

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE CHLADÍCI VĚŽE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

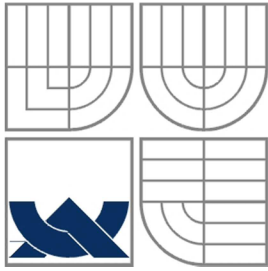
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ZRALÝ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

# ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE CHLADÍČÍ VĚŽE

REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF COOLING TOWER

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

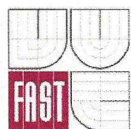
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ZRALÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3608T001 Pozemní stavby  
**Pracoviště** Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Tomáš Zralý

**Název** Železobetonová konstrukce chladicí věže

**Vedoucí diplomové práce** Ing. Pavel Šulák, Ph.D.

**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2014

**Datum odevzdání diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

Stavební podklady

Platné předpisy a normy (včetně změn a doplňků) zejména:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 4: Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci práce bude provedeno navržení a posouzení nosné konstrukce železobetonové chladicí věže. Výpočet vnitřních sil bude proveden pomocí dostupného programu. Kromě statické analýzy bude vypracována i výkresová dokumentace v odpovídající kvalitě a rozsahu. Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady.

P2. Výkresy - tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).


Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Pavel Šulák, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

V diplomové práci je řešena železobetonová chladicí věž. Jedná se o konstrukci rotačně symetrickou. Věž je tvořena skořepinou podepřenou pomocí stojek. Chladicí věž byla vypočtena pomocí metody konečných prvků, výpočetním programem Midas FEA. Práce obsahuje: výpočet pomocí programu Midas FEA, srovnání zatížení dané normou a zahraniční literaturou, návrh výztuže pláště a stojek, výkresy tvaru a výztuží.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

chladicí věž, železobetonová skořepina, rotačně symetrická konstrukce, zatížení větrem, zatížení teplotou, kombinace, vnitřní síly, dimenzování, výkresová dokumentace

## **ABSTRACT**

There was solved reinforced concrete cooling tower in the diploma thesis. This is a rotationally symmetrical construction. The cooling tower is concrete shell on columns. The cooling tower was solved using the finite element method, computer program Midas FEA. The work includes: calculation using the program Midas FEA, comparison of load between eurocode and foreign literature, the design of shell and columns, drawings form

## **KEY WORDS**

cooling tower, reinforced concrete shell, rotationally symmetrical construction, wind load, temperature load, combinations, internal forces, design, drawings documentation

**Bibliografická citace VŠKP**

ZRALÝ, Tomáš. *Železobetonová konstrukce chladící věže*. Brno, 2015. 27 s. 133 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Pavel Šulák, Ph.D..

**Prohlášení:**

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

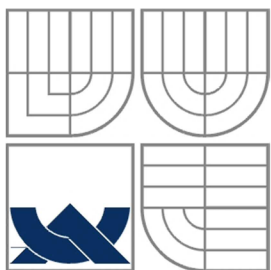
V Brně dne 16. 1. 2015

.....  
podpis autora  
Tomáš Zralý

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Pavlu Šulákovi, Ph.D., za odborný a vstřícný přístup a cenné rady při vypracovávání diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodičům, kteří mě podporovali při studiu. Děkuji





**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## TEXTOVÁ ČÁST

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ZRALÝ

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2015

**Obsah**

1 ÚVOD.....	3
2 POPIS OBJEKTU.....	3
3 MODELOVÁNÍ KONSTRUKCE.....	3
4 MATERIÁLY, PODPORY, PRŮŘEZY.....	5
5 ZATÍŽENÍ.....	6
6 VNITŘNÍ SÍLY NA PLÁŠTI.....	15
7 DIMENZOVÁNÍ A KOMBINACE.....	20
8 ZPŮSOB VYZTUŽENÍ.....	23
9 ZÁVĚR.....	23

## 1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem výpočetního modelu chladicí věže. V práci je řešena volba vhodného modelu zatížení působící na chladicí věž. Jedná se hlavně o zatížení větrem, které spolu s vlastní tíhou je nejzásadnější zatížení pro tuto konstrukci. Na věž je aplikováno zatížení větrem, vlastní tíhou a teplotou. Výpočet je proveden strojně, ruční výpočet nebyl proveden vzhledem k nutnosti počítat metodou konečných prvků. Na výsledné vnitřní síly je navržena výztuž pláště a stojek. Základy věže nejsou v této práci řešeny.

## 2 POPIS OBJEKTU

Chladicí věž byla zadána výkresovou dokumentací skutečné věže v Dukovanech. Plášť věže je ve tvaru rotačního hyperboloidu. Poloměr věže u paty stojek je 46,42m, minimální poloměr věže je 28 m, poloměr v úrovni kontrolní lávky je 30,12m. Věž je vysoká 125,07 m. Plášť začíná od 7m až do 123,76 m, zbytek věže je tvořen kontrolní lávkou. Plášť je tvořen železobetonovou skořepinou.

Plášť je podepřen 104 skloněnými stojkami. Stojky tečně navazují na tvar hyperboloidu pláště, dále jsou skloněny ve vodorovném směru věže. Dvojice stojek, tedy tvoří rovnoramenný trojúhelník. Stojky se připojují těsně vedle sebe jak do pláště, tak do základů. Připojení stojek je uvažováno jako vetknutí. Původní stojky jsou průřezem osmiúhelníky průměru 0,6m, v modelu a výpočtu jsou nahrazeny kruhovým průřezem o průměru 0,6m. Stojky jsou vysoké 7m.

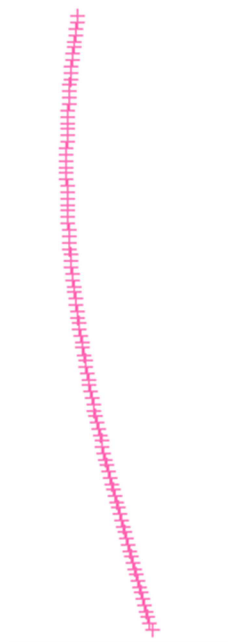
Plášť je proměnné tloušťky, která s rostoucí výškou věže klesá. V úrovni stojek má tloušťku 0,6m. Tloušťka klesá a až do výškové úrovně 31,27m, od této úrovně má věž konstantní tloušťku 0,15m, v horní části je na cca dvou metrech výškové úrovně plášť rozšířen na 0,8m z důvodu umístění kontrolní lávky. Lávka na skutečné věži je tvořena betonovými prefabrikáty, v modelu a pro výpočet bude uvažováno ocelové zábradlí, tedy hmotnost bude minimální. Na plášti věže je z vnější strany pravidelně umístěno 80 svislých žebírek, žebírka jsou na celou výšku pláště, žebírka způsobují odtrhávání proudu vzduchu od konstrukce a snižují tak účinky větru. Žebírka jsou 5cm vysoká a mají tvar lichoběžníku, kde kratší základna měří 8cm a delší 12cm.

Věž je z vodotěsného betonu C30/37 a oceli B500 B. Zařízení pro rozstřik vody, bazén na chladicí vodu ani další zařízení nejsou připojena ke konstrukci chladicí věže, nejsou tedy ve výpočtu uvažována. Základy nejsou řešeny, je uvažováno založení věže pomocí základového pasu, toto založení tlumí případné účinky nerovnoměrného sedání, které nelze u takto velkého objektu zanedbat. Při výpočtu je uvažována samostatně stojící věž.

## 3 MODELOVÁNÍ KONSTRUKCE

Konstrukce byla řešena v programu Midas FEA. Je namodelována jako 3D model, složený z 2D a 1D prvků. Systém Midas FEA používá pro zobrazení výsledků vnitřních sil lokální souřadný systém každého samostatného prvku. Je v něm možno definovat funkci závislou na rotačních souřadnicích, tedy závislé na úhlu odklonu.

Nejprve byla zadána střednice pláště pomocí souřadnic bodů (Obr. 3.1), získaných z výkresové dokumentace skutečné věže.

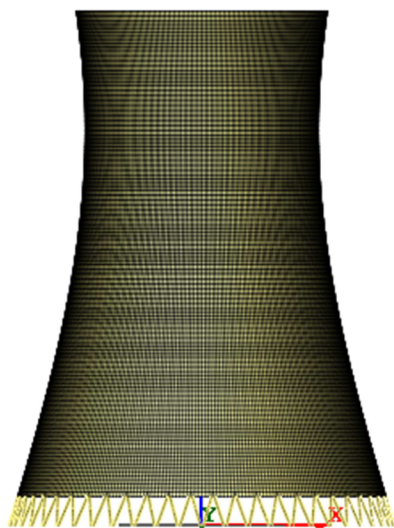


Obr. 3.1: Body pláště

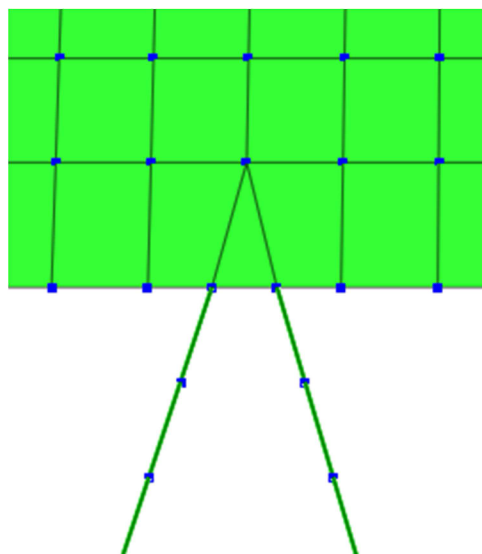


Obr. 3.2: Segment modelu z křivek

Poté body byla proložena spline křivka, ta byla okopírována pomocí funkce rotate o  $360^\circ/104$  na obě strany. Jelikož věž je podepřena 104mi sloupy. Byly vytvořeny kruhy pro horní a dolní okraj skořepiny. Následně byly křivky propojeny a odstraněny zbytky kruhů (Obr. 3.2). K segmentu byly připojeny stojky, ty byly definovány bodem na plášti opět pomocí souřadnic a bodem na pomocném kruhu simulujícím základy. Z křivek byla vytvořena plocha, z plochy byla vytvořena síť 2D konečných prvků o velikosti prvků cca 1x1m. Sloupy jsou modelovány jako 1D prvek. Vzhledem k tomu, že uzly konečných prvků sloupů a pláště se neshodovaly, bylo nutné toto spojení zabezpečit. Sloupy také nebyly připojeny do jednoho uzlu. Bylo nutno odstranit elementy v oblasti styku pláště a sloupů a ručně vytvořit nové elementy tak aby se konečné prvky stýkali pouze v uzlech (Obr. 3.4). Byly zvoleny dva čtyřúhelníkové a jeden trojúhelníkový prvek. Po vytvoření tohoto segmentu byla opět použita funkce rotate (tentokrát o  $360^\circ/52$ , použito bylo 51 kopií) k okopírování segmentu, vznikl tak již celý model (Obr. 3.3).



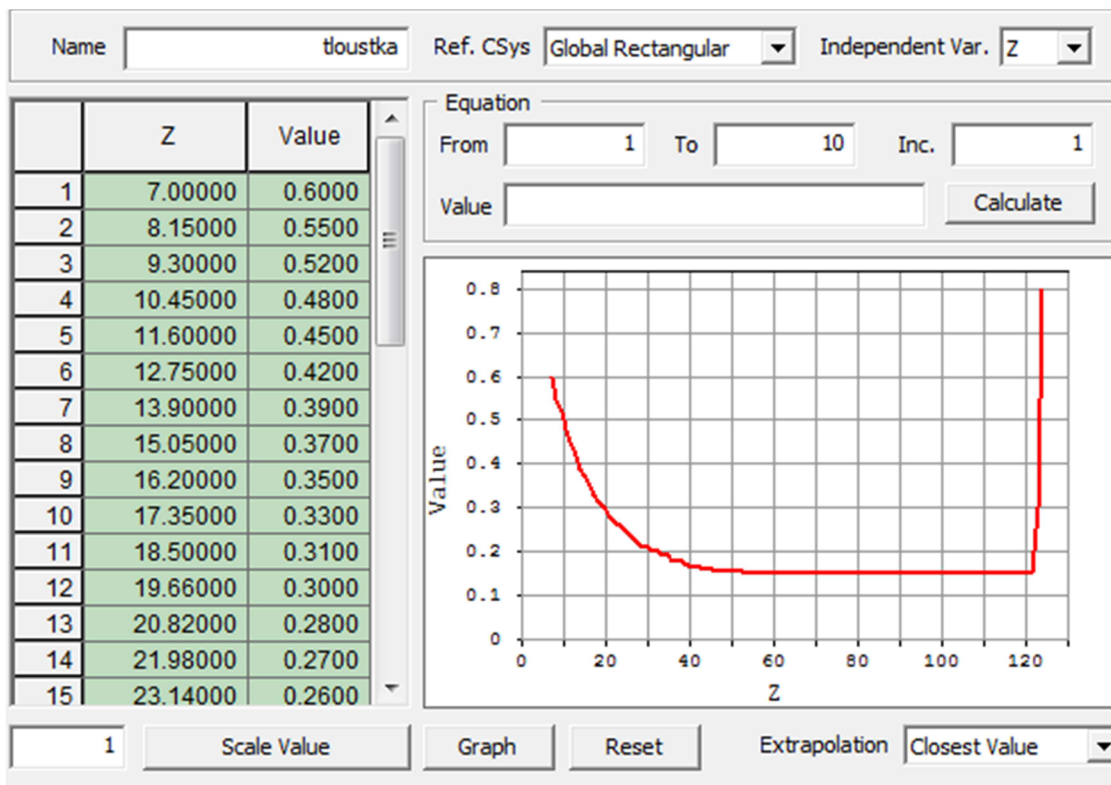
Obr. 3.3: Model věže



Obr. 3.4: Detail styku pláště a stojek

## 4 MATERIÁLY, PODPORY, PRŮŘEZY

U 2D konečných prvků pláště je tloušťka definována funkcí závislou na výšce (Obr. 4.1), bylo zadáno i rozšíření v oblasti kontrolní lávky, toto rozšíření zohledňuje pak vlastní tíhu. Průřez stojek je uvažován jako kruh o průměru 0,6m. Tyto rozměry jsou převzaty z původní dokumentace.



Obr. 4.1: Funkce proměnné tloušťky po výšce

Materiál je uvažován beton C30/37, není uvažován vliv smršťování a dotvarování, mohl by uvažován, ale v tom případě by bylo nutno znát postup výstavby, a model i za tímto účelem tvořit. U betonu je uvažována objemová hmotnost  $2500 \text{ kg/m}^3$ . Model je podepřen v patách sloupů, je uvažováno vetknutí (Obr. 4.2). Vetknutí je zvoleno s ohledem na tuhost spoje, kde je výztuž sloupu zakotvena v základovém pasu.



Obr. 4.2: Podepření - vetknuté paty sloupů

## 5 ZATÍŽENÍ

Zatížení vlastní tíhou je generováno programem. Objemová tíha činí 25 kN/m<sup>3</sup>. Hmotnost celé konstrukce, dle programu, činí 12095,5 tun. Jelikož se jedná o čistě železobetonovou stavbu, ke které není nic připojeno, nepůsobí zde jiná další stálá zatížení.

Zatížení větrem je rozděleno na zatížení vnitřního a vnějšího povrchu věže. Norma ČSN – EN – 1991 – 4 [2], neuvádí výpočet komínového efektu, což je vnitřní tlak, v této normě je řešeno vnější zatížení jako zatížení na válec. Rozdělení tohoto zatížení závisí na Reynoldsových číslech  $Re$ .

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \tag{5.1}$$

Kde

- b je průměr;
- $\nu$  je kinematická viskozita vzduchu ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ );
- $v(z_e)$  je maximální rychlost větru ve výšce  $z_e$

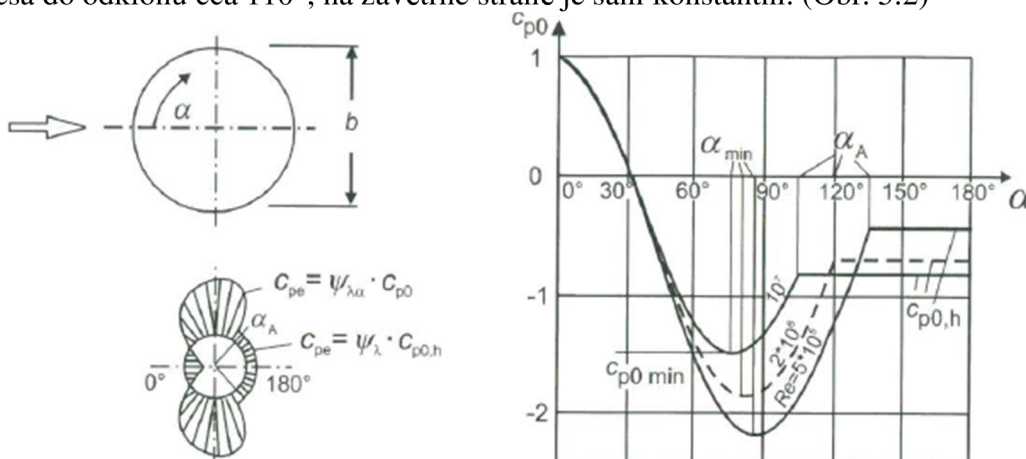
Při vypočtení  $Re$  vychází řádově vyšší číslo, než uvádí tabulka v ČSN – EN- 1991 – 4. Z tabulky není jasné, zdali je povoleno extrapolovat (Obr. 5.1).

$Re$	$\alpha_{min}$	$C_{p0,min}$	$\alpha_A$	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
$10^7$	75	-1,5	105	-0,8

Kde  $\alpha_{min}$  je místo minimálního tlaku ve [°];  
 $C_{p0,min}$  hodnota součinitele minimálního tlaku;  
 $\alpha_A$  poloha bodu oddělení proudu ve [°];  
 $C_{p0,h}$  součinitel tlaku na závětrné straně válce.

Obr. 5.1: Tabulka závislosti rozdělení tlaku větru na Reynoldsových číslech

Z Reynoldsova čísla vychází rozdělení tlaku po obvodu pláště. Na návětrné straně pláště vzniká tlak od větru, který se mění cca v 35° odklonu od směru působení větru, zde se tlak mění na sání, přičemž maximální sání vzniká kolem 80° odklonu. Sání větru poté klesá do odklonu cca 110°, na závětrné straně je sání konstantní. (Obr. 5.2)



Obr. 5.2: Rozdělení tlaku větru po obvodu válce

Jelikož při výpočtu podle ČSN – EN-1991-4 není jasné, zdali je možno uplatnit extrapolaci, byla z tohoto důvodu použita zahraniční literatura: VGB Power Tech – Structural Design of Cooling towers [5].

Pokud bychom postupovali dle ČSN – EN – 1991 – 4 byla určena větrná oblast dle větrné mapy České republiky. Dukovany leží v oblasti číslo 3. pro tuto oblast je dle EN základní rychlost větru  $v_{b0}=27,5\text{m/s}$ . Kategorie terénu je II. – oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek. Součinitel směru větru a součinitel ročního období jsou rovny 1,0, tedy základní rychlost větru je  $v_b=27,5\text{ m/s}$ .

Dále je nutné určit součinitel orografie  $c_0$ , jeho hodnota je rovna 1,0. Součinitel vyjadřuje zvětšení účinků větru vlivem členitosti terénu. V okolí JE Dukovany nejsou takovéto podmínky. Součinitel drsnosti terénu  $c_r$  vyjadřuje změnu střední rychlosti větru způsobenou výškou nad terénem a drsností terénu na návětrné straně pro uvažovaný směr větru. Součinitel  $c_r$  je závislý na součiniteli terénu  $k_r$ , který je závislý na uvažovaném parametru drsnosti terénu  $z_0$ .

$$c_r = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right); z \text{ je výška řezu, } z_{\min} < z < z_{\max}, \text{ kde } z_{\min} = 2 \text{ m a } z_{\max} = 200 \text{ m; } z_0 = 0,05 \text{ m}$$

což odpovídá kategorii terénu II. (5.2)

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} \quad (5.3)$$

$$v_m = v_b * c_r * c_0 \quad (5.4)$$

Dále je nutné stanovit Intenzitu turbulence  $I_v$ . Intenzita turbulence závisí na součiniteli turbulence  $k_1$ . Doporučená hodnota součinitele turbulence je 1,0 pro Českou republiku.

$$I_v = \frac{k_1}{c_0 * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (5.5)$$

Nyní můžeme stanovit maximální dynamický tlak  $q_p$ . Jeho hodnota je závislá na Intenzitě turbulence, měrné hmotnosti vzduchu  $\rho$  a střední rychlosti vzduchu. Doporučená hodnota měrné hmotnosti vzduchu je  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

$$q_b = [1 + 7 * I_v] * 0,5 * \rho * v_m^2 \quad (5.6)$$

Abychom určili součinitel  $C_{pe}$ , musíme nejprve stanovit Reynoldsovo číslo dle 5.1. Přičemž maximální rychlost větru se stanoví dle vztahu:

$$v = \sqrt{2 * q_p / \rho} \quad (5.7)$$

Pokud bychom počítali podle německého předpisu VGB – Power Tech, tak určíme opět větrnou oblast a kategorii terénu, předpis zmiňuje použití hodnot s návratností 50 let. Výpočet dále zahrnuje tvar žebírek, která jsou na vnějším povrchu věže a jsou po celé jeho výšce. Předpis zohledňuje dynamické účinky větru na konstrukci pomocí frekvence vlastního kmitání věže. Je zde i řešeno ovlivnění dalšími věžemi.

Výpočet vnějšího tlaku je zde definován takto:

$$w_e(z, \theta) = c_{pe}(\theta) * \varphi * F_i * q_b(z) \quad (5.8)$$

Kde  $c_{pe}(\theta)$  je součinitel vnějšího tlaku závislý na úhlu odklonu od směru větru

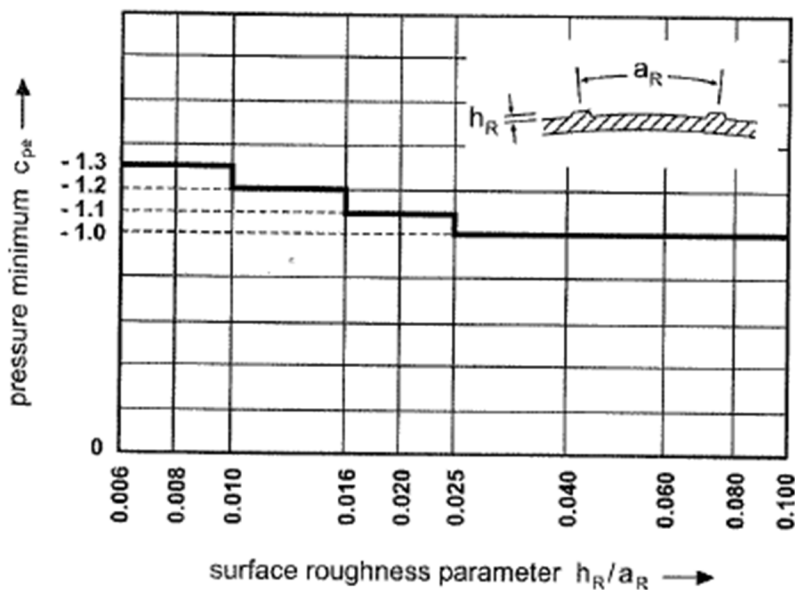
- $\varphi$  je činitel zohledňující dynamické vlivy
- $F_i$  je činitel zohledňující blízkost další věže
- $q_b(z)$  je tlak od působení větru ve výšce  $z$

Výpočet vnitřního tlaku je definován takto:

$$w_i = c_{pi} * F_i * q_b(H) \tag{5.9}$$

Kde  $c_{pi}$  je součinitel vnitřního tlaku, je uvažován konstantní po celém povrchu hodnotou  $c_{pi} = -0,5$ , jedná se tedy o sání větru.  
 $q_b(H)$  je tlak větru na vrcholu věže

Součinitel vnějšího tlaku zde závisí na velikosti a vzdálenosti žebírek věže. Je vyjádřen parametrem drsnosti povrchu (Obr. 5.3). Z tohoto parametru je odvozena křivka rozdělení součinitele vnějšího tlaku po obvodu (Obr. 5.4 a 5.5). Je jasně patrné, že žebírka hrají velkou roli na velikost minimálního součinitele vnějšího tlaku. Při největším podílu  $h_R/a_R$  je nejmenší sání, naopak pro věž bez žebírek je maximální součinitel vnějšího tlaku pro sání podobný jako v normě ČSN – EN – 1991 – 4. Velkou výhodou tohoto předpisu je definování této křivky pomocí rovnic (Obr. 5.6), v této EN není tato křivka takto definována.

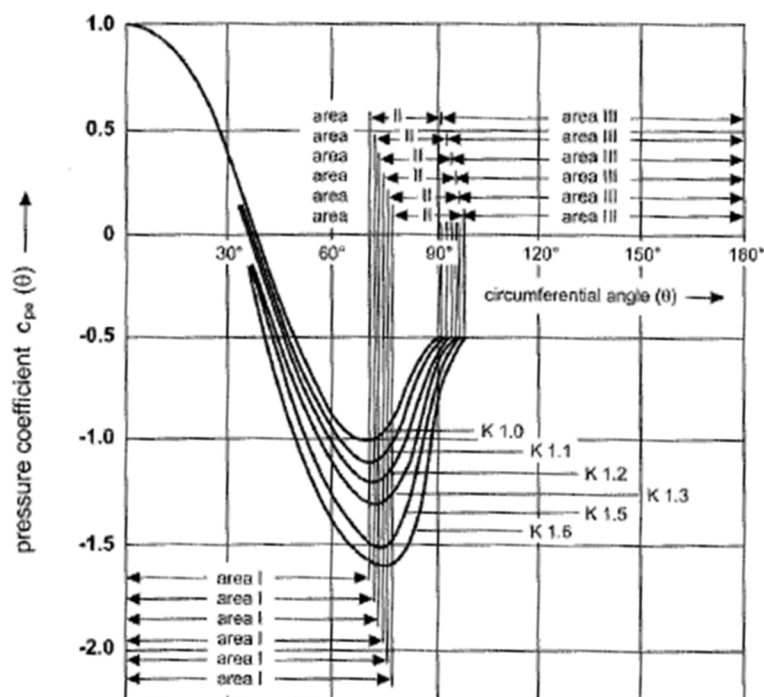


Obr. 5.3: Vliv velikosti a vzdálenosti žebírek

Surface	Roughness parameter $h_R/a_R$	Pressure minimum $\min c_{pe}$	Distribution curve
With ribs	0.025 ... 0.100	-1.0	K 1.0
	0.016 ... 0.025	-1.1	K 1.1
	0.010 ... 0.016	-1.2	K 1.2
	0.006 ... 0.010	-1.3	K 1.3
Without ribs	Off-shutter finish	-1.5	K 1.5
	smooth	-1.6	K 1.6

Obr. 5.4: Tabulka pro určení rozdělovací křivky





Obr. 5.5: Křivky rozdělení součinitele vnějšího tlaku

Curve	Pressure minimum	Area I	Area II	Area III	$c_f$
K 1.0	-1.0	$0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ $1 - 2.0 \left( \sin \frac{90}{70} \theta \right)^{2.267}$	$70^\circ \leq \theta \leq 91^\circ$ $-1.0 + 0.5 \left( \sin \left( \frac{90}{21} (\theta - 70) \right) \right)^{2.395}$	$91^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.66
K 1.1	-1.1	$0^\circ \leq \theta \leq 71^\circ$ $1 - 2.1 \left( \sin \frac{90}{71} \theta \right)^{2.239}$	$71^\circ \leq \theta \leq 93^\circ$ $-1.1 + 0.6 \left( \sin \left( \frac{90}{22} (\theta - 71) \right) \right)^{2.395}$	$93^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.64
K 1.2	-1.2	$0^\circ \leq \theta \leq 72^\circ$ $1 - 2.2 \left( \sin \frac{90}{72} \theta \right)^{2.205}$	$72^\circ \leq \theta \leq 95^\circ$ $-1.2 + 0.7 \left( \sin \left( \frac{90}{23} (\theta - 72) \right) \right)^{2.395}$	$95^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.60
K 1.3	-1.3	$0^\circ \leq \theta \leq 73^\circ$ $1 - 2.3 \left( \sin \frac{90}{73} \theta \right)^{2.166}$	$73^\circ \leq \theta \leq 97^\circ$ $-1.3 + 0.8 \left( \sin \left( \frac{90}{24} (\theta - 73) \right) \right)^{2.395}$	$97^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.56
K 1.5	-1.5	$0^\circ \leq \theta \leq 75^\circ$ $1 - 2.5 \left( \sin \frac{90}{75} \theta \right)^{2.104}$	$75^\circ \leq \theta \leq 102^\circ$ $-1.5 + 1.0 \left( \sin \left( \frac{90}{27} (\theta - 75) \right) \right)^{2.395}$	$102^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.49
K 1.6	-1.6	$0^\circ \leq \theta \leq 76^\circ$ $1 - 2.6 \left( \sin \frac{90}{76} \theta \right)^{2.045}$	$76^\circ \leq \theta \leq 104^\circ$ $-1.6 + 1.1 \left( \sin \left( \frac{90}{28} (\theta - 76) \right) \right)^{2.395}$	$104^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ -0.5	0.46

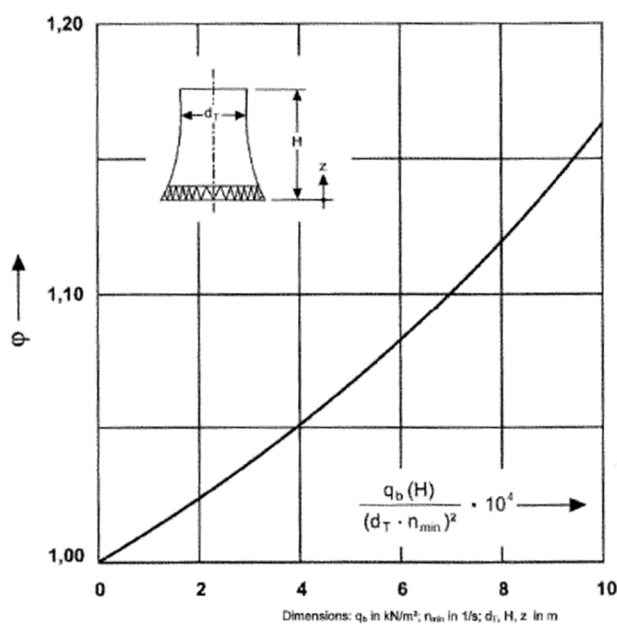
Obr. 5.6: Definování křivek rovnicemi

Určení tlaku od větru je na základě větrné oblasti a kategorie terénu, předpis uvažuje pouze I. až III. větrnou oblast a I. a II. kategorii terénu. Dle tabulky na obr. 5.7 lze rovněž určit průměrnou rychlost větru v dané výšce.

Wind zone	Terrain category	Average wind velocity $v_m$	Gust velocity $v_b$	Gust velocity pressure $q_b$
-	-	m/s	m/s	kN/m <sup>2</sup>
1	II	$22.5 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.16}$	$33.8 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.11}$	$0.71 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.22}$
2	II	$25.0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.16}$	$37.5 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.11}$	$0.88 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.22}$
2	I	$29.5 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.12}$	$41.0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.085}$	$1.05 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.17}$
3	II	$27.5 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.16}$	$41.2 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.11}$	$1.06 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.22}$
3	I	$32.5 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.12}$	$45.0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.085}$	$1.27 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.17}$
4	II	$30.0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.16}$	$45.0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.11}$	$1.27 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.22}$
4	I	$35.4 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.12}$	$49.3 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.085}$	$1.52 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.17}$

Obr. 5.7: Tabulka pro určení tlaku od větru

V tomto tlaku nejsou zahrnuty dynamické účinky větru, které mohou způsobit rezonanci konstrukce. Tyto účinky jsou zahrnuty v parametru  $\varphi$  (Obr. 5.8). Výpočet obsahuje  $n_{min}$ , což je nejnižší frekvence vlastního kmitání chladicí věže. Po dohodě s vedoucím práce byla použita první frekvence, kdy kmitá největší hmota konstrukce, tato frekvence má mít nejnepříznivější vliv.

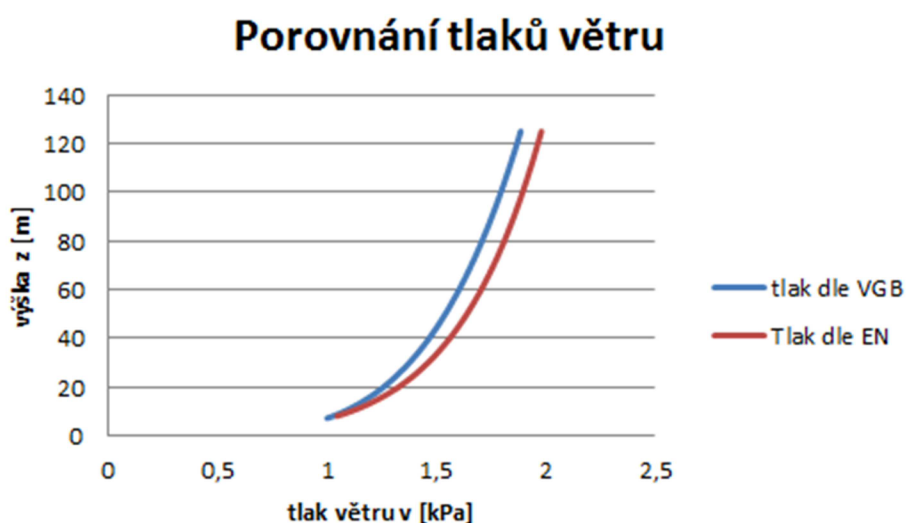


Obr. 5.8: Graf závislosti  $\varphi$

Předpis dále obsahuje výpočet parametru  $F_i$ , vyjadřující vliv blízkosti další věže či jiné stavby. Jelikož ve výpočtu uvažujeme samostatně stojící věž, hodnota parametru  $F_i = 1,0$ .

Byly vypočteny frekvence vlastního kmitání věže, bylo vypočteno prvních 100 frekvencí. Jako výsledné frekvence byly zvoleny 29. a 30. obě mají shodnou frekvenci kmitu  $n_{\min} = 1,873$  Hz. Liší se tvarem kmitu, při obou kmitá celý plášť na úrovni stojek, liší se směrem kmitání, tzn. při jedné frekvenci kmitá plášť ve směru osy X a při druhé ve směru osy Y. Tato hodnota byla zavedena do výpočtu tlaku. Parametr  $\phi$  z grafu na obr.5.8 vychází  $\phi=1,02$ , což značí vhodnou volbu tvaru a věže a rozmístění stojek, která byla provedena.

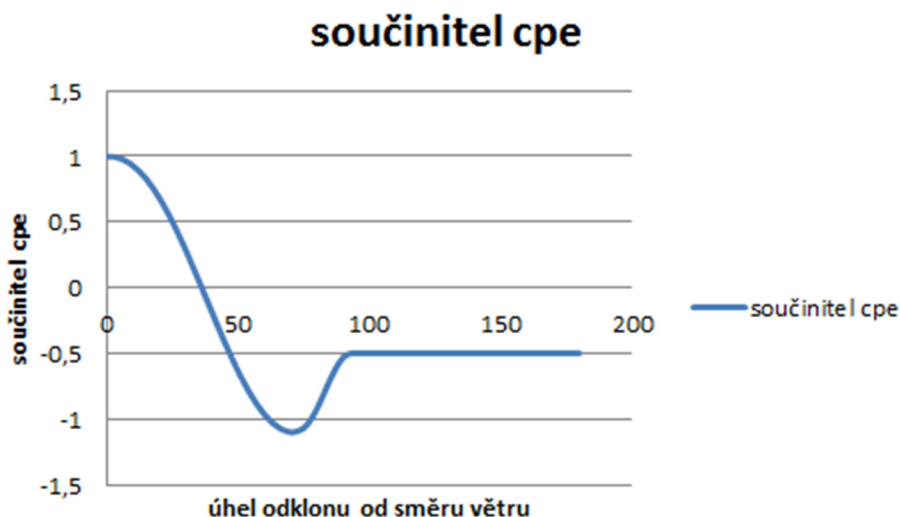
Byl rovněž proveden výpočet tlaku větru dle EN. Výsledky reprezentují tlak před uplatněním součinitele vnějšího tlaku. Podle EN vychází trochu vyšší hodnoty (Obr. 5.9).



Obr. 5.9: Porovnání tlaků větru

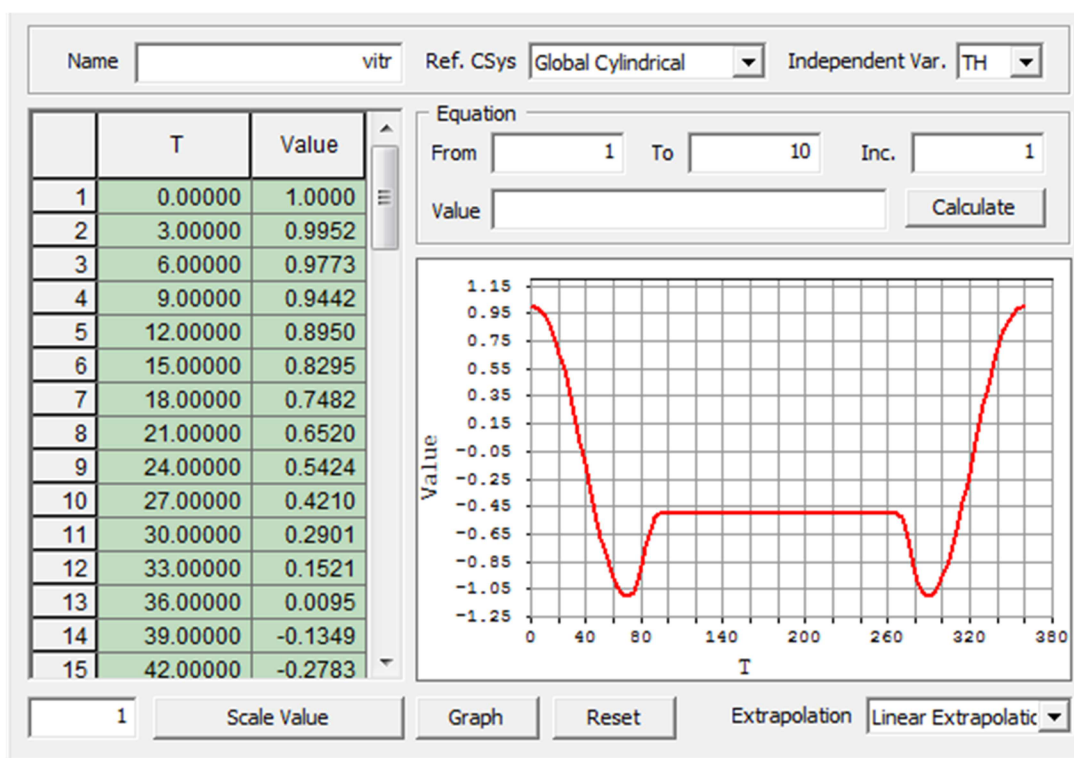
Pokud bychom chtěli porovnat součinitele vnějšího tlaku, tak zde nastává problém u výpočtu dle EN. Mění se Reynoldsovo číslo, které je závislé na průměru, tedy mění se křivka rozdělení součinitele tlaku. Jak již bylo řečeno, výsledné Reynoldsovo číslo je řádově mimo rozsah uváděný v EN a není jasné, zdali je možno extrapolovat hodnoty dané normou a zdali by se jednalo o lineární extrapolaci. Toto je hlavní důvod přistoupit k použití manuálu VGB.

Při postupu dle manuálu VGB byl určen parametr drsnosti povrchu věže, žebírka jsou vysoká 5cm a vzdálena 221÷350 cm od sebe, tedy poměr  $h_R/a_R = 0,023 \div 0,014$ , z obr. 5.4 vyplývá použití křivky K 1.1, dle obr. 5.6 byly v programu MS Excel zpracovány hodnoty součinitele tlaku  $c_{pe}$ . Je uvažován krok 3° (Obr. 5.10). Kladné znaménko znamená tlak, záporné sání.

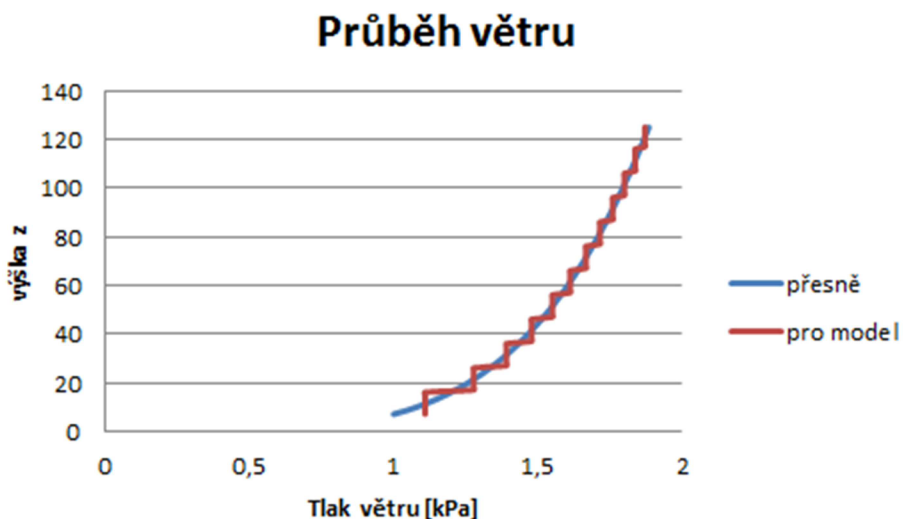


Obr. 5.10: Rozdělení součinitele vnějšího tlaku

V programu Midas FEA lze zadat funkci závislou rotačních souřadnicích. Toho bylo využito k namodelování průběhu součinitele vnějšího tlaku. Bohužel funkci bylo nutné zadat ručně, pomocí hodnot z výpočtu v MS Excel, z tohoto důvodu byl zvolen krok 3° (Obr. 5.11). Funkce byla vytvořena pro 360°, aby zatížení mohlo být zadáno po celém obvodu najednou. Byly zvoleny úseky po 10 metrech výšky. Na těchto úsecích byl tlak větru zprůměrován a zadána byla tato průměrná hodnota. Porovnání průběhu větru na Obr. 5.12. Průběh je tedy přesný po obvodě věže. Po výšce je chyba zprůměrováním hodnot po deseti metrech. Z grafu je patrné, že chyba není moc velká. Program sice obsahuje možnost vytvoření 3D funkce, ale vzhledem ke složitosti zadávání a možným nepřesnostem tento postup zvolen nebyl.



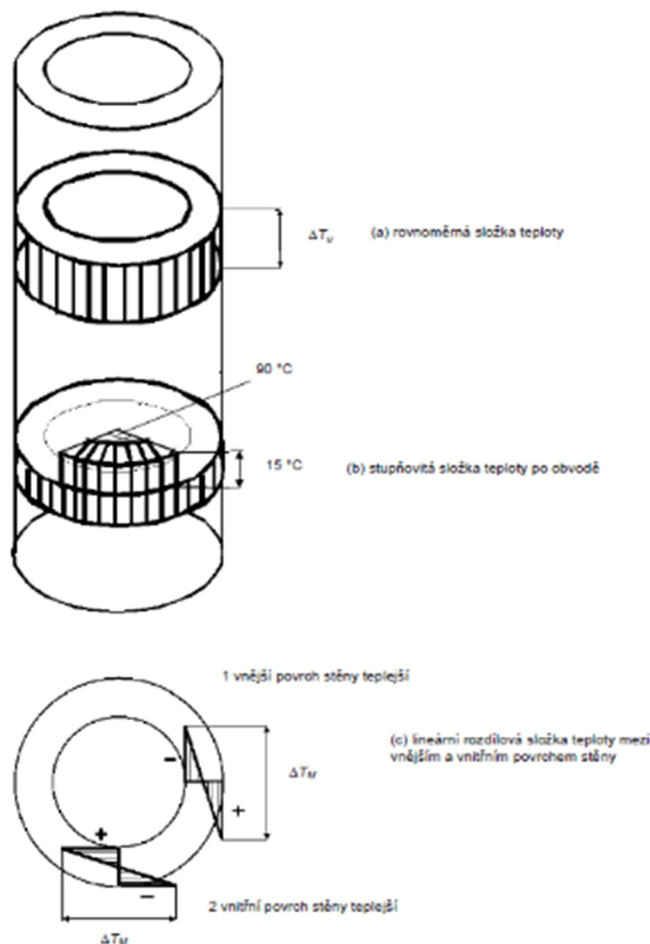
Obr. 5.11: Zadaná funkce součinitele vnějšího tlaku



Obr. 5.12: Porovnání uvažovaného průběhu větru.

Vnitřní tlak větru je způsoben profukováním větru mezi sloupy, vnitřními turbulencemi a stoupáním páry. Vnitřní tlak větru je konstantní po celé výšce i po celém obvodu pláště věže. Je definován vzorcem 5.9. Vychází z hodnoty tlaku větru ve výšce horního okraje věže. Jedná se o sání na vnitřním povrchu.

Zatížení teplotou je způsobeno rozdílem teploty mezi vnitřním a vnějším povrchem, osluněním a změnou teploty konstrukce oproti výstavbě. ČSN – EN –1991–5 hovoří o změně teploty vlivem rozdílu teploty uvnitř a vně, rovněž je zde zmíněno nutnost zahrnout oteplení povrchu od slunečního záření. Pro výpočet je nutno znát maximální teplotu ve stínu, teplotu uvnitř věže. U jednovrstvých konstrukcí předpokládá lineární průběh teploty v konstrukci (Obr. 5.13). Oslunění má být řešeno změnou teploty po krocích.



Obr. 5.13: Průběh teploty konstrukcí

Manuál VGB rovněž řeší zatížení teplotou, princip zatížení zůstává stejný. Do výpočtu opět vstupují maximální teploty a oslunění. Předpis pracuje s teplotou při výstavbě věže  $T_0$ , je uvažována průměrná teplota  $T_0 = 15^\circ\text{C}$ . Teplota  $T_i$  je teplota uvnitř věže, vychází z teploty vody 3. chladicího okruhu JE, která je rozstříkována. Předpis uvažuje teplotu  $T_i = 25^\circ\text{C}$ . Voda při rozstříku v Dukovanech má teplotu kolem  $33^\circ\text{C}$  je ochlazena na cca  $17^\circ\text{C}$ . Lze tedy počítat s  $25^\circ\text{C}$ . Další teplotou je  $T_{\min}$ , jedná se o minimální venkovní teplotu, z mapy rozdělení minimální teploty v ČR v EN byla určena  $T_{\min} = -31^\circ\text{C}$ . Maximální teplota ve stínu je  $T_{\max} = 38^\circ\text{C}$ . Ve výpočtu je uvažováno, že nedochází k smáčení povrchu rozstříkující vodou, v této oblasti pak předpis VGB udává vnitřní teplotu  $T_i = 35^\circ\text{C}$ . Byly uvažovány tyto změny teploty:

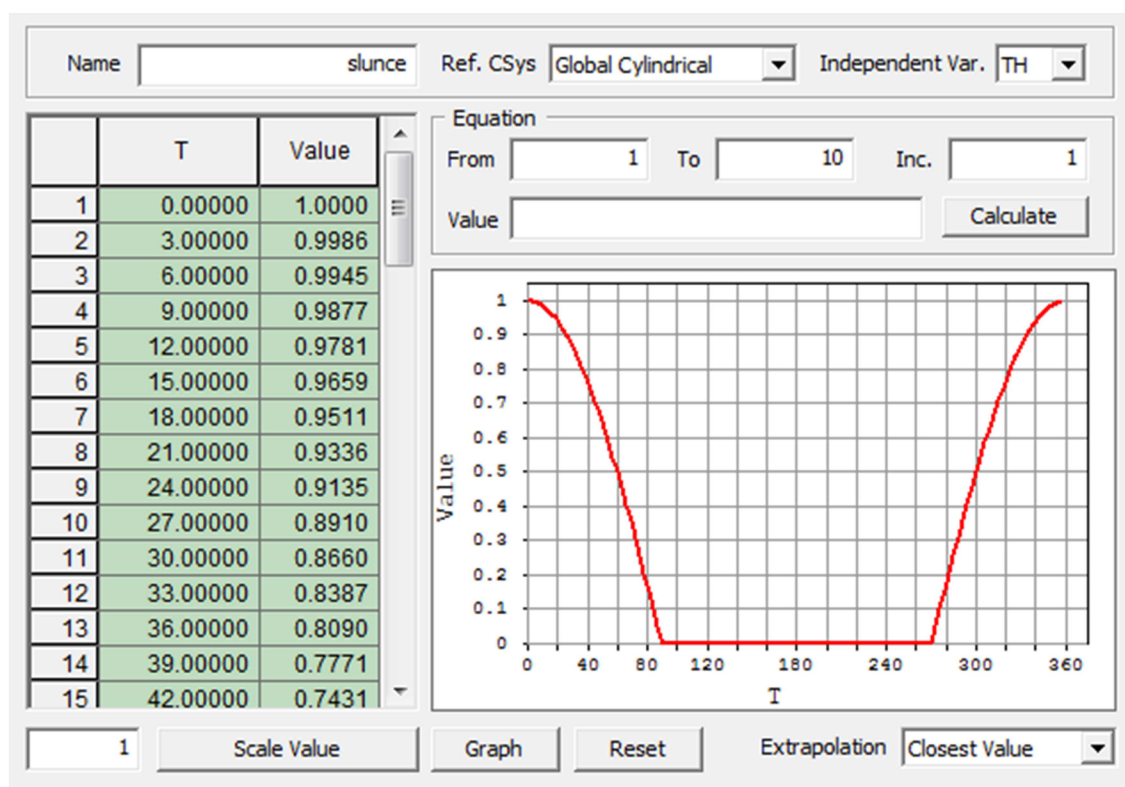
Změna v zimě

$$\Delta T = (T_i + T_{\min})/2 - T_0 \quad (5.10)$$

Změna v létě

$$\Delta T = (T_i + T_{\max})/2 - T_0 \quad (5.11)$$

Oslunění je v tomto předpisu dáno rozdílem mezi povrchy  $25^\circ\text{C}$ . Předpis udává průběh oslunění pomocí funkce kosinus na osluněné části věže. Byla tedy opět vytvořena funkce závisující na úhlu odklonu (Obr. 5.14).



Obr. 5.14: Funkce pro zadání teploty od oslunění

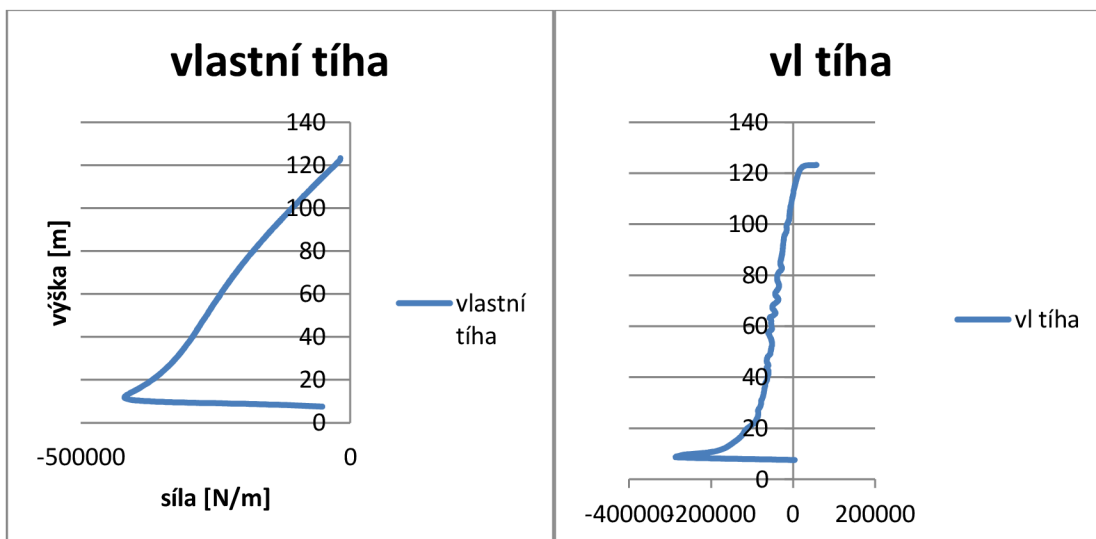
Změna teploty je uvažována pouze na plášti, v oblasti stojek vzhledem k proudícímu vzduchu směrem do věže je velmi složité určit jak zahrnout tyto vlivy do výpočtu.

Mezi další zatížení, které by mohlo na konstrukci působit je zatížení sněhem. Toto zatížení vzhledem k povrchu, na který může sníh napadnout, by mělo mít velmi malý vliv na konstrukci. Rovněž zatížení pohybem osob po kontrolní lávce, by mělo vyvolat minimální reakce. Mezi další zatížení, které nebylo uvažováno, patří seismické zatížení, jelikož Dukovany leží v seismicky neaktivní oblasti, není nezbytně nutné s tímto zatížením počítat. Mohlo by být zahrnuto i zatížení od nárazu letadla a jiné katastrofické situace.

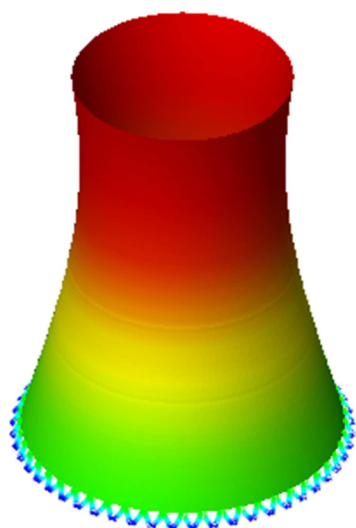
## 6 VNITŘNÍ SÍLY V PLÁŠTI

Vnitřní síly v plášti jsou tvořeny převážně normálovou silou, přítomen je též ohybový moment. Smykové síly jsou zanedbatelné velikosti, větších hodnot dosahují na krajích skořepiny. Většina ze zatěžovacích stavů je rotačně symetrická, pouze zatížení vnějším větrem a osluněním působí z jedné strany věže. Z tohoto důvodu jsou pro vnější vítr brány maxima pro tah i tlak. Vnější síly vykazují na krajích skořepiny prudké změny, tyto změny jsou dány ukončením skořepiny a jejím napojením na sloupy. Záleží, pokud je zatížení bráno mezi sloupy, nebo pokud je zobrazeno nad sloupem.

Při zatěžovacím stavu vlastní tíha, se normálová síla se zvyšující výškou věže snižuje, normálová síla ve směru y je v horní části věže tahová, toto je dáno zvětšeným průměrem. Napětí je v dolní části věže nižší, postupně se zvyšuje, poté se opět snižuje, toto je dáno poměrem tloušťky a normálové síly. Jelikož se tloušťka skořepiny v dolní části věže rychle zvyšuje, dá se tento průběh očekávat.

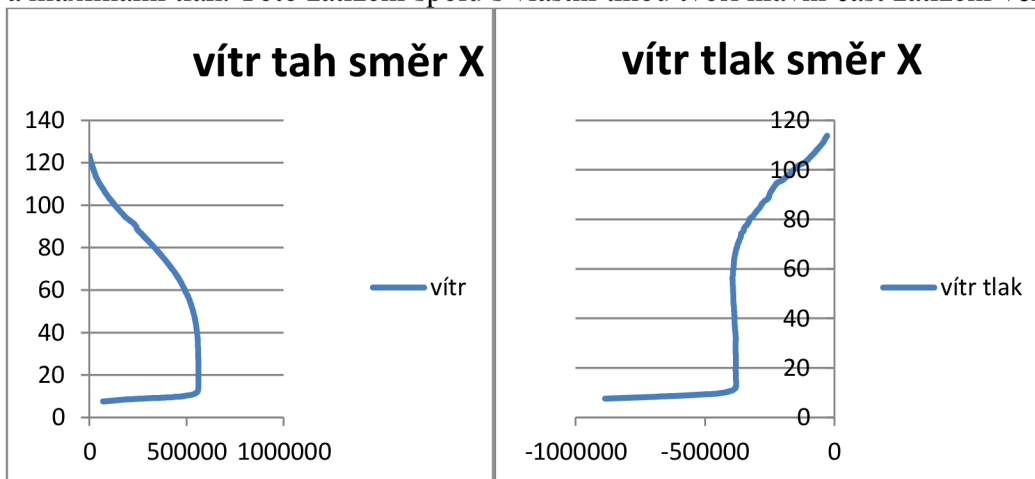


Obr. 6.1: Vlastní tíha normálová síla směr X      Obr. 6.2 Vl. tíha normálová síla směr Y



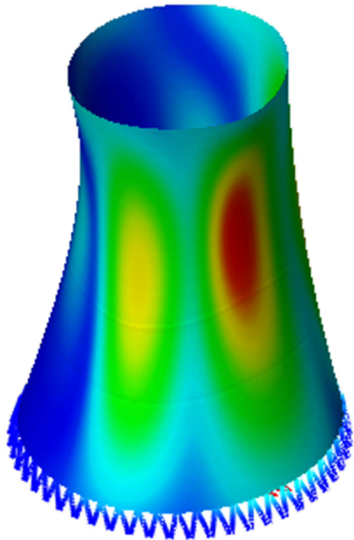
Obr. 6.3: Deformace věže vl. tíha

Zatížení vnějším větrem je pouze z jedné strany věže. Pro napětí opět hraje roli poměr normálové síly a tloušťky stěny pláště. Byly vybrány průběhy pro maximální tah a maximální tlak. Toto zatížení spolu s vlastní tíhou tvoří hlavní část zatížení věže.



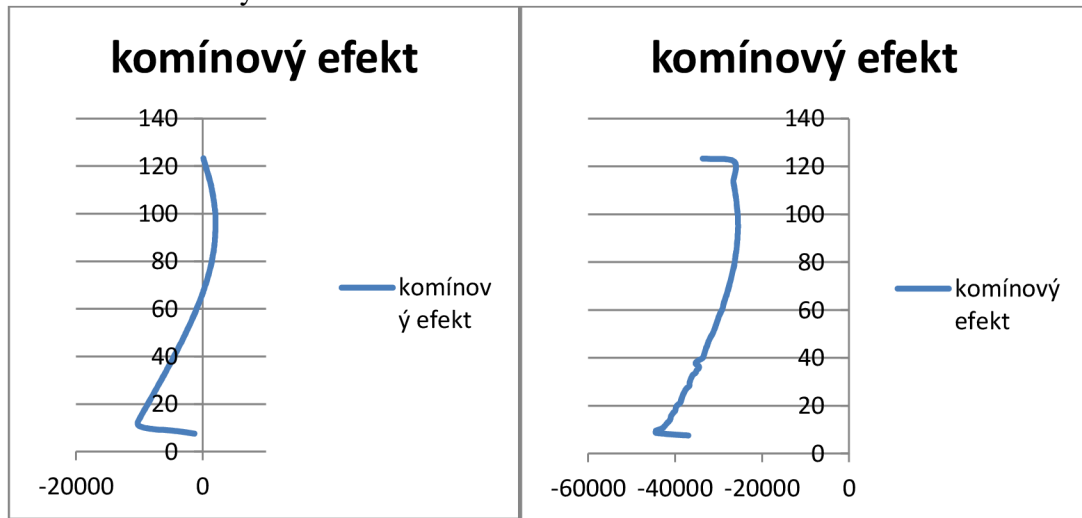
Obr. 6.4: Vítr n. síla směr X – tah      Obr. 6.5: Vítr n. síla směr X - tlak





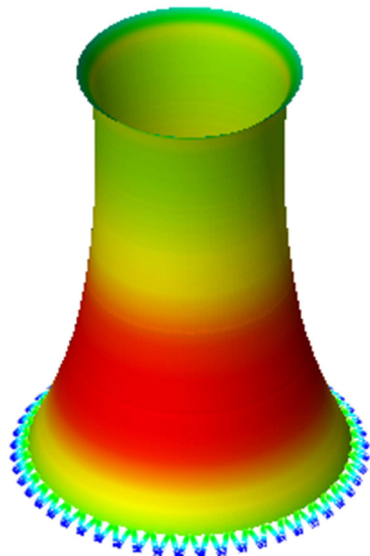
Obr. 6.6: Deformace věže vítr

Zatížení sáním větru na vnitřním povrchu způsobené vnitřním tlakem větru. Jedná se rotačně symetrické zatížení.



Obr. 6.7: Normálová síla směr X

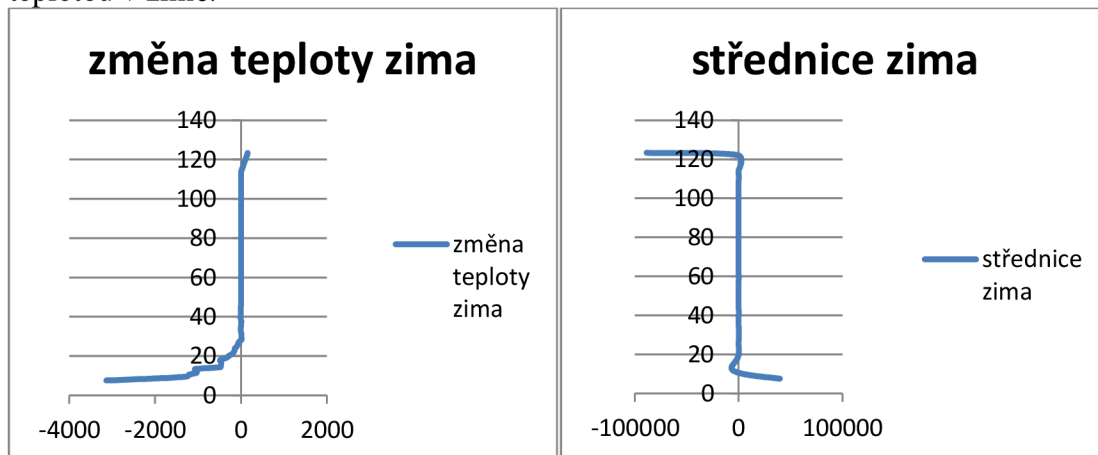
Obr. 6.8: Normálová síla směr Y



Obr. 6.9: Deformace věže

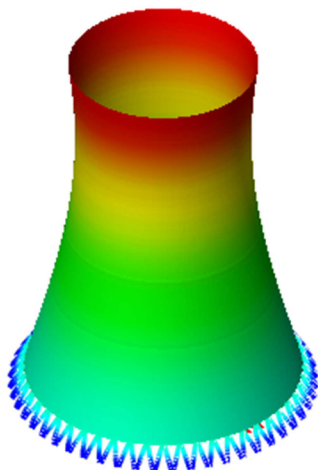
Zatížení teplotou vyvolává v konstrukci pouze malé vnitřní síly. Toto je pochopitelné vzhledem ke statické určitosti konstrukce. Zatížení i vnitřní síly jsou opět rotačně symetrické.

První uvažovanou změnou je změna teploty pláště mezi teplotou při výstavbě a teplotou v zimě.



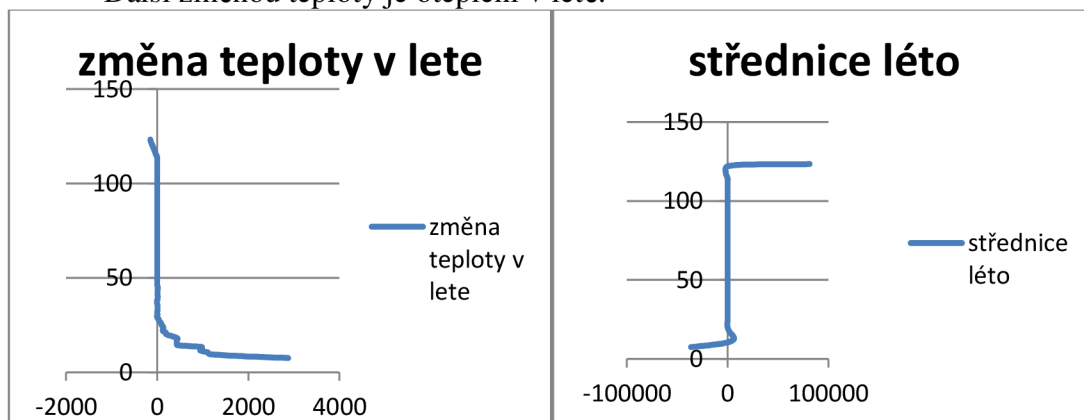
Obr. 6.10: Síla v zimě směr X

Obr. 6.11: Síla v zimě směr Y



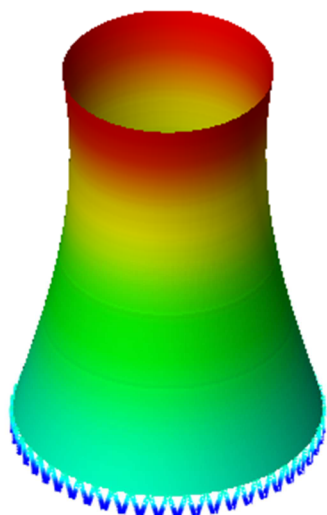
Obr. 6.12: Deformace věže

Další změnou teploty je oteplení v létě.



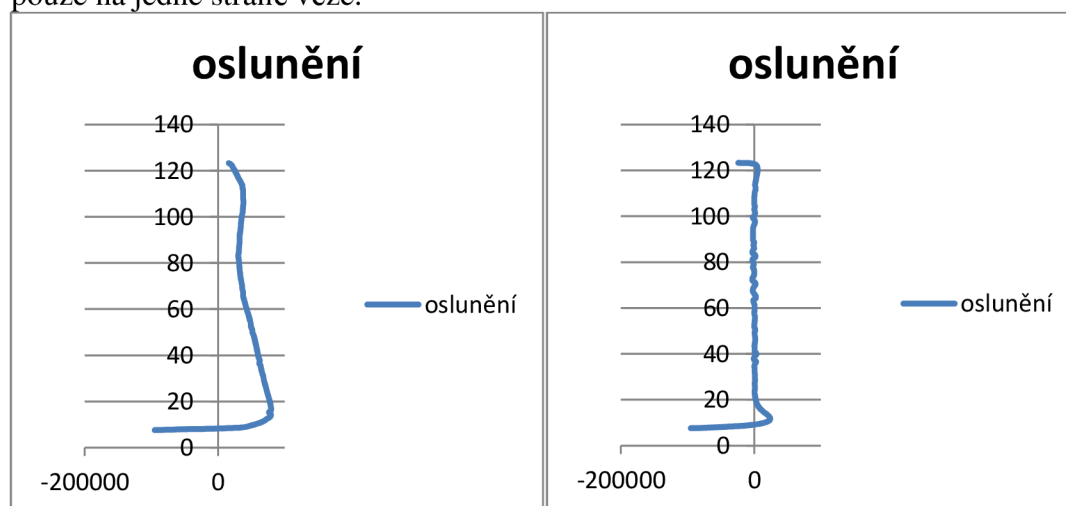
Obr. 6.13: Síla v létě směr X

Obr. 6.14: Síla v létě směr Y



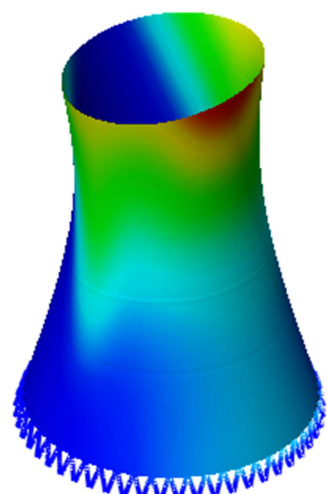
Obr. 6.15: Deformace věže

Poslední zatížení je zatížení od vlivu oslunění, toto zatížení teplotou působí pouze na jedné straně věže.



Obr. 6.16: Oslunění směr X

Obr. 6.17: Oslunění směr Y



Obr. 6.17: Deformace věže

## 7 DIMENZOVÁNÍ A KOMBINACE

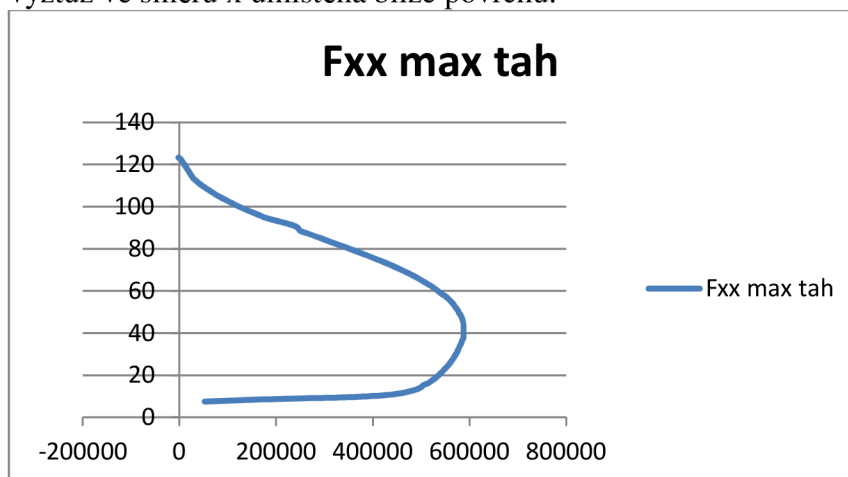
Výpočty pro zjištění potřebné výztuže byly provedeny v programu MS Excel. Z programu Midas FEA, byly zjištěny maximální tahové a tlakové síly jak ve skořepině, tak ve stojkách. V programu Excel byly vytvořeny 3 kombinace:

K1: stálé + vítr + komínový efekt

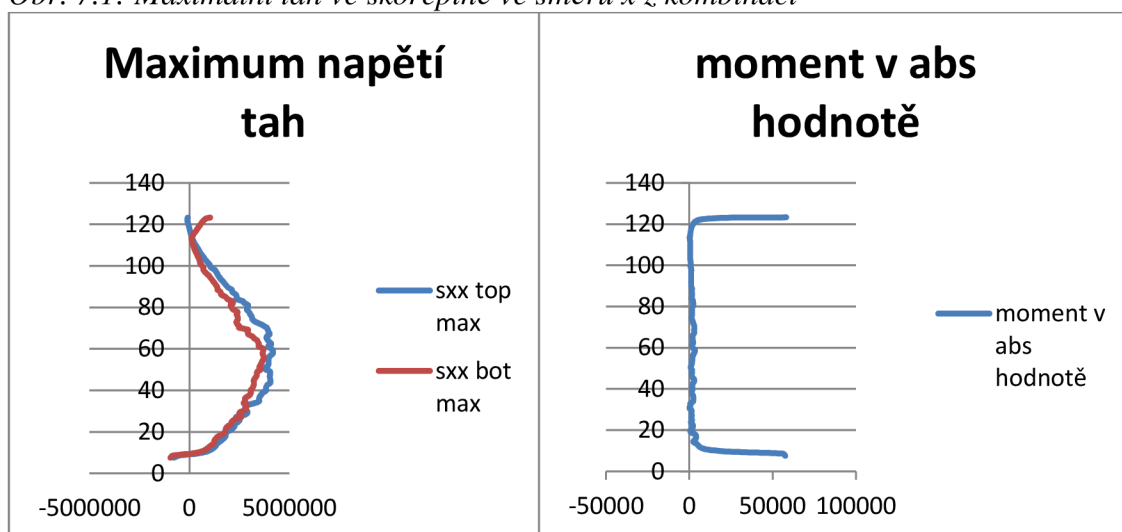
K2: K1 + teplota v zimě

K3: K1 + teplota v létě + oslunění

Tyto kombinace byly vytvořeny pro směr x a y konečných prvků, kde směr z u konečných prvků pláště reprezentuje směr kolmý na plášť a směřuje ven. Směr x je směr poledníků věže. Byly zjištěny normálové síly ve směru x a y které tvoří hlavní část zatížení skořepiny, což svědčí o relativní korektnosti výsledků. Bylo zjištěno napětí na horním a dolním povrchu konečných prvků pláště, kde horní povrch se uvažován vnější. Pomocí normálové síly a napětí na prvcích byl dopočten moment. Ve směru x vnikají vlivem větru velká tahová a tlaková namáhání, výsledky byly započteny tedy ve dvou variantách jednou s maximálním tahem jednou s maximálním tlakem. Ve směru y k takovým rozdílům nedochází, vznikají zde rovněž menší síly, z tohoto důvodu bude výztuž ve směru x umístěna blíže povrchu.

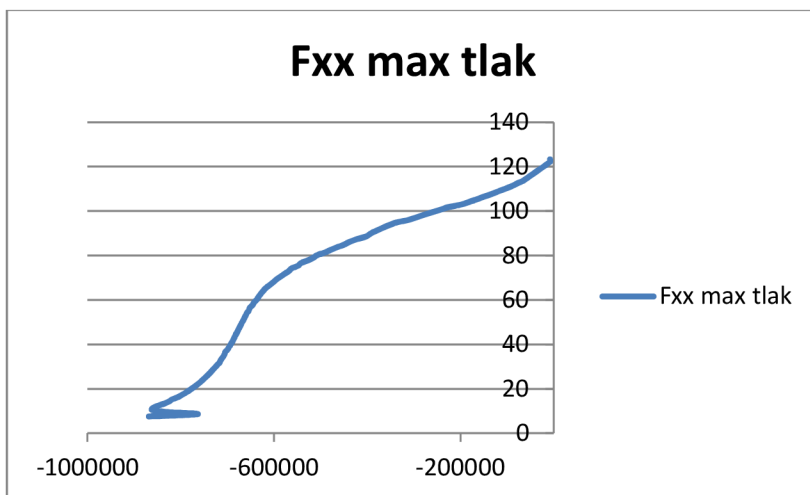


Obr. 7.1: Maximální tah ve skořepině ve směru x z kombinací

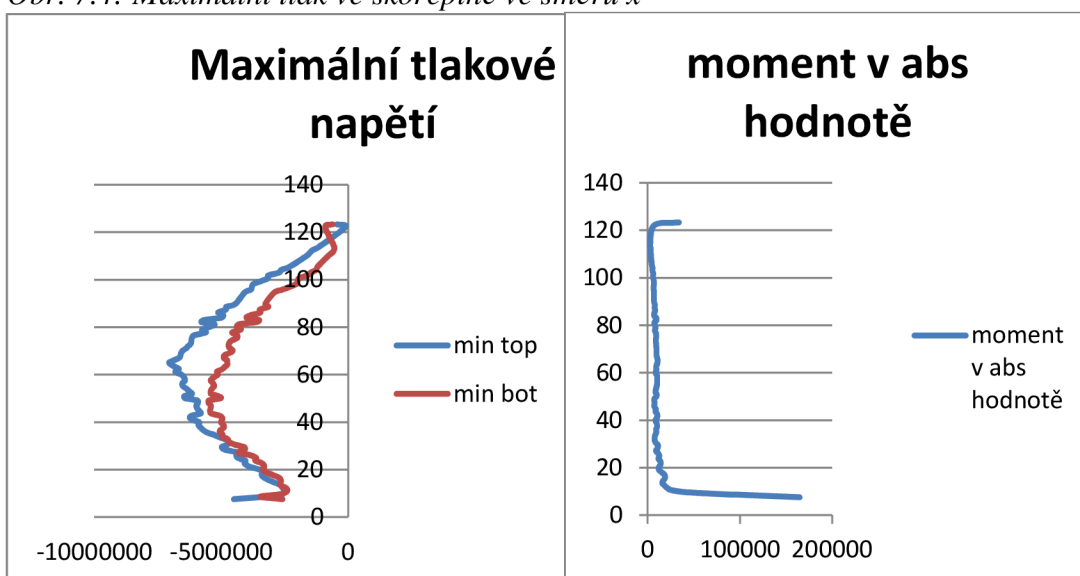


Obr. 7.2: Max napětí z kombinací směr x

Obr. 7.3: Dopočtený moment z napětí

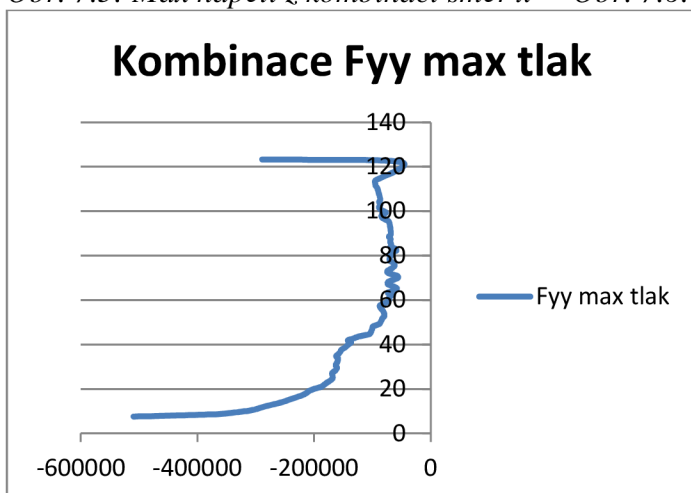


Obr. 7.4: Maximální tlak ve skořepině ve směru x

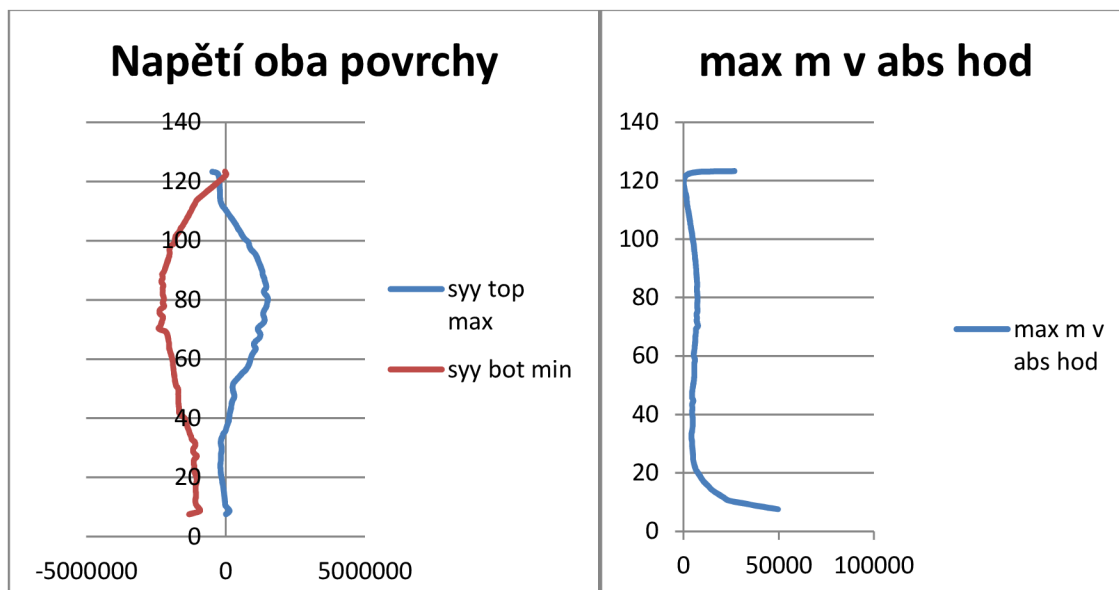


Obr. 7.5: Max napětí z kombinací směr x

Obr. 7.6: Dupočtený moment z napětí



Obr. 7.7: Maximální tlak ve skořepině ve směru y



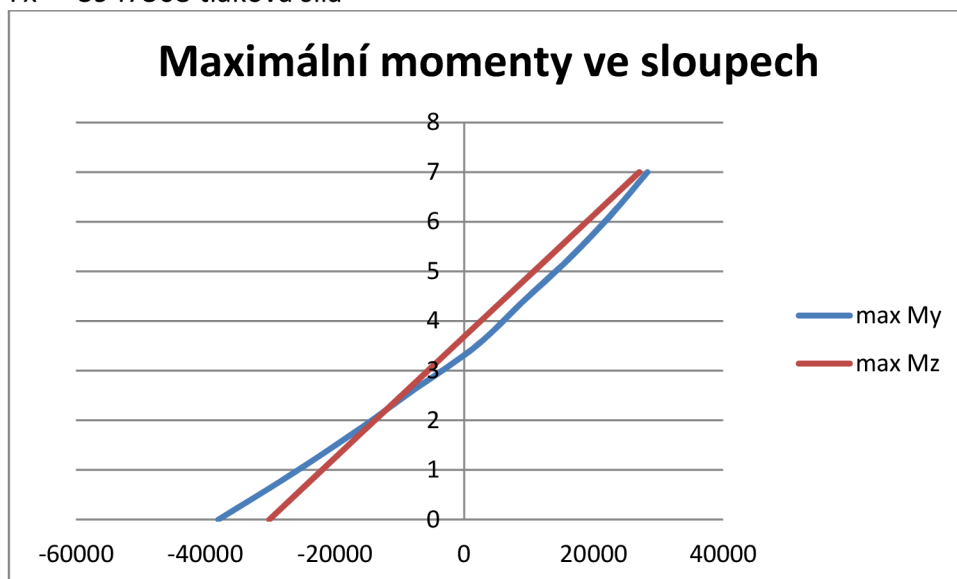
Obr. 7.8: Max napětí z kombinací směr x    Obr. 7.9: Dopočtený moment z napětí

Při výpočtu napětí ve směru y je bráno maximum a minimum pro dané povrchy, vznikne tak největší rozdíl.

Maximální normálové síly ve sloupech z kombinací

$F_x = 1243463$  tahová síla

$F_x = -3947308$  tlaková síla



Obr. 7.10: Maximální momenty ve sloupech

Bylo vypočteno krytí zohledňující venkovní prostředí a možnost opakovaného zmrazování a rozmrazování. Pro prostředí bylo určeno jako XC4-XF3, krytí bylo vypočteno na 40 mm. Byl proveden výpočet boulení, aby bylo zjištěno, zdali bude skořepina na tento nepříznivý jev náchylná. Nejnižší násobek kritické síly vychází 9,15, tento výsledek je dostačující. Skořepina tedy není náchylná k boulení, není tedy nutné uvažovat teorii druhého řádu. Skořepina i sloupy byly posouzeny pomocí interakčního diagramu. Jelikož dochází k tahovému namáhání sloupů a skořepiny, je toto namáhání rozhodující pro návrh výztuže. Pokud některé body interakčního diagramu nesplňují

podmínku využití výztuže, nejsou do diagramu zahrnuty. Jednotlivé prvky byly rovněž posouzeny na maximální a minimální plochu výztuže.

## 8 ZPŮSOB VYZTUŽENÍ

Jelikož se jedná o rotačně symetrickou konstrukci, musí i způsob vyztužení tomuto odpovídat. Plášť bude rozdělen na 120 svislých pruhů, tyto pruhy mají účel rozdělit stykování svislé výztuže, tak aby ke stykování nedocházelo na jednom místě. Je předepsáno souměrné vyztužení obou povrchů věže. Svislá výztuž bude umístěna blíže povrchu. Jednotlivé pruhy jsou tvořeny z poměrně krátkých výztuží, délka je 4m. rovněž vodorovné výztuže budou takto dlouhé. Tato délka je zvolena z důvodu křivosti skořepiny, jednotlivé výztuže poté nemusí být dopředu ohýbány. Případné ohnutí bude řešeno na stavbě. Tento postup je zvolen z důvodu jednoduchosti jeho provedení. Výztužné sítě povrchů skořepiny budou spojeny sponami, kdy jsou uvažovány 3 spony na metr v obou směrech (myšlen svislý i vodorovný směr). Jelikož, je výztuž umístěna pravidelně po 10 cm, bude spona umístěna ob 2 výztuže, tedy po 30 cm. U dolního okraje budou umístěny přídatné profily z důvodu tahového namáhání mimo oblast podepření stojkami. Tyto výztuže musí být stykovány pouze v oblasti připojení stojek k pláští, přičemž styky by neměly být provedeny v jednom místě této oblasti.

Sloupy budou kruhového profilu, budou vyztuženy rovnoměrně 10  $\Phi 25$ , smyková výztuž bude provedena pomocí ovinutí. Výztuž sloupu bude navázána na výztuž vyčnívající ze základů. Výztuž ze sloupů bude zavedena do pláště a svázána s výztuží pláště, bude tak docíleno monolitické spojení sloupů a pláště.

Na horním okraji skořepin bude provedena kontrolní lávka, tato lávka bude z ocelového zábradlí, ukotveného pomocí mechanických kotev. Rovněž výstup na tuto lávku bude upevněn pomocí mechanických kotev do hotové konstrukce. Tento výstup bude umístěn na vnějším povrchu věže.

## 9 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem pláště a stojek chladicí věže. Hlavní část zatížení tvoří zatížení větrem, z tohoto důvodu je na něj kladen největší důraz. Bylo provedeno porovnání výpočtu zatížení větrem dle eurokódu a dle zahraničního manuálu. Pro nedostatky v eurokódu byl zvolen zahraniční předpis, určený k návrhu chladících věží. Zatížení teplotou rovněž vychází z tohoto předpisu. Věž byla modelována v programu Midas FEA, tento program umožňuje poměrně jednoduché a přesné zadání zatížení větrem a teplotou. Byl proveden výpočet a na vnitřní síly, tvořené hlavně normálovou silou a momentem, byla navržena výztuž. Výztuž byla navržena tak, aby nedocházelo k velkým změnám průměrů a roztečí a bylo tak snadnější její vázání.

Dostal jsem informaci, že zatížení větrem je rovněž zkoumáno z důvodu nutnosti přesného podkladu pro ověření únosnosti již stávajících věží a jejich sanaci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1 až 5 Zatížení stavebních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] Structural Design of Cooling Towers: VGB Guideline on the Structural *Design, Calculation, Engineering and Construction of Cooling Towers : VGBR-610 e.* 2010 edition. Essen: VGB PowerTech, 2010. ISBN 978-386-8751-260.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

6.10a	kombinace 6.10a dle [1]
6.10b	kombinace 6.10b dle [1]
$A_c$	plocha tlačeného betonu
$a_R$	vzdálenost žebírek
$A_s$	plocha výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha výztuže
$A_{s,max}$	maximální plocha výztuže
$b$	průměr věže, nebo šířka prvku
<b>B500B</b>	třída pevnosti oceli
$\gamma_c$	součinitel spolehlivosti betonu
$\gamma_s$	součinitel spolehlivosti výztuže
$c_0$	součinitel orografie
<b>C30/37</b>	třída pevnosti betonu
$c_{min}$	minimální krytí výztuže betonem
$c_{min,b}$	minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti;
$c_{min,dur}$	minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí;
$\Delta c_{dur,\gamma}$	přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti prvku;
$\Delta c_{dur,st}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli;
$\Delta c_{dev}$	návrhový přídavek na odchylku
$c_{nom}$	návrhová hodnota krytí výztuže betonem
$c$	krytí výztuže betonem
$c_{pe}$	součinitel vnějšího tlaku větru
$c_{pi}$	součinitel vnitřního tlaku větru
$c_r$	součinitel drsnosti terénu
$d$	účinná výška průřezu
$E_s$	modul pružnosti výztuže
$E_{cm}$	střední modul pružnosti betonu
<b>EN</b>	[2]
$\epsilon_c$	poměrné přetvoření betonu
$\epsilon_{yd}$	maximální poměrné přetvoření výztuže
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ck}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku po 28 dnech
$f_{ctm}$	střední pevnost betonu v tahu
$f_{ctk;0,05}$	5% kvantil pevnosti betonu v tahu
$f_{ctd}$	návrhová pevnost betonu v tahu
$F_i$	součinitel vlivu okolních věží
$F_s$	síla působící ve výztuži
$f_{yd}$	návrhová mez kluzu výztuže
$f_{yk}$	charakteristická mez kluzu výztuže
$F_x$	normálová síla působící ve směru „x“ ve sloupu
$F_y$	normálová síla působící ve směru „y“ ve sloupu
$F_z$	normálová síla působící ve směru „z“ ve sloupu
$F_{xx}$	normálová síla působící ve směru „x“ ve skořepině
$F_{yy}$	normálová síla působící ve směru „y“ ve skořepině
$h$	tloušťka prvku
$h_R$	výška žebírek
$I_v$	intenzita turbulence
<b>K1</b>	kombinace č.1

K2	kombinace č.2
K3	kombinace č.3
$k_r$	součinitel terénu
M	návrhový moment působící na konstrukci
$M_{Rd}$	návrhový moment odporu konstrukce
$M_x$	moment působící ve směru „x“ ve sloupu
$M_y$	moment působící ve směru „y“ ve sloupu
$M_z$	moment působící ve směru „z“ ve sloupu
N	návrhová normálová síla působící na konstrukci
$N_{Rd}$	návrhová normálová síla odporu konstrukce
$n_{min}$	minimální frekvence vlastního kmitání
$q_p$	maximální dynamický tlak
$q_{b(z)}$	tlak od větru ve výšce z
Re	Reynoldsovo číslo
$S_{xx}$	napětí na površích konečných prvků směr „x“
$S_{yy}$	napětí na površích konečných prvků směr „y“
$T_0$	teplota při výstavbě
$T_{min}$	minimální teplota ve stínu
$T_{max}$	maximální teplota ve stínu
$T_i$	teplota uvnitř věže
$\Delta T$	rozdíl teplot
tl.	tloušťka skořepiny
$v_b$	základní rychlost větru
$v_{b0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
$v_m$	střední rychlost větru
$w_e$	vnější tlak větru
$w_i$	vnitřní tlak větru
x	vzdálenost neutrálné osy od příslušného povrchu
XC4-XF3	třída prostředí betonu
z	rameno vnitřních sil
$z_0$	parametr drsnosti terénu
$z_{min}$	minimální výška
$\theta$	úhel odklonu od směru větru
$\rho$	hustota vzduchu
$\varphi$	dynamický součinitel
$\Phi$	profil výztuže
$\nu$	viskozita vzduchu
$\sigma_s$	napětí ve výztuži

## **SEZNAM PŘÍLOH**

P1) POUŽITÉ PODKLADY

P2) VÝPOČETNÍ ČÁST

P3) VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE