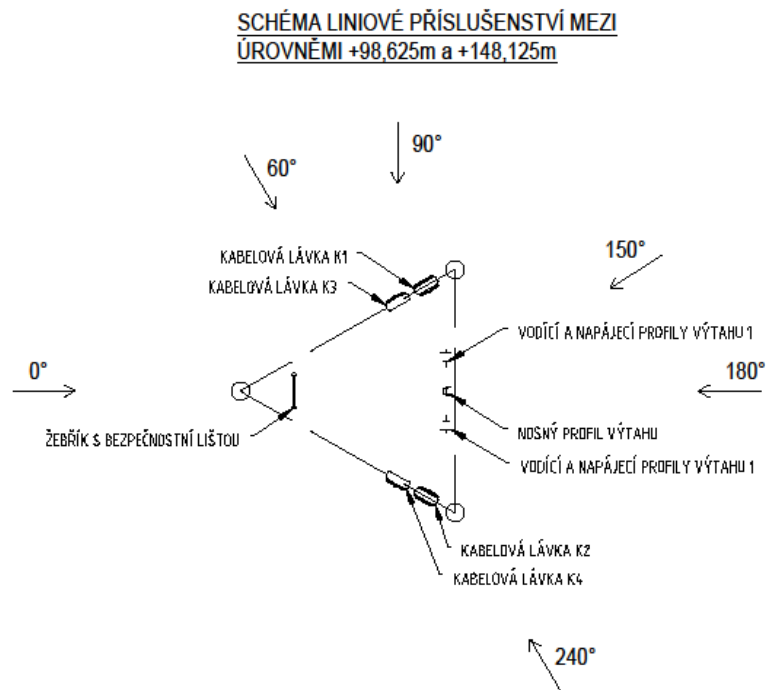


Obrázek 4.2 Vztah mezi úhlem působení větru a součinitelem úhlu náběhu

Bylo zjištěno, že návětrná plocha plochých prvků má na součinitel úhlu náběhu zanedbatelný vliv. Odtud lze předpokládat celkový tvarový součinitel holé konstrukce pro všechny směry působení větru shodný.

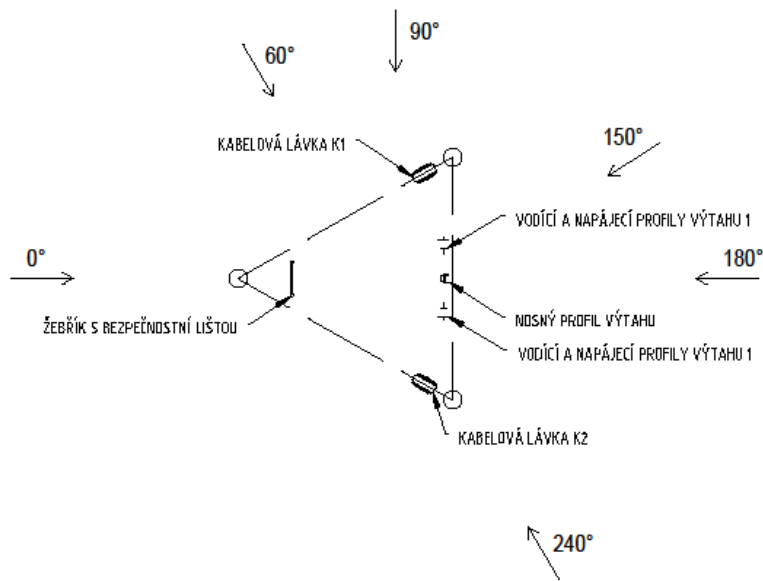
Liniové příslušenství stožáru

Obrázek 4.3 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +0,000m a +98,625m



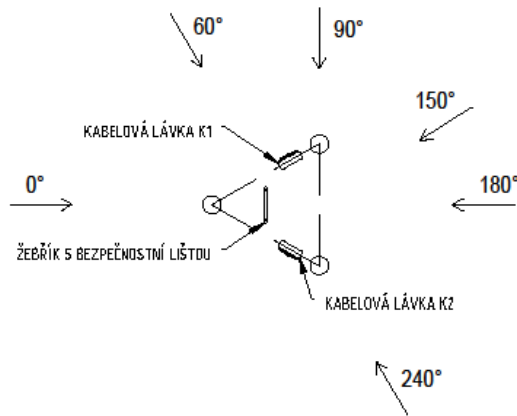
Obrázek 4.4 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +98,625m a +148,125m

**SCHÉMA LINOVÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ MEZI
ÚROVNĚMI +148,125m a +247,125m**



Obrázek 4.5 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +148,125m a +247,125m

**SCHÉMA LINOVÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ MEZI
ÚROVNĚMI +247,125m a +267,750m**



Obrázek 4.6 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +247,125m a +267,750m



Přehled liniových příslušenství

Žebřík s bezpečnostní lištou

Trubkové štěříny v osové vzdálenosti 400 mm mají průměr 44,5 mm, stupně kruhový profil o průměru 20 mm po 280 mm, bezpečnostní lišta 35x50 mm. Tvarový součinitel kruhových průřezů je uvažován 1,2. a tvarový součinitel bezpečnostní lišty 20. Odtud:

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,0445 * 1,2 * 2 + 0,02 * \frac{0,31}{0,28} * 1,2 + 0,05 * 2 = \mathbf{0,233 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu žebříku)

Vodící a napájecí profily výtahu 1 a 2

Dva T-profily o rozměrech 70x70 mm a 123x40. Tvarový součinitel 2,0

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,07 * 2 + 0,04 * 2 = \mathbf{0,22 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dříku č. 2)

Nosný profil výtahu

Ozubená dráha 60x40 mm + profil U100, celkové rozměry: 100x105 mm. Tvarový součinitel 2,0

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,1 * 2 = \mathbf{0,2 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dříku č. 2)

Kabelová lávka K1 o šířce 300 mm na stěně 1

Uvažuje se jako zaplněná plocha o šířce 345 mm. Tvarový součinitel je uvažován vzhledem k oblým hranám 1,4

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,345 * 1,4 = \mathbf{0,483 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dříku č. 1)

**Kabelová lávka K2 o šířce 300 mm na stěně 1**

Uvažuje se jako zaplněná plocha o šířce 345 mm. Tvarový součinitel je uvažován vzhledem k oblým hranám 1,4

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,345 * 1,4 = \mathbf{0,483 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dřívku č. 1)

Kabelová lávka K3 o šířce 300 mm na stěně 3

Uvažuje se jako zaplněná plocha o šířce 345 mm. Tvarový součinitel je uvažován vzhledem k oblým hranám 1,4

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,345 * 1,4 = \mathbf{0,483 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dřívku č. 3)

Kabelová lávka K4 o šířce 300 mm na stěně 3

Uvažuje se jako zaplněná plocha o šířce 345 mm. Tvarový součinitel je uvažován vzhledem k oblým hranám 1,4

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 0,345 * 1,4 = \mathbf{0,483 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(pro směr kolmý a stěnu dřívku č. 3)

Měřicí zařízení

Uvažuje se plocha 1 m² včetně tvarového součinitele umístěná každých 20 m po výšce dřívku stožáru.

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 1/20 = \mathbf{0,05 \text{ m}^2/\text{m}'}$$

(uvažovaná hodnota pro všechny směry větru shodná)



Antény

Uvažuje se plocha 24,5 m² včetně tvarového součinitele rovnoměrně rozmístěna mezi úrovněmi +99 m a +148,125 m.

$$c_{f,A,0} * A_{ref} = 24,5 / (148,125 - 99) = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}'$$

(uvažovaná hodnota je pro všechny směry větru shodná)

Návětrné plochy liniového příslušenství by se měly stanovit pro všechny směry větru, včetně součinitele stínění. Vzhledem k opakovatelnosti tohoto úkolu jsou stanoveny pouze návětrné plochy příslušenství pro vítr působící kolmo na dané příslušenství a součinitel stínění je zanedbán. Tímto zjednodušením vzniká určitá nepřesnost, ale jelikož hodnota návětrné plochy pro vítr působící kolmo je vždy maximální, docílí se tím konzervativního návrh.

Výsledné návětrné plochy se tedy uvažují pro všechny směry větru shodné a dále, jako kdyby působily kolmo na dané příslušenství bez uvažování stínění.

Jelikož nejsou splněny podmínky B.2.3 [2] je dále ve výpočtech uvažován redukční součinitel $K_A = 1,0$

Návětrné plochy liniového příslušenství

| | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu z [m] | Žebřík, bezp. lišta, profily výtahu, kabel. lávky - CELKEM | | | Měřicí zařízení (zadávané rovnoměrně) | | |
|---------------|----------------------------------|--|---|-------------------------------|---|--|-------------------------------|---|
| | | | Celková návětrná plocha | Úhel směru větru ψ | Celkový tvarový součinitel $c_{f,A,0}$ | Celková návětrná plocha A_A | Úhel směru větru ψ | Celkový tvarový součinitel $c_{f,A,0}$ |
| | | | [m ² /m'] | [°] | [-] | [m ² /m'] | [°] | [-] |
| 4. ŘEZ | 45 | 267,750 | 0,851 | 90 | 1,41 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 44 | 267,000 | 0,851 | 90 | 1,41 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 43 | 259,500 | 0,851 | 90 | 1,41 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 42 | 250,500 | 0,851 | 90 | 1,41 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 41 | 247,500 | 0,851 | 90 | 1,41 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| 3. ŘEZ | 40 | 247,125 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 39 | 246,750 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 38 | 234,750 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 37 | 222,750 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 36 | 222,375 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 35 | 222,000 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 34 | 210,000 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 33 | 198,000 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 32 | 197,625 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 31 | 197,250 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 30 | 185,250 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 29 | 173,250 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 28 | 172,875 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 27 | 172,500 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 26 | 160,500 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| 25 | 148,500 | 1,171 | 90 | 1,57 | 0,050 | 90 | 1,40 | |
| 2. ŘEZ | 24 | 148,125 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 23 | 147,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 22 | 135,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 21 | 123,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 20 | 123,375 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 19 | 123,000 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 18 | 111,000 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| 17 | 99,000 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 | |
| 1. ŘEZ | 16 | 98,625 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 15 | 98,250 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 14 | 86,250 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 13 | 74,250 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 12 | 73,875 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 11 | 73,500 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 10 | 61,500 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 9 | 49,500 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 8 | 49,125 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 7 | 48,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 6 | 36,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 5 | 24,750 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 4 | 24,375 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 3 | 24,000 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| | 2 | 12,000 | 1,861 | 90 | 1,51 | 0,050 | 90 | 1,40 |
| 1 | 0,000 | | | 90 | | | 90 | |

Tabulka 4.14 Maximální návětrné plochy liniového příslušenství uvažované pro $\psi = 90^\circ$ - část 1



| | | Antény (zadávané rovnoměrně) | | | Liniové příslušenství - CELKEM | | | |
|---------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|
| | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Celková návětrná plocha | Úhel směru větru | Celkový tvarový součinitel | Celková návětrná plocha | Úhel směru větru | Celkový tvarový součinitel |
| | z | A_A | ψ | $C_{f,A,0}$ | A_A | ψ | $C_{f,A,0}$ | |
| | [m] | [m ² /m'] | [°] | [-] | [m ² /m'] | [°] | [-] | |
| 4. ŘEZ | 45 | 267,750 | | 90 | | 0,901 | 90 | 1,41 |
| | 44 | 267,000 | | 90 | | 0,901 | 90 | 1,41 |
| | 43 | 259,500 | | 90 | | 0,901 | 90 | 1,41 |
| | 42 | 250,500 | | 90 | | 0,901 | 90 | 1,41 |
| | 41 | 247,500 | | 90 | | 0,901 | 90 | 1,41 |
| 3. ŘEZ | 40 | 247,125 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 39 | 246,750 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 38 | 234,750 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 37 | 222,750 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 36 | 222,375 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 35 | 222,000 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 34 | 210,000 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 33 | 198,000 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 32 | 197,625 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 31 | 197,250 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 30 | 185,250 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 29 | 173,250 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 28 | 172,875 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 27 | 172,500 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| | 26 | 160,500 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 |
| 25 | 148,500 | | 90 | | 1,221 | 90 | 1,56 | |
| 2. ŘEZ | 24 | 148,125 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 23 | 147,750 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 22 | 135,750 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 21 | 123,750 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 20 | 123,375 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 19 | 123,000 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| | 18 | 111,000 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 |
| 17 | 99,000 | 0,500 | 90 | 1,40 | 2,411 | 90 | 1,48 | |
| 1. ŘEZ | 16 | 98,625 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 15 | 98,250 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 14 | 86,250 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 13 | 74,250 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 12 | 73,875 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 11 | 73,500 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 10 | 61,500 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 9 | 49,500 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 8 | 49,125 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 7 | 48,750 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 6 | 36,750 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 5 | 24,750 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| | 4 | 24,375 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 |
| 3 | 24,000 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 | |
| 2 | 12,000 | | 90 | | 1,911 | 90 | 1,50 | |
| 1 | 0,000 | | 90 | | | 90 | | |

Tabulka 4.15 Maximální návětrné plochy liniového příslušenství uvažované pro $\psi = 90^\circ$ - část 2



Návětrné plochy osamělých příslušenství stožáru

| | | | Měřicí zařízení | | Antény (zadávané v bodech) | | Plošiny konzoly | |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Návětrná plocha | Tvarový součinitel | Návětrná plocha | Tvarový součinitel | Návětrná plocha | Tvarový součinitel |
| | | z [m] | A_A [m ²] | $C_{f,A,0}$ [-] | A_A [m ²] | $C_{f,A,0}$ [-] | A_A [m ²] | $C_{f,A,0}$ [-] |
| 4. ŘEZ | 45 | 267,750 | | | | | 2,000 | 1,3 |
| | 44 | 267,000 | | | | | | |
| | 43 | 259,500 | 2,400 | 1,4 | | | 2,500 | 1,35 |
| | 42 | 250,500 | 2,400 | 1,4 | | | | |
| | 41 | 247,500 | | | | | 2,500 | 1,35 |
| 3. ŘEZ | 40 | 247,125 | | | | | | |
| | 39 | 246,750 | | | | | | |
| | 38 | 234,750 | | | | | | |
| | 37 | 222,750 | | | | | | |
| | 36 | 222,375 | | | | | | |
| | 35 | 222,000 | | | | | | |
| | 34 | 210,000 | | | | | | |
| | 33 | 198,000 | | | | | 2,400 | 1,3 |
| | 32 | 197,625 | | | | | | |
| | 31 | 197,250 | | | | | | |
| | 30 | 185,250 | | | | | | |
| | 29 | 173,250 | | | | | | |
| | 28 | 172,875 | | | | | | |
| | 27 | 172,500 | | | | | | |
| | 26 | 160,500 | | | | | | |
| 25 | 148,500 | | | | | 2,400 | 1,3 | |
| 2. ŘEZ | 24 | 148,125 | | | | | | |
| | 23 | 147,750 | | | | | | |
| | 22 | 135,750 | | | | | | |
| | 21 | 123,750 | | | | | | |
| | 20 | 123,375 | | | | | | |
| | 19 | 123,000 | | | | | | |
| | 18 | 111,000 | | | | | | |
| | 17 | 99,000 | | | | | 2,400 | 1,3 |
| 1. ŘEZ | 16 | 98,625 | | | | | | |
| | 15 | 98,250 | | | | | | |
| | 14 | 86,250 | | | | | | |
| | 13 | 74,250 | | | | | | |
| | 12 | 73,875 | | | | | | |
| | 11 | 73,500 | | | | | | |
| | 10 | 61,500 | | | | | | |
| | 9 | 49,500 | | | | | 2,400 | 1,3 |
| | 8 | 49,125 | | | | | | |
| | 7 | 48,750 | | | | | | |
| | 6 | 36,750 | | | | | | |
| | 5 | 24,750 | | | | | | |
| | 4 | 24,375 | | | | | | |
| | 3 | 24,000 | | | | | | |
| | 2 | 12,000 | | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | | |

Tabulka 4.16 Návětrné plochy osamělých příslušenství uvažované pro všechny směry větru – část 1



| | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu z [m] | Kotevní díly, koncovky přídavek | | Osamělá příslušenství - CELKEM | |
|---------------|-------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | | Návětrná plocha | Tvarový součinitel | Návětrná plocha | Tvarový součinitel |
| | | | A_A [m ²] | $C_{f,A,0}$ [-] | A_A [m ²] | $C_{f,A,0}$ [-] |
| 4. ŘEZ | 45 | 267,750 | | | 2,000 | 1,30 |
| | 44 | 267,000 | | | | |
| | 43 | 259,500 | | | 4,900 | 1,37 |
| | 42 | 250,500 | | | 2,400 | 1,40 |
| | 41 | 247,500 | | | 2,500 | 1,35 |
| 3. ŘEZ | 40 | 247,125 | 1,250 | 1,4 | 1,250 | 1,40 |
| | 39 | 246,750 | | | | |
| | 38 | 234,750 | | | | |
| | 37 | 222,750 | | | | |
| | 36 | 222,375 | | | | |
| | 35 | 222,000 | | | | |
| | 34 | 210,000 | | | | |
| | 33 | 198,000 | | | 2,400 | 1,30 |
| | 32 | 197,625 | 1,250 | 1,4 | 1,250 | 1,40 |
| | 31 | 197,250 | | | | |
| | 30 | 185,250 | | | | |
| | 29 | 173,250 | | | | |
| | 28 | 172,875 | | | | |
| | 27 | 172,500 | | | | |
| | 26 | 160,500 | | | | |
| 25 | 148,500 | | | 2,400 | 1,30 | |
| 2. ŘEZ | 24 | 148,125 | 1,250 | 1,4 | 1,250 | 1,40 |
| | 23 | 147,750 | | | | |
| | 22 | 135,750 | | | | |
| | 21 | 123,750 | | | | |
| | 20 | 123,375 | | | | |
| | 19 | 123,000 | | | | |
| | 18 | 111,000 | | | | |
| 17 | 99,000 | | | 2,400 | 1,30 | |
| 1. ŘEZ | 16 | 98,625 | 1,250 | 1,4 | 1,250 | 1,40 |
| | 15 | 98,250 | | | | |
| | 14 | 86,250 | | | | |
| | 13 | 74,250 | | | | |
| | 12 | 73,875 | | | | |
| | 11 | 73,500 | | | | |
| | 10 | 61,500 | | | | |
| | 9 | 49,500 | | | 2,400 | 1,30 |
| | 8 | 49,125 | 1,250 | 1,4 | 1,250 | 1,40 |
| | 7 | 48,750 | | | | |
| | 6 | 36,750 | | | | |
| | 5 | 24,750 | | | | |
| | 4 | 24,375 | | | | |
| 3 | 24,000 | | | | | |
| 2 | 12,000 | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | |

Tabulka 4.17 Návětrné plochy osamělých příslušenství uvažované pro všechny směry větru – část 2

Celková návětrná plocha konstrukce a příslušenství

| | Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Referenční plocha (liniová) | Porovnání návětrných ploch | Redukční souč. použitelný pro konstrukční prvky | Redukční souč. použitelný pro příslušenství |
|---------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|---|---|
| | | z | A _{ref} | | K _A | K _A |
| | | [m] | [m ² /m'] | | | |
| 4. ŘEZ | 45 | 267,750 | 1,497 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 44 | 267,000 | 1,497 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 43 | 259,500 | 1,497 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 42 | 250,500 | 1,511 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 41 | 247,500 | 2,762 | AA<AS | - | 1,0 |
| 3. ŘEZ | 40 | 247,125 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 39 | 246,750 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 38 | 234,750 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 37 | 222,750 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 36 | 222,375 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 35 | 222,000 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 34 | 210,000 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 33 | 198,000 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 32 | 197,625 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 31 | 197,250 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 30 | 185,250 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 29 | 173,250 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 28 | 172,875 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 |
| | 27 | 172,500 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 26 | 160,500 | 1,817 | AA>AS | 1,0 | - |
| 25 | 148,500 | 3,082 | AA<AS | - | 1,0 | |
| 2. ŘEZ | 24 | 148,125 | 4,272 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 23 | 147,750 | 3,007 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 22 | 135,750 | 3,007 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 21 | 123,750 | 4,272 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 20 | 123,375 | 4,272 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 19 | 123,000 | 3,007 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 18 | 111,000 | 3,007 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 17 | 99,000 | 4,272 | AA>AS | 1,0 | - |
| 1. ŘEZ | 16 | 98,625 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 15 | 98,250 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 14 | 86,250 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 13 | 74,250 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 12 | 73,875 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 11 | 73,500 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 10 | 61,500 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 9 | 49,500 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 8 | 49,125 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 7 | 48,750 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 6 | 36,750 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 5 | 24,750 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| | 4 | 24,375 | 3,772 | AA>AS | 1,0 | - |
| 3 | 24,000 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - | |
| 2 | 12,000 | 2,507 | AA>AS | 1,0 | - | |
| 1 | 0,000 | | | | | |

Tabulka 4.18 Referenční návětrná plocha porovnání návětrné plochy konstrukce a příslušenství pro použití redukčního součinitele K_A

$$A_{ref} = A_S + A_A \quad (4.20)$$



| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Redukované tvarové součinitele | | | Redukované tvarové součinitele dle NAD | | Celkový tvarový součinitel |
|-------------------------------|--------------------------|--|--|-------------------------------|--|--|----------------------------------|
| | | Celkový tvarový součinitel konstrukce | Celkové tvarové součinitele příslušenství | | Celkový tvarový součinitel konstrukce | Celkové tvarové součinitele příslušenství | |
| | | | $(K_A) K_{\theta} C_{f,S,0}$ | $(K_A) C_{f,A,0} \sin^2 \psi$ | | | |
| z | [m] | | liniové | bodové | | liniové | liniové |
| 45 | 267,750 | 1,16 | 1,41 | 1,30 | 0,46 | 0,85 | 1,31 |
| 44 | 267,000 | 1,16 | 1,41 | | 0,46 | 0,85 | 1,31 |
| 43 | 259,500 | 1,16 | 1,41 | 1,37 | 0,46 | 0,85 | 1,31 |
| 42 | 250,500 | 1,18 | 1,41 | 1,40 | 0,48 | 0,84 | 1,32 |
| 41 | 247,500 | 1,21 | 1,41 | 1,35 | 0,82 | 0,46 | 1,28 |
| 40 | 247,125 | 1,21 | 1,56 | 1,40 | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 39 | 246,750 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 38 | 234,750 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 37 | 222,750 | 1,21 | 1,56 | | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 36 | 222,375 | 1,21 | 1,56 | | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 35 | 222,000 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 34 | 210,000 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 33 | 198,000 | 1,21 | 1,56 | 1,30 | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 32 | 197,625 | 1,21 | 1,56 | 1,40 | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 31 | 197,250 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 30 | 185,250 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 29 | 173,250 | 1,21 | 1,56 | | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 28 | 172,875 | 1,21 | 1,56 | | 0,73 | 0,62 | 1,35 |
| 27 | 172,500 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 26 | 160,500 | 1,20 | 1,56 | | 0,39 | 1,05 | 1,45 |
| 25 | 148,500 | 1,27 | 1,56 | 1,30 | 0,76 | 0,62 | 1,38 |
| 24 | 148,125 | 1,27 | 1,48 | 1,40 | 0,55 | 0,84 | 1,39 |
| 23 | 147,750 | 1,20 | 1,48 | | 0,24 | 1,19 | 1,43 |
| 22 | 135,750 | 1,20 | 1,48 | | 0,24 | 1,19 | 1,43 |
| 21 | 123,750 | 1,27 | 1,48 | | 0,55 | 0,84 | 1,39 |
| 20 | 123,375 | 1,27 | 1,48 | | 0,55 | 0,84 | 1,39 |
| 19 | 123,000 | 1,20 | 1,48 | | 0,24 | 1,19 | 1,43 |
| 18 | 111,000 | 1,20 | 1,48 | | 0,24 | 1,19 | 1,43 |
| 17 | 99,000 | 1,27 | 1,48 | 1,30 | 0,55 | 0,84 | 1,39 |
| 16 | 98,625 | 1,27 | 1,50 | 1,40 | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 15 | 98,250 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 14 | 86,250 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 13 | 74,250 | 1,27 | 1,50 | | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 12 | 73,875 | 1,27 | 1,50 | | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 11 | 73,500 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 10 | 61,500 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 9 | 49,500 | 1,27 | 1,50 | 1,30 | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 8 | 49,125 | 1,27 | 1,50 | 1,40 | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 7 | 48,750 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 6 | 36,750 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 5 | 24,750 | 1,27 | 1,50 | | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 4 | 24,375 | 1,27 | 1,50 | | 0,62 | 0,76 | 1,39 |
| 3 | 24,000 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 2 | 12,000 | 1,20 | 1,50 | | 0,29 | 1,15 | 1,43 |
| 1 | | | | | | | |

Tabulka 4.19 Redukované celkové tvarové součinitele



Přehled celkových návětrných ploch včetně tvarových součinitelů konstrukce a příslušenství

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Celková liniová návětrná plocha vč. tvar. Součinitele | Celkové osamělé návětrné plochy vč. tvar. Součinitele |
|-------------------------|--------------------|---|---|
| | z | $C_f \times A_{ref}$ | $C_f \times A_{ref}$ |
| | [m] | [m ² /m'] | [m ²] |
| 45 | 267,750 | 1,96 | 2,60 |
| 44 | 267,000 | 1,96 | |
| 43 | 259,500 | 1,96 | 6,74 |
| 42 | 250,500 | 1,99 | 3,36 |
| 41 | 247,500 | 3,53 | 3,38 |
| 40 | 247,125 | 4,17 | 1,75 |
| 39 | 246,750 | 2,63 | |
| 38 | 234,750 | 2,63 | |
| 37 | 222,750 | 4,17 | |
| 36 | 222,375 | 4,17 | |
| 35 | 222,000 | 2,63 | |
| 34 | 210,000 | 2,63 | |
| 33 | 198,000 | 4,17 | 3,12 |
| 32 | 197,625 | 4,17 | 1,75 |
| 31 | 197,250 | 2,63 | |
| 30 | 185,250 | 2,63 | |
| 29 | 173,250 | 4,17 | |
| 28 | 172,875 | 4,17 | |
| 27 | 172,500 | 2,63 | |
| 26 | 160,500 | 2,63 | |
| 25 | 148,500 | 4,27 | 3,12 |
| 24 | 148,125 | 5,93 | 1,75 |
| 23 | 147,750 | 4,29 | |
| 22 | 135,750 | 4,29 | |
| 21 | 123,750 | 5,93 | |
| 20 | 123,375 | 5,93 | |
| 19 | 123,000 | 4,29 | |
| 18 | 111,000 | 4,29 | |
| 17 | 99,000 | 5,93 | 3,12 |
| 16 | 98,625 | 5,23 | 1,75 |
| 15 | 98,250 | 3,59 | |
| 14 | 86,250 | 3,59 | |
| 13 | 74,250 | 5,23 | |
| 12 | 73,875 | 5,23 | |
| 11 | 73,500 | 3,59 | |
| 10 | 61,500 | 3,59 | |
| 9 | 49,500 | 5,23 | 3,12 |
| 8 | 49,125 | 5,23 | 1,75 |
| 7 | 48,750 | 3,59 | |
| 6 | 36,750 | 3,59 | |
| 5 | 24,750 | 5,23 | |
| 4 | 24,375 | 5,23 | |
| 3 | 24,000 | 3,59 | |
| 2 | 12,000 | 3,59 | |
| 1 | 0,000 | | |

Tabulka 4.20 Celkové návětrné plochy včetně tvarových součinitelů konstrukce a příslušenství

4.3.3. Metoda pro stanovení odezvy na zatížení větrem

Kritéria pro použití ekvivalentní statické metody podle B.4.2., ČSN EN 1993-3-1 [2]

A) Délka konzoly nad vrchním kotvením

Celková délka konzoly nad vrchním kotvením $h_k = 20,625$ m

Polovina vzdálenosti mezi předposledním a vrchním kotvením $L_{s,p}/2 = 24,750$ m

$$h_k < L_{s,p}/2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

B) Parametr β_s

$$\beta_s = \frac{4 \cdot \left(\frac{E_m \cdot I_m}{L_s^2} \right)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{Gi} \cdot H_{Gi}} < 1 \quad (4.21)$$

| Vzdálenost mezi kotevními úrovněmi | Délka lana | Pružná tuhost lanové podpory v i-té kotevní úrovn | $K_{Gi} \cdot H_{Gi}$ | Σ |
|------------------------------------|---------------|---|-----------------------|--------------------|
| L_s | L_{Gi} | $K_{Gi} = 0,5N_i A_{Gi} E_{Gi} \cos^2 \alpha_{Gi} / L_{Gi}$ | $K_{Gi} \cdot H_{Gi}$ | Σ |
| [m] | [m] | [Nm] | [Nm ²] | [Nm ²] |
| 49.500 | 274.719 | 7.442E+04 | 1.839E+07 | 5.52E+07 |
| | 274.719 | 7.442E+04 | 1.839E+07 | |
| | 274.719 | 7.442E+04 | 1.839E+07 | |
| 49.500 | 231.205 | 1.249E+05 | 2.468E+07 | 7.41E+07 |
| | 231.205 | 1.249E+05 | 2.468E+07 | |
| | 231.205 | 1.249E+05 | 2.468E+07 | |
| 49.500 | 190.633 | 1.432E+05 | 2.121E+07 | 6.36E+07 |
| | 190.633 | 1.432E+05 | 2.121E+07 | |
| | 190.633 | 1.432E+05 | 2.121E+07 | |
| 49.500 | 155.328 | 2.653E+05 | 2.617E+07 | 7.85E+07 |
| | 155.328 | 2.653E+05 | 2.617E+07 | |
| | 155.328 | 2.653E+05 | 2.617E+07 | |
| 49.125 | 129.666 | 4.596E+05 | 2.258E+07 | 6.77E+07 |
| | 129.666 | 4.596E+05 | 2.258E+07 | |
| | 129.666 | 4.596E+05 | 2.258E+07 | |
| Průměr: | 49.425 | | | 6.78E+07 |

Tabulka 4.21 Potřebné veličiny pro výpočet β_s



| | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|---|
| $N=$ | 5 | - | Počet kotevních úrovní |
| $L_s=$ | 49.425 | m | Průměrná vzdálenost mezi kotevními úrovněmi |
| $E_m=$ | 2.10E+11 | Pa | Modul pružnosti prvků stožáru |
| $I_m=$ | 2.959E-02 | m ⁴ | Průměrný moment setrvačnosti stožáru |
| $1/N \sum(H_{Gi} * K_{Gi})=$ | 6.782E+07 | | |

$$\beta_s = 0.150 < 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

C) Parametr Q

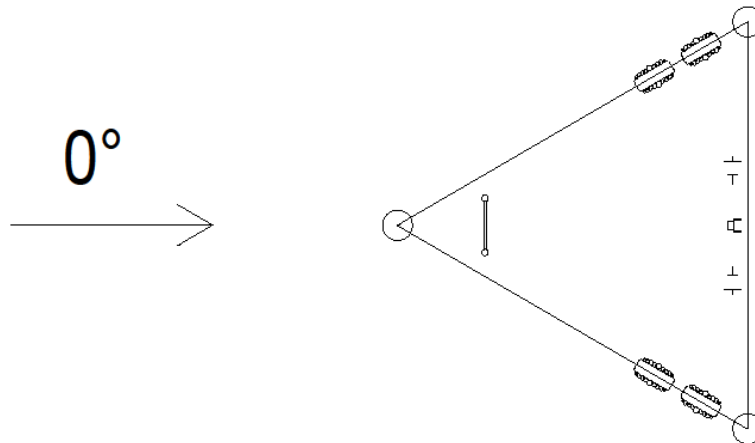
$$Q = \frac{1}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot V_H}{D_0}} \cdot \sqrt{\frac{m_0}{H \cdot R}} < 1 \quad (4.22)$$

| | | | |
|------------|---------|-------------------|---|
| $v_{m,H}=$ | 40.782 | m/s | Střední hodnota rychlosti větru ve vrcholu stožáru |
| $H=$ | 267.75 | m | Výška stožáru včetně vrchní konzoly |
| $D_0=$ | 2.881 | m | Průměrná šířka stěny stožáru |
| $m_0=$ | 236.666 | kg/m | Průměrná hodnota hmotnosti na jednotku délky dřívku |
| $R=$ | 3.674 | m ² /m | Průměrný aerodynamický odpor stožáru |

$$Q = 0.255 < 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.3.4. Střední a náhradní zatížení větrem pro stanovení mimorezonanční odezvy

Jelikož vliv směru větru na holou konstrukci má zanedbatelný vliv a u zatížení příslušenství větrem je provedeno zjednodušení, které také vede k zanedbání vlivu směru větru, je konstrukce posuzována pro jeden směr větru a to $\theta = 0^\circ$.



Obrázek 4.7 Posuzovaný směr působení větru

Střední a náhradní zatížení dříku stožáru větrem

Střední zatížení větrem:

$$F_{m,W}(z) = \frac{q_p(z)}{1 + 7 * I_v(z)} * \sum c_w(z) * A \quad (4.23)$$

Náhradní zatížení větrem:

$$F_{PW}(z) = 2k_s * \frac{q_p(z)}{1 + 7 * I_v(z)} * \frac{I_v(z)}{c_0(z)} * \sum c_w(z) * A \quad (4.24)$$

$$k_s = 3,5 \text{ podle doporučení z [2]}$$

Náhradní zatížení větrem na dřík stožáru je aplikované podle B.4.3.2.2 [2]. Je tedy nutné vytvořit v tomto případě 12 zatěžovacích stavů pro náhradní zatížení větrem. Nelineární statický výpočet je proveden pro střední zatížení větrem a 12 zatěžovacích stavů (PW1 až PW12), střední zatížení + náhradní zatížení větrem, vždy pro jeden směr větru.



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Střední tlak větru | Celková liniová návětrná plocha vč. tvar. Součinitele | Střední zatížení větrem (charakteristické) | Náhradní zatížení větrem (charakteristické) | Součet střední + náhradní zatížení (charakteristické) |
|------------|--------------------|----------------------|---|--|---|---|
| | z | $q_{GW,n}$ | $C_f \times A_{ref}$ | $F_{m,W,n(z)}$ | $F_{P,W,n(z)}$ | $F_{m,W,n(z)} + F_{P,W,n(z)}$ |
| | [m] | [kN/m ²] | [m ² /m'] | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] |
| 45 | 267,750 | 1,04 | 1,96 | 2,04 | 1,66 | 3,70 |
| 44 | 267,000 | 1,04 | 1,96 | 2,04 | 1,66 | 3,70 |
| 43 | 259,500 | 1,03 | 1,96 | 2,02 | 1,66 | 3,68 |
| 42 | 250,500 | 1,02 | 1,99 | 2,03 | 1,67 | 3,71 |
| 41 | 247,500 | 1,02 | 3,53 | 3,60 | 2,96 | 6,57 |
| 40 | 247,125 | 1,02 | 4,17 | 4,25 | 3,50 | 7,75 |
| 39 | 246,750 | 1,02 | 2,63 | 2,68 | 2,20 | 4,88 |
| 38 | 234,750 | 1,01 | 2,63 | 2,65 | 2,19 | 4,84 |
| 37 | 222,750 | 1,00 | 4,17 | 4,15 | 3,46 | 7,61 |
| 36 | 222,375 | 1,00 | 4,17 | 4,15 | 3,46 | 7,61 |
| 35 | 222,000 | 0,99 | 2,63 | 2,61 | 2,18 | 4,79 |
| 34 | 210,000 | 0,98 | 2,63 | 2,58 | 2,16 | 4,74 |
| 33 | 198,000 | 0,97 | 4,17 | 4,03 | 3,41 | 7,44 |
| 32 | 197,625 | 0,97 | 4,17 | 4,03 | 3,41 | 7,44 |
| 31 | 197,250 | 0,97 | 2,63 | 2,54 | 2,15 | 4,69 |
| 30 | 185,250 | 0,95 | 2,63 | 2,50 | 2,13 | 4,63 |
| 29 | 173,250 | 0,94 | 4,17 | 3,91 | 3,35 | 7,26 |
| 28 | 172,875 | 0,94 | 4,17 | 3,90 | 3,35 | 7,26 |
| 27 | 172,500 | 0,94 | 2,63 | 2,46 | 2,11 | 4,57 |
| 26 | 160,500 | 0,92 | 2,63 | 2,41 | 2,09 | 4,51 |
| 25 | 148,500 | 0,90 | 4,27 | 3,85 | 3,37 | 7,21 |
| 24 | 148,125 | 0,90 | 5,93 | 5,34 | 4,68 | 10,02 |
| 23 | 147,750 | 0,90 | 4,29 | 3,87 | 3,39 | 7,25 |
| 22 | 135,750 | 0,88 | 4,29 | 3,78 | 3,35 | 7,13 |
| 21 | 123,750 | 0,86 | 5,93 | 5,11 | 4,57 | 9,68 |
| 20 | 123,375 | 0,86 | 5,93 | 5,10 | 4,57 | 9,68 |
| 19 | 123,000 | 0,86 | 4,29 | 3,69 | 3,31 | 7,00 |
| 18 | 111,000 | 0,84 | 4,29 | 3,59 | 3,26 | 6,86 |
| 17 | 99,000 | 0,81 | 5,93 | 4,82 | 4,44 | 9,26 |
| 16 | 98,625 | 0,81 | 5,23 | 4,25 | 3,92 | 8,16 |
| 15 | 98,250 | 0,81 | 3,59 | 2,91 | 2,69 | 5,60 |
| 14 | 86,250 | 0,78 | 3,59 | 2,81 | 2,64 | 5,46 |
| 13 | 74,250 | 0,75 | 5,23 | 3,93 | 3,77 | 7,71 |
| 12 | 73,875 | 0,75 | 5,23 | 3,93 | 3,77 | 7,70 |
| 11 | 73,500 | 0,75 | 3,59 | 2,69 | 2,59 | 5,28 |
| 10 | 61,500 | 0,71 | 3,59 | 2,56 | 2,52 | 5,09 |
| 9 | 49,500 | 0,67 | 5,23 | 3,51 | 3,56 | 7,07 |
| 8 | 49,125 | 0,67 | 5,23 | 3,50 | 3,56 | 7,06 |
| 7 | 48,750 | 0,67 | 3,59 | 2,40 | 2,44 | 4,84 |
| 6 | 36,750 | 0,61 | 3,59 | 2,21 | 2,34 | 4,55 |
| 5 | 24,750 | 0,54 | 5,23 | 2,84 | 3,20 | 6,04 |
| 4 | 24,375 | 0,54 | 5,23 | 2,83 | 3,20 | 6,02 |
| 3 | 24,000 | 0,54 | 3,59 | 1,93 | 2,19 | 4,12 |
| 2 | 12,000 | 0,42 | 3,59 | 1,52 | 1,94 | 3,47 |
| 1 | 0,000 | | | | | |

Tabulka 4.22 Střední a náhradní zatížení větrem – rovnoměrné zatížení dřívku



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW1 | PW2 | PW3 | PW4 | PW5 | PW6 |
|------------|--------------------|--|------|------|-------|------|------|------|
| | z | $F_{m,W,n(z)}$ | | | | | | |
| | [m] | [kN/m'] | | | | | | |
| 45 | 267,750 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 3,70 |
| 44 | 267,000 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 3,70 |
| 43 | 259,500 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 3,68 |
| 42 | 250,500 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 3,71 |
| 41 | 247,500 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 6,57 |
| 40 | 247,125 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 7,75 | 4,25 |
| 39 | 246,750 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 4,88 | 2,68 |
| 38 | 234,750 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 4,84 | 2,65 |
| 37 | 222,750 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 7,61 | 4,15 |
| 36 | 222,375 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 7,61 | 4,15 |
| 35 | 222,000 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 4,79 | 2,61 |
| 34 | 210,000 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 4,74 | 2,58 |
| 33 | 198,000 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 7,44 | 4,03 |
| 32 | 197,625 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 7,44 | 4,03 | 4,03 |
| 31 | 197,250 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 4,69 | 2,54 | 2,54 |
| 30 | 185,250 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 4,63 | 2,50 | 2,50 |
| 29 | 173,250 | 3,91 | 3,91 | 3,91 | 3,91 | 7,26 | 3,91 | 3,91 |
| 28 | 172,875 | 3,90 | 3,90 | 3,90 | 3,90 | 7,26 | 3,90 | 3,90 |
| 27 | 172,500 | 2,46 | 2,46 | 2,46 | 2,46 | 4,57 | 2,46 | 2,46 |
| 26 | 160,500 | 2,41 | 2,41 | 2,41 | 2,41 | 4,51 | 2,41 | 2,41 |
| 25 | 148,500 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 7,21 | 3,85 | 3,85 |
| 24 | 148,125 | 5,34 | 5,34 | 5,34 | 10,02 | 5,34 | 5,34 | 5,34 |
| 23 | 147,750 | 3,87 | 3,87 | 3,87 | 7,25 | 3,87 | 3,87 | 3,87 |
| 22 | 135,750 | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 7,13 | 3,78 | 3,78 | 3,78 |
| 21 | 123,750 | 5,11 | 5,11 | 5,11 | 9,68 | 5,11 | 5,11 | 5,11 |
| 20 | 123,375 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 9,68 | 5,10 | 5,10 | 5,10 |
| 19 | 123,000 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 7,00 | 3,69 | 3,69 | 3,69 |
| 18 | 111,000 | 3,59 | 3,59 | 3,59 | 6,86 | 3,59 | 3,59 | 3,59 |
| 17 | 99,000 | 4,82 | 4,82 | 4,82 | 9,26 | 4,82 | 4,82 | 4,82 |
| 16 | 98,625 | 4,25 | 4,25 | 8,16 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 |
| 15 | 98,250 | 2,91 | 2,91 | 5,60 | 2,91 | 2,91 | 2,91 | 2,91 |
| 14 | 86,250 | 2,81 | 2,81 | 5,46 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 |
| 13 | 74,250 | 3,93 | 3,93 | 7,71 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 3,93 |
| 12 | 73,875 | 3,93 | 3,93 | 7,70 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 3,93 |
| 11 | 73,500 | 2,69 | 2,69 | 5,28 | 2,69 | 2,69 | 2,69 | 2,69 |
| 10 | 61,500 | 2,56 | 2,56 | 5,09 | 2,56 | 2,56 | 2,56 | 2,56 |
| 9 | 49,500 | 3,51 | 3,51 | 7,07 | 3,51 | 3,51 | 3,51 | 3,51 |
| 8 | 49,125 | 3,50 | 7,06 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 7 | 48,750 | 2,40 | 4,84 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 |
| 6 | 36,750 | 2,21 | 4,55 | 2,21 | 2,21 | 2,21 | 2,21 | 2,21 |
| 5 | 24,750 | 2,84 | 6,04 | 2,84 | 2,84 | 2,84 | 2,84 | 2,84 |
| 4 | 24,375 | 2,83 | 6,02 | 2,83 | 2,83 | 2,83 | 2,83 | 2,83 |
| 3 | 24,000 | 1,93 | 4,12 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| 2 | 12,000 | 1,52 | 3,47 | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,52 |
| 1 | 0,000 | | | | | | | |

Tabulka 4.23 Liniové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 1



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW7 | PW8 | PW9 | PW10 | PW11 | PW12 |
|------------|--------------------|--|------|------|------|-------|------|------|
| | z | $F_{m,W,n(z)}$ | | | | | | |
| | [m] | [kN/m'] | | | | | | |
| 45 | 267,75 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 3,70 |
| 44 | 267,00 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 3,70 |
| 43 | 259,50 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 2,02 | 3,68 |
| 42 | 250,50 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 2,03 | 3,71 |
| 41 | 247,50 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 6,57 |
| 40 | 247,13 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 7,75 |
| 39 | 246,75 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 2,68 | 4,88 |
| 38 | 234,75 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 4,84 |
| 37 | 222,75 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 7,61 |
| 36 | 222,38 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 7,61 | 4,15 |
| 35 | 222,00 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 2,61 | 4,79 | 2,61 |
| 34 | 210,00 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 4,74 | 2,58 |
| 33 | 198,00 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 7,44 | 4,03 |
| 32 | 197,63 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 4,03 | 7,44 | 4,03 |
| 31 | 197,25 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 4,69 | 2,54 |
| 30 | 185,25 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 4,63 | 2,50 |
| 29 | 173,25 | 3,91 | 3,91 | 3,91 | 3,91 | 3,91 | 7,26 | 3,91 |
| 28 | 172,88 | 3,90 | 3,90 | 3,90 | 3,90 | 7,26 | 3,90 | 3,90 |
| 27 | 172,50 | 2,46 | 2,46 | 2,46 | 2,46 | 4,57 | 2,46 | 2,46 |
| 26 | 160,50 | 2,41 | 2,41 | 2,41 | 2,41 | 4,51 | 2,41 | 2,41 |
| 25 | 148,50 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 7,21 | 3,85 | 3,85 |
| 24 | 148,13 | 5,34 | 5,34 | 5,34 | 5,34 | 10,02 | 5,34 | 5,34 |
| 23 | 147,75 | 3,87 | 3,87 | 3,87 | 3,87 | 7,25 | 3,87 | 3,87 |
| 22 | 135,75 | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 7,13 | 3,78 | 3,78 |
| 21 | 123,75 | 5,11 | 5,11 | 5,11 | 5,11 | 9,68 | 5,11 | 5,11 |
| 20 | 123,38 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 9,68 | 5,10 | 5,10 | 5,10 |
| 19 | 123,00 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 7,00 | 3,69 | 3,69 | 3,69 |
| 18 | 111,00 | 3,59 | 3,59 | 3,59 | 6,86 | 3,59 | 3,59 | 3,59 |
| 17 | 99,00 | 4,82 | 4,82 | 4,82 | 9,26 | 4,82 | 4,82 | 4,82 |
| 16 | 98,63 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 8,16 | 4,25 | 4,25 | 4,25 |
| 15 | 98,25 | 2,91 | 2,91 | 2,91 | 5,60 | 2,91 | 2,91 | 2,91 |
| 14 | 86,25 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 5,46 | 2,81 | 2,81 | 2,81 |
| 13 | 74,25 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 7,71 | 3,93 | 3,93 | 3,93 |
| 12 | 73,88 | 3,93 | 3,93 | 7,70 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 3,93 |
| 11 | 73,50 | 2,69 | 2,69 | 5,28 | 2,69 | 2,69 | 2,69 | 2,69 |
| 10 | 61,50 | 2,56 | 2,56 | 5,09 | 2,56 | 2,56 | 2,56 | 2,56 |
| 9 | 49,50 | 3,51 | 3,51 | 7,07 | 3,51 | 3,51 | 3,51 | 3,51 |
| 8 | 49,13 | 3,50 | 3,50 | 7,06 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 7 | 48,75 | 2,40 | 2,40 | 4,84 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 |
| 6 | 36,75 | 2,21 | 2,21 | 4,55 | 2,21 | 2,21 | 2,21 | 2,21 |
| 5 | 24,75 | 2,84 | 2,84 | 6,04 | 2,84 | 2,84 | 2,84 | 2,84 |
| 4 | 24,38 | 2,83 | 6,02 | 2,83 | 2,83 | 2,83 | 2,83 | 2,83 |
| 3 | 24,00 | 1,93 | 4,12 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| 2 | 12,00 | 1,52 | 3,47 | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,52 |
| 1 | 0,00 | 0,00 | | | | | | |

Tabulka 4.24 Liniové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 2



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Celkové osamělé návětrné plochy vč. tvar. Součinitele | Střední zatížení větrem (charakteristické) | Náhradní zatížení větrem (charakteristické) | Součet střední + náhradní zatížení (charakteristické) | | | | |
|------------|--------------------|---|--|---|---|----------------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| | z | | | | | $C_f \times A_{ref}$ | $F_{m,W,n(z)}$ | $F_{p,W,n(z)}$ | $F_{m,W,n(z)} + F_{p,W,n(z)}$ |
| | [m] | | | | | [m ²] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 45 | 267,750 | 2,60 | 2,70 | 2,20 | 4,91 | | | | |
| 44 | 267,000 | | | | | | | | |
| 43 | 259,500 | 6,74 | 6,95 | 5,69 | 12,64 | | | | |
| 42 | 250,500 | 3,36 | 3,44 | 2,83 | 6,26 | | | | |
| 41 | 247,500 | 3,38 | 3,44 | 2,83 | 6,28 | | | | |
| 40 | 247,125 | 1,75 | 1,79 | 1,47 | 3,25 | | | | |
| 39 | 246,750 | | | | | | | | |
| 38 | 234,750 | | | | | | | | |
| 37 | 222,750 | | | | | | | | |
| 36 | 222,375 | | | | | | | | |
| 35 | 222,000 | | | | | | | | |
| 34 | 210,000 | | | | | | | | |
| 33 | 198,000 | 3,12 | 3,02 | 2,55 | 5,57 | | | | |
| 32 | 197,625 | 1,75 | 1,69 | 1,43 | 3,12 | | | | |
| 31 | 197,250 | | | | | | | | |
| 30 | 185,250 | | | | | | | | |
| 29 | 173,250 | | | | | | | | |
| 28 | 172,875 | | | | | | | | |
| 27 | 172,500 | | | | | | | | |
| 26 | 160,500 | | | | | | | | |
| 25 | 148,500 | 3,12 | 2,81 | 2,46 | 5,28 | | | | |
| 24 | 148,125 | 1,75 | 1,58 | 1,38 | 2,96 | | | | |
| 23 | 147,750 | | | | | | | | |
| 22 | 135,750 | | | | | | | | |
| 21 | 123,750 | | | | | | | | |
| 20 | 123,375 | | | | | | | | |
| 19 | 123,000 | | | | | | | | |
| 18 | 111,000 | | | | | | | | |
| 17 | 99,000 | 3,12 | 2,54 | 2,34 | 4,87 | | | | |
| 16 | 98,625 | 1,75 | 1,42 | 1,31 | 2,73 | | | | |
| 15 | 98,250 | | | | | | | | |
| 14 | 86,250 | | | | | | | | |
| 13 | 74,250 | | | | | | | | |
| 12 | 73,875 | | | | | | | | |
| 11 | 73,500 | | | | | | | | |
| 10 | 61,500 | | | | | | | | |
| 9 | 49,500 | 3,12 | 2,09 | 2,12 | 4,22 | | | | |
| 8 | 49,125 | 1,75 | 1,17 | 1,19 | 2,36 | | | | |
| 7 | 48,750 | | | | | | | | |
| 6 | 36,750 | | | | | | | | |
| 5 | 24,750 | | | | | | | | |
| 4 | 24,375 | | | | | | | | |
| 3 | 24,000 | | | | | | | | |
| 2 | 12,000 | | | | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | | | |

Tabulka 4.25 Střední a náhradní zatížení větrem – osamělá zatížení



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW1 | PW2 | PW3 | PW4 | PW5 | PW6 |
|------------|--------------------|--|------|------|------|------|------|------|
| | z | $F_{m,W,n(z)}$ | | | | | | |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 45 | 267,750 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 44 | 267,000 | | | | | | | |
| 43 | 259,500 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 |
| 42 | 250,500 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 |
| 41 | 247,500 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 |
| 40 | 247,125 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 2,52 | 2,52 |
| 39 | 246,750 | | | | | | | |
| 38 | 234,750 | | | | | | | |
| 37 | 222,750 | | | | | | | |
| 36 | 222,375 | | | | | | | |
| 35 | 222,000 | | | | | | | |
| 34 | 210,000 | | | | | | | |
| 33 | 198,000 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 |
| 32 | 197,625 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 2,41 | 2,41 | 1,69 |
| 31 | 197,250 | | | | | | | |
| 30 | 185,250 | | | | | | | |
| 29 | 173,250 | | | | | | | |
| 28 | 172,875 | | | | | | | |
| 27 | 172,500 | | | | | | | |
| 26 | 160,500 | | | | | | | |
| 25 | 148,500 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 |
| 24 | 148,125 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 2,27 | 2,27 | 1,58 | 1,58 |
| 23 | 147,750 | | | | | | | |
| 22 | 135,750 | | | | | | | |
| 21 | 123,750 | | | | | | | |
| 20 | 123,375 | | | | | | | |
| 19 | 123,000 | | | | | | | |
| 18 | 111,000 | | | | | | | |
| 17 | 99,000 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 |
| 16 | 98,625 | 1,42 | 1,42 | 2,08 | 2,08 | 1,42 | 1,42 | 1,42 |
| 15 | 98,250 | | | | | | | |
| 14 | 86,250 | | | | | | | |
| 13 | 74,250 | | | | | | | |
| 12 | 73,875 | | | | | | | |
| 11 | 73,500 | | | | | | | |
| 10 | 61,500 | | | | | | | |
| 9 | 49,500 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 |
| 8 | 49,125 | 1,17 | 1,77 | 1,77 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 |
| 7 | 48,750 | | | | | | | |
| 6 | 36,750 | | | | | | | |
| 5 | 24,750 | | | | | | | |
| 4 | 24,375 | | | | | | | |
| 3 | 24,000 | | | | | | | |
| 2 | 12,000 | | | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | | |

Tabulka 4.26 Bodové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 1



| Číslo bodu | Výška horního uzlu | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW7 | PW8 | PW9 | PW10 | PW11 |
|------------|--------------------|--|------|------|------|------|------|
| | z | $F_{m,w,n(z)}$ | | | | | |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 45 | 267,750 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 44 | 267,000 | | | | | | |
| 43 | 259,500 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 | 6,95 |
| 42 | 250,500 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 |
| 41 | 247,500 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 3,44 |
| 40 | 247,125 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 |
| 39 | 246,750 | | | | | | |
| 38 | 234,750 | | | | | | |
| 37 | 222,750 | | | | | | |
| 36 | 222,375 | | | | | | |
| 35 | 222,000 | | | | | | |
| 34 | 210,000 | | | | | | |
| 33 | 198,000 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,02 |
| 32 | 197,625 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,69 |
| 31 | 197,250 | | | | | | |
| 30 | 185,250 | | | | | | |
| 29 | 173,250 | | | | | | |
| 28 | 172,875 | | | | | | |
| 27 | 172,500 | | | | | | |
| 26 | 160,500 | | | | | | |
| 25 | 148,500 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 | 2,81 |
| 24 | 148,125 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 1,58 |
| 23 | 147,750 | | | | | | |
| 22 | 135,750 | | | | | | |
| 21 | 123,750 | | | | | | |
| 20 | 123,375 | | | | | | |
| 19 | 123,000 | | | | | | |
| 18 | 111,000 | | | | | | |
| 17 | 99,000 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 |
| 16 | 98,625 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 |
| 15 | 98,250 | | | | | | |
| 14 | 86,250 | | | | | | |
| 13 | 74,250 | | | | | | |
| 12 | 73,875 | | | | | | |
| 11 | 73,500 | | | | | | |
| 10 | 61,500 | | | | | | |
| 9 | 49,500 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 | 2,09 |
| 8 | 49,125 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 |
| 7 | 48,750 | | | | | | |
| 6 | 36,750 | | | | | | |
| 5 | 24,750 | | | | | | |
| 4 | 24,375 | | | | | | |
| 3 | 24,000 | | | | | | |
| 2 | 12,000 | | | | | | |
| 1 | 0,000 | | | | | | |

Tabulka 4.27 Bodové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 2

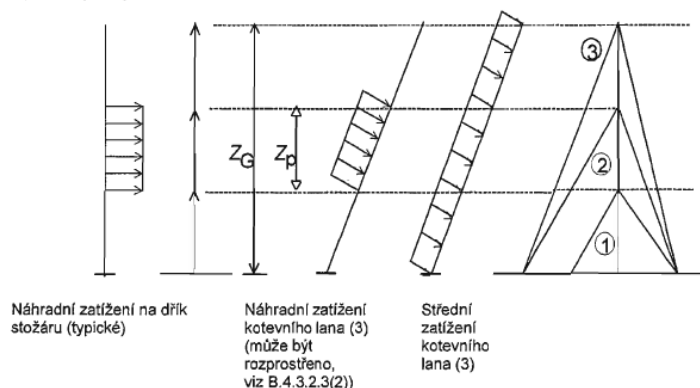
Střední a náhradní zatížení kotevních lan stožáru větrem

Náhradní zatížení větrem na kotevní lana stožáru je také aplikováno dle B.4.3.2.3 [2]. Je opět, jako u dřívku, nutné vytvořit 12 zatěžovacích stavů pro náhradní zatížení větrem. Na rozdíl od dřívku se zde může uvažovat se zjednodušením, že přidané náhradní zatížení se rozprostře po délce celého kotevního lana

(2) Pro zjednodušení může být náhradní zatížení „rozprostřeno“ přes celou délku uvažovaných kotevních lan násobením výše uvedeného zatížení větrem poměrem z_p/z_G :

kde: z_p je „výška“ náhradního zatížení uvažovaného kotevního lana; a

z_G výška příslušné kotevní úrovně na stožáru.



Obrázek 4.8 Náhradní zatížení lan [2]

Nelineární statický výpočet je proveden pro střední zatížení větrem a 12 zatěžovacích stavů, střední zatížení + náhradní zatížení větrem, vše pro 1 směr větru.

| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Výška kotevní úrovně | Sklon lana | Půdorysný úhel od lana ve směru č. 1 | Počet lan v jednom směru | Průměr lana | Tvarový součinitel | Střední tlak větru |
|-------------------|---------|----------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| | | Z_k | α | β | | $d_{l,i}$ | $C_{f,G,0}$ | $q_{GW,n}$ |
| | | [m] | [deg] | [deg] | | [mm] | [-] | [kN/m ²] |
| 5 | 1 | 247,125 | 64,4 | 0 | 1 | 50 | 1,2 | 925,240 |
| | 2 | 247,125 | 64,4 | 120 | 1 | 50 | 1,2 | 925,240 |
| | 3 | 247,125 | 64,4 | 240 | 1 | 50 | 1,2 | 925,240 |
| 4 | 1 | 197,625 | 59,1 | 0 | 1 | 50 | 1,2 | 874,881 |
| | 2 | 197,625 | 59,1 | 120 | 1 | 50 | 1,2 | 874,881 |
| | 3 | 197,625 | 59,1 | 240 | 1 | 50 | 1,2 | 874,881 |
| 3 | 1 | 148,125 | 51,3 | 0 | 1 | 40 | 1,2 | 812,005 |
| | 2 | 148,125 | 51,3 | 120 | 1 | 40 | 1,2 | 812,005 |
| | 3 | 148,125 | 51,3 | 240 | 1 | 40 | 1,2 | 812,005 |
| 2 | 1 | 98,625 | 39,8 | 0 | 1 | 40 | 1,2 | 727,292 |
| | 2 | 98,625 | 39,8 | 120 | 1 | 40 | 1,2 | 727,292 |
| | 3 | 98,625 | 39,8 | 240 | 1 | 40 | 1,2 | 727,292 |
| 1 | 1 | 49,125 | 22,5 | 0 | 1 | 40 | 1,2 | 592,978 |
| | 2 | 49,125 | 22,5 | 120 | 1 | 40 | 1,2 | 592,978 |
| | 3 | 49,125 | 22,5 | 240 | 1 | 40 | 1,2 | 592,978 |

Tabulka 4.28 Geometrie, tvarový součinitel kotevních lan, střední tlak větru pro ekvivalentní výšku



| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Půdorysný úhel od lana ve směru č. 1 | Úhel mezi směrem vetru a tětivou lana | Tvarový součinitel | Střední zatížení větrem (charakteristické) | Náhradní zatížení větrem (charakteristické) | Součet střední + náhradní zatížení (charakteristické) |
|-------------------|---------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--|---|---|
| | | β | ψ | $C_{r,G}$ | F_{GW} | F_{PG} | $F_{m,W,n(z)} + F_{p,W,n(z)}$ |
| | | [deg] | [deg] | | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] |
| 5 | 1 | 0 | 64,4 | 0,98 | 0,045 | 0,039 | 0,084 |
| | 2 | 120 | 102,5 | 1,14 | 0,053 | 0,046 | 0,099 |
| | 3 | 240 | 102,5 | 1,14 | 0,053 | 0,046 | 0,099 |
| 4 | 1 | 0 | 59,1 | 0,88 | 0,039 | 0,034 | 0,073 |
| | 2 | 120 | 104,9 | 1,12 | 0,049 | 0,044 | 0,093 |
| | 3 | 240 | 104,9 | 1,12 | 0,049 | 0,044 | 0,093 |
| 3 | 1 | 0 | 51,3 | 0,73 | 0,024 | 0,022 | 0,046 |
| | 2 | 120 | 108,2 | 1,08 | 0,035 | 0,032 | 0,068 |
| | 3 | 240 | 108,2 | 1,08 | 0,035 | 0,032 | 0,068 |
| 2 | 1 | 0 | 39,8 | 0,49 | 0,014 | 0,014 | 0,028 |
| | 2 | 120 | 112,6 | 1,02 | 0,030 | 0,029 | 0,059 |
| | 3 | 240 | 112,6 | 1,02 | 0,030 | 0,029 | 0,059 |
| 1 | 1 | 0 | 22,5 | 0,18 | 0,004 | 0,005 | 0,009 |
| | 2 | 120 | 117,5 | 0,94 | 0,022 | 0,024 | 0,047 |
| | 3 | 240 | 117,5 | 0,94 | 0,022 | 0,024 | 0,047 |

Tabulka 4.29 Střední a náhradní zatížení větrem – kotevní lana

| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW1 | PW2 | PW3 | PW4 | PW5 | PW6 |
|-------------------|---------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | F_{GW} | | | | | | |
| | | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] | [kN/m'] |
| 5 | 1 | 0,045 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,045 |
| | 2 | 0,053 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,053 |
| | 3 | 0,053 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,053 |
| 4 | 1 | 0,039 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,039 | 0,039 |
| | 2 | 0,049 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,049 | 0,049 |
| | 3 | 0,049 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,049 | 0,049 |
| 3 | 1 | 0,024 | 0,031 | 0,031 | 0,031 | 0,024 | 0,024 | 0,024 |
| | 2 | 0,035 | 0,046 | 0,046 | 0,046 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| | 3 | 0,035 | 0,046 | 0,046 | 0,046 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| 2 | 1 | 0,014 | 0,021 | 0,021 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 |
| | 2 | 0,030 | 0,044 | 0,044 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| | 3 | 0,030 | 0,044 | 0,044 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| 1 | 1 | 0,004 | 0,009 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| | 2 | 0,022 | 0,047 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 |
| | 3 | 0,022 | 0,047 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 |

Tabulka 4.30 Zatížení kotevních lan – zatěžovací stavy část 1



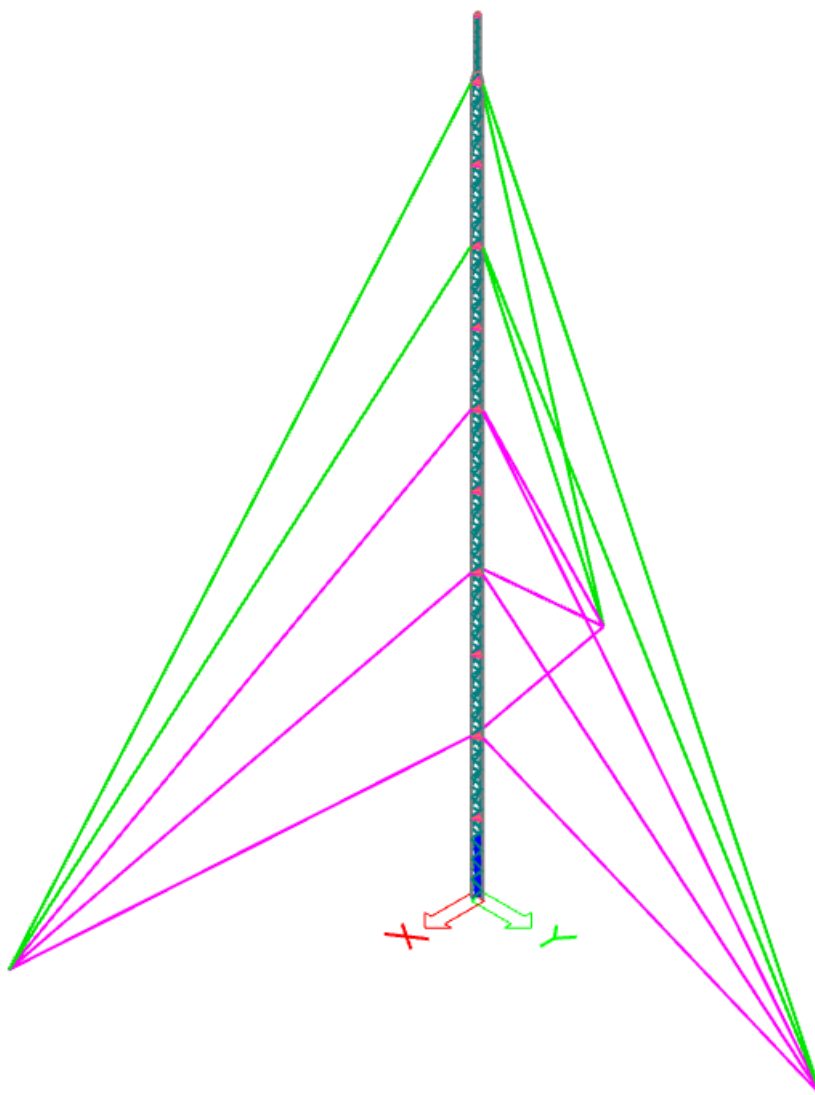
| Kotevní úroveň č. | Směr č. | Střední zatížení větrem (charakteristické) | PW7 | PW8 | PW9 | PW10 | PW11 | PW12 |
|-------------------|---------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | F_{GW} | | | | | | |
| | | [kN/m'] | | | | | | |
| 5 | 1 | 0,053 | 0,049 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,049 |
| | 2 | 0,062 | 0,057 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,058 |
| | 3 | 0,062 | 0,057 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,058 |
| 4 | 1 | 0,047 | 0,043 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,043 | 0,039 |
| | 2 | 0,060 | 0,054 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,054 | 0,049 |
| | 3 | 0,060 | 0,054 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,054 | 0,049 |
| 3 | 1 | 0,031 | 0,027 | 0,031 | 0,031 | 0,027 | 0,024 | 0,024 |
| | 2 | 0,046 | 0,041 | 0,046 | 0,046 | 0,041 | 0,035 | 0,035 |
| | 3 | 0,046 | 0,041 | 0,046 | 0,046 | 0,041 | 0,035 | 0,035 |
| 2 | 1 | 0,014 | 0,018 | 0,021 | 0,018 | 0,014 | 0,014 | 0,014 |
| | 2 | 0,030 | 0,037 | 0,044 | 0,037 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| | 3 | 0,030 | 0,037 | 0,044 | 0,037 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| 1 | 1 | 0,004 | 0,006 | 0,006 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| | 2 | 0,022 | 0,034 | 0,035 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 |
| | 3 | 0,022 | 0,034 | 0,035 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 |

Tabulka 4.31 Zatížení kotevní lan – zatěžovací stavy část 2

5 Výpočetní model

5.1. Geometrie a okrajové podmínky

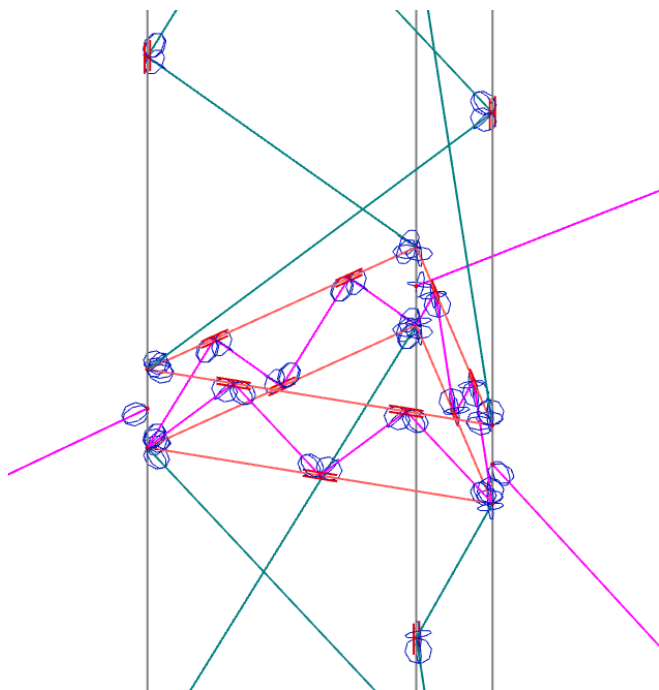
Byl vytvořen prostorový numerický model v programu SCIA Engineer odpovídající skutečné geometrii konstrukce. Konstrukce stožáru je modelována pomocí 1D prvků.



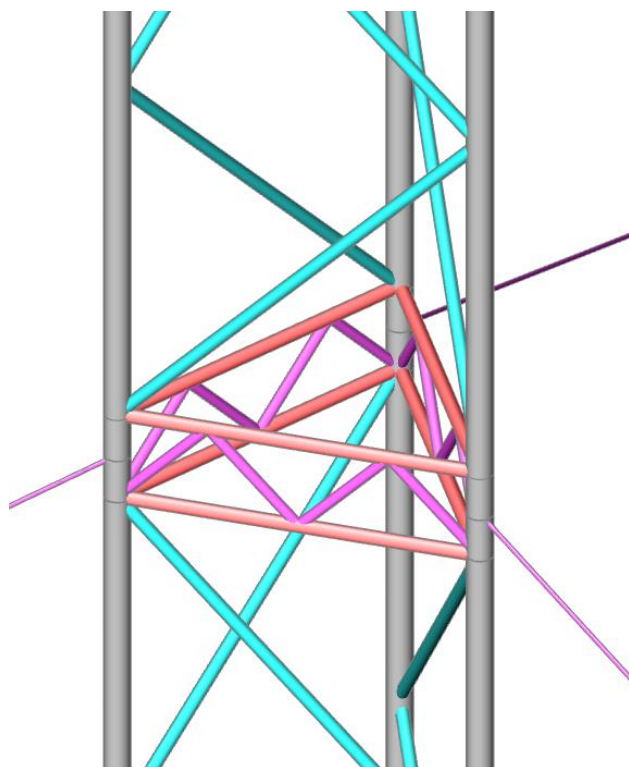
Obrázek 5.1 Numerický model – axonometrie

Přípoje

Veškeré přípoje kromě přípoje nárožník – nárožník jsou uvažovány jako kloubové.



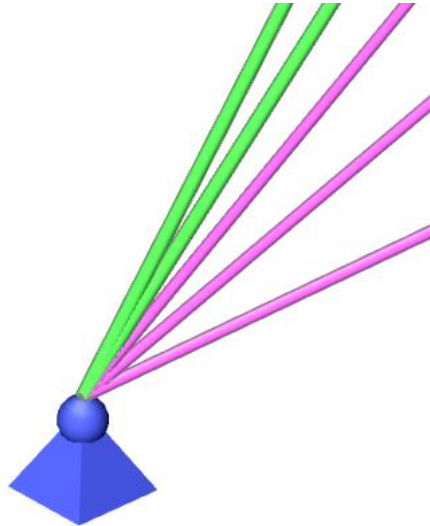
Obrázek 5.2 Kotevní úroveň – 1D pruty



Obrázek 5.3 Kotevní úroveň – rendrovaná geometrie

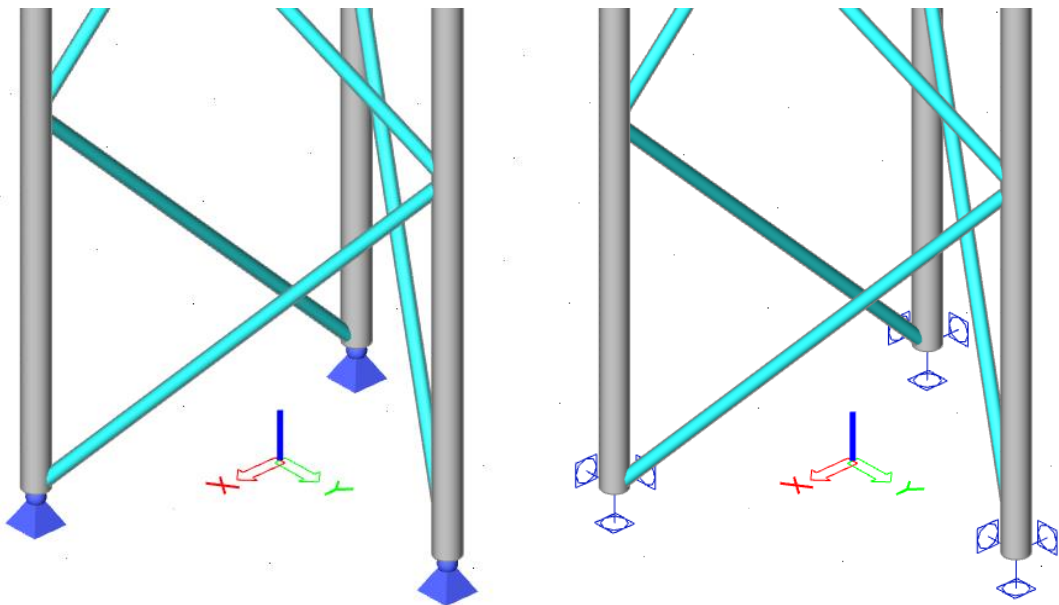
Podpory

Podpora kotevních lan je uvažovaná jako kloubová podpora umožňující volnou rotaci. Toto uložení simuluje čepové spojení kotevních lan a základového bloku.



Obrázek 5.4 Podpora kotevních lan

Klíčový rozdíl mezi dvěma posuzovanými variantami je v uložení dřívku stožáru. První varianta je kloubové uložení a druhá varianta je vetknutí.

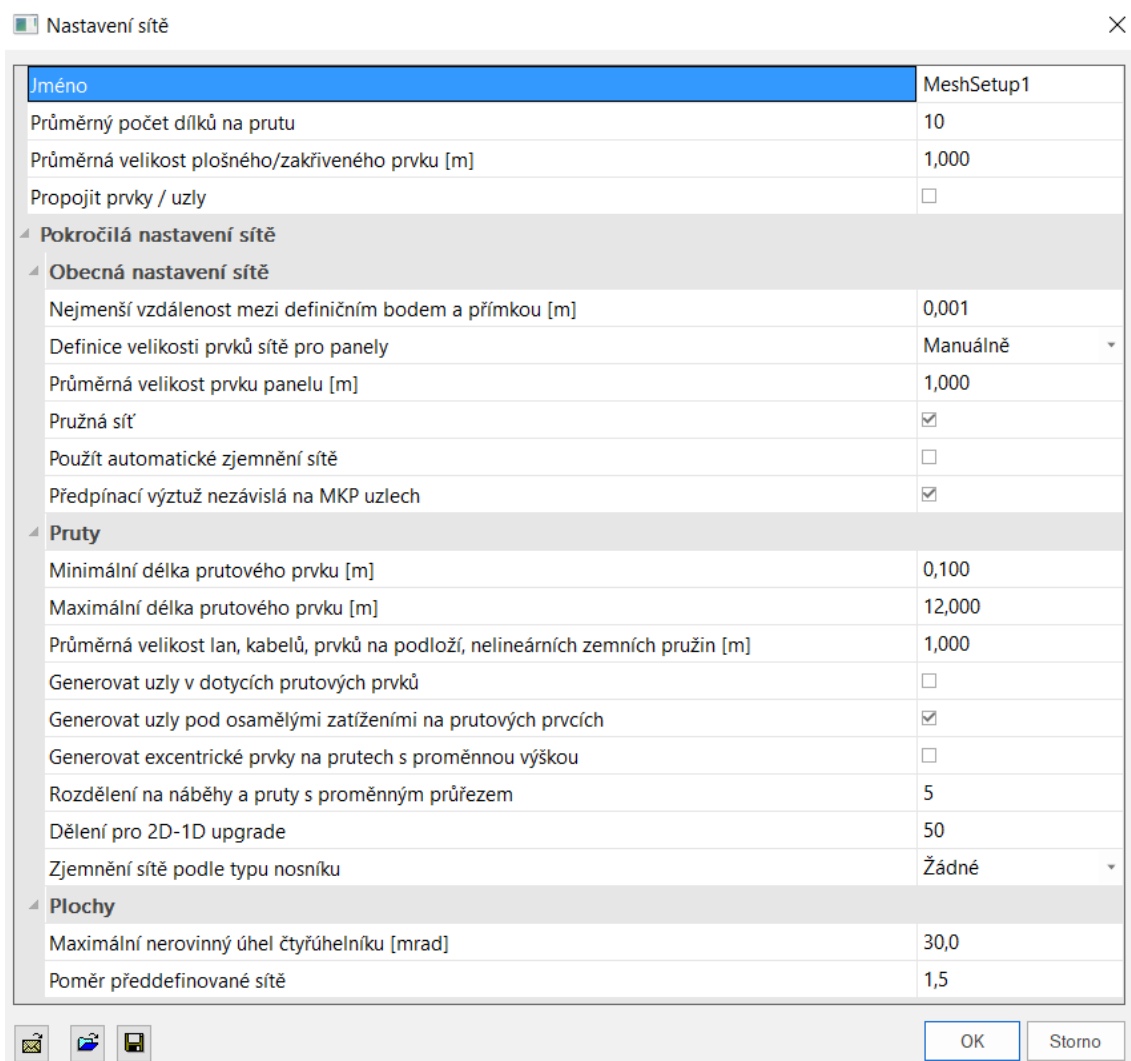


Obrázek 5.6 Kloubové uložení dřívku

Obrázek 5.5 Vetknutí dřívku

5.1. Nastavení sítě

V programu SCIA Engineer bylo nastaveno 10 MKP elementů na jednom prutu. Pro běžné výpočty je toto nastavení zcela dostačující. Ovšem u prvků reprezentující lana, pro dostatečné simulování jejich skutečného chování, je toto nedostatečné. Proto byla nastavena maximální délka prutového prvku na 12 m. V praxi to znamená, že 120 m dlouhé lano bude rozděleno na 10 prutů a každý prut následně rozdělen na 10 MKP elementů. Ve výsledku na 120 metrovém prutu reprezentující lano bude 100 MKP elementů, což již dostačuje pro věrohodné nasimulování reálného chování lana.



Obrázek 5.7 Nastavení sítě

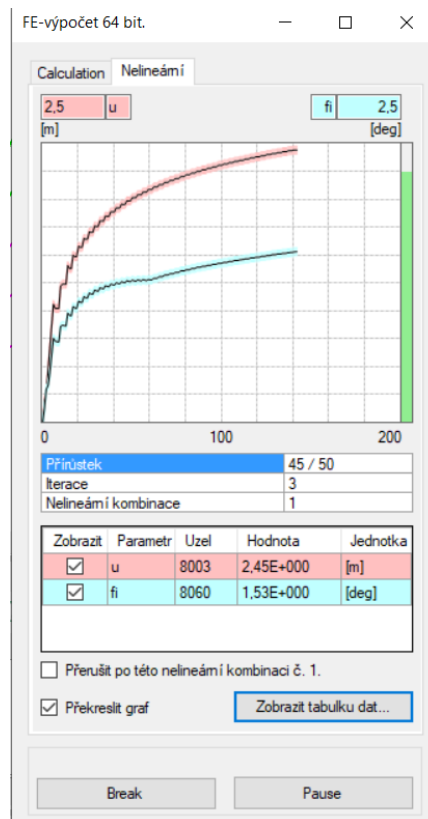
5.2. Nastavení řešiče

V programu SCIA Engineer byl nastaven geometricky nelineární výpočet velkých deformací využívající výpočtovou metodu Newton-Raphson. Na obrázku níže je geometrická nelinearita označena jako „3. řád (velké deformace)“. Toto označení ale není správné (vyskytuje se historicky pouze v německé literatuře pro odlišení od teorie 2. řádu, která zjednodušuje GNA tím, že uvažuje lineární geometrické vztahy). Jedná se tedy o geometricky nelineární analýzu (GNA).

| Nlinearity | |
|--------------------------|--------------------------|
| Geometrická nelinearita | 3. řád (velké deformace) |
| Metoda výpočtu | Newton-Raphson |
| Počet přírůstků | 50 |
| Max. počet iterací | 100 |
| Poměr přesnosti řešiče | 1 |
| Poměr robustnosti řešiče | 1 |

Obrázek 5.8 Nastavení řešiče

Na obrázku níže je vidět průběh nelineárního výpočtu. Z postupně zplošťující se křivky maximálního uzlového posunu i pootočení v celé konstrukci, můžeme vyčíst, že dochází k postupnému napínání lan, a tedy i k nárůstu tuhosti, což odpovídá reálnému chování lan.



Obrázek 5.9 Průběh nelineárního výpočtu

5.3. Průřezy

5.3.1. Náročník

| Náročník | |
|----------|---|
| | <p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 219.1 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 6,569E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 109,6 \text{ mm}$ $z_T = 109,6 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 3,598E07 \text{ mm}^4$ $I_z = 3,598E07 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -3,285E05 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 7,197E07 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 4,376E05 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 4,376E05 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p> |

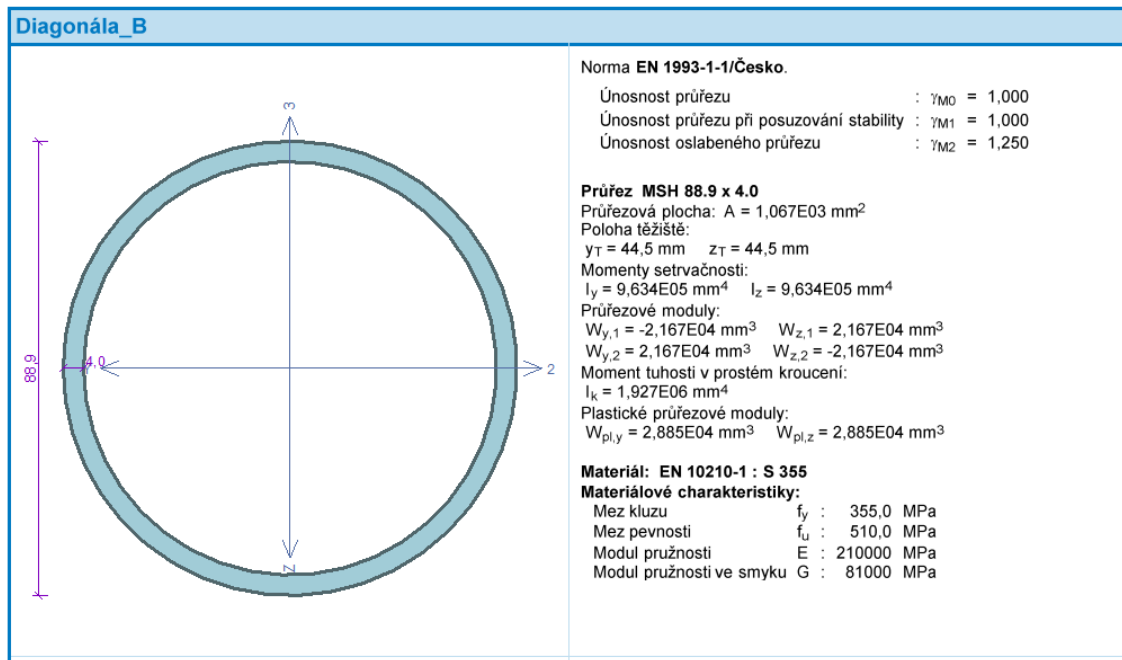
Obrázek 5.10 Náročník – průřezové a materiálové charakteristiky

5.3.1. Diagonála A

| Diagonála_A | |
|-------------|---|
| | <p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez TK 108 x 4 Průřezová plocha: $A = 1,307E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 54,0 \text{ mm}$ $z_T = 54,0 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,770E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,770E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -3,277E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 3,277E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 3,277E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -3,277E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,539E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 4,329E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 4,329E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p> |

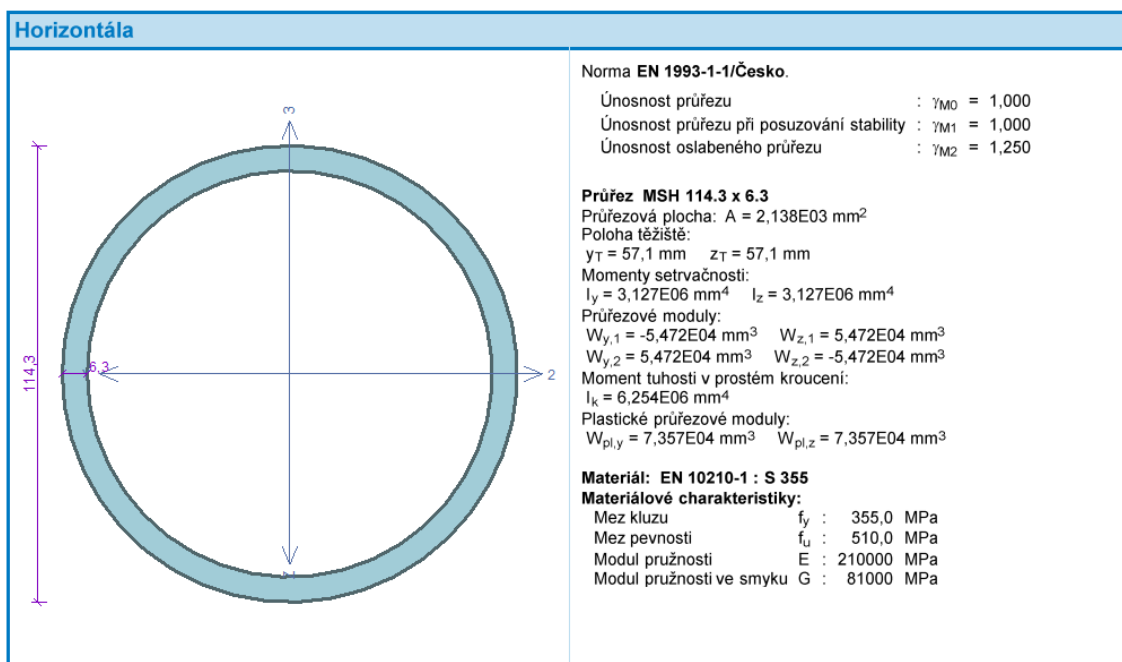
Obrázek 5.11 Diagonála A – průřezové a materiálové charakteristiky

5.3.1. Diagonála B



Obrázek 5.12 Diagonála B – průřezové a materiálové charakteristiky

5.3.1. Horizontála



Obrázek 5.13 Horizontála – průřezové a materiálové charakteristiky



5.4. Výsledky

Pro výběr varianty byly sledovány dvě podstatné veličiny, posun vrcholu dříku stožáru a průběh napětí na návětrném nárožníku po celé výšce konstrukce. Celková odezva konstrukce, S_{TM} , počítána ekvivalentní statickou metodou, se stanovuje jako součet účinků od středního zatížení větru, S_m , a fluktuačního zatížení větru, S_p .

Celkový účinek zatížení větrem

$$S_{TM} = S_m + S_p \quad (5.1)$$

Účinek fluktuačního zatížení větrem:

$$S_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{PLi}^2} \quad (5.2)$$

kde N je počet zatěžovacích stavů, v tomto případě 12 a S_{PLi} je účinek náhradního zatížení i -tého zatěžovacího stavu, určeného jako:

$$S_{PLi} = S_{PW_i} - S_m \quad (5.3)$$

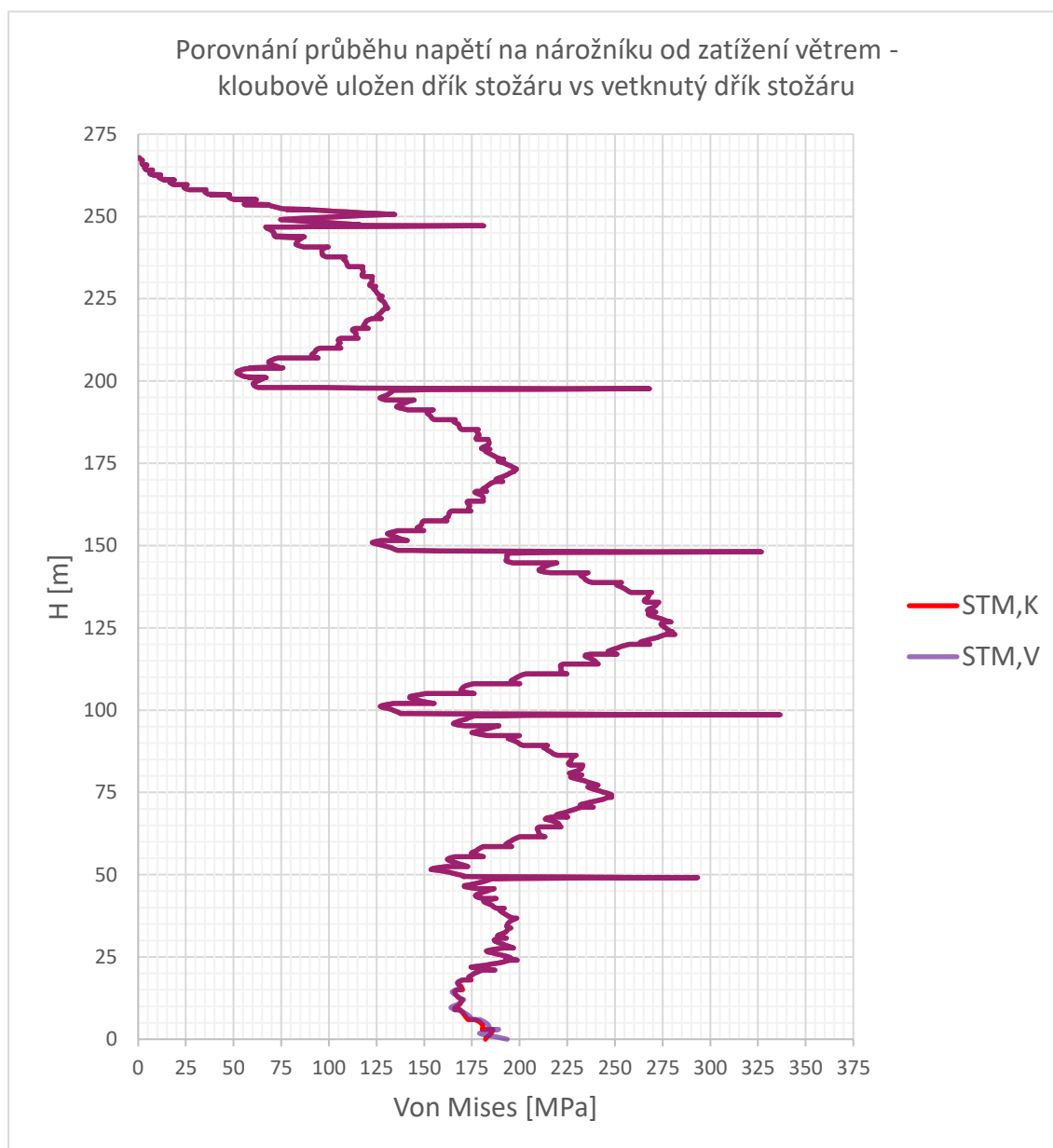
kde S_{PW_i} je účinek středního + náhradního zatížení a S_m je účinek pouze středního zatížení větrem.

Posun vrcholu dříku stožáru

| PW | Kloubově uložen dřík stožáru | | | Vetknutý dřík stožáru | | |
|----|------------------------------|---------------|------------|-----------------------|---------------|------------|
| | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 1 | 785,9 | 816,9 | 31,0 | 785,9 | 816,9 | 31,0 |
| 2 | 785,9 | 815,3 | 29,4 | 785,9 | 815,3 | 29,4 |
| 3 | 785,9 | 752,9 | -33,0 | 785,9 | 752,9 | -33,0 |
| 4 | 785,9 | 778,4 | -7,5 | 785,9 | 778,4 | -7,5 |
| 5 | 785,9 | 1152,6 | 366,7 | 785,9 | 1152,6 | 366,7 |
| 6 | 785,9 | 1109,0 | 323,1 | 785,9 | 1109,0 | 323,1 |
| 7 | 785,9 | 801,9 | 16,0 | 785,9 | 801,9 | 16,0 |
| 8 | 785,9 | 820,4 | 34,5 | 785,9 | 820,4 | 34,5 |
| 9 | 785,9 | 794,1 | 8,2 | 785,9 | 794,1 | 8,2 |
| 10 | 785,9 | 742,8 | -43,1 | 785,9 | 742,8 | -43,1 |
| 11 | 785,9 | 887,4 | 101,5 | 785,9 | 887,4 | 101,5 |
| 12 | 785,9 | 1373,9 | 588,0 | 785,9 | 1373,9 | 588,0 |
| | $S_p =$ | 775,4 | mm | $S_p =$ | 775,4 | mm |
| | $S_{TM,K} =$ | 1561,3 | mm | $S_{TM,V} =$ | 1561,3 | mm |

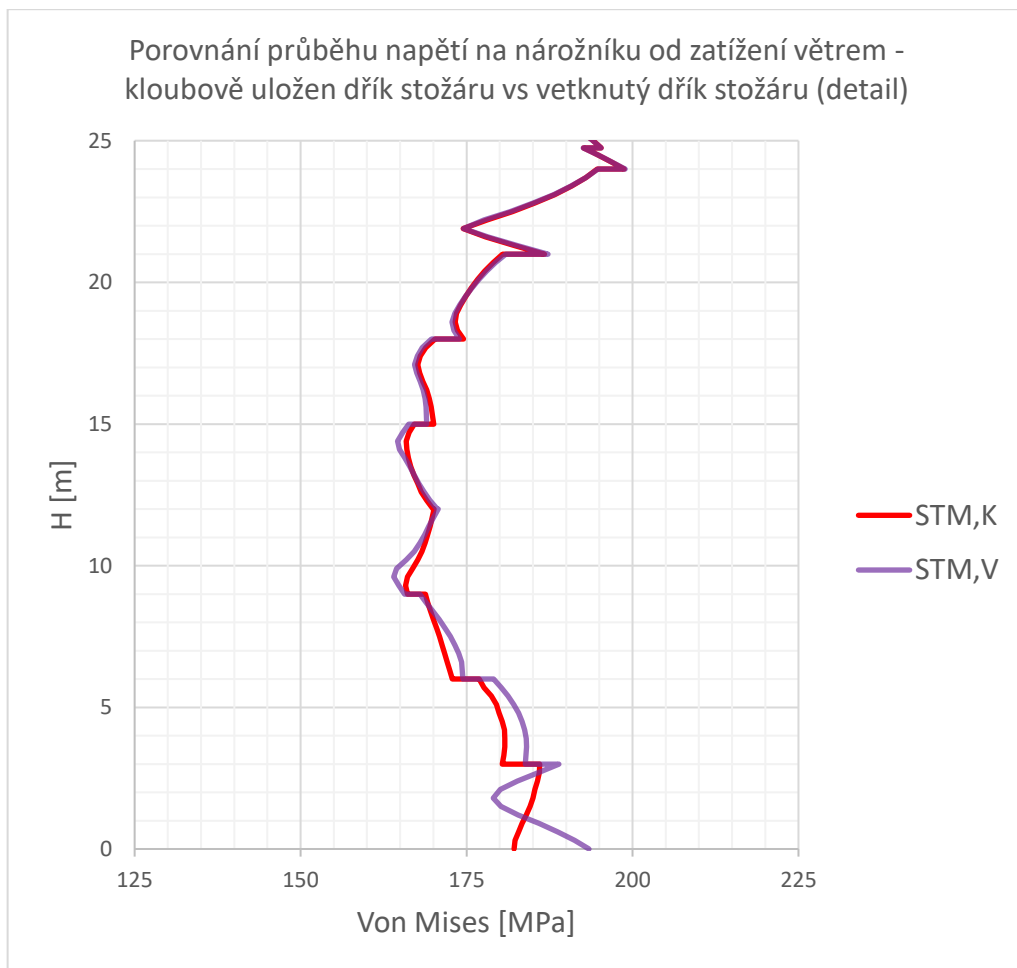
Tabulka 5.1 Posun špičky dříku stožáru

Posun vrcholu dříku stožáru vyšel pro oba případy naprosto identický. Toto se dalo předpokládat vzhledem k typu a velké výšce konstrukce.

Průběh napětí na nárožníku

Obrázek 5.14 Průběh napětí na nárožníku od zatížení větrem

Je patrné, že průběh napětí na nárožníku s výjimkou spodní části není ovlivněn způsobem uložení dříku stožáru.



Obrázek 5.15 Detail na spodní část průběhu napětí na nárožníku od zatížení větrem

Při detailnějším prozkoumání spodní části průběhu napětí můžeme pozorovat menší odchylky, avšak ne větší než 6 % hodnoty napětí v patě vetknutého dříku.

6 Závěr

Porovnáním odezvy vetknutého a kloubově uloženého dříku stožáru na zatížení větrem bylo zjištěno, že tyto konstrukční rozdíly nemají žádný vliv na výslednou výchylku vrcholu dříku. Rozdíl byl zjištěn pouze v průběhu napětí na nárožníku. Maximální rozdíl zde přitom činí zhruba 6 %, a sice vyšší napětí v patě vetknutého dříku.

Přes malé rozdíly jsem jako vítěznou variantu (tj. optimální řešení) vybral variantu kloubově uloženého dříku stožáru. V praxi se jedná o běžnější případ uložení kotveného stožáru, s menšími nároky na provedení detailu uložení dříku.



Technická zpráva k optimální variantě





1 Základní údaje

1.1. Identifikační údaje

| | |
|----------------------|--|
| Typ dokumentace | Technická zpráva |
| Charakter konstrukce | Novostavba |
| Objednatel | Diplomová práce Fakulty stavební ČVUT v Praze, pro CENTRUM VÝZKUMU GLOBÁLNÍ ZMĚNY AV ČR |
| Dílčí část | Stavebně konstrukční řešení |

1.2. Charakteristika konstrukce

Předmětem dokumentace je návrh kotveného stožáru sloužícího jako meteorologická stanice. Jedná se o příhradový stožár s výškou 267,75 m, kotvený v pěti výškových úrovních lany do tří směrů a osazený potřebným příslušenstvím pro měření meteorologických jevů.

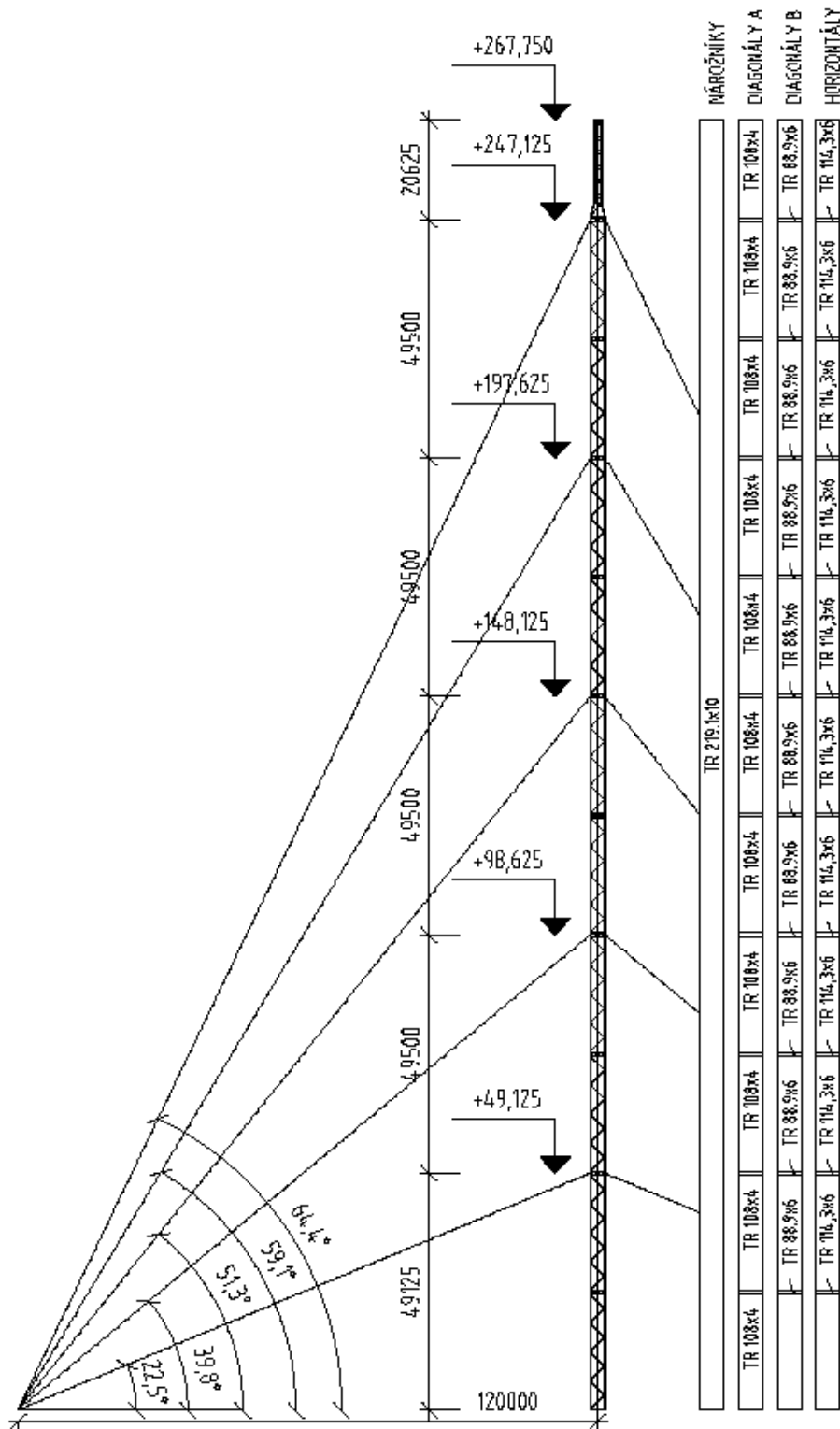
1.3. Výchozí údaje a podklady

- Příslušné platné normy viz 1.4
- Podklady vyplývající z koordinačních jedná s budoucím uživatelem

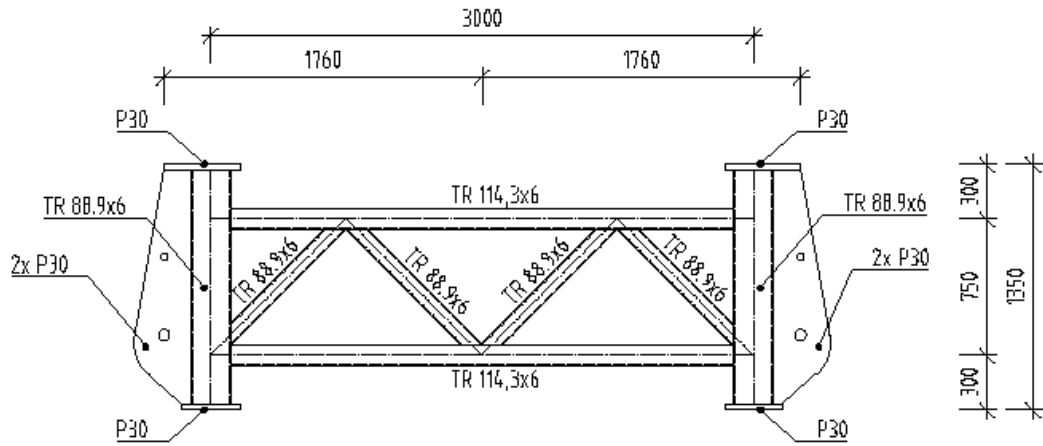
1.4. Seznam použitých norem

- ČSN EN 1990 Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčnic
- ČSN EN 1993-1-11 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků
- ČSN EN 1993-3-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry
- ČSN ISO 12494 Zatížení konstrukcí námrazou
- ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí

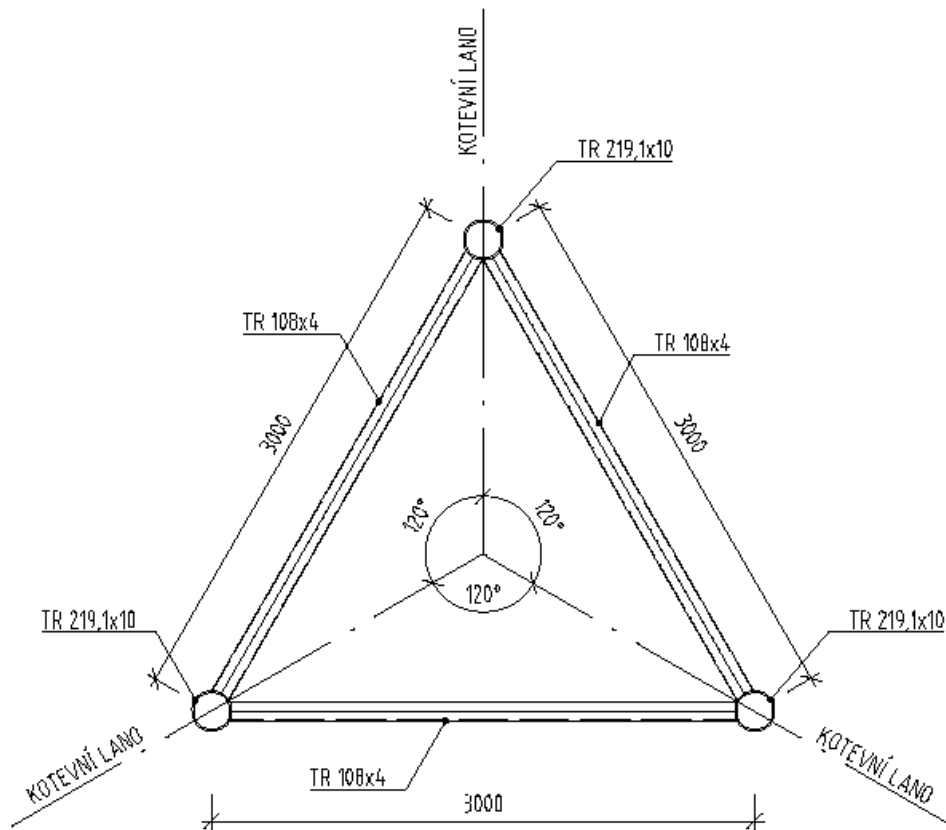
2 Technický popis konstrukce



Obrázek 2.1 Schéma a návrh dimenzí prvků dřívku stožáru



Obrázek 2.2 Schéma kotevního dílu



Obrázek 2.3 Půdorysné schéma kotevních lan



2.1. Dispoziční řešení a situace

Kotvený příhradový stožár celkové výšky 267,750 m je kotvený v 5 úrovních do 3 směrů. Všechna lana jednoho směru jsou kotvena do jednoho gravitačního bloku ve vzdálenosti 120 m od paty stožáru. Dřík stožáru je uložen kloubově se zabráněním torzního natočení kolem své osy.

Dřík stožáru je příhradový trojboký o šířce 3000 mm do úrovně +247,125 m. Vrcholová konzola je nad úrovní +250,125 m široká 1500 mm. Mezi těmito úrovněmi se dřík kónicky zužuje. Prvky stožáru jsou vyrobeny z trubek.

Stožár je vybaven žebříkem s bezpečnostní lištou, výtahem na benzínový pohon, kabelovými lávkami a plošinami. Výtah se bude pohybovat po nosných a vodících profilech osazených na jedné stěně stožáru do úrovně +247,125 m.

2.2. Konstrukční řešení nosné konstrukce tělesa stožáru

Těleso stožáru sestává z trojbokých příhradových svařovaných ocelových dílů. Běžné díly mají délku 6000 mm až do úrovně +247,125 m. Nosná konstrukce běžného dílu je složena ze 3 nárožníků z trubky 219,1/10 a 2 diagonál (diagonála A) ve stěně z trubky 108/4. Diagonály jsou k nárožníkům přivařeny. Nárožníky jsou spojeny přes příruby z plechu tl. 30 mm a šesti předepnutými šrouby M30, 10.9. Kotevní díly délky 1350 mm zajišťují kotvení lan ke dříku stožáru. Nosná konstrukce kotevního dílu je složena ze 3 nárožníků z trubky 219,1/10, 4 diagonál (diagonála B) ve stěně z trubky 88,9/6, 2 horizontál ve stěně z trubky 114,3/6 a 2 kotevních plechů tl. 30 mm navařených na nárožnicích, mezi které jsou přes čep kotveny kloubové spojky kotevních lan. Nad pátým kotevním dílem je dřík stožáru kónicky zúžen z původní šířky 3000 mm na šířku 1500 mm. Tento přechod je délky 3000 mm a je složen ze 3 nárožníků z trubky 219,1/10, 1 diagonály (diagonála A) ve stěně z trubky 88,9/6 a 1 horizontály ve stěně z trubky 114,3/6. Horní konzola stožáru je tvořena 3 díly s délkami, 6000 mm, 6000 mm a 5250 mm. Tyto díly jsou složeny ze 3 nárožníků z trubky 219,1/10, stěna je vyplněna 3-4 diagonálami (diagonála A) z trubky 88,9/4 a poslední díl je zakončen 3 horizontálami z trubky 114,3/6. První, patní díl konstrukce je uložen přes hrncové ložisko o poloměru 1000 mm.



2.3. Kotevní lana

Kotevní lana jsou jednopramenná vinutá z pozinkovaných patentových drátů o jmenovité pevnosti 1770 MPa s výškou vinutí 1:12.

Skladba a charakteristika lan:

Kotevní úroveň 1-3: Ø 40 mm dle – 61 drátů dle EN 1385-10+A1 (skladba 1+6+12+18+24)

Kotevní úroveň 1-3: Ø 50 mm dle – 61 drátů dle EN 1385-10+A1 (skladba 1+6+12+18+24)

Kotevní lana jsou zakončena do zalévaných svařovaných koncovek. U tělesa stožáru je koncovka lana do kloubové spojky kotvena přes čep ve směru kolmém na čep u tělesa stožáru. Toto spojení tak zajišťuje volný prostorový pohyb lana v zakončení a minimalizuje ohybové namáhání. Do kotevních roštů je lano zakončeno přes napínací zařízení sestávající z kotevních šroubů M85 s válcovaným závitem, dvou koncovek, do kterých je šroub zašroubován, a z napínákové matice.

2.4. Kotevní rošty

Kotevní rošty jsou konstrukce zabetonované do kotevních bloků. Nad povrch bloků vyčnívají kotevní plechy pro zakotvení napínacích zařízení přes kulový čep umožňující prostorové natočení v rozsahu 3°. Tímto je minimalizované ohybové namáhání kotevního prvku. Zabetonovaná část uvnitř kotevního bloku stabilizuje polohu kotevních plechů a zajišťuje přenos tahových sil lan do základů.

2.5. Doplnkové konstrukce

Doplnkové konstrukce se přímo nepodílejí na hlavní nosné konstrukce stožáru.

- Žebříky sloužící pro vertikální pohyb po stožáru bez použití výtahu. Jsou umístěny v jednom z rohů trojbokého dřívku.
- Kabelové lávky sloužící pro vertikální vedení kabelů. Jsou dvoupatrové a nacházejí na 2 stěnách trojbokého dřívku. Do třetí kotevní úrovně jsou lávky zdvojené.
- Plošiny slouží pro revizi stožáru a dále jsou na nich umístěny měřící zařízení a prvky osvětlení.



3 Statické řešení

3.1. Zatížení a jejich kombinace

Klimatická a stálá zatížení jsou určena dle platných norem. Stálé zatížení je dále doplněno o podklady z příslušných technologií. Stěžejní zatížení je zatížení větrem.

3.2. Použité metody

Analýza konstrukce je prováděna na základě skutečného chování konstrukce numerickými modely sestavenými programy založenými na metodě konečných prvků (MKP).

- a) SCIA Engineer, verze 20.0
- b) GMAST

Byly sestaveny dílčí modely jednotlivých konstrukčních částí. Konstrukce je zatížena dle objednatelem zadaných břemen a dle současných technických norem.

3.3. Posouzení

Konstrukce je navržena dle platných norem a splňuje MSÚ pro veškeré možné kombinace zatížení a MSP pro požadované hodnoty deformací – průhybů a natočení.

- a) Vodorovný průhyb $\delta_{max} = 1561,3$ mm je menší než mezní hodnota stanovená objednatelem $\delta_{max} = 1/100$ výšky konstrukce, tedy $1/100 \cdot 267750$ mm = 2677,5 mm

4 Požadavky na kvalitu nosných konstrukcí

4.1. Materiál

Prvky nosné konstrukce jsou navrženy z oceli S355. Doplnkové konstrukce a konstrukce vybavení stožáru jsou z materiálu S235. Šrouby napínacího zařízení jsou z materiálu S520. Čepy jsou z materiálu podle specifikace firmy Macalloy $f_y = 685$ MPa, $f_u = 822$ MPa. Středový kulový čep je z materiálu S690Q. Materiál je specifikován ve statickém výpočtu.

Dle ČSN EN 10204 – Druhy dokumentů kontroly jsou požadovány pro základní materiál, spojovací materiál i elektrody požadovány s inspekčním certifikátem 3.1. TDP plechů a tvarových profilů dle ČSN 10025-1 a 2. Duté profily budou vyrobeny za tepla s TDP dle ČSN EN 10210. Plechy namáhané kolmo k rovině válcování (zejména příruby) jsou k zabránění lamelárního rozdělení navrženy třídy jakosti Z25 dle ČSN EN 10164.



Spojovací materiál je navržen kvality 10.9., resp. 8.8 – viz příslušné části projektové dokumentace.

4.2. Antikorozní ochrana konstrukce

Před nátěry bude konstrukce otryskána na stupeň SA 2.5, dle ČSN ISO 8501-1. Drsnost povrchu střední, bude zkontrolována etalonem. Skladba nátěrového systému ocelových konstrukcí bude navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944-5. Například zinkována ponorem, popř. zároveň stříkaná slitinami Zn + Al.

Pro veškeré konstrukce – včetně kotevních lan je uvažována korozní expozice C3.

Spojovací materiál bude dodán zároveň pozinkovaný. Předpokládá se aplikace celého systému v dílně, na stavbě budou pouze opravena poškozená místa a místa u případných montážních svarů.

4.3. Výroba

Konstrukce je zařazena do třídy provedení EXC3 dle ČSN EN 1090-2. Pro konstrukci je navržen stupeň jakosti svarů B dle ČSN EN ISO 5817, s výjimkou doplňkových konstrukcí, pro které je navržen stupeň jakosti svarů C. Všechny díly budou postupně sestaveny v dílně v pořadí odpovídajícímu montáži konstrukce na stavbě. Tolerance v délkách nárožníků budou řešeny vložkami. Každý díl bude již v dílně vybaven doplňkovými konstrukcemi.

4.4. Montáž

Všechny prvky budou vyrobeny dílensky, opatřeny nátěrovým systémem a dopraveny na stavbu v kompletních dílcích, které budou následně vzájemně sešroubovány. Přesný postup montáže bude předepsán v dalším stupni dokumentace.

4.5. Předpínání

Kotevní lana budou postupně instalována během montáže dříku, před instalací lan dané kotevní úrovně bude již osazen 1 následující díl dříku stožáru. Lana během montáže budou napnuta na sílu cca 100 kN. Dále je nutné během výstavby stožár kotvit v polovině mezi kotevními úrovněmi provizorními lany.

Po dokončení montáže se provede rektifikace stožáru. To znamená zkontrolování svislosti a přímosti konstrukce a vnesení projektových předpětí do kotevních lan.



5 Závěr

Veškeré konstrukce musí splňovat platné české zákony, normy, hygienické předpisy a nařízení. Dokumentaci lze uvažovat ve smyslu příslušné smlouvy o dílo. Dokumentace slouží jako dokumentace pro stavební povolení.

Před uvedením konstrukce do provozu je nutné vypracovat předpis pro kontrolu a údržbu.



Porovnání vlivu námrazy podle stávající a připravované evropské normy



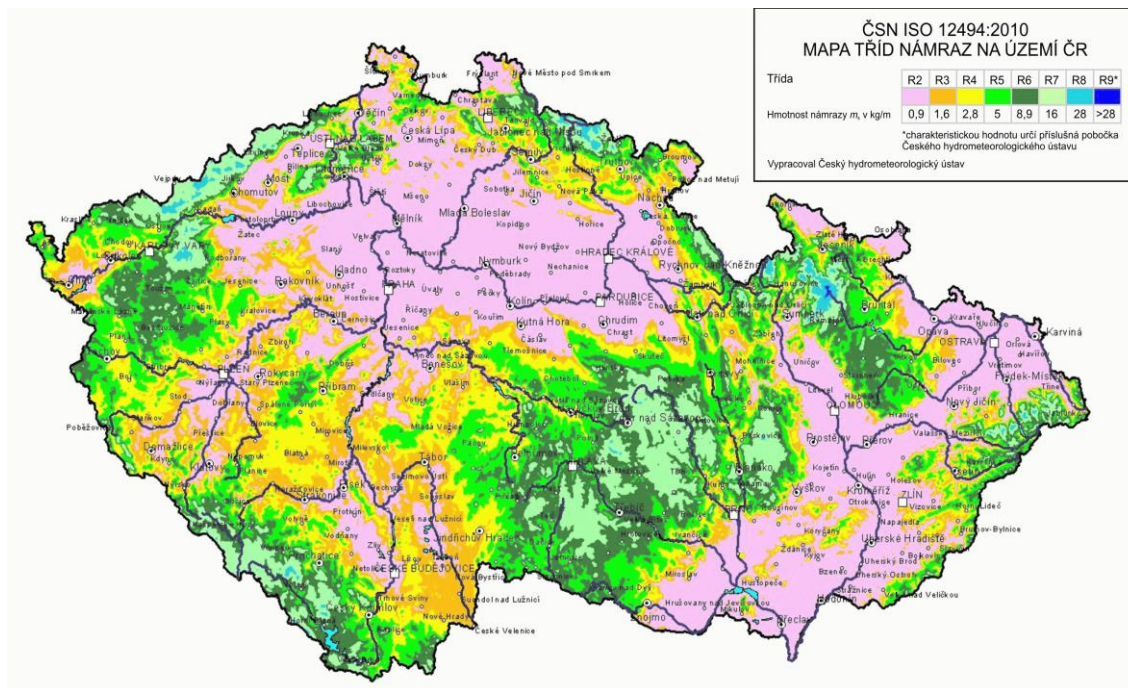
1 Úvod

V další části diplomové práce je porovnán výpočet zatížení námrazou podle stávající normy „ČSN ISO 12494 Zatížení konstrukcí námrazou“ a podle draftu nové normy,

EN 1991-1-4, „Wind Actions“.

2 Společná část pro obě normy

Nejprve je nutné konstrukci zařadit dle umístění do správně třídy námrazy.



Obrázek 2.1 Mapa tříd námrazy

Třída námrazy byla určena R5, což odpovídá hmotnosti námrazy, $m_k = 5 \text{ kg/m}$. Ve veškerých výpočtech bude uvažována objemová hmotnost námrazy, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$.

Pro porovnání zatížení námrazou není nutné určovat zatížení námrazou na celé konstrukci, ale postačí hodnoty porovnat pouze na jednom panelu dřívku stožáru. Je vybráno pole číslo 22.



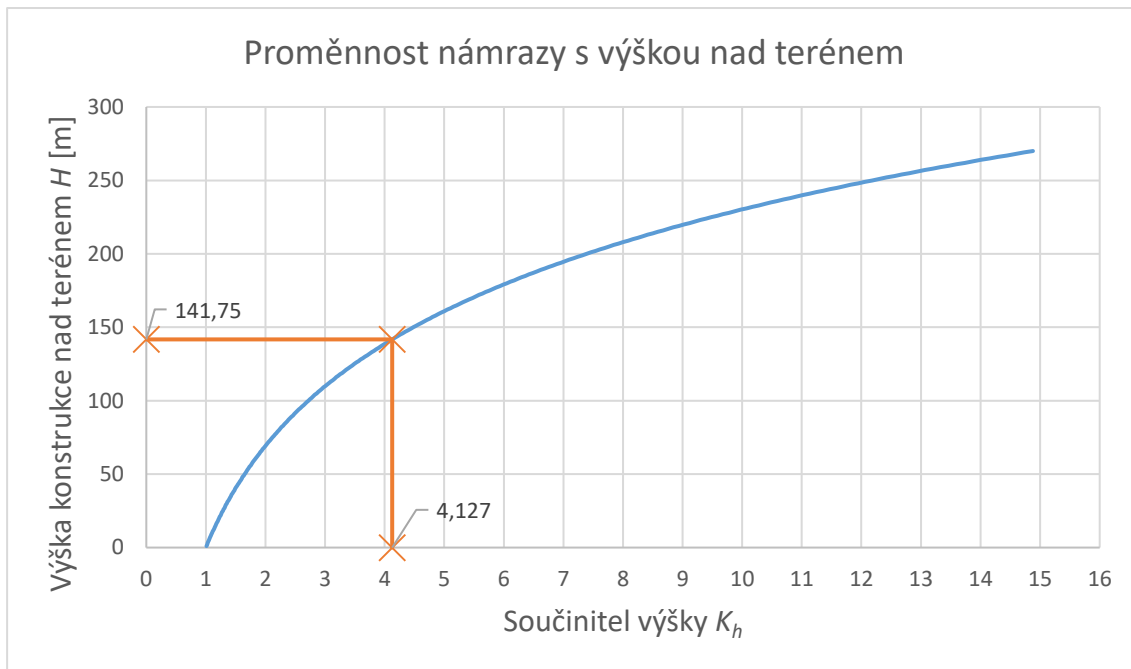
| Číslo pole | Číslo horního bodu pole | Výška panelu | Výška horního bodu nad terénem | Šířka příhrady (osová) | Výška příhrady | Modul pružnosti |
|------------|-------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| | | h_i | z | | | E |
| | | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [MPa] |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | 28 | 0.375 | 172.875 | 3000 | 750 | 210000 |
| 26 | 27 | 12.000 | 172.500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 25 | 26 | 12.000 | 160.500 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 24 | 25 | 0.375 | 148.500 | 3000 | 750 | 210000 |
| 23 | 24 | 0.375 | 148.125 | 3000 | 750 | 210000 |
| 22 | 23 | 12.000 | 147.750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 21 | 22 | 12.000 | 135.750 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 20 | 21 | 0.375 | 123.750 | 3000 | 750 | 210000 |
| 19 | 20 | 0.375 | 123.375 | 3000 | 750 | 210000 |
| 18 | 19 | 12.000 | 123.000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| 17 | 18 | 12.000 | 111.000 | 3000 | 3000 | 210000 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Tabulka 2.1 Geometrické charakteristiky části dřívku stožáru

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu nad terénem | Délky prvků v 1 stěně na běžný metr | | | |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Nárožníky | Diagonály A | Diagonály B | Horizontály |
| | z | | | | |
| | [m] | [m/m'] | [m/m'] | [m/m'] | [m/m'] |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | 172.875 | 2.000 | 0.000 | 5.657 | 8.000 |
| 27 | 172.500 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| 26 | 160.500 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 148.500 | 2.000 | 0.000 | 5.657 | 8.000 |
| 24 | 148.125 | 2.000 | 0.000 | 5.657 | 8.000 |
| 23 | 147.750 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| 22 | 135.750 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| 21 | 123.750 | 2.000 | 0.000 | 5.657 | 8.000 |
| 20 | 123.375 | 2.000 | 0.000 | 5.657 | 8.000 |
| 19 | 123.000 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 111.000 | 2.000 | 1.414 | 0.000 | 0.000 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Tabulka 2.2 Délky nárožníků, diagonál 1, diagonál 2 a horizontál na části dřívku stožáru

Vybrané pole obsahuje pouze nárožníky a diagonály typu 1, je 12 m vysoké a střed tohoto pole je ve výšce +141,750 m nad terénem. Výška nad terénem je důležitý údaj, protože nám určuje součinitel námrazy K_h , jež silně ovlivňuje množství námrazy na konstrukci. Určuje nám kolikrát více kg/m námrazy je v dané výšce oproti hodnotě m_k .

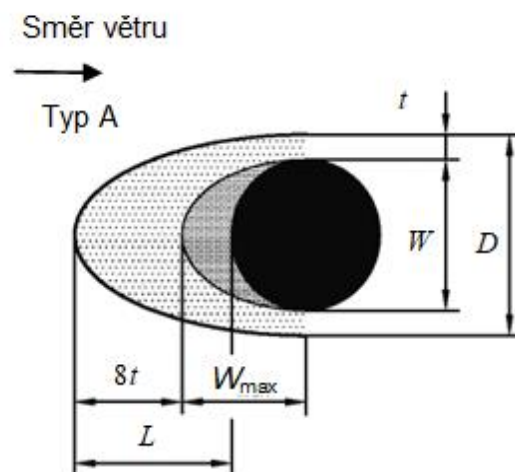


Obrázek 2.2 Proměnnost námrazy s výškou nad terénem

$$K_h = e^{0,01 \cdot H} \quad (2.1)$$

2.1. Geometrie námrazy

Jelikož konstrukce je složena z kruhových profilů, námraza má tendenci na profilu tvořit vrstvy dle typu A [3].



Obrázek 2.3 Tvoření námrazy na kruhovém průřezu [3]

$$\text{pro } L \leq \frac{W}{2}$$

$$L = \frac{4x10^6 * m_k * K_h}{\pi * \rho * W} \quad (2.2)$$

$$D = W \quad (2.3)$$

pro $L > \frac{W}{2}$

$$L = \frac{W}{2} + 8 * t \quad (2.4)$$

$$D = W + 2 * t \quad (2.5)$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10 * W + \left[68 * W^2 + 8,149x10^7 * \frac{m_k * K_h}{\rho} \right]^{0,5} \right\} \quad (2.6)$$

2.1.1. Náročník

$$\frac{W}{2} = \frac{219,1}{2} = 109,55 \text{ mm}$$

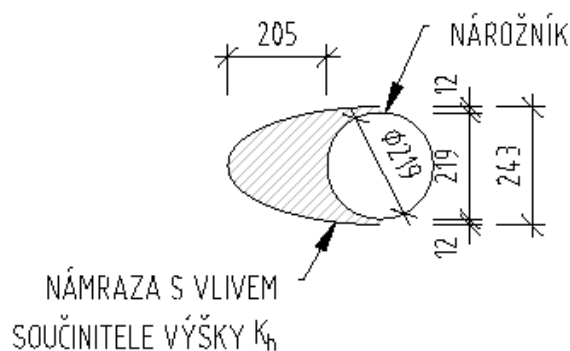
$$L = \frac{4x10^6 * 5 * 4,127}{\pi * 500 * 219,1} = 239,8 \text{ mm}$$

$$L > \frac{W}{2}$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10 * 219,1 + \left[68 * 219,1^2 + 8,149x10^7 * \frac{5 * 4,127}{500} \right]^{0,5} \right\} = 11,98 \text{ mm}$$

$$D = 219,1 + 2 * 11,98 = 243 \text{ mm}$$

$$L = \frac{219,1}{2} + 8 * 11,98 = 205 \text{ mm}$$



Obrázek 2.4 Námraza – náročník

2.1.2. Diagonála 1

$$\frac{W}{2} = \frac{108}{2} = 54 \text{ mm}$$

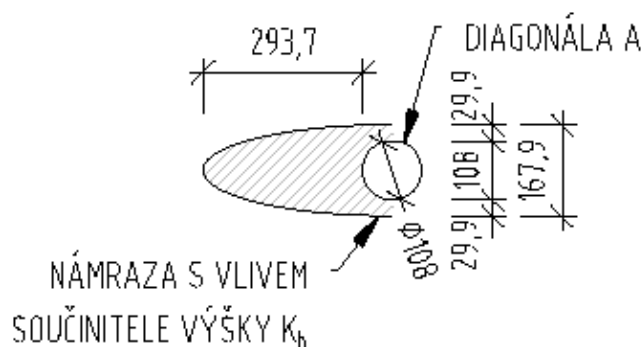
$$L = \frac{4 \times 10^6 * 5 * 4,127}{\pi * 500 * 108} = 486 \text{ mm}$$

$$L > \frac{W}{2}$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10 * 108 + \left[68 * 108^2 + 8,149 \times 10^7 * \frac{5 * 4,127}{500} \right]^{0,5} \right\} = 29,95 \text{ mm}$$

$$D = 108 + 2 * 29,95 = 167,9 \text{ mm}$$

$$L = \frac{108}{2} + 8 * 29,95 = 293,7 \text{ mm}$$



Obrázek 2.5 Námraza – diagonála A

3 Stávající norma

Nyní se stanoví celkový tvarový součinitel holé konstrukce (viz kapitola 4.3.2) se zvětšenými průřezy od vlivu námrazy. Je zde ovšem pár změn:

- Kruhé dílce pokryté námrazou jsou uvažované pouze v podkritickém režimu obtékání.
- Není přesně definováno, kdy kruhový průřez s námrazou přestává být kruhový a stává se z něj plochý prvek. U případu diagonály A již nový tvar připomíná spíše plochý prvek. Prověřeny budou oba případy, průřez uvažován jako kruhový i jako plochý prvek.

Diagonála A uvažována jako kruhový prvek

$$A_f = 0,005 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_c = \frac{219,1 + 205}{1000} * 2 + \frac{108 + 293,7}{1000} * 1,414 = 1,416 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_{c,sup} = 0 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_s = 0,005 + 1,410 + 0 = 1,415 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$\varphi = \frac{1,421}{1 * 3,424} = 0,415$$

$$c_{f,of} = 1,76 * 1,9 * [1 - 1,4 * 0,415 + 0,415^2] = 1,977$$

$$c_{f,0,c} = 1,9 * (1 - 1,4 * 0,415) + (1,9 + 0,875) * 0,415^2 = 1,274$$

$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{\{(1 - 0,415) * (2,8 - 1,14 * 1,9 + 0,415)\}} = 1,117$$

$$c_{f,s,0} = \frac{1,977 * 0,005 + 1,274 * 1,415 + 1,117 * 0}{1,421} = \mathbf{1,276}$$

Celkový tvarový součinitel konstrukce s námrazou ve výšce 147,750 m nad terénem s uvažováním nárožníku a diagonály A jako kruhové prvky je 1,276.

Diagonála A uvažována jako plochý prvek

$$A_f = 0,005 + \frac{108 + 293,7}{1000} * 1,414 = 0,573 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_c = \frac{219,1 + 205}{1000} * 2 = 0,848 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_{c,sup} = 0 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_s = 0,573 + 0,848 + 0 = 1,421 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$\varphi = \frac{1,421}{1 * 3,424} = 0,415$$

$$c_{f,of} = 1,76 * 1,9 * [1 - 1,4 * 0,415 + 0,415^2] = 1,977$$

$$c_{f,0,c} = 1,9 * (1 - 1,4 * 0,415) + (1,9 + 0,875) * 0,415^2 = 1,274$$



$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{\{(1 - 0,413) * (2,8 - 1,14 * 1,9 + 0,413)\}} = 1,117$$

$$c_{f,s,0} = \frac{1,977 * 0,573 + 1,274 * 0,848 + 1,117 * 0}{1,421} = 1,557$$

Celkový tvarový součinitel konstrukce s námrazou ve výšce 147,750 m nad terénem s uvažováním nárožníku jako kruhový prvek a diagonály A jako plochý prvek je 1,557.

4 Nová norma

Proveden bude výpočet dle připravované normy EN 1991-1-4 Wind Actions, a to opět pro dva případy. Diagonála A uvažována jako kruhový prvek a jako plochý prvek. Pro výpočet jsou použity hodnoty tvarových součinitelů z předcházející kapitoly, 3 Stávající norma.

$$c_{S,I} = \left(c_{IC} - (c_{IC} - c_{f,0,f}) * \left(1 - \frac{X}{I}\right) \right) * \frac{A_f}{A_s} + \left(c_{IC} - (c_{IC} - c_{f,0,c}) * \left(1 - \frac{X}{I}\right) \right) * \frac{A_c}{A_s} + \left(c_{IC} - (c_{IC} - c_{f,0,c,sup}) * \left(1 - \frac{X}{I}\right) \right) * \frac{A_{c,sup}}{A_s} \quad (4.1)$$

$c_{S,I}$ celkový tvarový součinitel holé konstrukce

c_{IC} tvarový součinitel pro maximální námrazu nebo ledovku (c_{ICR9} nebo c_{ICG5})

$$c_{ICR9} = 0,5 * (c_{f,0,f} + c_{f,0,c}) = 0,5 * (1,977 + 1,274) = 1,623$$

X třída uvažované námrazy (v tomto případě $X = 5$)

I maximální třída námrazy nebo ledovky (námraza, $I = 9$, ledovka, $I = 5$)

Diagonála A uvažovaná jako kruhový prvek

$$c_{S,I} = \left(1,623 - (1,623 - 1,977) * \left(1 - \frac{5}{9}\right) \right) * \frac{0,005}{1,421} + \left(1,623 - (1,623 - 1,274) * \left(1 - \frac{5}{9}\right) \right) * \frac{1,416}{1,421} + \left(1,623 - (1,623 - 1,117) * \left(1 - \frac{5}{9}\right) \right) * \frac{0}{1,421} = 1,469$$

Celkový tvarový součinitel konstrukce s námrazou ve výšce 147,750 m nad terénem s uvažováním nárožníku a diagonály A jako kruhové prvky je 1,469.



Diagonála A uvažovaná jako plochý prvek

$$\begin{aligned}c_{S,I} &= \left(1,623 - (1,623 - 1,977) * \left(1 - \frac{5}{9}\right)\right) * \frac{0,573}{1,421} \\ &+ \left(1,623 - (1,623 - 1,274) * \left(1 - \frac{5}{9}\right)\right) * \frac{0,848}{1,421} \\ &+ \left(1,623 - (1,623 - 1,117) * \left(1 - \frac{5}{9}\right)\right) * \frac{0}{1,421} = \mathbf{1,594}\end{aligned}$$

Celkový tvarový součinitel konstrukce s námrazou ve výšce 147,750 m nad terénem s uvažováním nárožníku jako kruhový prvek a diagonály A jako plochý prvek je 1,594.

5 Porovnání

| | Stávající norma | | Draft nové normy | |
|--------------------------------|-----------------|---------|------------------|---------|
| Diagonála A jako kruhový prvek | 1.276 | 100.00% | 1.469 | 115.13% |
| Diagonála A jako plochý prvek | 1.557 | 122.02% | 1.594 | 124.92% |

Tabulka 5.1 Porovnání hodnot tvarových součinitelů

Dle vypočtených hodnot můžeme pozorovat, že u obou norem má velký vliv, jestli uvažujeme diagonálu A jako kruhový nebo plochý prvek. Jelikož není jasně definovaná hranice, mezi těmito stavby, vše záleží na úsudku statika provádějící výpočet.

Dále si můžeme všimnout, že obě hodnoty vypočtené dle draftu nové normy jsou vyšší než hodnoty vypočtené dle stávající normy.

6 Závěr

Z porovnání hodnot v předešlé kapitole je zřejmé, že po vydání nové normy bude ve statických výpočtech zvětšena hodnota zatížení námrazou, což bude mít za následek navrhování robustnějších konstrukcí.

Problém může nastat při návrhu zesílení již stojících stožárů, které byly navrženy na účinky zatížení dle stávající normy [3]. Přepočítáním zatížení působící na stávající konstrukci může být zjištěno, že konstrukce nevyhoví novým požadavkům zatížení [4]. Tento nedostatek v únosnosti bude muset kompenzovat robustnější zesílení konstrukce.



Dynamická analýza kotveného stožáru





2 Postup výpočtu

Metodika vychází ze stochastického přístupu řešení odezvy konstrukce na náhodné zatížení větrem podle Davenporta [7].

Odezva konstrukce, například maximální výchylka, je dělena na střední a flukтуаční část. Střední část je získána jako odezva na střední zatížení větrem. Flukтуаční část je vyjádřena směrodatnou odchylkou a součinitelem maximální hodnoty.

$$u_{max}(z) = u_m(z) + u_{fl}(z) = u_m(z) + k_p * \sigma_u(z) \quad (2.1)$$

Ve vzorci:

$u_{max}(z)$ je maximální výchylka, $u_m(z)$ je výchylka od středního zatížení větrem, $u_{fl}(z)$ je výchylka od flukтуаčního zatížení větrem, $\sigma_u(z)$ je směrodatná odchylka a k_p je součinitel maximální hodnoty, který je podle [1] uvažován hodnotou 3,5

Směrodatná odchylka je dále rozdělena na základní část a rezonanční část.

$$\sigma_u = \sqrt{{}^B\sigma_u^2 + \sum_k {}^R\sigma_{k,u}^2} \quad (2.2)$$

${}^B\sigma_u$ je směrodatná odchylka základní části a ${}^R\sigma_{k,u}$ je směrodatná odchylka rezonanční části k -tého vlastního tvaru

2.1. Základní část odezvy

2.1.1. Teoretická část

Směrodatná odchylka základní části je vypočtena nelineárním statickým výpočtem, který byl již proveden v první části diplomové práce, *Statický výpočet stožáru a výběr optimální varianty kotvení*.

$${}^B\sigma_u = \frac{S_p}{k_s} \quad (2.3)$$

S_p je efektivní účinek náhradních zatížení viz vzorec (5.2) v kapitole 5.4 v části I. *Statický výpočet stožáru a výběr optimální varianty kotvení*. Součinitel k_s je roven 3,5 podle [1]

2.1.2. Výpočet směrodatných odchylek veličin

| PW | Náročník S092 | | | | | | | | |
|------|----------------|-----------------|------------|------------------|----------------|------------|----------------|----------------|------------|
| | Normálová síla | | | Posouvající síla | | | Ohybový moment | | |
| | [kN] | | | [kN] | | | [kNm] | | |
| | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} |
| [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kNm] | |
| 1 | -325,1 | -335,0 | -9,9 | -118,1 | -120,3 | -2,2 | -40,6 | -41,2 | -0,7 |
| 2 | -325,1 | -309,3 | 15,8 | -118,1 | -119,7 | -1,6 | -40,6 | -41,0 | -0,5 |
| 3 | -325,1 | -234,6 | 90,5 | -118,1 | -126,9 | -8,8 | -40,6 | -44,0 | -3,5 |
| 4 | -325,1 | -488,6 | -163,5 | -118,1 | -138,2 | -20,1 | -40,6 | -48,7 | -8,1 |
| 5 | -325,1 | -358,4 | -33,3 | -118,1 | -145,9 | -27,8 | -40,6 | -49,7 | -9,1 |
| 6 | -325,1 | -186,2 | 138,9 | -118,1 | -121,5 | -3,4 | -40,6 | -42,2 | -1,6 |
| 7 | -325,1 | -329,2 | -4,1 | -118,1 | -119,3 | -1,2 | -40,6 | -40,9 | -0,4 |
| 8 | -325,1 | -325,7 | -0,5 | -118,1 | -120,0 | -1,8 | -40,6 | -41,1 | -0,5 |
| 9 | -325,1 | -266,8 | 58,3 | -118,1 | -121,3 | -3,2 | -40,6 | -41,7 | -1,2 |
| 10 | -325,1 | -297,0 | 28,1 | -118,1 | -132,9 | -14,8 | -40,6 | -46,3 | -5,7 |
| 11 | -325,1 | -579,9 | -254,8 | -118,1 | -146,0 | -27,9 | -40,6 | -50,5 | -9,9 |
| 12 | -325,1 | -107,2 | 217,9 | -118,1 | -132,6 | -14,5 | -40,6 | -46,1 | -5,6 |
| | $S_{P,N} =$ | 415,0 kN | | $S_{P,V} =$ | 50,0 kN | | $S_{P,M} =$ | 18,1 kNm | |
| | $^B\sigma_u =$ | 118,6 kN | | $^B\sigma_u =$ | 14,3 kN | | $^B\sigma_u =$ | 5,2 kNm | |

Obrázek 2.1 Směrodatná odchylka základní části pro vnitřní síly náročníku S092

| PW | Náročník S080 | | | | | | | | |
|------|----------------|-----------------|------------|------------------|---------------|------------|----------------|----------------|------------|
| | Normálová síla | | | Posouvající síla | | | Ohybový moment | | |
| | [kN] | | | [kN] | | | [kNm] | | |
| | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} | S_m | S_{PW_i} | S_{PL_i} |
| [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kNm] | |
| 1 | -648,3 | -653,6 | -5,3 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,7 | 1,7 | 0,0 |
| 2 | -648,3 | -602,7 | 45,7 | 1,0 | 0,7 | -0,3 | 1,7 | 1,5 | -0,2 |
| 3 | -648,3 | -667,0 | -18,7 | 1,0 | 1,9 | 0,9 | 1,7 | 1,8 | 0,1 |
| 4 | -648,3 | -1034,7 | -386,4 | 1,0 | 1,8 | 0,8 | 1,7 | 2,5 | 0,8 |
| 5 | -648,3 | -587,7 | 60,6 | 1,0 | 0,2 | -0,8 | 1,7 | 1,5 | -0,2 |
| 6 | -648,3 | -558,7 | 89,6 | 1,0 | 1,2 | 0,2 | 1,7 | 1,4 | -0,3 |
| 7 | -648,3 | -652,8 | -4,5 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,7 | 1,7 | 0,0 |
| 8 | -648,3 | -635,7 | 12,6 | 1,0 | 0,8 | -0,2 | 1,7 | 1,7 | -0,1 |
| 9 | -648,3 | -582,4 | 65,9 | 1,0 | 0,8 | -0,2 | 1,7 | 1,5 | -0,2 |
| 10 | -648,3 | -886,0 | -237,7 | 1,0 | 4,6 | 3,6 | 1,7 | 2,3 | 0,6 |
| 11 | -648,3 | -866,4 | -218,1 | 1,0 | -2,3 | -3,3 | 1,7 | 2,9 | 1,2 |
| 12 | -648,3 | -479,9 | 168,5 | 1,0 | 1,1 | 0,1 | 1,7 | 1,1 | -0,6 |
| | $S_{P,N} =$ | 548,1 kN | | $S_{P,V} =$ | 5,1 kN | | $S_{P,M} =$ | 1,8 kNm | |
| | $^B\sigma_u =$ | 156,6 kN | | $^B\sigma_u =$ | 1,5 kN | | $^B\sigma_u =$ | 0,5 kNm | |

Obrázek 2.2 Směrodatná odchylka základní části pro vnitřní síly náročníku S080



2.2. Rezonanční část odezvy

2.2.1. Teoretická část

Pro výpočet směrodatné odchylky rezonanční části je nutné znát pořadnice a parametr q_k všech vlastních frekvencí. Ze vztahů níže, které popisují postup výpočtů jednodolých veličin je zřejmé, že nemůžeme provést jakékoliv zjednodušení vypočtením hodnot pouze v určitých bodech zájmu konstrukce. Parametr q_k je roven součtu všech hodnot matice, v našem případě o rozměrech 45x45.

$${}^R\sigma_{k,u} = q_k * \Phi_k \quad (2.4)$$

Φ_k je pořadnice k -tého vlastního tvaru, q_k je modální souřadnice k -tého vlastního tvaru

$$q_k = \left(\frac{1}{16\pi^4 * m_k^2 * f_k^4} * \frac{\pi * f_k}{4 * \xi_k} * \sum_i \sum_j \Phi_{k,i} * \Phi_{k,j} * S_{FiFj}(f_k) \right) \quad (2.5)$$

kde m_k je zobecněná hmotnost pro k -tý vlastní tvar, f_k k -tá vlastní frekvence, ξ_k poměrný útlum k -tého vlastního tvaru, $\Phi_{k,i}$ a $\Phi_{k,j}$ jsou pořadnice k -tého vlastního tvaru v bodech i a j , $S_{FiFj}(f_k)$ značí vzájemnou spektrální hustotu flukuačního zatížení větrem bodů i a j

$$S_{FiFj}(f_k) = \rho^2 * v_{m,i} * v_{m,j} * c_{f,i} * c_{f,j} * A_{ref,i} * A_{ref,j} * \chi_i(f_k) * \chi_j(f_k) * \sqrt{S_{vi}(f_k)} * \sqrt{S_{vj}(f_k)} * coh_{i,j}(f_k) \quad (2.6)$$

kde ρ je hustota vzduchu, $v_{m,i}$ a $v_{m,j}$ jsou střední rychlost větru v bodech i a j , $c_{f,i} * A_{ref,i}$ a $c_{f,j} * A_{ref,j}$ značí aerodynamický odpor v bode i a j , $\chi_i(f)$ aerodynamickou admitanci určenou pro návětrnou plochu příslušnou bodu i , $S_{vi}(f)$ představuje výkonovou spektrální hustotu rychlosti větru v bodě i a $coh_{i,j}(f)$ koherenční funkci turbulence pro body i a j

$$S_{v,i}(f_k) = \frac{6,8 * f_L(z, f_1) * \sigma_v^2}{f_k * (1 + 10,2 * f_L(z, f_1))} \quad (2.7)$$

$f_L(z, f_1)$ je bezrozměrná frekvence stanovená pro základní frekvenci konstrukce, σ_v značí směrodatnou odchylku rychlosti větru, f_k je k -tá vlastní frekvence



$$f_L(z, f_1) = \frac{f_1 * L(z)}{v_m(z)} \quad (2.8)$$

f_1 značí základní frekvenci konstrukce, $L(z)$ představuje měřítko délky turbulence (průměrná velikost nárazu větru v přírodě), $v_m(z)$ je střední rychlost větru

$$L(z) = L_t * \left(\frac{z}{z_t}\right)^{0,67+0,05*\ln(z_0)} \quad (2.9)$$

L_t je referenční měřítko délky rovno 300 m, z_t představuje referenční výšku rovnu 200 m a z_0 je parametr drsnosti terénu viz kapitola 4.3.1

$$\chi_i(f) = R_h(\eta_h) * R_b(\eta_b) \quad (2.10)$$

$$R_h(\eta_h) = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 * \eta_h^2} * (1 - e^{-2\eta_h}) \quad (2.11)$$

$$R_b(\eta_b) = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 * \eta_b^2} * (1 - e^{-2\eta_b}) \quad (2.12)$$

$$\eta_h(z, f_1) = \frac{4,6 * h}{L(z)} * f_L(z, f_1) \quad (2.13)$$

$$\eta_b(z, f_1) = \frac{4,6 * b}{L(z)} * f_L(z, f_1) \quad (2.14)$$

$R_h(\eta_h)$ značí aerodynamickou admitanci závislou na výšce panelu a $R_b(\eta_b)$ naopak vyjadřuje aerodynamickou admitanci závislou na šířce panelu

$$coh_{i,j}(f) = \exp\left(-\frac{f * \sqrt{C_z^2 * (z_i - z_j)^2}}{\frac{1}{2} * (v_m(z_i) + v_m(z_j))}\right) \quad (2.15)$$

C_z je součinitel svíslého exponenciálního poklesu. Podle [1] je jeho hodnota uvažována 11,5. $v_m(z_i)$ respektive $v_m(z_j)$ jsou střední rychlosti větru v bodech i a j

$$\delta_k = \delta_s + \delta_{a,k} + \delta_{d,k} \quad (2.16)$$

celkový logaritmický dekrement, δ_k k-té vlastní frekvence je vyjádřen součtem konstrukčního útlumu δ_s , aerodynamického útlumu k-té vlastní frekvence, $\delta_{a,k}$ a útlumem zvláštních zařízení, $\delta_{d,k}$



$$\delta_{a,i} = \frac{\rho * \int_H c_f(z) * A_{ref}(z) * v_m(z) * \Phi_i^2(z) dz}{2 * f_k * \int_H m_k(z) * \Phi_i^2(z) dz} \quad (2.17)$$

2.2.2. Výpočet

Pro získání vlastních tvarů, vlastních frekvencí a zobecněných hmot byl použit výpočetní software GMAST vyvinutý Ing. S. Hračovem, Ph.D. a doc. Ing. S. Pospíšilem, Ph.D. z Ústavu teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd České republiky.

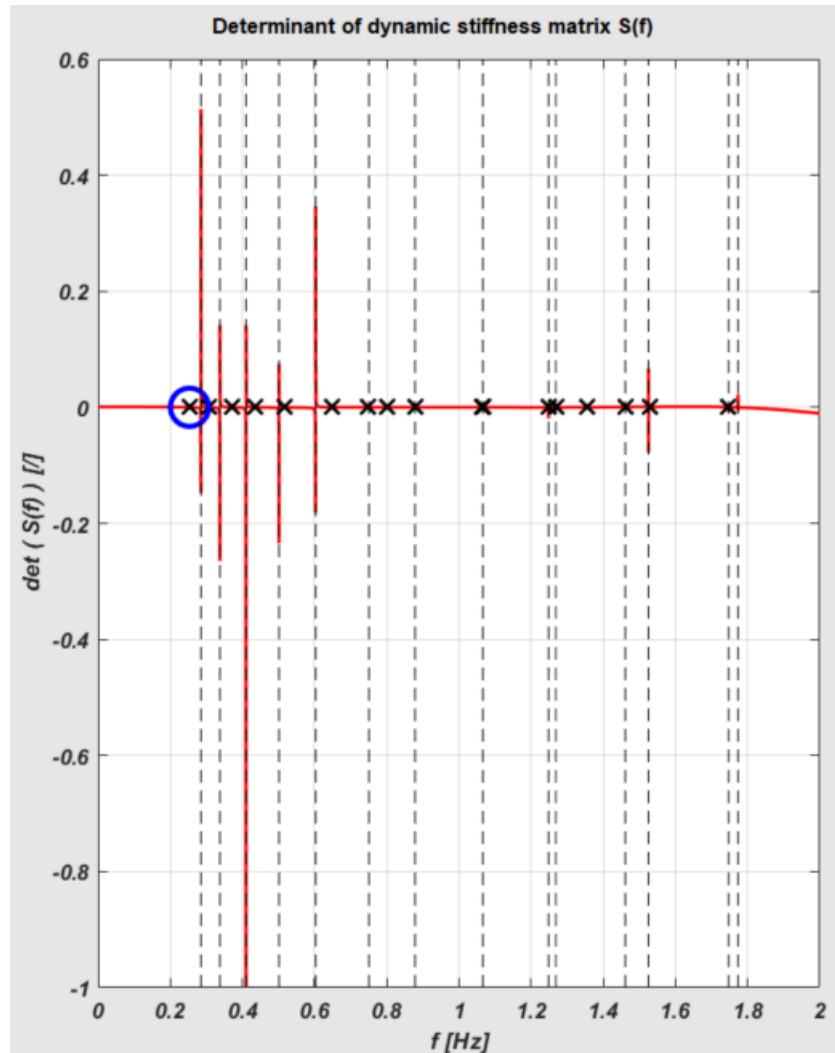
Výsledky výpočtu v programu GMAST

Byla provedena analýza konstrukce v rozsahu vlastních frekvencí 0,0 Hz až 2,0 Hz, což je rozmezí, ve kterém kotvené stožáry kmitají.

| n. | f [Hz] | Meff_shaft [kg] | Meff_ropes [kg] |
|----|---------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0.25348 | 9317.89 | 123270 |
| 2 | 0.30679 | 670046 | 1.37668e+07 |
| 3 | 0.37099 | 194334 | 3.05832e+06 |
| 4 | 0.4369 | 1.3041e+07 | 2.06148e+08 |
| 5 | 0.5163 | 2.71531e+06 | 5.61611e+07 |
| 6 | 0.64945 | 9873.86 | 814.893 |
| 7 | 0.74862 | 22934 | 528855 |
| 8 | 0.79998 | 37677.3 | 3240.69 |
| 9 | 0.87784 | 1.87821e+09 | 6.33825e+10 |
| 10 | 1.0649 | 22123.1 | 12245.4 |
| 11 | 1.0692 | 25475.1 | 3900.52 |
| 12 | 1.248 | 10689.9 | 2.407e+07 |
| 13 | 1.2695 | 15035.9 | 436880 |
| 14 | 1.3568 | 34760.1 | 2913.69 |
| 15 | 1.4604 | 24844.7 | 2.23894e+07 |
| 16 | 1.5294 | 22477.1 | 353044 |
| 17 | 1.7472 | 6.38208e+06 | 4.74613e+10 |

Obrázek 2.3 Vlastní frekvence, zobecněné hmotnosti dřívku a kotevních lan

V softwaru je vypočten determinant dynamické matice tuhosti, na jehož základě jsou vyhodnoceny vlastní frekvence konstrukce. Determinant se mění v závislosti na vstupní frekvenci. A pokud je determinant roven nule, je vstupní frekvence jedna z vlastních frekvencí. V tomto případě bylo nalezeno 17 vlastních tvarů v rozmezí 0 až 2 Hz.



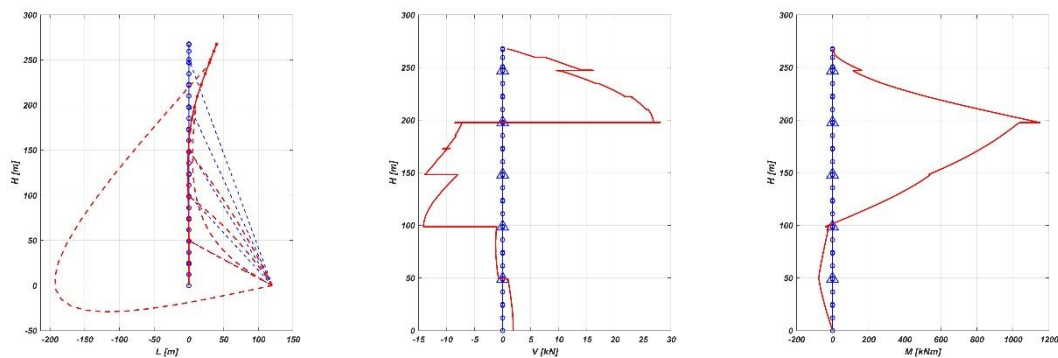
Obrázek 2.4 Průběh determinantu dynamické matice tuhosti v rozmezí 0 až 2 Hz

Přehled vlastních tvarů

Je nutné podotknout, že i přesto, že se ve výsledcích níže objevují konkrétní jednotky, hodnoty těchto veličin neodpovídají reálným hodnotám na konstrukci. Výstupy z programu GMAST jsou normované zobecněnými hmotnostmi. Není tedy podstatná jejich absolutní hodnota, nýbrž jejich vzájemný poměr.

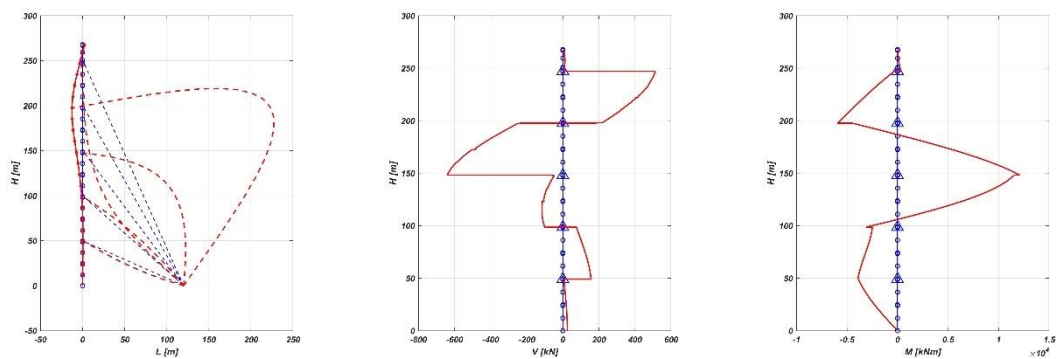
V grafech níže můžeme vidět průběhy vlastních tvarů a jim příslušných posouvajících sil a ohybových momentů.

1. vlastní tvar



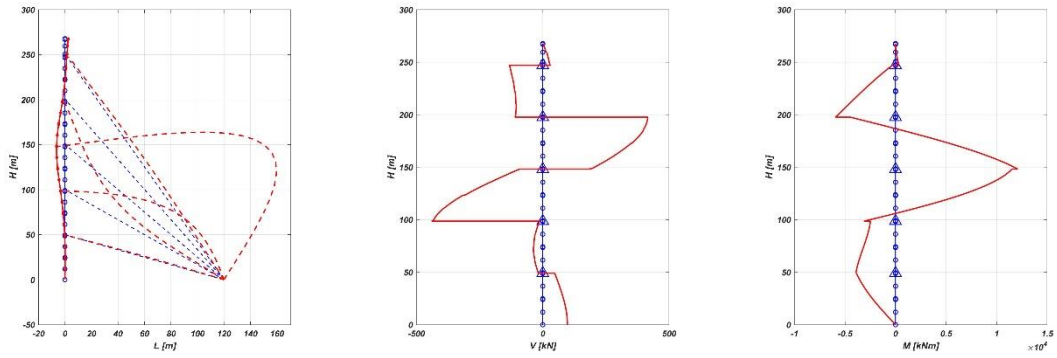
Obrázek 2.5 Vlastní tvar č.1 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

2. vlastní tvar



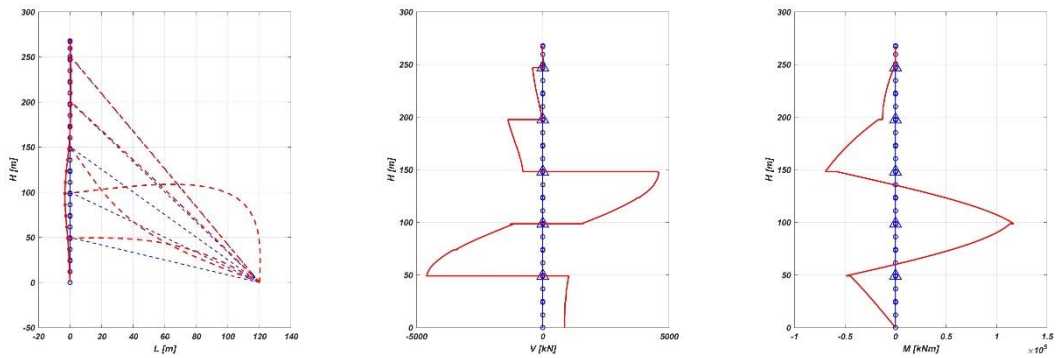
Obrázek 2.6 Vlastní tvar č.2 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

3. vlastní tvar



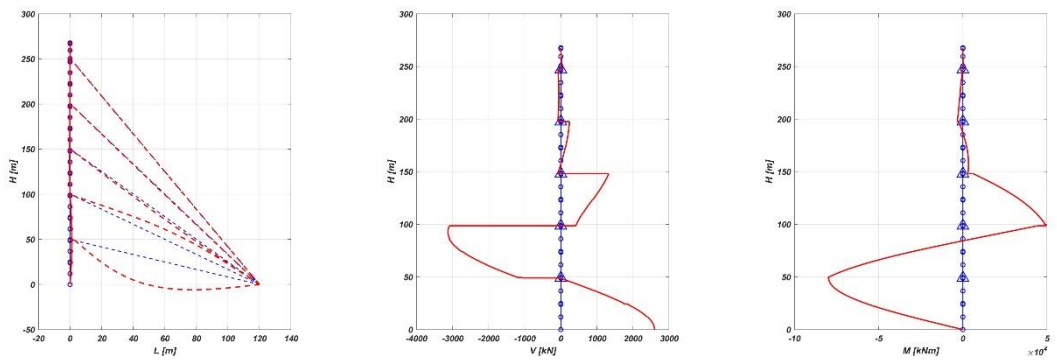
Obrázek 2.7 Vlastní tvar č.3 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

4. vlastní tvar



Obrázek 2.8 Vlastní tvar č.4 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

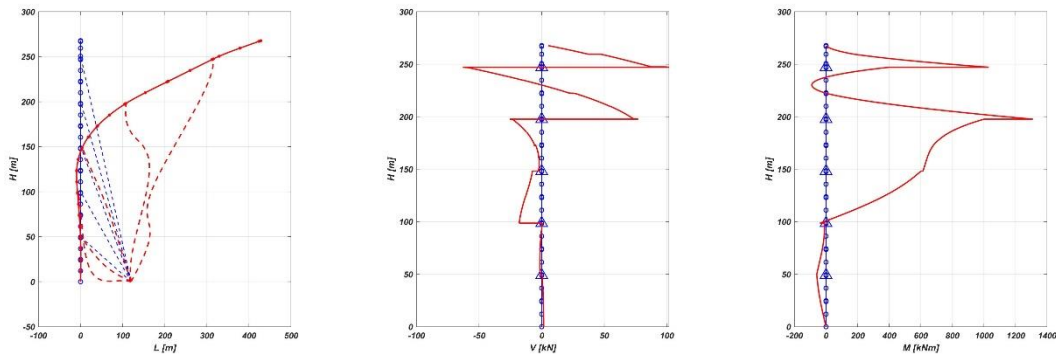
5. vlastní tvar



Obrázek 2.9 Vlastní tvar č.5 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

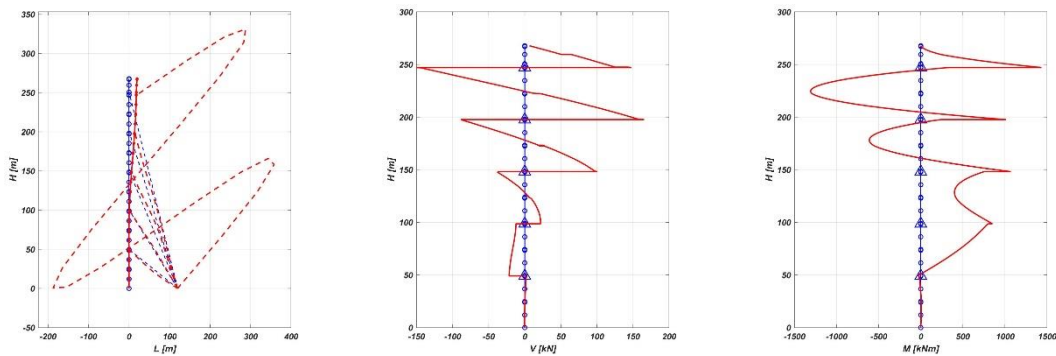


6. vlastní tvar



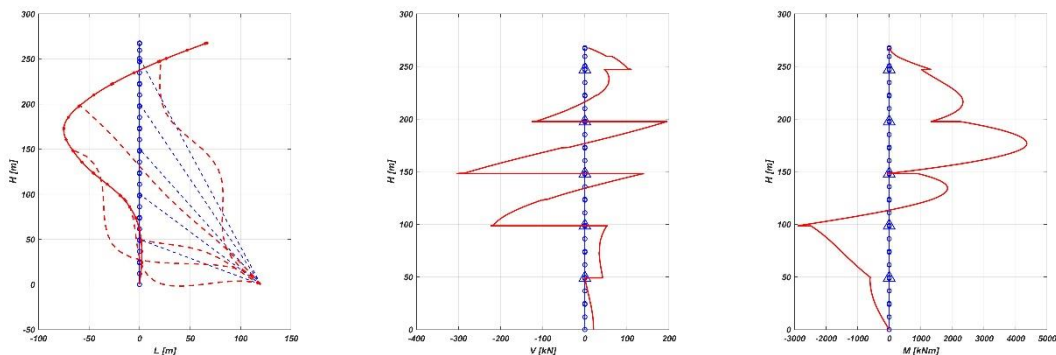
Obrázek 2.10 Vlastní tvar č.6 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

7. vlastní tvar



Obrázek 2.11 Vlastní tvar č.7 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

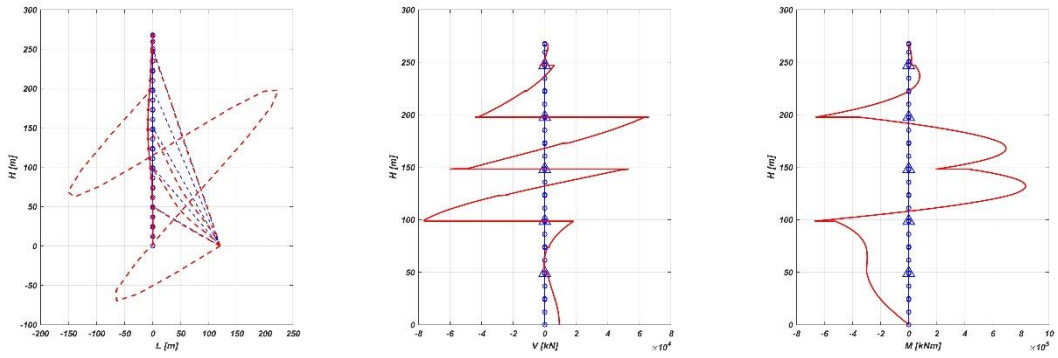
8. vlastní tvar



Obrázek 2.12 Vlastní tvar č.8 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

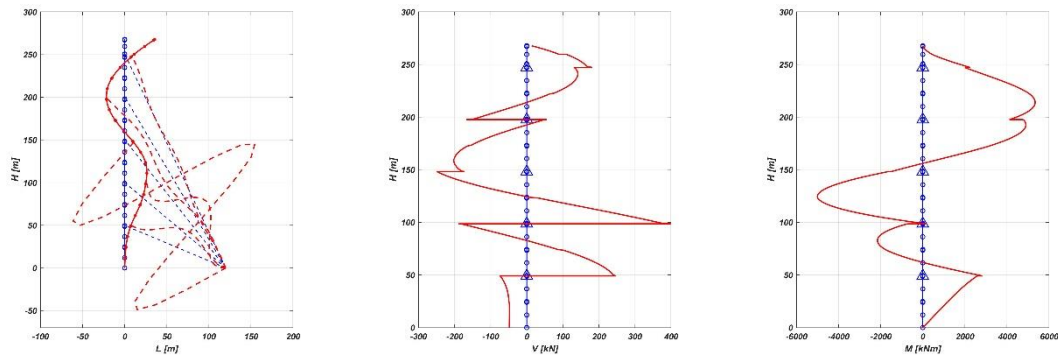


9. vlastní tvar



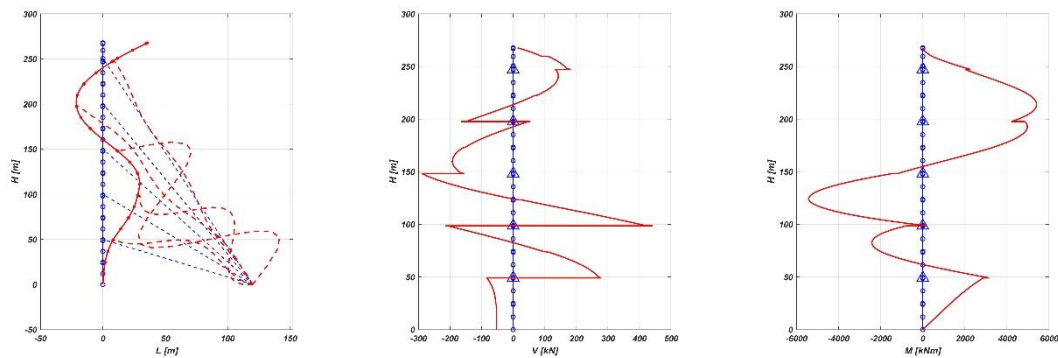
Obrázek 2.13 Vlastní tvar č.9 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

10. vlastní tvar



Obrázek 2.14 Vlastní tvar č.10 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

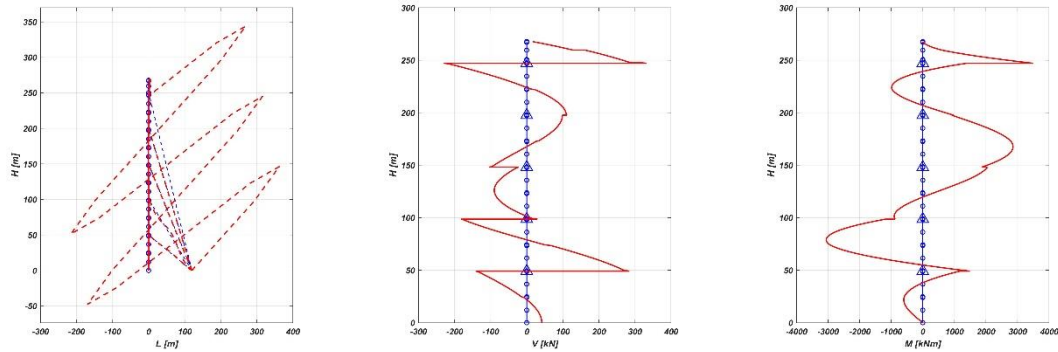
11. vlastní tvar



Obrázek 2.15 Vlastní tvar č.11 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

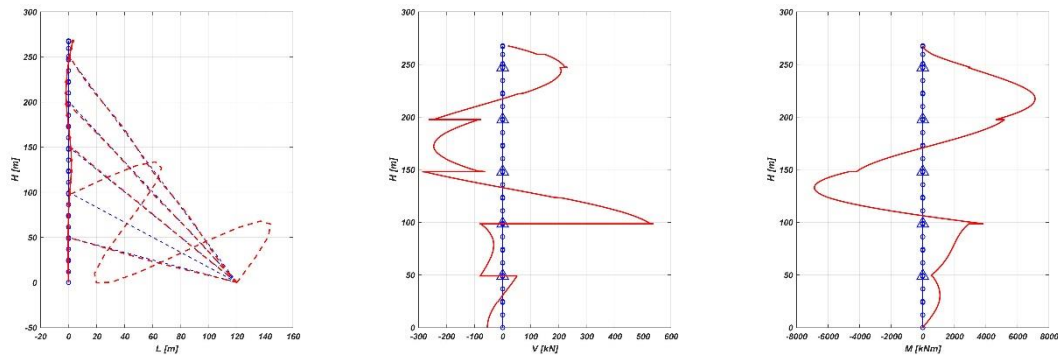


12. vlastní tvar



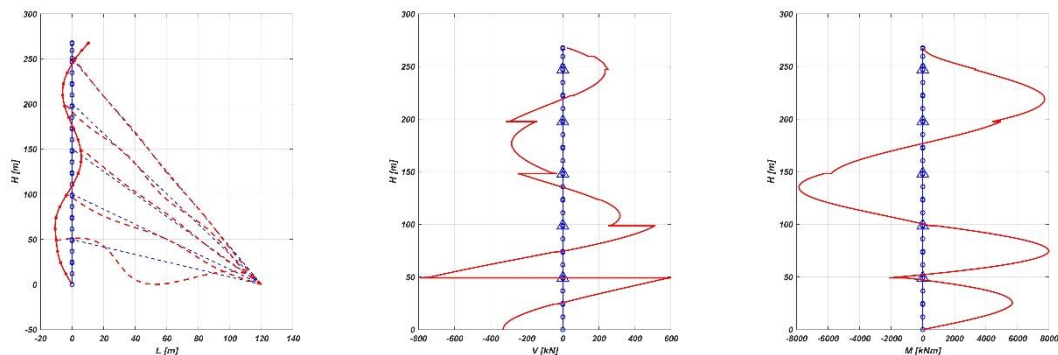
Obrázek 2.16 Vlastní tvar č.12 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

13. vlastní tvar



Obrázek 2.17 Vlastní tvar č.13 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

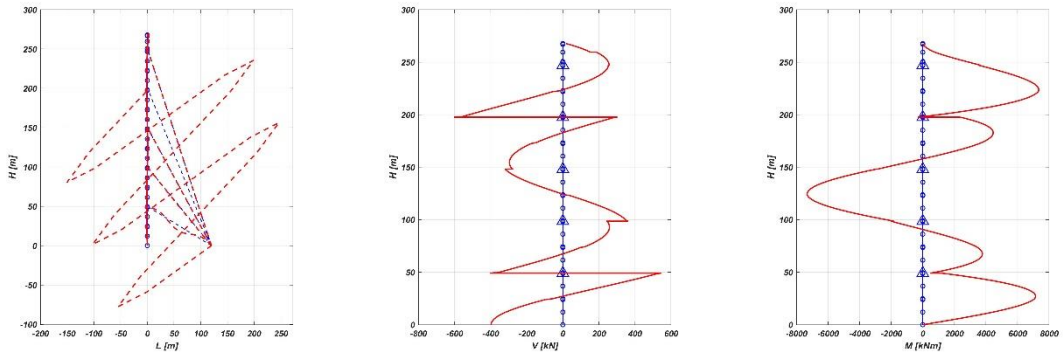
14. vlastní tvar



Obrázek 2.18 Vlastní tvar č.14 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

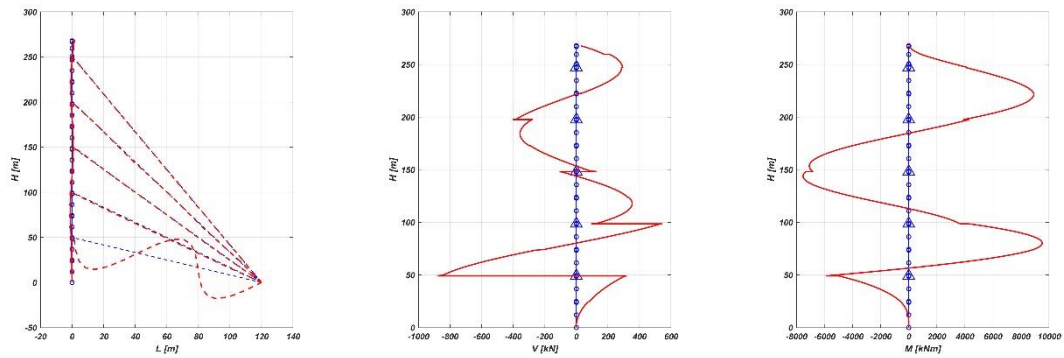


15. vlastní tvar



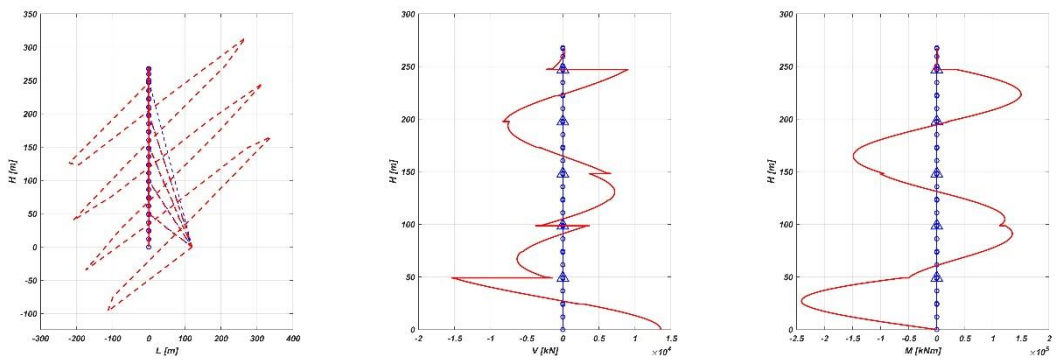
Obrázek 2.19 Vlastní tvar č.15 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

16. vlastní tvar



Obrázek 2.20 Vlastní tvar č.16 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

17. vlastní tvar



Obrázek 2.21 Vlastní tvar č.17 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)

Útlum

Pro výpočet útlumu a spektrální analýzu byl liniový model dříku stožáru převeden na uzlový model.

| Číslo horního bodu pole | Výška horního bodu | Celkové návětrné plochy v bodech | Střední rychlost větru | Hmotnost v uzlech |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------|
| | z | $c_f \times A_{ref}$ | $v_m(z)$ | $m(z)$ |
| | [m] | [m ²] | [m/s] | [kg] |
| 45 | 267,75 | 3,34 | 40,78 | 393,19 |
| 44 | 267 | 8,09 | 40,77 | 1025,06 |
| 43 | 259,5 | 22,92 | 40,63 | 2700,11 |
| 42 | 250,5 | 15,17 | 40,47 | 1498,14 |
| 41 | 247,5 | 7,02 | 40,41 | 1379,43 |
| 40 | 247,125 | 3,19 | 40,40 | 314,08 |
| 39 | 246,75 | 16,54 | 40,39 | 2135,53 |
| 38 | 234,75 | 31,52 | 40,16 | 3941,99 |
| 37 | 222,75 | 16,54 | 39,91 | 2135,53 |
| 36 | 222,375 | 1,56 | 39,90 | 329,08 |
| 35 | 222 | 16,54 | 39,89 | 2135,53 |
| 34 | 210 | 31,52 | 39,63 | 3941,99 |
| 33 | 198 | 19,66 | 39,35 | 2485,53 |
| 32 | 197,625 | 3,31 | 39,34 | 329,08 |
| 31 | 197,25 | 16,54 | 39,33 | 2135,53 |
| 30 | 185,25 | 31,52 | 39,03 | 3941,99 |
| 29 | 173,25 | 16,54 | 38,71 | 2135,53 |
| 28 | 172,875 | 1,56 | 38,70 | 329,08 |
| 27 | 172,5 | 16,54 | 38,69 | 2135,53 |
| 26 | 160,5 | 31,52 | 38,35 | 3941,99 |
| 25 | 148,5 | 19,68 | 37,98 | 2485,53 |
| 24 | 148,125 | 3,66 | 37,97 | 344,08 |
| 23 | 147,75 | 26,87 | 37,96 | 2630,53 |
| 22 | 135,75 | 51,51 | 37,56 | 4901,99 |
| 21 | 123,75 | 26,87 | 37,12 | 2630,53 |
| 20 | 123,375 | 2,22 | 37,10 | 359,08 |
| 19 | 123 | 26,87 | 37,09 | 2630,53 |
| 18 | 111 | 51,51 | 36,60 | 4901,99 |
| 17 | 99 | 29,99 | 36,06 | 2980,53 |
| 16 | 98,625 | 3,84 | 36,04 | 351,58 |
| 15 | 98,25 | 22,54 | 36,02 | 2383,03 |
| 14 | 86,25 | 43,11 | 35,40 | 4421,99 |
| 13 | 74,25 | 22,54 | 34,69 | 2383,03 |
| 12 | 73,875 | 1,96 | 34,67 | 344,08 |
| 11 | 73,5 | 22,54 | 34,64 | 2383,03 |
| 10 | 61,5 | 43,11 | 33,80 | 4421,99 |
| 9 | 49,5 | 25,66 | 32,76 | 2733,03 |
| 8 | 49,125 | 3,71 | 32,73 | 344,08 |
| 7 | 48,75 | 22,54 | 32,69 | 2383,03 |
| 6 | 36,75 | 43,11 | 31,35 | 4421,99 |
| 5 | 24,75 | 22,54 | 29,47 | 2383,03 |
| 4 | 24,375 | 1,96 | 29,40 | 344,08 |
| 3 | 24 | 22,54 | 29,33 | 2383,03 |
| 2 | 12 | 43,11 | 26,03 | 4421,99 |
| 1 | 0 | 21,55 | 0,00 | 2210,99 |

Tabulka 2.1 Uzlový model dříku stožáru



| | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Číslo vlastního tvaru | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Vlastní frekvence f_k [Hz] | 0,253 | 0,307 | 0,371 | 0,437 | 0,516 | 0,649 | 0,749 | 0,800 | 0,878 |
| Log. dekr. Konstr. útlum celé konstrukce | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| Log. dekr. aero. útlumu dřívku stožáru | 0,016 | 0,006 | 0,006 | 0,005 | 0,003 | 0,078 | 0,003 | 0,046 | 0,001 |
| Log. dekr. aero. útlumu kotevních lan | 0,148 | 0,163 | 0,250 | 0,235 | 0,176 | 0,173 | 0,148 | 0,236 | 0,159 |
| Log. dekr. aero. útlumu zvláštních zařízení | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Celkový log. dekr. Útlumu | 0,194 | 0,199 | 0,286 | 0,270 | 0,209 | 0,282 | 0,181 | 0,313 | 0,191 |

Obrázek 2.22 Log. dekrement útlumu pro jednotlivé vlastní tvary – část 1

| | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Číslo vlastního tvaru | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Vlastní frekvence f_k [Hz] | 1,065 | 1,069 | 1,248 | 1,270 | 1,357 | 1,460 | 1,529 | 1,747 |
| Log. dekr. Konstr. útlum celé konstrukce | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| Log. dekr. aero. útlumu dřívku stožáru | 0,025 | 0,032 | 0,000 | 0,001 | 0,026 | 0,000 | 0,002 | 0,000 |
| Log. dekr. aero. útlumu kotevních lan | 0,255 | 0,244 | 0,148 | 0,237 | 0,177 | 0,159 | 0,167 | 0,148 |
| Log. dekr. aero. útlumu zvláštních zařízení | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Celkový log. dekr. Útlumu | 0,309 | 0,306 | 0,178 | 0,268 | 0,233 | 0,189 | 0,198 | 0,178 |

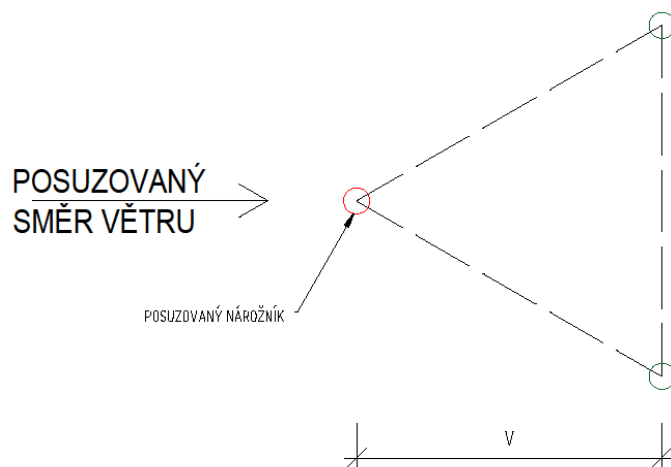
Obrázek 2.23 Log. dekrement útlumu pro jednotlivé vlastní tvary – část 1

Rezonanční směrodatná odchylka

| Č. vlastní frekvence | Posun ve vrcholu [mm] | N28 | | N32 | |
|----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | V | M | V | M |
| | | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] |
| 1 | 23,0 | -0,247 | 18,942 | -0,197 | 23,766 |
| 2 | 1,2 | -0,594 | 13,328 | -0,292 | 24,795 |
| 3 | 1,9 | 0,650 | 9,758 | 0,770 | -8,263 |
| 4 | 0,2 | -0,172 | -7,728 | -0,226 | -2,773 |
| 5 | 0,2 | 0,023 | 0,447 | 0,046 | -0,464 |
| 6 | 27,5 | -0,170 | 18,737 | -0,700 | 27,558 |
| 7 | 0,8 | 0,015 | -0,426 | -0,068 | 0,181 |
| 8 | 9,8 | -0,479 | 41,840 | 1,918 | 22,061 |
| 9 | 0,0 | 0,019 | 1,020 | 0,101 | -0,535 |
| 10 | 5,3 | -0,839 | 16,915 | 0,290 | 25,100 |
| 11 | 6,7 | -1,047 | 22,081 | 0,357 | 32,494 |
| 12 | 0,0 | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 0,004 |
| 13 | 0,2 | -0,059 | 0,124 | -0,019 | 1,248 |
| 14 | 4,0 | -1,116 | -4,437 | -0,573 | 19,812 |
| 15 | 0,0 | -0,001 | 0,019 | 0,002 | 0,012 |
| 16 | 0,3 | -0,081 | -1,093 | -0,076 | 1,178 |
| 17 | 0,0 | 0,000 | -0,004 | 0,000 | 0,001 |

Obrázek 2.24 Směrodatné odchylky rezonanční části sledovaných veličin

Nyní jsou vypočteny směrodatné odchylky rezonanční části pro jednotlivé vlastní tvary podle vzorce (2.4), ovšem tyto hodnoty se vztahují k uzlu dřívku, nikoliv k samotnému prvku konstrukce. Proto budou tyto hodnoty převedeny na vnitřní síly v prvcích podle jednoduchého schématu níže.



Obrázek 2.25 Posuzované prvky

$$V_{prvek} = \frac{V_{celkem}}{3}$$

$$N_{prvek} = \frac{M_{celkem}}{v}$$

| Č. vlastní frekvence | Náročník S080 | | Náročník S092 | |
|----------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | V | N _M | V | N _M |
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] |
| 1 | -0,082 | 7,291 | -0,066 | 9,148 |
| 2 | -0,198 | 5,130 | -0,097 | 9,544 |
| 3 | 0,217 | 3,756 | 0,257 | -3,181 |
| 4 | -0,057 | -2,974 | -0,075 | -1,067 |
| 5 | 0,008 | 0,172 | 0,015 | -0,179 |
| 6 | -0,057 | 7,212 | -0,233 | 10,607 |
| 7 | 0,005 | -0,164 | -0,023 | 0,070 |
| 8 | -0,160 | 16,104 | 0,639 | 8,491 |
| 9 | 0,006 | 0,393 | 0,034 | -0,206 |
| 10 | -0,280 | 6,511 | 0,097 | 9,661 |
| 11 | -0,349 | 8,499 | 0,119 | 12,507 |
| 12 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,001 |
| 13 | -0,020 | 0,048 | -0,006 | 0,480 |
| 14 | -0,372 | -1,708 | -0,191 | 7,626 |
| 15 | 0,000 | 0,007 | 0,001 | 0,005 |
| 16 | -0,027 | -0,421 | -0,025 | 0,453 |
| 17 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,000 |

Tabulka 2.2 Směrodatné odchylky rezonanční části sledovaných prvků

2.3. Celkové účinky od zatížení

Nyní jsou pomocí vzorců (2.1) a (2.2) dopočteny celkové účinky na zkoumané prvky.

| Posun vrcholu | Náročník S080 | | | Náročník S092 | | |
|------------------|---------------|-------|----------------|---------------|--------|----------------|
| | N | V | N _M | N | V | N _M |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 786,987 | -548,083 | 4,858 | 80,744 | -415,030 | 13,505 | 91,552 |

Tabulka 2.3 Účinky od flukтуаčního zatížení

| Posun vrcholu | Náročník S080 | | | Náročník S092 | | |
|------------------|---------------|-------|----------------|---------------|---------|----------------|
| | N | V | N _M | N | V | N _M |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 1572,887 | -1196,412 | 5,859 | 82,459 | -740,145 | 131,625 | 132,121 |

Tabulka 2.4 Účinky od středního a flukтуаčního zatížení

| Náročník S080 | | Náročník S092 | |
|---------------|-------|---------------|---------|
| N | V | N | V |
| [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| -1113,953 | 5,859 | -608,024 | 131,625 |

Tabulka 2.5 Výsledné normálové a posouvající síly ve zkoumaných prvcích

Posouzení

| Náročník | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|--|----------------------------------|--|--|
| | <p>Norma EN 1993-1-1/Česko</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 219.1 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 6,569E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 109,6 \text{ mm}$ $z_T = 109,6 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 3,598E07 \text{ mm}^4$ $I_z = 3,598E07 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 3,285E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -3,285E05 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 7,197E07 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 4,376E05 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 4,376E05 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Zat. případ 1</p> <table> <tr> <td>$N = -1114,000 \text{ kN}$</td> <td>$M_y = 0,000 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_z = 6,000 \text{ kN}$</td> <td>$M_z = 0,000 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_y = 0,000 \text{ kN}$</td> <td>$B = 0,000 \text{ kNm}^2$</td> </tr> <tr> <td>$T_t = 0,000 \text{ kNm}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$T_{\alpha} = 0,000 \text{ kNm}$</td> <td></td> </tr> </table> | $N = -1114,000 \text{ kN}$ | $M_y = 0,000 \text{ kNm}$ | $V_z = 6,000 \text{ kN}$ | $M_z = 0,000 \text{ kNm}$ | $V_y = 0,000 \text{ kN}$ | $B = 0,000 \text{ kNm}^2$ | $T_t = 0,000 \text{ kNm}$ | | $T_{\alpha} = 0,000 \text{ kNm}$ | | |
| $N = -1114,000 \text{ kN}$ | $M_y = 0,000 \text{ kNm}$ | | | | | | | | | | |
| $V_z = 6,000 \text{ kN}$ | $M_z = 0,000 \text{ kNm}$ | | | | | | | | | | |
| $V_y = 0,000 \text{ kN}$ | $B = 0,000 \text{ kNm}^2$ | | | | | | | | | | |
| $T_t = 0,000 \text{ kNm}$ | | | | | | | | | | | |
| $T_{\alpha} = 0,000 \text{ kNm}$ | | | | | | | | | | | |
| <p>Parametry vzpěru Délka dílce: 3,000 m</p> <table> <tr> <td>$L_z = 3,000 \text{ m}$</td> <td>$k_z = 1,000$</td> <td>$L_{cr,z} = 3,000 \text{ m}$</td> </tr> <tr> <td>$L_y = 3,000 \text{ m}$</td> <td>$k_y = 1,000$</td> <td>$L_{cr,y} = 3,000 \text{ m}$</td> </tr> </table> | $L_z = 3,000 \text{ m}$ | $k_z = 1,000$ | $L_{cr,z} = 3,000 \text{ m}$ | $L_y = 3,000 \text{ m}$ | $k_y = 1,000$ | $L_{cr,y} = 3,000 \text{ m}$ | | | | | |
| $L_z = 3,000 \text{ m}$ | $k_z = 1,000$ | $L_{cr,z} = 3,000 \text{ m}$ | | | | | | | | | |
| $L_y = 3,000 \text{ m}$ | $k_y = 1,000$ | $L_{cr,y} = 3,000 \text{ m}$ | | | | | | | | | |
| <p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 1; Třída průřezu: 1 Posudek smyku od posouvající síly V_z: $6,000 \text{ kN} < 673,196 \text{ kN}$ Vyhovuje Vnitřní síly: $N = -1114,000 \text{ kN}$; $M_y = 0,000 \text{ kNm}$; $M_z = 0,000 \text{ kNm}$ Posudek nejnepříznivější kombinace vzpěrného tlaku a ohybu: Vzpěr Y: Únosnosti: $N_R = -2132,713 \text{ kN}$ $0,522 + 0,000 + 0,000 = 0,522 < 1$ Vyhovuje Vzpěr Z: Únosnosti: $N_R = -2132,713 \text{ kN}$ $0,522 + 0,000 + 0,000 = 0,522 < 1$ Vyhovuje Stěhlost dílce: 40,5</p> <p>Průřez vyhovuje</p> | | | | | | | | | | | |
| VYHOVUJE | | | | | | | | | | | |

Obrázek 2.26 Posouzení zkoumaných prvků



3 Závěr

Z dynamické odezvy konstrukce byl stanoven posun vrcholu dříku od střední a flukтуаční složky zatížení větrem v hodnotě 1573 mm.

Dále byly stanoveny hodnoty normálové a posouvající síly v nárožnicích ve 4. kotevních úrovních a uprostřed mezi 4. a 3. kotevních úrovních. Dva sledované prvky byly dále posouzeny na vzpěr a vyhověly na 28,5 % a 52,2 %. Tyto hodnoty značí velké předimenzování konstrukce. V praxi by po tomto kroku následovala úprava konstrukce a její přepočítání. V rámci diplomové práce již tato praktická část není prováděna.



Závěr

V závěru celé diplomové práce jsou zhodnoceny jednotlivé části.

I. Statický výpočet kotveného stožáru a výběr optimální varianty uložení v patě dříku

V této části nebylo nic záludného. Překvapující však byl počet nutných zatěžovacích stavů pro výpočet zatížení větrem. V tomto případě to znamenalo vytvořit 12 zatěžovacích stavů od zatížení větrem pro 1 směr větru. V praxi by se vyšetřovalo 6 směrů působení větru. Jako vítězná varianta byl vybrán kloubově uložený dřík stožáru.

II. Technická zpráva k optimální variantě

Technická zpráva byla tvořena na úrovni DSP, tedy Dokumentace pro stavební povolení. Najdeme zde základní údaje o dispozici, dimenzích a použitém materiálu. V dalším stupni dokumentace by bylo zajímavé rozpracovat podrobný postup výstavby. U takto náročných staveb, jako jsou kotvené stožáry, je klíčové tuto část návrhu nezanedbat.

III. Porovnání vlivu námrazy podle stávající a připravované evropské normy

V této kapitole byly porovnány vlivy námraz podle stávající a připravované evropské normy. Není překvapující, že připravovaná norma vychází hůře, tedy zatížení námrazou je vyšší než u stávající normy. Tato skutečnost může hrát zásadní roli v zesilování již stojících konstrukcí.

IV. Dynamická analýza kotveného stožáru

V poslední a nejnáročnější části byla provedena analýza dynamické odezvy konstrukce na zatížení větrem. Pro výpočet odezvy konstrukce na střední a základní část flukтуаčního zatížení větrem byl použit 3D prutový model v programu SCIA Engineer. Pro rezonanční část flukтуаčního zatížení větrem byl použit program GMAST a na následné zpracování celkových a doplňujících výsledků, tabulkový software Microsoft Excel. Tuto kombinaci použitých programů jsem shledal velmi neefektivní (ať už jde o sdílení dat mezi programy či rozdílný přístup k výpočtu).



Pro budoucí výpočty kotvených stožárů bych doporučil použití specializovaných programů, které budou schopny celou dynamickou odezvu provést samostatně, nezávisle na ostatních programech.



Použitá literatura, normy a podklady

- [1] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem, duben 2013
- [2] ČSN EN 1993-3-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry, září 2008
- [3] ČSN ISO 12494 – Zatížení konstrukcí námrazou, duben 2010
- [4] Draft připravované normy EN 1991-1-4 Wind Actions
- [5] Lahodný, J.: Privátní konzultace. Excon, a.s.
- [6] LAHODNÝ, Jiří. Statická a dynamická analýza stožárů při zatížení větrem. Praha, září 2010. Dizertační práce. ČVUT FSV, obor Konstrukce a dopravní stavby. Školitel práce prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
- [7] Metodika výpočtu odezvy štíhlých konstrukcí na zatížení větrem,
- [8] Stožár Křešín u Pacova – Statický výpočet. Praha, červenec 2012. Vypracoval: Ing. Jiří Lahodný, Ph.D.
- [9] SCIA Engineer verze 20.0, 2020
- [10] GMAST 2.0



Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 2.1 Schéma a návrh dimenzí dříku stožáru | 10 |
| Obrázek 2.2 Půdorysné schéma kotevních lan | 11 |
| Obrázek 2.3 Schéma kotevního dílu..... | 11 |
| Obrázek 4.1 Mapa větrných oblastí ČR [1]..... | 18 |
| Obrázek 4.2 Vztah mezi úhlem působení větru a součinitelem úhlu náběhu | 30 |
| Obrázek 4.3 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +0,000m a +98,625m | 31 |
| Obrázek 4.4 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +98,625m a +148,125m | 31 |
| Obrázek 4.5 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +148,125m a +247,125m | 32 |
| Obrázek 4.6 Schéma příslušenství mezi úrovněmi +247,125m a +267,750m | 32 |
| Obrázek 4.7 Posuzovaný směr působení větru | 45 |
| Obrázek 4.8 Náhradní zatížení lan [2] | 52 |
| Obrázek 5.1 Numerický model – axonometrie | 55 |
| Obrázek 5.2 Kotevní úroveň – 1D pruty..... | 56 |
| Obrázek 5.3 Kotevní úroveň – rendrovaná geometrie | 56 |
| Obrázek 5.4 Podpora kotevních lan | 57 |
| Obrázek 5.5 Vetknutí dříku | 57 |
| Obrázek 5.6 Kloubové uložení dříku | 57 |
| Obrázek 5.7 Nastavení sítě..... | 58 |
| Obrázek 5.8 Nastavení řešiče..... | 59 |
| Obrázek 5.9 Průběh nelineárního výpočtu | 59 |
| Obrázek 5.10 Nárožník – průřezové a materiálové charakteristiky | 60 |
| Obrázek 5.11 Diagonála A – průřezové a materiálové charakteristiky | 60 |
| Obrázek 5.12 Diagonála B – průřezové a materiálové charakteristiky | 61 |
| Obrázek 5.13 Horizontála – průřezové a materiálové charakteristiky | 61 |



| | |
|---|----|
| Obrázek 5.14 Průběh napětí na nárožníku od zatížení větrem | 64 |
| Obrázek 5.15 Detail na spodní část průběhu napětí na nárožníku od zatížení větrem | 65 |
| Obrázek 2.1 Schéma a návrh dimenzí prvků dříku stožáru | 68 |
| Obrázek 2.2 Schéma kotevního dílu | 69 |
| Obrázek 2.3 Půdorysné schéma kotevních lan..... | 69 |
| Obrázek 2.1 Mapa tříd námrazy..... | 76 |
| Obrázek 2.2 Proměnnost námrazy s výškou nad terénem..... | 78 |
| Obrázek 2.3 Tvoření námrazy na kruhovém průřezu [3] | 78 |
| Obrázek 2.4 Námraza – nárožník | 79 |
| Obrázek 2.5 Námraza – diagonála A | 80 |
| Obrázek 1.1 Schéma konstrukce – výběr posuzovaných prvků | 85 |
| Obrázek 2.1 Směrodatná odchylka základní části pro vnitřní síly nárožníku S092 | 87 |
| Obrázek 2.2 Směrodatná odchylka základní části pro vnitřní síly nárožníku S080 | 87 |
| Obrázek 2.3 Vlastní frekvence, zobecněné hmotnosti dříku a kotevních lan | 90 |
| Obrázek 2.4 Průběh determinantu dynamické matice tuhosti v rozmezí 0 až 2 Hz | 91 |
| Obrázek 2.5 Vlastní tvar č.1 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)..... | 92 |
| Obrázek 2.6 Vlastní tvar č.2 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)..... | 92 |
| Obrázek 2.7 Vlastní tvar č.3 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)..... | 93 |
| Obrázek 2.8 Vlastní tvar č.4 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)..... | 93 |
| Obrázek 2.9 Vlastní tvar č.5 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo)..... | 93 |



| | |
|--|-----|
| Obrázek 2.10 Vlastní tvar č.6 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 94 |
| Obrázek 2.11 Vlastní tvar č.7 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 94 |
| Obrázek 2.12 Vlastní tvar č.8 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 94 |
| Obrázek 2.13 Vlastní tvar č.9 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 95 |
| Obrázek 2.14 Vlastní tvar č.10 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 95 |
| Obrázek 2.15 Vlastní tvar č.11 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 95 |
| Obrázek 2.16 Vlastní tvar č.12 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 96 |
| Obrázek 2.17 Vlastní tvar č.13 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 96 |
| Obrázek 2.18 Vlastní tvar č.14 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 96 |
| Obrázek 2.19 Vlastní tvar č.15 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 97 |
| Obrázek 2.20 Vlastní tvar č.16 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 97 |
| Obrázek 2.21 Vlastní tvar č.17 - deformace (vlevo), posouvající síly (uprostřed), ohybové momenty (vpravo) | 97 |
| Obrázek 2.22 Log. dekrement útlumu pro jednodité vlastní tvary – část 1..... | 99 |
| Obrázek 2.23 Log. dekrement útlumu pro jednodité vlastní tvary – část 1..... | 99 |
| Obrázek 2.24 Směrodatné odchylky rezonanční části sledovaných veličin | 99 |
| Obrázek 2.25 Posuzované prvky | 100 |



Obrázek 2.26 Posouzení zkoumaných prvků..... 102



Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 3.1 Geometrie příhradového dřívku..... | 12 |
| Tabulka 3.2 Geometrie kotevních lan | 13 |
| Tabulka 3.3 Průřezové charakteristiky kotevních lan a jejich předpětí | 14 |
| Tabulka 4.1 Třídy spolehlivosti [2] | 15 |
| Tabulka 4.2 Dílčí součinitele pro stálá a proměnná zatížení [2]..... | 15 |
| Tabulka 4.3 Svislé rovnoměrné zatížení příslušenstvím..... | 16 |
| Tabulka 4.4 Svislé osamělé zatížení příslušenstvím | 17 |
| Tabulka 4.5 Střední rychlost větru, intenzita turbulence a maximální dynamický tlak | 20 |
| Tabulka 4.6 Střední rychlost větru, intenzita turbulence a maximální dynamický tlak ve 2/3 výšky kotevních lan | 21 |
| Tabulka 4.7 Délky nárožníků, diagonál 1, diagonál 2 a horizontál na bm konstrukce | 22 |
| Tabulka 4.8 Reynoldsovo číslo a režim obtékání pro nárožníky a diagonály 1 | 23 |
| Tabulka 4.9 Reynoldsovo číslo a režim obtékání pro diagonály 2 horizontály | 24 |
| Tabulka 4.10 Průměty prvků kolmo na stěnu | 25 |
| Tabulka 4.11 Návětrná plocha holé konstrukce..... | 26 |
| Tabulka 4.12 Součinitel plnosti, celkový tvarový součinitel..... | 27 |
| Tabulka 4.13 Součinitel úhlu náběhu a celkový tvarový součinitel holé konstrukce pro $\theta = 0^\circ$. | 29 |
| Tabulka 4.14 Maximální návětrné plochy liniového příslušenství uvažované pro $\psi = 90^\circ$ - část 1 | 36 |
| Tabulka 4.15 Maximální návětrné plochy liniového příslušenství uvažované pro $\psi = 90^\circ$ - část 2 | 37 |
| Tabulka 4.16 Návětrné plochy osamělých příslušenství uvažované pro všechny směry větru – část 1 | 38 |
| Tabulka 4.17 Návětrné plochy osamělých příslušenství uvažované pro všechny směry větru – část 2 | 39 |



| | |
|---|-----|
| Tabulka 4.18 Referenční návětrná plocha porovnání návětrné plochy konstrukce a příslušenství pro použití redukčního součinitele K_A | 40 |
| Tabulka 4.19 Redukované celkové tvarové součinitele | 41 |
| Tabulka 4.20 Celkové návětrné plochy včetně tvarových součinitelů konstrukce a příslušenství | 42 |
| Tabulka 4.21 Potřebné veličiny pro výpočet β_s | 43 |
| Tabulka 4.22 Střední a náhradní zatížení větrem – rovnoměrné zatížení dřívku | 46 |
| Tabulka 4.23 Liniové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 1 | 47 |
| Tabulka 4.24 Liniové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 2 | 48 |
| Tabulka 4.25 Střední a náhradní zatížení větrem – osamělá zatížení | 49 |
| Tabulka 4.26 Bodové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 1 | 50 |
| Tabulka 4.27 Bodové zatížení větrem – zatěžovací stavy část 2 | 51 |
| Tabulka 4.28 Geometrie, tvarový součinitel kotevních lan, střední tlak větru pro ekvivalentní výšku | 52 |
| Tabulka 4.29 Střední a náhradní zatížení větrem – kotevní lana | 53 |
| Tabulka 4.30 Zatížení kotevních lan – zatěžovací stavy část 1 | 53 |
| Tabulka 4.31 Zatížení kotevních lan – zatěžovací stavy část 2 | 54 |
| Tabulka 5.1 Posun špičky dřívku stožáru | 63 |
| Tabulka 2.1 Geometrické charakteristiky části dřívku stožáru | 77 |
| Tabulka 2.2 Délky nárožníků, diagonál 1, diagonál 2 a horizontál na části dřívku stožáru | 77 |
| Tabulka 5.1 Porovnání hodnot tvarových součinitelů | 83 |
| Tabulka 2.1 Uzlový model dřívku stožáru | 98 |
| Tabulka 2.2 Směrodatné odchylky rezonanční části sledovaných prvků | 100 |
| Tabulka 2.3 Účinky od flukтуаčního zatížení | 101 |
| Tabulka 2.4 Účinky od středního a flukтуаčního zatížení | 101 |
| Tabulka 2.5 Výsledné normálové a posouvající síly ve zkoumaných prvcích | 101 |