

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technologie staveb**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vnější dopady přírodních a  
technogenních vlivů na objekty  
jaderné energetiky**

**Bc. Tereza Jakubů**

**2020**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Alexander Kravcov, Ph.D.**



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jakubů** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **439079**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra technologie staveb**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Příprava, realizace a provoz staveb**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vnější dopady přírodních a technogenních vlivů na objekty jaderné energetiky**

Název diplomové práce anglicky:

**External impacts of both natural and man-made acts against the objects of nuclear energy**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Alexander Kravcov, Ph.D., katedra technologie staveb FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **05.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Alexander Kravcov, Ph.D.  
podle vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.  
podle vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Mäca, CSc.  
podle děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou prací vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 6.1.2020

.....

Tereza Jakubů

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce za jeho cenné rady a vedení při zpracování diplomové práce. Další poděkování patří mé rodině a přítelovi, kteří mě velice podporovali po celou dobu studia.

## **Abstrakt:**

V této diplomové práci se autor zabývá vnějšími dopady přírodních a technogenních vlivů na objekty jaderné energetiky.

V první části jsou popisovány různé vlivy z pohledů různých právních předpisů zemí, k nimž náleží. Konkrétně je zde rozvedená česká legislativa, ruská norma a americká nařízení zabývající se touto problematikou.

Další část se zabývá konkrétní problematikou České republiky, již je vítr. Zatížení větrem a vyvolání autokmitání, tato problematika je zde více rozvedena a popsána.

Pro výpočty je použit model elektrárny ve Ferrybridge. Na různých modelových situacích jsou provedeny výpočty odpovídající tématu práce, které jsou v závěru práce vyhodnoceny.

## **Klíčová slova:**

objekty jaderné energetiky, vnější vlivy, Ferrybridge, autokmitání, zatížení větrem

## **Abstract:**

In this diploma thesis the author deals with the external impacts of both natural and man-made acts against the objects of nuclear energy.

The first part describes various influences from the perspective of different legislation of the countries to which it belongs. Specifically, there is a detailed Czech legislation, Russian standard and American regulations dealing with this issue.

The next part deals with the specific issue of the Czech Republic, which is the wind. The wind load and induction of selfoscillation, this issue is more elaborated and described here.

The model of the Ferrybridge power plant is used for the calculations. Calculations corresponding to the topic of the work are performed on various model situations, which are evaluated at the end of the work.

## **Keywords:**

objects of nuclear energy, external impacts, Ferrybridge, selfoscillation, wind load

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Úvod .....   | 9  |
| 1. Česká legislativa z pohledu na vnější dopady přírodních a technogenních vlivů na objekty jaderné energetiky.....        | 11 |
| 1.1. České zákony .....  | 11 |
| 1.2. Eurokód .....   | 12 |
| 2. Ruská norma a její pohled na problematiku vnějších vlivů na zařízení jaderné energetiky .....                           | 13 |
| 3. U.S.NRC (United States Nuclear Regulatory Commission) – Jaderná regulační komise USA a její pohled na problematiku..... | 33 |
| 3.1. Zatížení větrem (revize 3., 3/2007).....  | 33 |
| 3.2. Zatížení od tornáda (revize 3., 3/2007).....  | 34 |
| 3.2.1. Charakteristika a účinky tornáda .....  | 35 |
| 3.2.2. Větrné efekty tornáda.....  | 36 |
| 3.2.3. Účinky změny atmosférického tlaku .....   | 36 |
| 3.2.4. Účinky dopadů trosek/střepin konstrukce.....  | 37 |
| 3.2.5. Kombinované účinky tornád .....   | 37 |
| 3.3. Zatížení pádem letadla (rev.4).....   | 37 |
| 3.3.1. Letecké trasy.....  | 37 |
| 3.3.2. Letiště civilní, vojenská a heliporty .....   | 38 |
| 3.3.3. Vymezené vzdušné prostory .....   | 39 |
| 4. Ferrybridge C.....  | 40 |
| 5. Zatížení větrem na Českou republiku .....   | 43 |
| 6. Zatížení větrem.....  | 44 |
| 6.1. Zatížení.....   | 45 |
| 6.2. Charakteristiky zatížení větrem.....  | 45 |
| 6.3. Statistické zpracování měření okamžité rychlosti větru .....  | 45 |
| 6.3.1. Gumbelovo rozdělení .....   | 45 |
| 6.4. Rychlost větru .....  | 46 |
| 6.4.1. Vstupní data .....  | 47 |
| 6.4.1.1. Skupinové faktory pro výpočet Gumbelova rozdělení .....   | 48 |
| 6.5. Vnitřní sání.....   | 54 |
| 6.6. Posouzení stability věže proti vybočení .....   | 54 |
| 7. Autokmitání.....  | 56 |
| 7.1. Výpočet autokmitání .....   | 56 |
| 7.2. Výpočet vlastní frekvence .....   | 56 |
| 7.3. Výpočet maximálních příčných kmitů .....  | 57 |

|  |    |
|--|----|
| 8. Výpočty a hodnocení .....   | 61 |
| 8.1. Modelová situace 1 .....  | 61 |
| 8.1.1. Výpočty .....   | 61 |
| 8.1.2. Podmínky .....  | 62 |
| 8.1.3. Výpočet minimální rychlosti větru, při které by došlo ke kolapsu<br>..... | 62 |
| 8.1.4. Vyhodnocení .....   | 63 |
| 8.2. Modelová situace 2 .....  | 63 |
| 8.2.1. Výpočty .....   | 63 |
| 8.2.2. Podmínky .....  | 64 |
| 8.3. Modelová situace 3 .....  | 64 |
| 8.3.1. Podmínky .....  | 65 |
| 8.3.2. výpočty .....   | 65 |
| 8.3.3. Vyhodnocení .....   | 66 |
| Závěr .....  | 67 |
| Zdroje a použitá literatura .....  | 68 |
| Použité tištěné dokumenty .....  | 68 |
| Použité elektronické dokumenty .....   | 68 |
| Seznam obrázků .....   | 71 |
| Seznam tabulek .....   | 71 |



## Úvod

V dnešní době se klade velký důraz na ekologii a obnovitelné zdroje energie, přestože jaderná energie není obnovitelný zdroj, nepřispívá ke skleníkovému efektu a je svou efektivitou srovnatelný s tepelnými elektrárnami. Jaderná energie je nedílnou součástí dnešní doby. Jaderné elektrárny však nepřinášejí jen výhody. Pokud se stane nějaká nehoda či katastrofa, její následky jsou smrtelné, proto musíme k těmto objektům přistupovat s respektem a zajistit jejich stabilitu a bezpečí.

Když se řekne jaderná elektrárna a dopady na ni, většina lidí si představí havárii jaderné elektrárny v Černobylu 1986, nebo podobné havárie zaviněné selháním člověka, či samotné technologie při výrobě energie pomocí jádra.

Tato práce se však nezabývá problematikou selhání technologie výroby jaderné energie, ale problematikou přírodních a technogenních vlivů na objekty jaderné energetiky. Tomu spíše odpovídá havárie jaderné elektrárny Fukušima I 3.11.2011. Havárii ve Fukušimě způsobila ničivá vlna tsunami, což je přírodní vliv.

Orgánem ochrany je zákon, proto je v první části této práce rozebrána problematika a nahlížení na ni z pohledu zákonů různých zemí. Konkrétně z pohledu české legislativy, ruské normy a předpisů platných pro USA. Každá země na problematiku a její právní řešení nahlíží odlišně, ať už z pohledu rozdělení, tak i konečných důsledků.

Další část práce se bude zabírat nejzávažnějším přírodním vnějším vlivem pro Českou republiku, jímž je vítr. Tato problematika bude řešena ve dvou kapitolách, jedna se bude věnovat zatížení větrem, druhá bude popisovat autokmitání. Situace budou nasimulovány na chladících věžích elektrárny ve Ferrybridge. Chladicí věže elektrárny budou situovány na území České republiky, konkrétně na území jaderných elektráren, nacházejících se reálně na našem území, což jsou Dukovany a Temelín.

V této práci záměrně nebudou simulovány technogenní vlivy na naše jaderné elektrárny Dukovany a Temelín, aby nemohla být použita jako návod pro případný útok a jejich destrukci.

Nedílnou částí výpočtů bude i ověření skutečného pádu chladících věží ve Ferrybridge a jeho vyhodnocení.

# 1. Česká legislativa z pohledu na vnější dopady přírodních a technogenních vlivů na objekty jaderné energetiky

## 1.1. České zákony

Česká legislativa obecně v pohledu na zařízení jaderné energetiky není moc obsáhlá, konkrétně můžeme zmínit Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, zákon číslo 18/1997 platný od 26.2.1997 a účinný od 1.7.1997. Z větší části byl však zákon nahrazen atomovým zákonem, zákon číslo 263/2016 platný od 10.8.2016 a platný od 1.1.2017. Zákon konkrétně upravuje **a) podmínky mírového využívání jaderné energie, b) podmínky vykonávání činností v rámci expozičních situací, c) nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem, d) schvalování typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a podmínky přepravy radioaktivní nebo štěpné látky, radioaktivního odpadu nebo vyhořelého jaderného paliva, e) monitorování radiační situace, f) zvládání radiační mimořádné události, g) podmínky zabezpečení jaderného zařízení, jaderného materiálu a zdroje ionizujícího záření (dále jen „zabezpečení“), h) požadavky k zajištění nešíření jaderných zbraní a i) výkon státní správy v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření.**<sup>1</sup> Zákon 236/2006 se zmiňuje o mimořádné situaci, ale neřeší konkrétní situace z hlediska vnějších vlivů. Tyto mimořádné situace jsou zaměřeny spíše na poškození jádra samého nebo na mimořádné situace spojené s jaderným odpadem. U mimořádných situací se zákon odkazuje na zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, zákon číslo 239/2000.

Mimo zákony jsou tu též vyhlášky, které upravují jadernou bezpečnost, a to například vyhláška ze dne 17. 10. 2016 o podrobnostech k zajištění zvládání radiační mimořádné události (359/2016) nebo vyhláška ze dne 23.1.2017 o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení (21/2017).

---

<sup>1</sup> 263/2016 atomový zákon [cit. 09.12.2019] [4]

Tyto zákony a vyhlášky se však vůbec nezabývají tematikou jakýchkoliv vlivů na zařízení jaderné energetiky.

## **1.2. Eurokód**

U eurokódů bychom se mohli zaměřit na eurokód 1, zatížení konstrukcí. Tento eurokód je rozdělen do 7 částí.

ČSN EN 1991 – 1 – 1 Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991 – 1 – 2 Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru

ČSN EN 1991 – 1 – 3 Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem

ČSN EN 1991 – 1 – 4 Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

ČSN EN 1991 – 1 – 5 Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou

ČSN EN 1991 – 1 – 6 Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení během provádění

ČSN EN 1991 – 1 – 7 Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení

Tento eurokód je obecným předpisem pro navrhování objektů. Je to obecný předpis, který se nevěnuje konkrétně problematice jaderných zařízení ani při návrhu. Proto jej nemůžeme použít ani jako předpis pro problematiku vnějších vlivů na objekty jaderné energetiky.

## **2. Ruská norma a její pohled na problematiku vnějších vlivů na zařízení jaderné energetiky**

Zúčtování vnějších vlivů přírodního a umělého původu na jaderná zařízení je název ruské normy, která se zabývá problematikou vnějších vlivů na jaderná zařízení. Norma byla schválena usnesením Federální služby pro ekologický, technologický a jaderný dozor dne 20. prosince 2005.

Norma se zabývá těmito okruhy:

- 1) Účel a oblast působnosti
- 2) Názvosloví procesů, jevů a faktorů přírodního a technogenního původu a jejich klasifikace podle stupňů nebezpečí
- 3) Požadavky na technické průzkumy a studium procesů, jevů a faktorů přírodního a technogenního původu
- 4) Zásady a kritéria pro zajištění udržitelnosti a bezpečnosti jaderných elektráren pod vnějšími vlivy
- 5) Požadavky na technickou ochranu území objektů jaderného zařízení
- 6) Požadavky na účtování vnějších vlivů během umístění, návrhu, provozu a vyřazování jaderné elektrárny z provozu
- 7) Požadavky na monitorování parametrů procesů a jevů přírodního původu a periodická kontrola parametrů technogenního původu.

V našem případě nás nejvíce bude zajímat bod 2) Názvosloví procesů, jevů a faktorů přírodního a technogenního původu a jejich klasifikace podle stupně nebezpečí.

Vnější vlivy dělí norma do několika kategorií, hydrometeorologické procesy a jevy, geologické a geotechnické procesy a jevy, faktory vytvářející vnější vlivy technogenního původu (technogenní faktory). V normě je nejprve uveden proces, jev nebo faktor ohrožení, poté je zde popsán možný dopad na plochu jaderného zařízení. Norma má tři stupně ohrožení a důsledky dopadu na okolí, u většiny případů má také jasně dané parametry ohrožení. Pokud nejsou parametry striktně dané, norma uvádí, že je potřeba dopočítat je pro konkrétní situaci. Viz. tabulky níže.

Tabulka 1, hydrometeorologické procesy a jevy (ruská norma) [22]

| <b>Hydrometeorologické procesy a jevy</b> |   |   |   |
|---|---|---|---|
| proces, jev a faktor                      | možný dopad na plochu umístění jaderného zařízení   | mezní hraniční parametry, podle kterých je provedena klasifikace stupně nebezpečí         | stupeň nebezpečí a důsledky dopadu na okolí |
| povodně                                   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, hydrodynamické a dynamické účinky na budovy a sítě                                  | záplavová úroveň větší nebo rovna 1 m, průtok vody větší nebo rovno 0,7 m/s               | I   |
| povodně                                   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, hydrodynamické a dynamické účinky na budovy a sítě                                  | záplavová úroveň menší než 1 m, ale větší než 0,2 m, průtok vody menší než 0,7 m/s        | II  |
| povodně                                   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení  | záplavová úroveň menší nebo rovna 0,2 m   | III   |
| tsunami                                   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamická vlna a budovy a stavby, dočasné snížení hladiny vody v pobřežní zóně moře | výška vlny větší nebo rovna 5 m, výška stoupající vody podél pobřeží větší nebo rovna 1 m | I   |
| tsunami                                   | záplavy na ploše pro umístění jaderného   | výška vlny menší než 5 m, ale více  | II  |

|  |   |   |     |
|--|---|---|-----|
|  | zařízení, dynamická vlna a budovy a stavby, dočasné snížení hladiny vody v pobřežní zóně moře   | než 0,2 m, výška stoupající vody podél pobřeží je menší než 1 m, ale větší než 0,2 m                |     |
| tsunami                                    | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamická vlna a budovy a stavby, dočasné snížení hladiny vody v pobřežní zóně moře   | výška vlny je menší nebo rovna 0,2m, výška stoupající vody podél pobřeží je menší nebo rovna 0,2m   | III |
| ledové jevy na proudech (zácpa, přetížení) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamické účinky při výskytu průlomové vlny   | záplavová úroveň území větší nebo rovno 1m, dynamické parametry dopadu stanovené výpočtem           | I   |
| ledové jevy na proudech (zácpa, přetížení) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamické účinky při výskytu průlomové vlny (ucpání zařízení pro příjem vody i s potrubím jaderného zařízení v důsledku kalů a ledových ker | záplavová úroveň území menší než 1m a větší než 0,2m, dynamické parametry dopadu stanovené výpočtem | II  |

|  |   |   |     |
|--|---|---|-----|
| ledové jevy na proudech (zácpa, přetížení)             | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamické účinky při výskytu průlomové vlny (ucpání zařízení pro příjem vody i s potrubím jaderného zařízení v důsledku kalů a ledových ker | záplavová úroveň území menší nebo rovno 0,2m,   | III |
| režim pobřežní zóny moře (nárůst bouře, bouřlivé moře) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamický dopad na technické struktury svislých a šikmých profilů. Proudění kolem překážek.   | záplavová úroveň území větší nebo rovno 1m, dynamické parametry dopadu stanovené výpočtem | I   |
| režim pobřežní zóny moře (nárůst bouře, bouřlivé moře) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamický dopad na technické struktury svislých a šikmých profilů. Proudění kolem překážek.   | záplavová úroveň území menší než 1m, dynamické parametry dopadu stanovené výpočtem        | II  |
| režim pobřežní zóny moře (nárůst bouře, bouřlivé moře) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení, dynamický dopad na technické struktury svislých a šikmých profilů.  | záplavová úroveň území menší nebo rovno 0,2 m,  | III |



|  |   |  |     |
|--|---|--|-----|
|  | Proudění kolem překážek.  |  |     |
| seiche (stojaté vlny, vznikající a vyskytující se v uzavřených, nebo částečně uzavřených vodních útvarech) | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav větší nebo rovna 1 m                    | I   |
| seiche   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav menší než 1 m, ale větší než 0,2 m      | II  |
| seiche   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav menší nebo rovna 0,2 m                  | III |
| příliv a odliv   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav/ odtoků větší nebo rovna 1 m            | I   |
| příliv a odliv   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav/ odtoků menší než 1 m a větší než 0,2 m | II  |
| příliv a odliv   | záplavy na ploše pro umístění jaderného zařízení                                | hloubka záplav/ odtoků menší než 0,2 m                 | III |
| změna vodních zdrojů: extrémně nízký odtok, neobvyklé snížení hladiny vody                                 | snížená hladina povrchové vody u zásobování jaderného zařízení povrchovou vodou | snížení hladiny o více než 0,2 m                       | II  |
| změna vodních zdrojů: extrémně nízký odtok,  | snížená hladina povrchové vody u zásobování                                     | snížení hladiny o 0,2 m, nebo méně                     | III |

|                                |  |   |    |
|--------------------------------|--|---|----|
| neobvyklé snížení hladiny vody | jaderného zařízení povrchovou vodou  |   |    |
| tornádo                        | Tlak větru na budovy a konstrukce. diferenční tlaková zatížení mezi obvodem a středem otáčení. Spousta létajících předmětů odnesených tornádem. Odstranění vody z chladících nádrží. | maximální horizontální rychlost otáčení stěny tornáda je větší nebo rovna 50 m/s, pokles tlaku vyšší nebo rovné 3 kPa, třída intenzity tornáda F2 a vyšší, délka cesty větší nebo rovna 15 km a šířka cesty větší nebo rovna 50 m, dynamický zatížení od létajících předmětů a hloubky odvodnění vodních útvarů jsou stanoveny výpočtem | I  |
| tornádo                        | Tlak větru na budovy a konstrukce. diferenční tlaková zatížení mezi obvodem a středem otáčení. Spousta létajících předmětů odnesených tornádem.                                      | maximální horizontální rychlost otáčení stěny tornáda je menší než 50 m/s a větší než 7 m/s, pokles tlaku menší než 3 kPa, třída intenzity tornáda F1, délka cesty menší než 15   | II |

|               |  |   |     |
|---------------|--|---|-----|
|               | Odstranění vody z chladících nádrží.   | km a šířka cesty menší než 50 m, ale větší než 16 m, dynamický zatížení od létajících předmětů a hloubky odvodnění vodních útvarů jsou stanoveny výpočtem   |     |
| tornádo       | Tlak větru na budovy a konstrukce.<br>Diferenční tlaková zatížení mezi obvodem a středem otáčení. Spousta létajících předmětů odnesených tornádem.<br>Odstranění vody z chladících nádrží. | maximální horizontální rychlost otáčení stěny tornáda je menší než 7 m/s, pokles tlaku menší než 1 kPa, třída intenzity tornáda F0 a méně, délka cesty menší než 1,6 km a šířka cesty menší nebo rovna 16 m, dynamický zatížení od létajících předmětů a hloubky odvodnění vodních útvarů jsou stanoveny výpočtem | III |
| vítr, hurikán | nápor větru a létajících objektů   | rychlost větru větší nebo rovna 35 m/s, dynamická zatížení od létajících  | I   |

|                             |   |  |     |
|-----------------------------|---|--|-----|
|                             |   | předmětů<br>stanovena<br>výpočtem  |     |
| vítr                        | nápor větru a<br>létajících objektů                   | rychlost větru menší<br>než 35 m/s, ale<br>větší než 7 m/s,<br>dynamická zatížení<br>od létajících<br>předmětů<br>stanovena<br>výpočtem      | II  |
| vítr                        | nápor větru a<br>létajících objektů                   | rychlost větru menší<br>než 7 m/s,   | III |
| tropický cyklon<br>(tajfun) | tlak větru na budovy<br>a konstrukce, silné<br>srážky | srážky větší než 30<br>mm/h, rychlost<br>větru větší nebo<br>rovno 35 m/s  | I   |
| srážky                      | záplavy na ploše pro<br>umístění                      | výška srážek větší<br>nebo rovna 50<br>mm/h po dobu 12 h<br>nebo méně (při<br>nebezpečí výskytu<br>bahna 30 mm po<br>dobu 12 h nebo<br>méně) | I   |
| srážky                      | záplavy na ploše pro<br>umístění                      | výška srážek menší<br>než 50 mm, ale<br>větší než 30 mm/h<br>po dobu 12 hodin<br>nebo méně   | II  |
| srážky                      | záplavy na ploše pro<br>umístění                      | výška srážek menší<br>nebo rovna 30  | III |

|                           |  |   |    |
|---------------------------|--|---|----|
|                           |  | mm/h po dobu 12 hodin nebo méně   |    |
| extrémní sněžení          | zasněžení příjezdových cest, ploch a komunikací  | sněžení větší nebo rovno 20 mm/h po dobu 12 h nebo méně   | II |
| extrémní sněhové zatížení | zatížení sněhem na střеше budov a zařízení   | výška vrstvy je určena výpočtem   | II |
| teplota vzduchu           | teplotní zatížení na budovy stavby a sítě  | maximální hodnoty kladné i záporné teploty stanoveny výpočtem                                     | II |
| sněhová lavina            | dynamický tlak sněhu   | výška svislého reliéfu je 500 – 1000 m, maximální průměrný výška sněhové vrstvy je 70 – 100 cm    | I  |
| sněhová lavina            | dynamický tlak sněhu   | výška svislého reliéfu je 500 m a méně, maximální průměrný výška sněhové vrstvy je méně než 70 cm | II |
| led                       | zničení komunikačních linek a napájení, porucha komunikačních systémů z důvodu pokrytí ledem, mrazem | tloušťka ledové vrstvy větší než 25 mm  | I  |

|       |  |  |     |
|-------|--|--|-----|
| led   | zničení komunikačních linek a napájení, porucha komunikačních systémů z důvodu pokrytí ledem, mrazem | tloušťka ledové vrstvy větší než 3 mm                                    | II  |
| led   | zničení komunikačních linek a napájení, porucha komunikačních systémů z důvodu pokrytí ledem, mrazem | tloušťka ledové vrstvy menší nebo rovna 3 mm                             | III |
| blesk | dopad elektrického výboje na budovy, zařízení, sítě a vybavení                                       | určeno výpočtem s ohledem na bouřkové nebezpečí v regionu a na intenzitě | II  |

Tabulka 2, Geologické a geotechnické procesy a jevy (ruská norma) [22]

| <b>Geologické a geotechnické procesy a jevy</b> |   |   |   |
|---|---|---|---|
| proces, jev a faktor                            | možný dopad na plochu umístění jaderného zařízení                     | mezní hraniční parametry, podle kterých je provedena klasifikace stupně nebezpečí | stupeň nebezpečí a důsledky dopadu na okolí |
| seismické dislokace, seismotektonické jevy      | rychlý smykový posun a další zlomy v zemské kůře, doprovázené silnými | impulzivní posuny s amplitudou větší nebo rovno 0,3 m                             | I   |

|   |  |  |     |
|---|--|--|-----|
|   | výkyvy (8 stupňů MSK-64)   |  |     |
| další pohyby zemské kůry, tektonické tečení   | pomalé diskontinuální a složené pohyby doprovázení deformací a diskontinuitou hornin | pohyby mezer větší nebo rovno 0,3 m, geodynamické zóny a gradientem rychlosti do $10^{-6}$ m/rok       | I   |
| další pohyby zemské kůry, tektonické tečení   | pomalé diskontinuální a složené pohyby doprovázení deformací a diskontinuitou hornin | pohyb mezery menší než 0,3 m, geodynamické zóny a gradientem rychlosti od $10^{-6}$ do $10^{-9}$ m/rok | II  |
| další pohyby zemské kůry, tektonické tečení   | pomalé diskontinuální a složené pohyby doprovázení deformací a diskontinuitou hornin | geodynamické zóny a gradientem rychlosti nad $10^{-9}$ m/rok   | III |
| zbytková seismická deformace zemské kůry: zóny s velikostí zemětřesení o velikosti 7-9 stupňů | praskliny v základech  | posuny s amplitudou větší nebo rovno 0,3 m   | I   |
| zbytková seismická deformace zemské kůry: rozmáčené půdy                                      | trhliny v půdě   | posuny s amplitudou větší nebo rovno 0,1 m   | I   |

|   |  |   |     |
|---|--|---|-----|
| zbytková seismická deformace zemské kůry: tektonické pohyby v zónách tektonických poruch                                      | nerovnoměrné srážky způsobené heterogenitou hornin na bázi struktur procházejících zónou | trhliny menší než 0,3 m, ale větší než 0,1 m, výchylky s amplitudou menší než 0,3 m, ale větší nebo rovno 0,1 m | II  |
| zbytková seismická deformace zemské kůry: na mírných svazích a změněných oblastech zemětřesením o velikosti 7-9 stupňů MSK-64 | deformace trhlinami v půdě   | posun s amplitudou menší než 0,3 m, ale větší než 0,1 m   | II  |
| zóny tektonických poruch, na svazích a změněných oblastech zemětřesením o velikosti 4-6 stupňů MSK-64                         | deformace trhlinami v půdě   | posun s amplitudou menší než 0,3 m, ale větší nebo rovno 0,1 m  | II  |
| zóny tektonických poruch, na svazích a změněných oblastech  | deformace trhlinami v půdě   | posun s amplitudou menší než 0,1 m  | III |



|  |   |  |     |
|--|---|--|-----|
| zemětřesením o velikosti 4-6 stupňů MSK-64   |   |  |     |
| zemětřesení (jakýkoli původ)   | nepravidelná deformace, změny hydrologického režimu podzemní vody | intenzita zemětřesení přes 8 stupňů MSK-64                                   | I   |
| zemětřesení (jakýkoli původ)   | nepravidelná deformace, změny hydrologického režimu podzemní vody | intenzita zemětřesení přes 5-8 stupňů MSK-64                                 | II  |
| zemětřesení (jakýkoli původ)   | nepravidelná deformace, změny hydrologického režimu podzemní vody | intenzita zemětřesení přes menší než 5 stupňů MSK-64                         | III |
| sopečná erupce: v oblasti sopečných bomb, lávových proudů a výbušných účinků           | nárazy částic, vysoké teploty toxické emise                       | parametry jsou určeny dle historických dat a výpočtů                         | I   |
| sopečná erupce: v oblasti sopečných bomb, lávových proudů, výbušných účinků, v oblasti | nárazy částic, vysoké teploty toxické emise                       | parametry jsou určeny dle historických dat a výpočtů, posuny menší než 0,3 m | II  |

|  |  |  |    |
|--|--|--|----|
| distribuce plynů<br>popela a otřesů  |  |  |    |
| bahenní<br>vulkanismus:<br>v zónách bahna<br>znečištění<br>plynem  | záplavy bahnem,<br>kontaminace plyny,<br>teplotní změny,<br>deformace půdy | záplavová úroveň<br>větší nebo rovno<br>0,5 m  | I  |
| bahenní<br>vulkanismus:<br>v zónách bahna<br>znečištění<br>plynem,<br>bahenních toků                       | záplavy bahnem   | záplavová úroveň<br>menší než 0,5 m  | II |
| sesuvy půdy<br>pohybující se<br>více než 5 m   | posun podloží  | plocha posuvné<br>hmoty je větší nebo<br>rovna 10 000 m <sup>2</sup>                 | I  |
| sesuvy půdy<br>pohybující se do<br>5 m   | posun podloží  | plocha posuvné<br>hmoty je menší než<br>10 000 m <sup>2</sup>                        | II |
| mudflows,<br>kamenné<br>sněhové laviny,<br>šterkové bloky<br>na strmých<br>svazích větší<br>nebo rovno 35° | šok, hydrodynamický<br>efekt   | objem hmoty větší<br>nebo rovno 100 000<br>m <sup>3</sup>                            | I  |
| mudflows,<br>kamenné<br>sněhové laviny,<br>šterkové bloky<br>na strmých<br>svazích menších<br>35°          | šok, hydrodynamický<br>efekt   | objem hmoty menší<br>než 100 000 m <sup>3</sup><br>nebo rovno 2500<br>m <sup>3</sup> | II |

|   |  |  |     |
|---|--|--|-----|
| mudflows,<br>kamenné<br>sněhové laviny,<br>šterkové bloky<br>na strmých<br>svazích menších<br>35° | šok, hydrodynamický<br>efekt   | objem hmoty menší<br>než 2500 m <sup>3</sup>                                   | III |
| eroze pobřeží,<br>svahů, kanálů   | v místě umístění<br>jaderného zařízení<br>dochází k poklesu,<br>poškození,<br>prasklinám, poklesu<br>základů | praskliny a pohyby<br>částí větší než 1<br>m/rok                               | I   |
| eroze pobřeží,<br>svahů, kanálů   | v místě umístění<br>jaderného zařízení<br>dochází k poklesu,<br>poškození,<br>prasklinám, poklesu<br>základů | praskliny a pohyby<br>částí menší než od<br>1 do 0,1 m/rok                     | II  |
| eroze pobřeží,<br>svahů, kanálů   | v místě umístění<br>jaderného zařízení<br>dochází k poklesu,<br>poškození,<br>prasklinám, poklesu<br>základů | praskliny a pohyby<br>částí menší než 0,1<br>m/rok                             | III |
| úbytek půdy a<br>poklesy, eroze<br>podzemí včetně<br>krasových<br>projevů                         | poklesy a selhání<br>podloží na místě<br>jaderného zařízení  | jedno nebo více<br>selhání v oblasti<br>menší nebo rovno<br>10 km <sup>2</sup> | I   |
| úbytek půdy a<br>poklesy, eroze<br>podzemí včetně   | poklesy a selhání<br>podloží na místě<br>jaderného zařízení  | jedno selhání<br>v oblasti 100 km <sup>2</sup>                                 | II  |

|   |                    |  |    |
|---|--------------------|--|----|
| krasových projevů   |                    |  |    |
| permafrost, geologické kryogenní procesy  | základní deformace | akceptace maximálních možných hodnot určených výpočtem pro specifické podmínky místa | II |
| deformace specifických půd (termokarst, zkapalňování, soliflukce, procesy sušení) | základní deformace | akceptace maximálních možných hodnot určených výpočtem pro specifické podmínky místa | II |

Tabulka 3, Faktory vytvářející vnější vlivy technogenního původu (ruská norma) [22]

| <b>Faktory vytvářející vnější vlivy technogenního původu (technogenní faktory)</b> |   |   |   |
|--|---|---|---|
| proces, jev a faktor   | možný dopad na plochu umístění jaderného zařízení | mezní hraniční parametry, podle kterých je provedena klasifikace stupně nebezpečí | stupeň nebezpečí a důsledky dopadu na okolí |
| pád letadla a dalších létajících předmětů  | náraz, únik paliva, vznícení paliva, oheň         | hmotnost tělesa je více než 20 t  | I   |
| pád letadla a dalších létajících předmětů  | náraz, únik paliva, vznícení paliva, oheň         | hmotnost tělesa je větší nebo rovna 5 t, ale menší než 20 t                       | II  |

|   |   |   |     |
|---|---|---|-----|
| pád letadla a dalších létajících předmětů | náraz, únik paliva, vznícení paliva, oheň   | hmotnost tělesa je menší než 5 t  | III |
| vnější požár                              | nebezpečné faktory (kouř, zvýšená okolní teplota, toxické prostředí, spalování tepelným rozkladem, snížená koncentrace kyslíku) | ekvivalentní plocha ovlivněná ohněm je větší nebo rovna 10 km <sup>2</sup> , přísun hořavin na ploše pro jaderné zařízení zabraňuje uhašení po dobu delší než 2 h         | I   |
| vnější požár                              | nebezpečné faktory (kouř, zvýšená okolní teplota, toxické prostředí, spalování tepelným rozkladem, snížená koncentrace kyslíku) | ekvivalentní plocha ovlivněná ohněm je větší nebo rovna 10 km <sup>2</sup> , přísun hořavin na ploše pro jaderné zařízení zabraňuje uhašení po dobu kratší nebo rovno 2 h | II  |
| výbuch v zařízení                         | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry   | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je větší nebo rovno 30 kPa  | I   |
| výbuch v zařízení                         | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry   | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je menší než 30 kPa, ale větší nebo rovno 1 kPa   | II  |

|   |   |   |     |
|---|---|---|-----|
| výbuch v zařízení   | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je menší než 1 kPa                              | III |
| výbušné hořlavé emise, hořlavé plyny a aerosoly v atmosféře, výbuch vznášejících se mraků | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je větší nebo rovno 30 kPa                      | I   |
| výbušné hořlavé emise, hořlavé plyny a aerosoly v atmosféře, výbuch vznášejících se mraků | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je menší než 30 kPa, ale větší nebo rovno 1 kPa | II  |
| výbušné hořlavé emise, hořlavé plyny a aerosoly v atmosféře, výbuch vznášejících se mraků | nárazová vzduchová vlna, létající objekty, kouř, plyn, související požáry | tlak v přední části nárazové vzduchové vlny je menší než 1 kPa                              | III |
| emise toxických par, plynů a aerosolů do atmosféry  | zvýšená koncentrace toxických plynů a aerosolů                            | vypočítané parametry přesahují skutečné přípustné hodnoty                                   | II  |
| emise toxických par, plynů a aerosolů do atmosféry  | zvýšená koncentrace toxických plynů a aerosolů                            | vypočítané parametry pod limitem přípustné hodnoty  | III |

|  |  |   |     |
|--|--|---|-----|
| korozivní kapalina se vypouští do povrchových a podzemních vod | ukládání korozivních usazenin na objektu, tok korozivní tekutiny do uzlů vodního chladícího systému, vniknutí korozivního média do uzlů sání vzduchu | vypočítané parametry přesahují skutečné přípustné hodnoty                         | II  |
| korozivní kapalina se vypouští do povrchových a podzemních vod | ukládání korozivních usazenin na objektu, tok korozivní tekutiny do uzlů vodního chladícího systému, vniknutí korozivního média do uzlů sání vzduchu | vypočítané parametry pod limitem přípustné hodnoty                                | III |
| elektromagnetické pulzy a záření                               | dopad elektromagnetického pole na síť, vybavení a personál   | parametry jsou určeny pro specifické podmínky výpočtem                            | II  |
| rozlití olejů a ropných produktů na povrchy řek moří a oceánů  | vystavení tepelného toku, leptavý dopad  | parametry jsou určeny pro specifické podmínky výpočtem                            | II  |
| průlom přírodní nebo umělé nádrže                              | povodňová eroze, dynamický dopad na vodní toky   | vlnová výška větší nebo rovna 1 m, rychlost průtoku vody větší nebo rovna 0,7 m/s | I   |

|   |  |   |     |
|---|--|---|-----|
| průlom přírodní<br>nebo umělé<br>nádrže | povodňová eroze,<br>dynamický dopad na<br>vodní toky | vlnová výška<br>menší než 1 m, ale<br>větší než 0,2 m,<br>rychlost průtoku<br>vody menší než<br>0,7 m/s | II  |
| průlom přírodní<br>nebo umělé<br>nádrže | povodňová eroze,<br>dynamický dopad na<br>vodní toky | vlnová výška<br>menší než 0,2 m   | III |



### **3. U.S.NRC (United States Nuclear Regulatory Commission) – Jaderná regulační komise USA a její pohled na problematiku**

Problematiku vnějších vlivů Jaderná regulační komise USA řeší podrobně, každý možný vliv je rozebrán zvlášť a také jejich společné kombinace. Standardní revizní plán je rozdělen do 19 kapitol, které jsou následně děleny na témata. Jednotlivá témata jsou rozepsána. Standardní revizní plán také uvádí počty revizí, kterými jednotlivá témata prošla.

Příklady některých vlivů uvedených níže jsou zjednodušeně popsány pouze pro naznačení toho, jak na ně nahlíží Jaderná regulační komise USA.

#### **3.1. Zatížení větrem (revize 3., 3/2007)**

Oblast se zabývá návrhem konstrukce zatížené větrem tak, aby konstrukce byla schopna tomuto zatížení odolávat. Specifické oblasti jsou: návrhová rychlost větru, perioda opakování, kolísání rychlosti s výškou. Další údaje potřebné ke stanovení parametrů zatížení větrem jsou nejpřesnější místní meteorologické údaje.

Konkrétní kritéria přijatelná pro splnění příslušných požadavků:

a) Vítr použitý pro návrh, je nejsilnější možný, který byl historicky zaznamenán v dané i dostatečně velké okolní oblasti pro co nejpřesnější závěry.

b) Kritéria spojená s rychlostí větru, jeho intervaly a opakování, kolísání rychlosti a výšky, nárazy větru. Schválené hodnoty parametrů slouží jako základní vstupy pro vyhodnocení postupů návrhů konstrukce.

c) Postupy použité k přeměně rychlosti větru na ekvivalentní tlak, který je třeba aplikovat na struktury a části nebo části struktur, jsou zejména přijatelné, pokud jsou shledány v souladu s následujícími.

Maximální tlak rychlosti  $q_z$  by měl být stanoven za použití maximální rychlosti větru pomocí následující rovnice:

$$q_z = 0.00256 K_z K_{dt} K_d V^2 \text{ I (lb/ft}^2\text{) (libra na čtvereční stopu) \quad (3.1.)}$$

$K_z$  = koeficient vystavení tlaku při rychlosti vyhodnocený ve výšce  $z$ , jak je definováno v ASCE / SEI 7-05 (minimální návrhová zatížení pro budovy a ostatní struktury), ale ne méně než 0,87

$K_{dt}$  = topografický faktor 1,0

$K_d$  = faktor směrovosti větru

$V$  = konstrukční rychlost větru v mílích za hodinu (mi / h), jak je uvedeno v bodě 2.3.1 SRP (standardního revizního plánu)

$I$  = faktor důležitosti 1,15

Pro uvažovaný směr větru by kategorie protivětru měla být určena z přírodní topografie terénu, a to zejména na drsnosti povrchu země, vegetaci a vybudovaných zařízeních. Drsnost povrchu  $C$  můžeme definovat jako otevřený terén s překážkami obecně nepřesahujícími výšku 30 stop. Drsnost povrchu  $C$  zahrnuje rovnou otevřenou krajinu a pastviny, všechny vodní plochy v oblastech náchylných k hurikánům.

Dle potřeby by mělo být návrhové zatížení větrem stanoveno v souladu s následujícími oddíly v ASCE / SEI 7-05.

- i. Oddíl 6.5.12 - Návrh zatížení větrem v uzavřených a částečně uzavřených budovách
- ii. Oddíl 6.5.13 - Návrh zatížení větrem na otevřených budovách s monosloupovými, šikmými nebo žlabovými střechami
- iii. Oddíl 6.5.14 - Návrh zatížení větrem na pevných a volně stojících zdech a značkách
- iv. Oddíl 6.5.15 - Návrh zatížení větrem na jiných konstrukcích.

### **3.2. Zatížení od tornáda (revize 3., 3/2007)**

Oblast se zabývá návrhem konstrukce při specifickém zatížení tornádem tak, aby byla schopna tomuto zatížení odolat. Konstrukčními parametry jsou tornádo včetně translačního větru, rychlost otáčení tornáda a změna atmosférického tlaku vyvolaná tornádem. Další údaje potřebné ke stanovení parametrů zatížení větrem jsou nejpřesnější místní meteorologické údaje. Postupy použité ke stanovení změny atmosférického tlaku generované tornádem na částečně uzavřené ploše se přezkoumává dle daného případu.

Konkrétní kritéria přijatelná pro splnění příslušných požadavků:

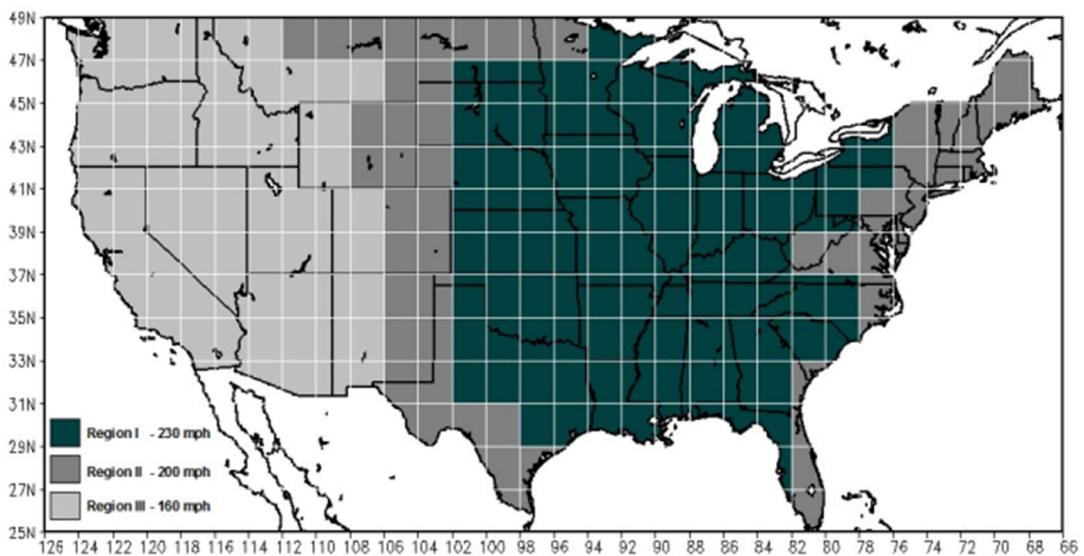
a) Vítr vyvolaný tornádem použitý pro návrh, je nejsilnější možný, který byl historicky zaznamenán v dané i dostatečně velké okolní oblasti pro co nejpřesnější závěry.

b) Kritéria pro parametry tornáda: maximální rychlost větru, translační rychlost, rychlost otáčení a změny atmosférického tlaku. Schválené hodnoty parametrů slouží jako základní vstupy pro vyhodnocení postupů návrhů konstrukce.

c) Postupy použité k transformaci parametrů tornáda na ekvivalentní zatížení konstrukcí jsou následující:

### 3.2.1. Charakteristika a účinky tornáda

Tornáda jsou charakterizována dle regulační příručky 1.76 podle maximální rychlosti větru, translační rychlosti, maximální rychlosti otáčení, poloměru maximální rotační rychlosti, poklesu tlaku a rychlosti poklesu tlaku. Také dělí oblast Spojených států na 3 oblasti.



Obrázek 1, rozdělení USA a 3 oblasti podle vlivu tornáda, [8]

Efekty tornáda jsou rozdělena do tří skupin:

a) Účinky větru od tornáda způsobené přímým působením proudu vzduchu.

b) změny atmosférického tlaku způsobené diferenčním tlakem mezi vnitřkem a vnějškem během průchodu tornádem.

c) Kombinace účinků větru a změny atmosférického tlaku (a,b)

### 3.2.2. Větrné efekty tornáda

Maximální tlak rychlosti  $q_z$  by měl být stanoven za použití maximální rychlosti větru tornáda pomocí následující rovnice.

$$q_z = 0.00256 K_z K_{dt} K_d V^2 I \text{ (lb/ft}^2\text{)} \text{ (libra na čtvereční stopu)} \quad (3.2.)$$

$K_z$  = koeficient vystavení tlaku při rychlosti vyhodnocený ve výšce  $z$ , jak je definováno v ASCE / SEI 7-05 (minimální návrhová zatížení pro budovy a ostatní struktury), ale ne méně než 0,87

$K_{dt}$  = topografický faktor 1,0

$K_d$  = faktor směrovosti větru

$V$  = konstrukční rychlost větru v mílech za hodinu (mi / h), jak je uvedeno v bodě 2.3.1 SRP (standardního revizního plánu)

$I$  = faktor důležitosti 1,15

Rychlost větru se nemění s výškou nad zemí.

Dle potřeby by mělo být návrhové zatížení větrem v tornádu stanoveno v souladu s následujícími oddíly v ASCE / SEI 7-05.

- i. Oddíl 6.5.12 - Návrh zatížení větrem v uzavřených a částečně uzavřených budovách
- ii. Oddíl 6.5.13 - Návrh zatížení větrem na otevřených budovách s monosloupovými, šikmými nebo žlabovými střechami
- iii. Oddíl 6.5.14 - Návrh zatížení větrem na pevných a volně stojících zdech a značkách
- iv. Oddíl 6.5.15 - Návrh zatížení větrem na jiných konstrukcích.

### 3.2.3. Účinky změny atmosférického tlaku

Pokud se bavíme o změně atmosférického tlaku uvnitř a vně tornáda, musíme nejprve definovat okolní prostředí tornáda. Tornádo působící na otevřenou strukturu, velmi rychle vyrovná vnější a vnitřní tlak působící na konstrukci, proto se změna tlaku na konstrukci blíží nule.

U struktury, která je uzavřená, zůstává atmosférický tlak stejný jako tlak před průchodem tornáda. Atmosférický tlak vně struktury se mění až po průchodu tornáda konstrukcí, to poté vytváří tlakové rozdíly uvnitř a vně struktury.

Konstrukce, které jsou částečně uzavřené (odvětrané konstrukce) nemohou být tak jednoduše posouzeny a změny atmosférického tlaku zde musí být přepočítány podle konkrétní situace.

### 3.2.4. Účinky dopadů trosek/střepin konstrukce

Při překročení rychlosti větru 34 m/s lze předpokládat, že střepinami se stanou jak předměty, které leží v dráze tornáda, tak i předměty nacházející se v okolí. Pro klasifikaci střepin lze užít dvě metody:

- a) standardní spektrum střepin tornáda
- b) pravděpodobnostní hodnocení nebezpečí

Pohyb střepin je čistě náhodná událost, proto lze použít pouze pravděpodobnostní hodnocení.

### 3.2.5. Kombinované účinky tornád

Kombinace předchozích zatížení vlivem tornád by měla být stanovena konzervativně, a to podle výpočtů:

$$\text{ad a) } W_t = W_p \quad (3.3.)$$

$$\text{ad b) } W_t = W_w + 0.5 W_p + W_m \quad (3.4.)$$

$W_t$  = celkové zatížení tornádem

$W_p$  = zatížení vlivem změny atmosférického tlaku tornáda

$W_w$  = ,zatížení z dopadu trosek/střepin

$W_m$  = zatížení větrným vlivem tornáda

## 3.3. Zatížení pádem letadla (rev.4)

Aby mohl být brán v úvahu pád letadla pro návrh konstrukce, musí se objekt jaderné energetiky nacházet v blízkosti těchto oblastí, jako jsou letiště, federální letecké trasy, vojenská letiště, výcvikové trasy a výcvikové prostory. Pokud tomu tak je, uvede se do výpočtů. Popisuje se konstrukce letadla z hlediska hmotnosti, rychlosti a dalších vhodných charakteristik. Pro konkrétní případ se musí vybrat odpovídající postup řešení.

### 3.3.1. Letecké trasy

Pro případy, kdy se jaderné zařízení nachází v blízkosti leteckých koridorů nebo koridorů federálních aerolinií musí být určena roční

pravděpodobnost, se kterou by mohlo dojít k nárazu letadla do objektu. Tato pravděpodobnost je závislá na několika faktorech, kterými jsou frekvence letů, nadmořská výška a odpovídající rozdělení předchozích nehod.

Jako jeden způsob výpočtu může sloužit následující rovnice:

$$P_{FA} = C * N * (A/w) \quad (3.5.)$$

$P_{FA}$  = pravděpodobnost, se kterou by mohlo dojít k nárazu letadla

$C$  = nehodovost za letu na uletěnou míli

$N$  = počet letů za rok na letecké trase

$A$  = efektivní plocha letadla ve čtvřečních mílích

$w$  = šířka koridoru.

Tato rovnice dává konzervativní horní hranici pravděpodobnosti, pokud jsou jednotlivé hodnoty smysluplně volené a konzervativní. Pro civilní letadla se používá  $C = 4 \cdot 10^{-10}$ .

### 3.3.2. Letiště civilní, vojenská a heliporty

Pokud se objekt jaderné energetiky nachází prostředí, kde není zajištěna nízká úroveň rizika, je nutné vypočítat pravděpodobnost nárazu letadla do objektu. Pro tento výpočet slouží následující výpočet:

$$P_A = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M C_j N_{ij} A_j \quad (3.6.)$$

$P_A$  = pravděpodobnost nárazu

$C_j$  = pravděpodobnost pádu letadla na čtvřečnou míli j-tého letadla

$N_{ij}$  = počet pohybů j-tého letadla podél i-té dráhy za rok

$A_j$  = efektivní plocha j-tého letadla ve čtvřečních mílích

$M$  = počet různých typů letadel využívající letiště

$L$  = počet letových trajektorií využívající lokalitu

Interpretace jednotlivých faktorů použitých v rovnici se může lišit dle případu kvůli jeho specifickým podmínkám nebo kvůli změnám ve statistice letových nehod.

### 3.3.3. Vymezené vzdušné prostory

Pro určené prostory na civilní i vojenské použití by mělo být ověřeno podrobné kvantitativní modelování operací. Celková pravděpodobnost havárie letadla, by pak měla být jeho výsledkem. Pravděpodobnost potenciální havárie za rok je dána touto rovnicí:

$$P_M = C * A \quad (3.7.)$$

$P_M$  = pravděpodobnost potenciální havárie za rok

$C$  = celková pravděpodobnost havárie letadla za rok v blízkosti místa od uvažovaných letišť (vychází z kvantitativního modelu)

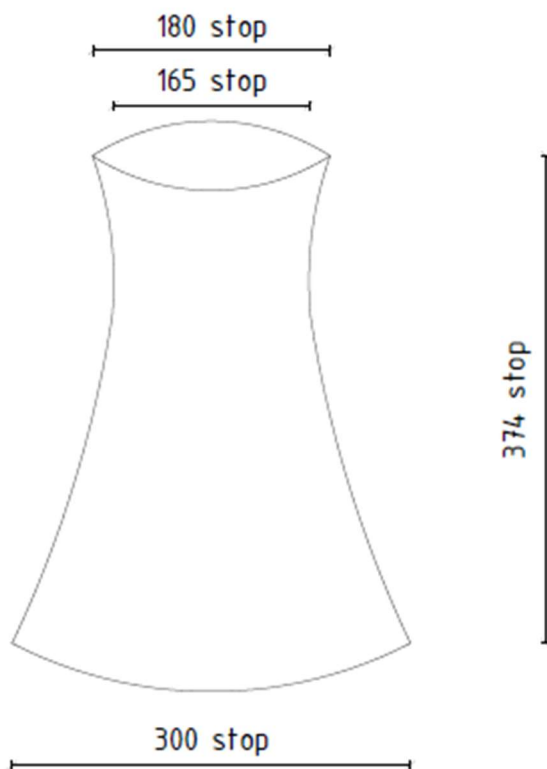
$A$  = efektivní plocha letadla ve čtverečních mílích

## 4. Ferrybridge C

Ferrybridge C byla uhelná elektrárna. Elektrárna se nachází ve Velké Británii, hrabství Yorkshire, severozápadně od města Knottingley. Byla vybudována mezi lety 1962 až 1968. Měla být postavena jako třetí část elektrárny.

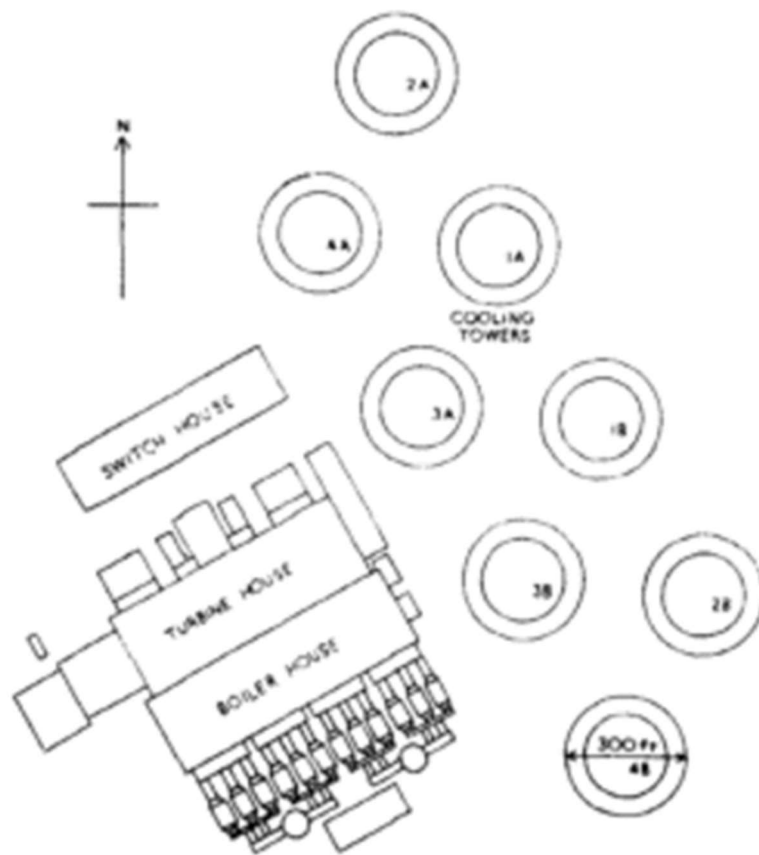
Ferrybridge A není dnes využívána jako elektrárna, ale je určena k jiným účelům. Ferrybridge B byla zbořena v roce 1992. Ferrybridge C už také neslouží jako elektrárna, byla vyřazena z provozu 23. března 2016. V červenci 2019 byla strhnuta jedna chladicí věž, v říjnu 2019 byly poté strženy ještě další čtyři chladicí věže. Dnes na místě stojí pouze poslední tři chladicí věže.

Ferrybridge C se skládala ze souboru budov a osmi chladících věží. Chladicí věže byly železobetonové, stojící ve dvou řadách vzdálené od sebe 350 stop (106,68 m) a vysoké 374 stop (113,995 m). Základna věže je široká 300 stop (91,44 m), nejužší místo je široké 165 stop (50,292 m) a vršek věže je 180 stop (54,864 m) široký. Tloušťka stěny věže je 5 palců (12,7 cm).

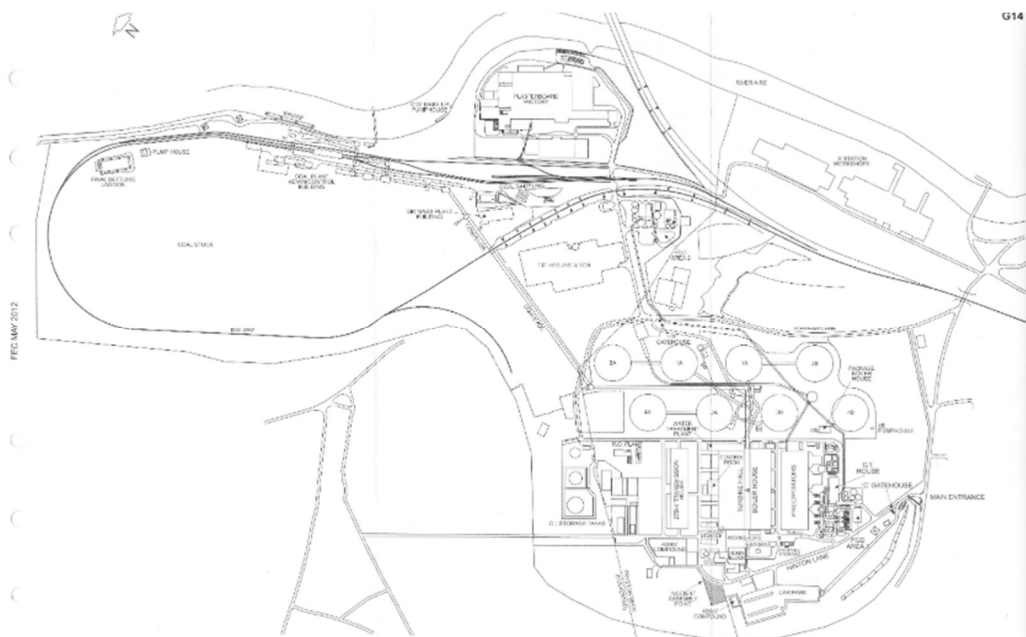


Obrázek 2, model chladicí věže Ferrybridge C





Obrázek 3, uspořádání Ferrybridge C, [11]



Obrázek 4, plánek Ferrybridge C, [11]

V historii Ferrybridge C se objevily dvě velké katastrofy, a to požár 31. července 2014 a pád chladících věží v roce 1. listopadu 1965.

Pád chladících věží je pro tuto práci stěžejní téma. 1. listopadu 1965 se zhroutily tři z osmi chladících věží. Příčinou pádu bylo autokmitání věží z důvodů zatížení větrem. Rychlost větru 1. listopadu 1965 byla 44 m/s na úrovni vršku věží. Tato hodnota však nebyla žádným maximem, je to hodnota vyskytující se ve Ferrybridge zhruba každých 5 let. Mezi jednotlivými věžemi vznikly větrné víry. Frekvence větru byla 0,6 Hz, což se velmi podobalo vlastní frekvenci. Tyto dva faktory způsobily autokmitání věží a poté následné zhroutení.

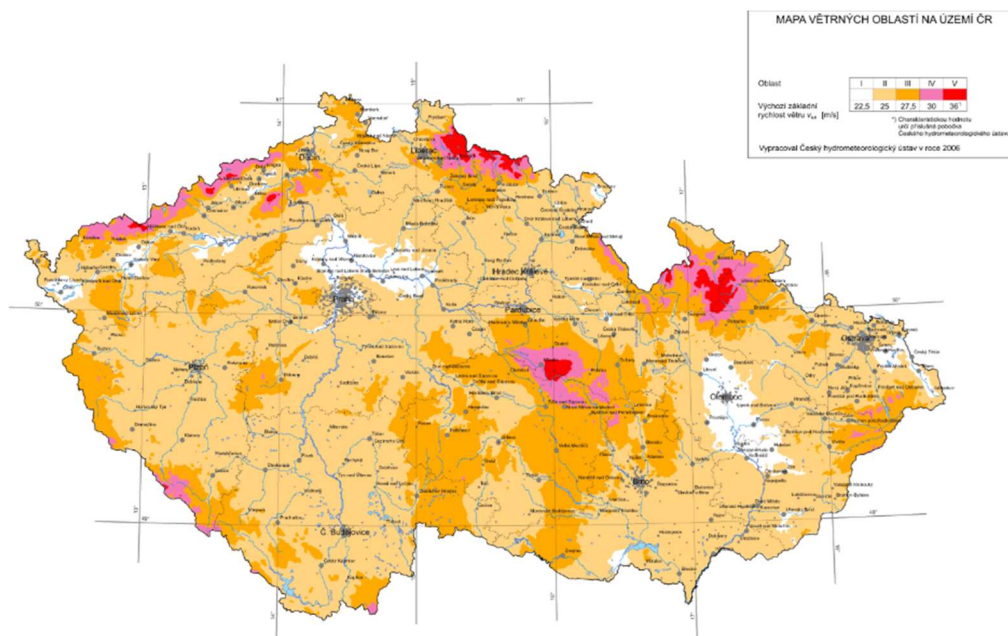


Obrázek 5, zhroutení chladící věže Ferrybridge C, [11]

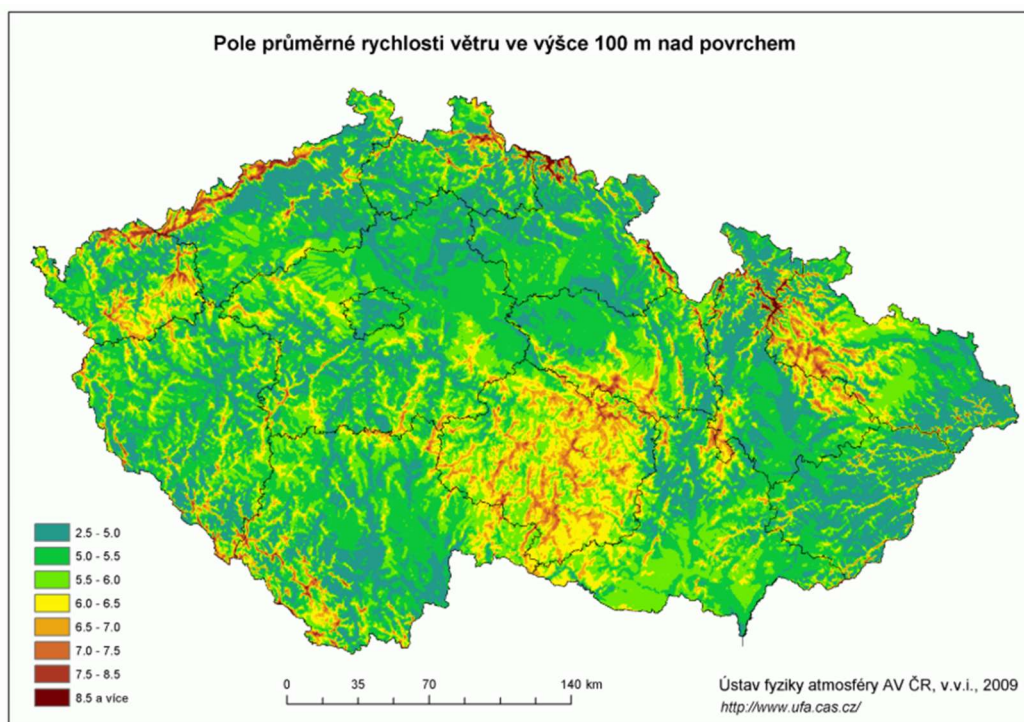
Zhroutené věže byly znovu vystavěny a stávající věže byly vyztužené tak, aby tomuto zatížení odolávaly.

## 5. Zatížení větrem na Českou republiku

Zatížení větrem v České republice patří k nejdůležitějším vnějším vlivům, pokud se jedná o vlivy přírodního původu. Proto se dále tímto problémem budeme zabývat.



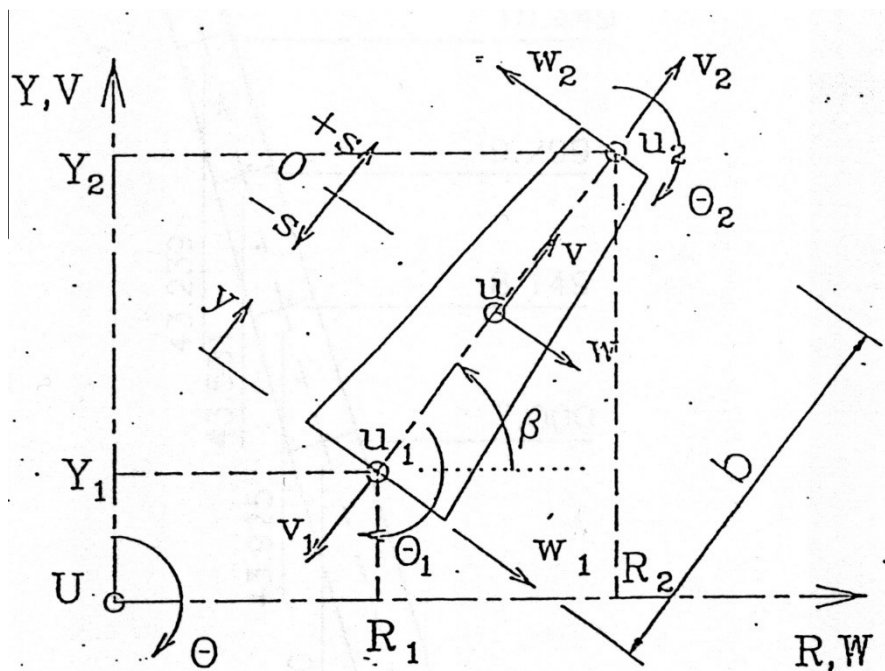
Obrázek 7, mapa větrných oblastí ČR, [13]



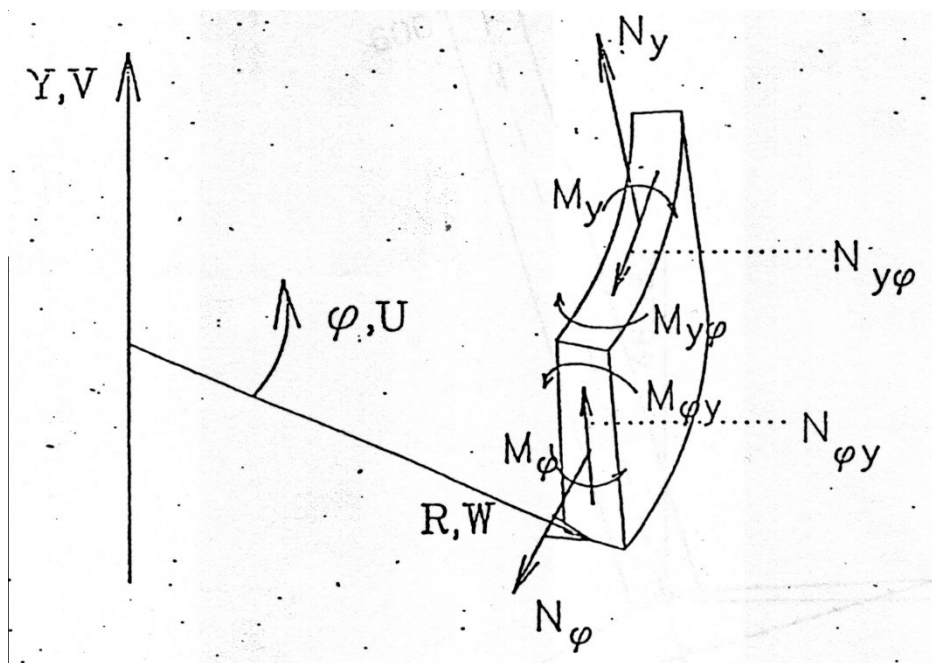
Obrázek 6, mapa větrných oblastí ČR ve výšce 100 m nad povrchem, [12]

## 6. Zatížení větrem

Do výpočetního modelu jsou zavedeny rotačně symetrické prstence, části kuželových ploch skořepiny a kolonáda šikmých stojek jako prsteneček o náhradní tuhosti. Součástí modelu jsou i pásy prefabrikovaného ochozu, aby se jednodušeji zavedlo zatížení větrem. Jejich tuhost ve směru prstence je však zavedena nulová, aby se vystihlo netuhé propojení prefabrikátů ochozu.



Obrázek 9, Řez prvkem: lokální souřadnice  $y$ , přirozená souřadnice  $s$ , lokální přemístění  $u, v, w, o$ , globální přemístění  $U, V, W, O$  [26]



Obrázek 10, Vnitřní síly ve skořepinovém pásu [26]

## 6.1. Zatížení

Vlastní tíha byla zavedena do výpočtu normovou hodnotou 25 kN/m<sup>3</sup> pro beton. Tíha žebírek na povrchu pláště skořepiny byla zanedbána, protože představuje nárůst tíhy pláště.

## 6.2. Charakteristiky zatížení větrem

Byl proveden podrobný rozbor klimatických účinků na lokalitě Dukovan, v místě jedné jaderné elektrárny v České republice, včetně stanovení zatížení větrem dle metodiky vydané Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE) 50-SG-S11A.

Ve smyslu předpisů MAAE se stanovují dvě úrovně návrhového zatížení, a to zatížení projektové a zatížení extrémní. V případě projektového zatížení je uvažována opakovatelnost výskytu daného jevu jednou za 10<sup>2</sup> let. Pro extrémní výpočtové zatížení je uvažována opakovatelnost výskytu jednou za 10<sup>4</sup> let.

Extrémním účinkům musí odolat pouze bezpečnostně významné objekty takovým způsobem, aby nebyla ohrožena funkce systémů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti. Pro ostatní objekty je používáno zatížení projektové.

## 6.3. Statistické zpracování měření okamžité rychlosti větru

V této části jsou popsány postupy pro odvození velikosti projektového i extrémního výpočtového zatížení od účinků větru. Tyto postupy jsou v souladu s ruskou normou НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ СНИП 2.01.07-85 i eurokódem ČSN EN 1991-1-4. Jsou určeny na základě dostupných meteorologických údajů pomocí pravděpodobnostní funkce Gumbelova rozdělení, která je na modelování extrémních hodnot těchto jevů vhodná.

### 6.3.1. Gumbelovo rozdělení

$$P_G(X_G) = \exp\{-\exp[-(X_G - \alpha_G)/\beta_G]\} \quad (6.1.)$$

$X_G$  je náhodná proměnná, jejíž hodnoty jsou takto rozděleny

$P_G(X_G)$  je pravděpodobnost nepřevýšení proměnné  $X_G$

$\alpha_G, \beta_G$  jsou parametry Gumbelova rozdělení

Pravděpodobnost  $P(X_{N,V})$ , že se extrémní jev se střední dobou návratu  $N$  objeví v  $V$  letech s danou nebo vyšší hodnotou, je možné v daném případě vyjádřit vztahem

$$P(X_{N,V}) = 1 - (1-1/N)^V \quad (6.2.)$$

$$P(X_{10^2,30}) = 1 - (1-1/10^2)^{30}$$

$$P(X_{N,V})=0.2603$$

Projektovému klimatickému zatížení, u kterého se předpokládá výskyt jevu se střední dobu návratu  $10^2$  let, odpovídá pravděpodobnost překročení  $P(X_{N,V})=0.2603$  pro období 30 let.

$$P(X_{N,V}) = 1 - (1-1/N)^V \quad (6.2.)$$

$$P(X_{10^4,30}) = 1 - (1-1/10^4)^{30}$$

$$P(X_{N,V})=0.003$$

Doba návratu extrémní hodnoty se předpokládá jednou za  $10^4$  let a tomu odpovídá pravděpodobnost překročení  $P(X_{N,V})=0.003$ .

Podrobný popis postupu statistického zpracování extrémních hodnot meteorologických veličin je uveden v IAEA 50-SG-S11A.

Výběr stanic dle ČHMÚ Praha.

#### **6.4. Rychlost větru**

Podkladem pro stanovení rychlosti větru je dokumentace "Aktualizované meteorologické údaje pro jadernou elektrárnu DUKOVANY" vydanou Českým hydrometeorologickým ústavem Praha, v říjnu 2000.

Český hydrometeorologický ústav zabezpečuje pro jaderné elektrárny vyhodnocování aktuální meteorologické situace a zpracování prognóz dalšího vývoje. Výstupy základních meteorologických údajů nezbytných pro ocenění potenciálního nebo skutečného šíření radioaktivních úniků v okolí jaderných elektráren předává do příslušných informačních sítí jaderných elektráren.

Meteorology naměřené hodnoty rychlostí větru za období 1961-1999 představují vstupní data pro statistické zpracování extrémních hodnot s malou pravděpodobností výskytu, které jsou stanoveny v souladu s doporučením IAEA Safety Guide 50-SG-S11A, Vienna, 1981.

Naměřenou veličinou, ze které jsou odvozeny účinky větru na stavební objekty, je náraz větru neboli okamžitá rychlost, kterou vítr dosáhl v daném místě a čase. Tato fyzikální veličina meteorologického jevu je sledována a zaznamenávána kontinuálně, celé období měření s neměnným přístrojovým vybavením anemometrem typu DINES.

Byla použita data naměřená na meteo-stanici Kuchařovice. Tato stanice byla doporučena jako nejvhodnější pro zpracování podkladu "Aktualizované meteorologické údaje pro jadernou elektrárnu DUKOVANY" vydanou Českým hydrometeorologickým ústavem Praha, v říjnu 2000.

Tabulka 4, Výběr měřících meteorologických stanic v okolí EDU dle doporučení ČHMÚ Praha [17]

| Stanice                 | Indikativ    | povodí  | okres       | zem. šířka | zem. délka      | nadm. výška [m] |
|-------------------------|--------------|---------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Dukovany                | B2DUKO<br>01 | Jihlava | Třebíč      | 49°05'45"  | 016°08'04"<br>" | 400             |
| Hrotovice               | B2HROT<br>01 | Rokytná | Třebíč      | 49°06'28"  | 016°03'41"<br>" | 405             |
| Kuchařovice             | B2KUCH<br>01 | Dyje    | Znojmo      | 48°52'57"  | 016°05'11"<br>" | 334             |
| Moravské Budějovice     | B2MBUD<br>01 | Rokytná | Třebíč      | 49°02'58"  | 015°48'30"<br>" | 457             |
| Pohořelice nad Jihlavou | B2POHO<br>01 | Jihlava | Břeclav     | 48°58'39"  | 016°31'00"<br>" | 183             |
| Židlochovice            | B2ZIDL01     | Svratka | Brno-venkov | 49°02'12"  | 016°36'32"<br>" | 180             |

#### 6.4.1. Vstupní data

Pro statistické zpracování jsou data stanovena z naměřených ročních maximálních hodnot okamžité rychlosti větru v m/s, které byly vybrány z měření na meteorologické stanici Kuchařovice mezi lety 1961-1999.

Výběr naměřených ročních maxim okamžité rychlosti větru je rozdělen do skupin a vlastní výpočet parametrů Gumbelova rozdělení je proveden podle zásad popsaných v přepisu IAEA 50-SG-S11A.

Tabulka 5, Výběr naměřených ročních maxim rychlosti větru [m/s]

| rok  | okamžitá rychlost větru [m/s] | rok  | okamžitá rychlost větru [m/s] |
|------|-------------------------------|------|-------------------------------|
| 1961 | 29.0                          | 1981 | 37.7                          |
| 1962 | 34.0                          | 1982 | 33.0                          |
| 1963 | 42.0                          | 1983 | 36.2                          |
| 1964 | 34.2                          | 1984 | 48.0                          |
| 1965 | 35.0                          | 1985 | 41.0                          |
| 1966 | 30.0                          | 1986 | 34.1                          |
| 1967 | 36.0                          | 1987 | 27.8                          |
| 1968 | 33.0                          | 1988 | 29.0                          |
| 1969 | 26.8                          | 1989 | 36.5                          |
| 1970 | 26.3                          | 1990 | 44.4                          |
| 1971 | 25.2                          | 1991 | 31.2                          |
| 1972 | 32.0                          | 1992 | 30.0                          |
| 1973 | 29.1                          | 1993 | 30.8                          |
| 1974 | 35.0                          | 1994 | 32.3                          |
| 1975 | 30.0                          | 1995 | 36.0                          |
| 1976 | 31.1                          | 1996 | 27.4                          |
| 1977 | 33.1                          | 1997 | 33.3                          |
| 1978 | 28.0                          | 1998 | 29.3                          |
| 1979 | 34.1                          | 1999 | 30.9                          |
| 1980 | 31.2                          |      |                               |

#### 6.4.1.1. Skupinové faktory pro výpočet Gumbelova rozdělení $k, m, m', \bar{t}, t', \bar{q}, q'$

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| N = počet zpracovaných roků:     | 39 |
| k = počet skupin (datových sad): | 6  |
| m = počet členů ve skupině:      | 6  |
| m' = počet zbývajících členů:    | 3  |



$$\bar{t} = km(N')^{-1}$$

$$t' = m'(N')^{-1}$$

$$\bar{q} = (\bar{t})^2 k^{-1}$$

$$q' = (t')^2$$

$$\bar{t} = 0,9231$$

$$t' = 0,0769$$

$$\bar{q} = 0,1420$$

$$q' = 0,0059$$

Distribuční parametry:

$$\bar{\alpha}_G = \frac{1}{k} * \sum_{i=1}^m ami * Si \quad (6.3.)$$

$$\bar{\beta}_G = \frac{1}{k} * \sum_{i=1}^m bmi * Si \quad (6.4.)$$

Tabulka 6, Setřídění dat a váhové ocenění pravděpodobnosti výskytu daných hodnot

| sloupec č. | 1        | 2        | 3       | 4       | 5       | 6       |
|------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| sada č. 1: | 29       | 30       | 34      | 34.2    | 35      | 42      |
| sada č. 2: | 25       | 26.3     | 26.8    | 32      | 33      | 36      |
| sada č. 3: | 28       | 29.1     | 30      | 31.1    | 33      | 35      |
| sada č. 4: | 31.2     | 33       | 34.1    | 36      | 37.7    | 48      |
| sada č. 5: | 27.8     | 29       | 34.1    | 37      | 41      | 44.4    |
| sada č. 6: | 27.4     | 30       | 30.8    | 31.2    | 32.3    | 36      |
| □ dat      | 168.6    | 177.4    | 189.8   | 201.2   | 212.1   | 241.4   |
| □ ami*Si   | 0.35545  | 0.22549  | 0.16562 | 0.12105 | 0.08352 | 0.04887 |
| □ bmi*Si   | -0.45927 | -0.03599 | 0.07320 | 0.12672 | 0.14953 | 0.14581 |

Zbytková skupina m' je zahrnuta pomocí parametrů  $\alpha'G$  a  $\beta'G$

$$\alpha'G = \sum_{i=1}^{m'} ami' * Xi \quad (6.5.)$$

$$\beta'G = \sum_{i=1}^{m'} bmi' * Xi \quad (6.6.)$$

Po dosazení:

Tabulka 7, výsledky po dosazení

|                   |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|
| sada m'           | 29.3     | 30.9     | 33.3     |
| $\sum a_{mi} S_i$ | 0.65632  | 0.255714 | 0.087965 |
| $\sum b_{mi} S_i$ | -0.63054 | 0.25582  | 0.37473  |

a parametry pro celou skupinu:

$$\alpha_G = \bar{t} * \bar{\alpha}_G + t' \alpha'_G \quad (6.7.)$$

$$\beta_G = \bar{t} * \bar{\beta}_G + t' \beta'_G \quad (6.8.)$$

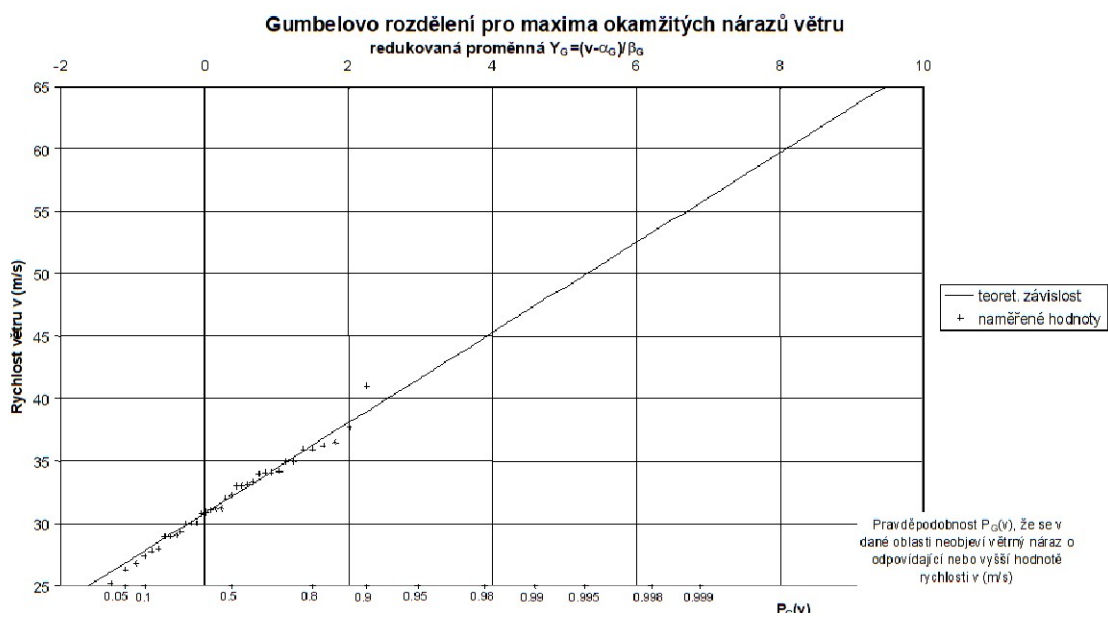
Tabulka 8, Parametry Gumbelova rozdělení pro rychlost větru [m/s]

| Dílčí parametry  |                 |             |            | Výsledné parametry |           |
|------------------|-----------------|-------------|------------|--------------------|-----------|
| $\bar{\alpha}_G$ | $\bar{\beta}_G$ | $\alpha'_G$ | $\beta'_G$ | $\alpha_G$         | $\beta_G$ |
| 30.87            | 3.75            | 30.06       | 1.91       | 30.81              | 3.61      |

Na obrázku číslo 10 je graficky znázorněna závislost mezi okamžitou rychlostí větru  $v$  (m/s) a redukovanou proměnnou  $Y_G$  Gumbelova rozdělení, vyjádřenou vztahem

$$Y_G = (v - \alpha_G) / \beta_G \quad (6.9.)$$

$$Y_G = (v - 30.81) / 3.61.$$



Obrázek 11, Graf závislosti pro rychlost větru v m/sec na proměnné  $Y_G$  Gumbelova rozdělení [25]

Distribuční křivka Gumbelova rozdělení pro okamžitou rychlost větru je vyjádřena funkcí:

$$P_G(v) = \exp\{-\exp[-(v-30.81)/3.61]\} \quad (6.10.)$$

Výpočet byl proveden pro základní tlak větru  $W_0 = 1,26 \text{ kN/m}^2$ , což odpovídá normové hodnotě zatížení extrémním větrem při okamžité rychlosti cca 60 m/s. Vlastní tlak větru z Bernoulliho rovnice byl určen pro rychlost větru přepočtenou na integrační interval v délce 10 s v souladu s metodikou, jaká byla použita v ČSN 73 0035 (Zatížení stavebních konstrukcí).

Délka integračního intervalu závisí na velikosti objektu. Čím je objekt větší, tím musí vítr déle působit, aby se účinek zatížení větrem plně projevil. Hodnotu normové statické složky zatížení větrem  $w_n$  působící na vnější povrchovou plochu pláště věže vypočítáme:

$$w_n' = w_0 \cdot k_w \cdot C_w \quad (6.11.)$$

$w_0$  (kN/m<sup>2</sup>) je základní tlak větru ve výšce 10m

$k_w = (z/10)^{0,26}$  je součinitel výšky pro terén typu A

$C_w$  je tvarový součinitel, tj. funkce rozdělení tlaku podél obvodu

Průběh tvarového součinitele  $C_w$  v ČSN 73 0035 pro válcové konstrukce dává příliš velké hodnoty sání a nevyjadřuje tak reálně působící zatížení na

chladicí věž. Proto použijeme průběh tvarového součinitele podle německého předpisu (shodného s mezinárodním doporučením IASS), který stanovuje průběh rozdělení tlaku větru v závislosti na parametru drsnosti povrchu  $k/a$  (viz obrázek 12), kde  $k$  je výška žebírek a  $a$  je vzdálenost mezi osami 80 svislých žeber měřená v třetině výšky věže.

V našem případě tedy máme:

$$Y = 125/3 = 41,67\text{m}$$

$$R_{(y=41,67)} = 34,87\text{m}$$

$$a = 2 \cdot \pi \cdot 34,87/80 = 2,74\text{m}$$

$$k = 0,05\text{m}$$

$$k/a = 0,05 / 2,74 = 0,018$$

Pro tento parametr drsnosti je dán průběh standardního rozdělení křivkou K2 (viz obrázek 11), ve které nabývá sání svého maximálního součinitele  $-1,1$  v úhlu  $70^\circ$  od návětrného meridiánu.

Abyste nemohlo být pochyb o správnosti zavedení drsnosti na tvarový součinitel, zavedeme na straně bezpečnosti průběh standardního rozdělení křivkou K4 viz obrázek 11, ve které nabývá sání svého maximálního součinitele  $-1,3$  v úhlu  $73^\circ$  od návětrného meridiánu:

Oblast I ( $\varphi = (0^\circ, 73^\circ)$ ):

$$C_{w(\varphi)} = 1,0 - 2,3 \cdot (\sin(\varphi \cdot 90/73))^{2,166}$$

Oblast II ( $\varphi = (73^\circ, 96^\circ)$ ):

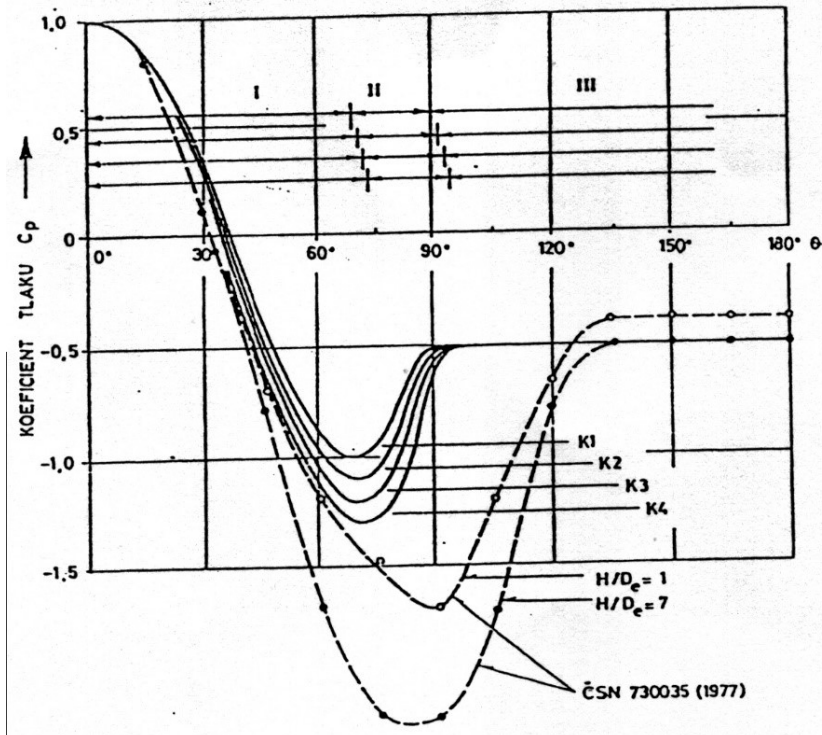
$$C_{w(\varphi)} = -1,3 + 0,8 \cdot (\sin(\varphi - 73) \cdot 90/24)^{2,395}$$

Oblast III ( $\varphi = (96^\circ, 180^\circ)$ ):

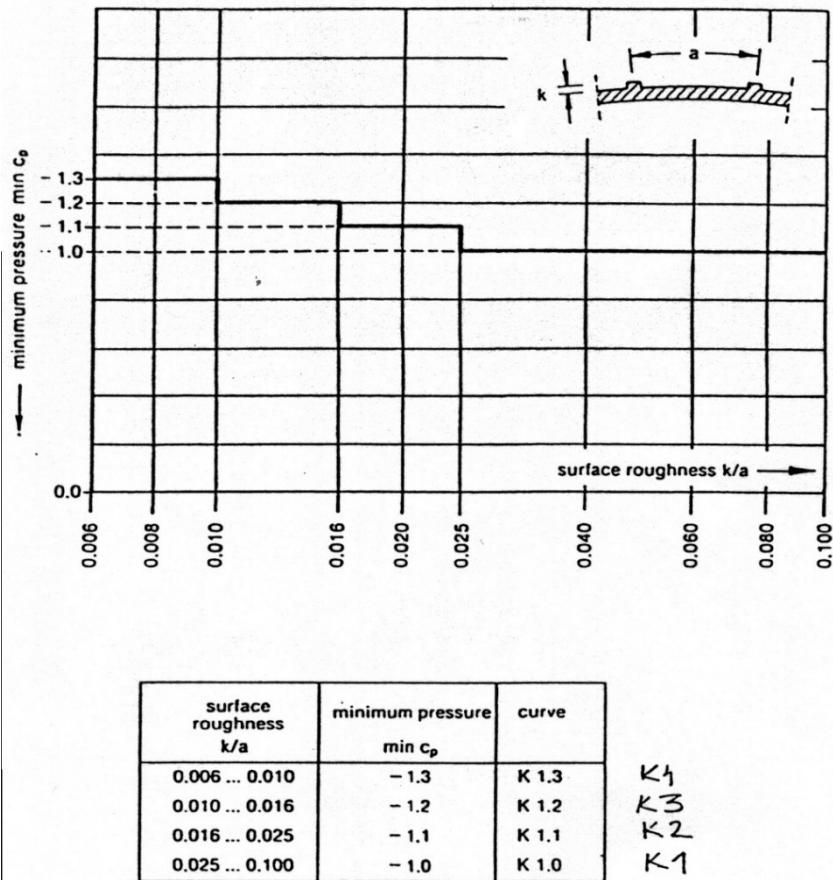
$$C_{w(\varphi)} = -0,5$$

Pro tuto závislost rozdělení větru je možné odvodit Fourierův rozvoj.

$$C_w = -0,3899 + 0,3374 \cos \varphi + 0,5453 \cos \varphi + 0,5573 \cos \varphi + 0,0946 \cos \varphi - 0,1446 \cos \varphi$$



Obrázek 13, křivky K1-K4 pro stanovení drsnosti [2]



Obrázek 12, závislosti pro rozdělení tlaku větru po obvodě chladicí věže v závislosti na parametru  $k/a$  [2]

| Případ | Drsnost<br>$\frac{k}{a}$ | Oblast<br>I   | Oblast<br>II   | Oblast<br>III |
|--------|--------------------------|---|--|---------------|
| K1     | $3,0 \cdot 10^{-2}$      | $1,0 - 2,0 \left(\sin \frac{90}{70} \vartheta\right)^{2,267}$ | $-1,0 + 0,5 \left(\sin \left(\frac{90}{21} (\vartheta - 70)\right)\right)^{2,395}$ | -0,5          |
| K2     | $2,0 \cdot 10^{-2}$      | $1,0 - 2,1 \left(\sin \frac{90}{71} \vartheta\right)^{2,239}$ | $-1,1 + 0,6 \left(\sin \left(\frac{90}{22} (\vartheta - 71)\right)\right)^{2,395}$ | -0,5          |
| K3     | $1,2 \cdot 10^{-2}$      | $1,0 - 2,2 \left(\sin \frac{90}{72} \vartheta\right)^{2,205}$ | $-1,2 + 0,7 \left(\sin \left(\frac{90}{23} (\vartheta - 72)\right)\right)^{2,395}$ | -0,5          |
| K4     | $0,8 \cdot 10^{-2}$      | $1,0 - 2,3 \left(\sin \frac{90}{73} \vartheta\right)^{2,166}$ | $-1,3 + 0,8 \left(\sin \left(\frac{90}{24} (\vartheta - 73)\right)\right)^{2,395}$ | -0,5          |

Obrázek 14, závislosti pro rozdělení tlaku větru po obvodě chladicí věže v závislosti na parametru  $k/a$  [2]

## 6.5. Vnitřní sání

Vnitřní sání předpokládáme osově symetrické a konstantní po výšce. Rozložení základního tlaku po výšce uvažujeme rovné základnímu tlaku větru v úrovni horního okraje věže:

$$w_0(Z) = \text{konst.} = w_0(Z=125) = 2,43 \text{ kPa}$$

Rozložení tlaku podél prstence:

$$C_w(\varphi) = \text{konst.} = -0,5 \text{ (sání na vnitřní povrch)}$$

Normová hodnota vnitřního sání:

$$w_n(Z, \varphi) \text{ konst.} = -1,21 \text{ kPa}$$

## 6.6. Posouzení stability věže proti vybočení

K praktickým výpočtům posuzování bezpečnosti proti vzniku nestabilních tvarů vybočení na bocích věže je doporučeno IASS kritérium, které je používáno jako nejpropracovanější přibližná metoda posouzení stability chladicích věží, která dává velmi bezpečné výsledky stabilní analýzy.

Podle této metody spočteme stupeň bezpečnosti proti vybočení z kvadratické rovnice

$$0,8\gamma_b \left( \frac{\delta\phi}{\delta\phi_{cr}} + \frac{\delta\phi}{\delta\phi_{cr}} \right) + 0,8\gamma_b^2 \left( \left( \frac{\delta\phi}{\delta\phi_{cr}} \right) + \left( \frac{\delta\phi}{\delta\phi_{cr}} \right)^2 \right) = 1 \quad (6.12.)$$

kde stupeň bezpečnosti proti vybočení  $\gamma_b$  by měl splnit podmínku

$$\gamma_b \geq 5$$

pro kritické napětí ve směru prstence  $\delta_{cr}$  platí vztah

$$\delta_{\varphi cr} = \frac{0,985 E}{(1 - \mu^2)^{\frac{3}{4}}} \left( \frac{t}{R_{\gamma}} \right)^{\frac{4}{3}} k_{G\varphi} \quad (6.12.)$$

pro kritické napětí ve směru meridiánu  $\delta_{\gamma cr}$  platí vztah

$$\delta_{\gamma cr} = \frac{0,612 E}{(1 - \mu^2)^{\frac{3}{4}}} \left( \frac{t}{R_{\gamma}} \right)^{\frac{4}{3}} k_{G\gamma} \quad (6.13.)$$

- E = krátkodobý modul pružnosti
- $\mu$  = Poissonův poměr (pro beton  $\mu=0,2$ )
- t = tloušťka skořepiny v zjišťovaném místě
- $R_{\gamma}$  = poloměr skořepiny v hrdle

Geometrické parametry  $k_{G\gamma}$  a  $k_{G\varphi}$  jsou definovány grafem a tabulkou. Kvadratická rovnice stanovuje, že libovolná kritická kombinace meridiánového napětí  $\delta_{\gamma}$  a prstencového napětí  $\delta_{\varphi}$  od kombinace působících zatížení (vlastní tíha \*1,0 + vítr \*1,0 + vnitřní podtlak \*1,0) a kritických napětí  $\delta_{\gamma cr}$  a  $\delta_{\varphi cr}$  v libovolném bodě střednicové plochy způsobí kolaps věže.

Kritická napětí jsou experimentálně odvozená a kalibrovaná a jsou modifikovaná pro konkrétní okrajové podmínky chladič věže bifurkační teorií. Parametry  $k_{G\gamma}$  a  $k_{G\varphi}$  zahrnují vlivy tvaru věže a jsou odvozeny rovněž z bifurkační teorie.

Odhad maximálních chyb v bifurkační teorii ani v stabilním kritériu není stanoven a obor platnosti je omezen na geometrické imperfekce srovnatelné s tloušťkou skořepiny. Při větších imperfekcích je možné zjistit seriózně stupeň stability pouze úplným nelineárním výpočtem, protože vzrůstá vliv ohybových účinků a materiálových nelinearit.

## 7. Autokmitání

Autokmitání konstrukce je velmi nebezpečný jev, při kterém dochází až ke kolapsu konstrukcí. Autokmitání vzniká, pokud působíme na konstrukci nějakou frekvencí vyvolanou například působením větru, a tato frekvence se podobá vlastní frekvenci konstrukce.

### 7.1. Výpočet autokmitání

Výpočet autokmitání konstrukce je velice složitý a také není možné tento výpočet použít pro všechny typy konstrukce. Výpočet lze využít pouze pro nejjednodušší případy konstrukcí. Pro složitější případy konstrukcí musíme využít modelové situace prováděné v aerodynamickém tunelu.

Zabránění autokmitání lze dosáhnout zvýšením vlastní frekvence, konstrukčními a organizačními opatřeními.

Výpočet vlastní frekvence už není tak složitý, jako výpočet autokmitání a dle něj můžeme určit, kdy k autokmitání dojde.

### 7.2. Výpočet vlastní frekvence

Výpočet vlastní frekvence se skládá z několika podvýpočtů: výpočtu vlastního dekrementu, Skratonova čísla, rozdělení měrné hmotnosti a kritické rychlosti.

Splněním podmínky  $v_{g,sp} > 1,25 v_m$  zajistíme zabránění vzniku autokmitání. Pokud platí podmínka  $v_{ng} < 1,25 v_m$  může docházet k autokmitání.



### 7.3. Výpočet maximálních příčných kmitů



Obrázek 15, model chladicí věže  
Ferrybridge C

b (šířka věže) = 300 stop = 91,44m

l (výška věže) = 374 stop = 113,95 m

d (tloušťka stěny věže) = 5 palců = 12,7 cm

a (rozpětí mezi věžemi) = 350 stop = 106,68 m

Výpočet logaritmického dekrementu  $\delta a$ , který odpovídá aerodynamickému buzení, je velmi složitý proces. Pro jeho přibližnou hodnotu postačí jednodušší výpočet dle vzorce:

$$\delta a = \frac{c_x \rho v_m b}{2 f_1 m_e} \quad (7.1.)$$

$\delta a$  = logaritmický dekrement odpovídající aerodynamickému buzení

$\rho$  = hustota vzduchu

$f_1$  = první vlastní frekvence konstrukce

$m_e$  = efektivní měrná hodnota konstrukce

$c_x$  = koeficient čelního odporu konstrukce, podle přílohy 4 k normě <sup>2</sup> nebo podle normy <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Eurocode 1: Actions on structures. Pt. 1-4: General actions – Wind actions. BS EN 1991-1-4:2005. Brussels.: CEN / European Committee for Standardization. April 2005[23]

<sup>3</sup> НП-064-05: Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. Федеральная служба[24]

Logaritmický dekrement  $\delta_{sp}$ , který odráží ztráty energie ve zvláštních zařízeních, se určuje na základě jejich charakteristik.

$v_m$  = rychlost větru na kótě, kde první nejčtenější hodnota dosahuje maxima

$b$  = příčný rozměr konstrukce

Vzorce pro výpočet všech těchto koeficientů jsou uvedeny dále.

Skratonovo číslo je bezrozměrný parametr odrážející citlivost konstrukce na vznik kmitů. Je závislé na ztrátách energie v systému a na poměru hmot konstrukce, kapaliny nebo plynu.

$$S_C = \frac{2\delta m_{i,e}}{\rho} \quad (7.2.)$$

$S_C$  = Skratonovo číslo

$\delta$  = logaritmický koeficient kmitů

$m_{i,e}$  = ekvivalentní měrná hmotnost pro i-tou nejčtenější hodnotu

$\rho$  = hustota vzduchu, při normálních atmosférických podmínkách  $\rho = 1,22 - 1,25 \text{ kg/m}^3$

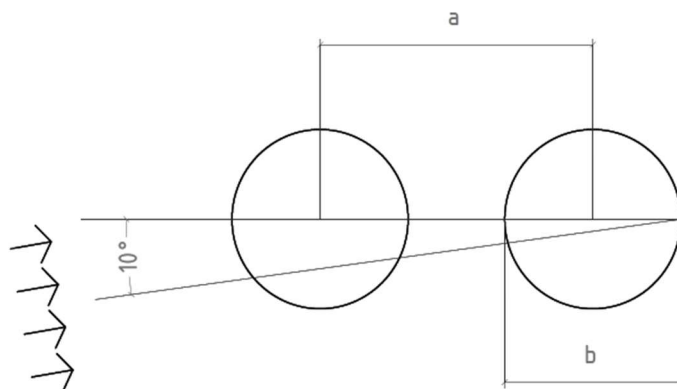
$$m_{i,e} = (\int_0^l m(x) \phi_i^2(x) dx) / (\int_0^l \phi_i^2(x) dx) \quad (7.3.)$$

$m(x)$  = zákon rozdělení měrné hmotnosti po celé délce prvku, při rovnoměrném rozdělení  $m(x) = m = \text{konst.}$  a ekvivalentní hmotnosti  $m_{1,e} = m$

Pokud se posuzují kmity pro 1. nejčtenější hodnotu konzolové stavby s proměnnou měrnou hmotností (například, trubky), pak se  $m_{1,e}$  přibližně rovná střední měrné hmotnosti horní třetiny stavby.

$l$  = výška nebo rozpětí prvku

V důsledku vlivu turbulentní zóny může docházet k značným kmitům konstrukce. K tomuto jevu však může dojít pouze tehdy, pokud jsou frekvence kmitů menší, než frekvence vzniku vírů za ním a stejných frekvencí u prvního válce.



Obrázek 16, schéma chladících věží

Pokud je poměr vzdálenosti mezi osami a průměrem válce  $a/b < 3$  (Obrázek 14), pak je kritická rychlost, při níž začíná docházet k autokmitání v souputném proudu. Vypočítáme kritickou rychlost větru podle vzorce, která odpovídá počátku vzniku autokmitání.

$$v_{g,sp} = 3,5f_1 \sqrt{\frac{abSc}{a_{n,sp}}}, (m/s) \quad (7.4.)$$

$Sc$  = Skratonovo číslo, které se vypočítává podle vzorce (7.2.)

$v_{g,sp}$  = kritická rychlost

$f_1$  = první frekvence kmitů druhého válce příčně ke směru větru

$a$  = vzdálenost mezi prvky

$b$  = šířka konstrukce

$a_{n,sp}$  = koeficient nestability

Prověříme možnost vzniku autokmitání podle kritéria (7.5.). Pro zabránění vzniku autokmitání je potřeba zajistit splnění podmínky (7.6.):  $v_{g,sp} > 1,25v_m$ . Jak vyplývá z (7.4.), zvýšení kritické rychlosti  $v_{g,sp}$  lze dosáhnout zvýšením vlastní frekvence a ztrát energie v konstrukci, průměru  $d$ , vzdálenosti mezi trubkami  $a$ . Jedním z konstrukčních způsobů zabránění autokmitání je vzájemné svázání válců: v takovém případě začíná autokmitání při větší rychlosti větru.

Autokmitání začíná vznikat, pokud dosáhne rychlost větru počáteční hodnoty  $v_{ng}$ . Po jejím překonání se amplituda kmitů rychle zvyšuje. Rychlost se rovná

$$v_{ng} = \frac{2Sc}{a_r} f_1 b \quad (7.7.)$$

$Sc$  = Skratonovo číslo, které se vypočítává podle vzorce (7.2.)

$f_1$  = první vlastní frekvence kmitů konstrukce příčně ke směru větru

$b$  = rozměr průřezu

$a_r$  = koeficient nestability vůči autokmitání v našem případě 1 (pokud není známý tvar, lze uvažovat  $a_r = 10$ ).

Ke vzniku autokmitání může docházet, pokud

$$v_{ng} < 1,25v_m, \quad (7.5.)$$

$v_m$  = rychlost větru v bodě, kde se očekává maximální amplituda kmitů vypočítaná podle vzorce (7.6.).

Pro vypočtení rychlosti větru  $v_m$ , na kterou se dimenzují stavební konstrukce, je potřeba znát tlak větru a koeficient zvýšení rychlosti větru.

$$v_m = \sqrt{\frac{w_0 \gamma_f k(z)}{0,61}} = 1,51 \sqrt{w_0 k(z)} \quad (7.6.)$$

Podle normy <sup>4</sup> se, při výpočtech zatížení staveb větrem, násobí normativní tlak větru  $w_0$  koeficientem spolehlivosti větru  $\gamma_f = 1,4$ .

---

<sup>4</sup> Eurocode 1: Actions on structures. Pt. 1-4: General actions – Wind actions. BS EN 1991-1-4:2005. Brussels.: CEN / European Committee for Standardization. April 2005 [23]

## 8. Výpočty a hodnocení

### 8.1. Modelová situace 1

Modelová situace 1 bude popisovat skutečný stav. To znamená umístění chladících věží ve Ferrybridge a skutečnou rychlost větru, která byla naměřena při pádu věží v listopadu 1965.

Kritická rychlost větru byla 44 m/s.

K pádu věží došlo pouhé tři roky po jejich výstavbě. Rychlost větru, která způsobila pád věží, byla pouhých 44 m/s, což měl být průměrný pětiletý vítr v té oblasti. Nabízí se tedy otázka, zda věže nemohly spadnout už dříve nebo naopak později. Proto bude v bodě 8.1.3. proveden výpočet, který určí nejnižší možnou rychlost větru, která by způsobila pád chladících věží.

Po provedení výpočtu bude provedeno vyhodnocení všech výpočtů z této modelové situace.

#### 8.1.1. Výpočty

Hodnoty nejsou shodné s hodnotami pro běžné stavby. Hodnoty pro objekty jaderné energetiky jsou násobeny koeficientem 1,58 pro zajištění větší bezpečnosti těchto konstrukcí.

Tabulka 9, Tlak větru a maximální rychlost větru pro běžné stavby a objekty jaderné energetiky

| Větrná oblast | Běžné stavby           |                            | Jaderná energetika     |                            |
|---------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
|               | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s |
| la            | 0,17                   | 16,7                       | 0,43                   | 26,4                       |
| I             | 0,23                   | 19,4                       | 0,58                   | 30,7                       |
| II            | 0,3                    | 22,2                       | 0,75                   | 35,1                       |
| III           | 0,38                   | 25                         | 0,95                   | 39,5                       |
| <b>IV</b>     | 0,48                   | 28,1                       | 1,2                    | <b>44,4</b>                |
| V             | 0,6                    | 31,4                       | 1,5                    | 49,6                       |
| VI            | 0,73                   | 34,6                       | 1,83                   | 54,7                       |
| VII           | 0,85                   | 37,3                       | 2,13                   | 59                         |

Nejprve vypočítáme rychlost větru  $v_m$  podle vzorce (8.2.). Dle tabulky 9 zjistíme, že ve **IV.** větrné oblasti, kde se nachází stavba, se normativní tlak větru rovná **1200 Pa**. Pro horní část věže (kóta +114.0) je koeficient zvýšení rychlosti větru  $k = 2,5$ .

$$v_{g,sp} = 3,5f_1 \sqrt{\frac{abSc}{a_{n,sp}}} = 71 \text{ m/s} \quad (8.1.)$$

$$v_m = \sqrt{\frac{w_0 \gamma_f k(z)}{0,61}} = 82,7 \text{ m/s} \quad (8.2.)$$

### 8.1.2. Podmínky

$$v_{g,sp} > 1,25 v_m \quad (8.3.)$$

$$71 < 1,25 * 82,7$$

$$71 < 103,4 \text{ m/s}$$

Z nesplnění podmínky vyplývá, že k autokmitání dochází, a to je počátkem kolapsu věží. Výpočtem se potvrzuje událost, která se skutečně stala.

### 8.1.3. Výpočet minimální rychlosti větru, při které by došlo ke kolapsu

Pro vypočtení této hodnoty musíme upravit podmínku tak, aby z ní bylo možné určit normativní tlak větru, který bude dosazen do tabulky 9, ze které vyčteme hodnotu rychlosti větru.

$$v_{g,sp} = 1,25 * v_m \quad (8.4.)$$

$$71 = 1,25 * v_m$$

$$71 = 1,25 * 1,51 \sqrt{w_0 k(z)}$$

$$w_0 = 566 \text{ Pa}$$

Tabulka 10, Tlak větru a maximální rychlost větru pro běžné stavby a objekty jaderné energetiky

| Větrná oblast | Běžné stavby           |                            | Jaderná energetika     |                            |
|---------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
|               | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s |
| <b>Ia</b>     | 0,17                   | 16,7                       | <b>0,43</b>            | 26,4                       |
| I             | 0,23                   | 19,4                       | 0,58                   | 30,7                       |
| II            | 0,3                    | 22,2                       | 0,75                   | 35,1                       |
| III           | 0,38                   | 25                         | 0,95                   | 39,5                       |
| IV            | 0,48                   | 28,1                       | 1,2                    | 44,4                       |
| V             | 0,6                    | 31,4                       | 1,5                    | 49,6                       |
| VI            | 0,73                   | 34,6                       | 1,83                   | 54,7                       |
| VII           | 0,85                   | 37,3                       | 2,13                   | 59                         |

Dle tabulky vyplývá, že pro pád by postačovala rychlost větru 26,4 m/s.

#### 8.1.4. Vyhodnocení

Výpočty prokázaly, že situace ve Ferrybridge byla za daných podmínek nevyhnutelná. V osudný den, kdy došlo k pádu věží, byla překročena rychlost, kterou byly věže schopné ustát. Je tedy spíše zázrak, že ke kolapsu věží nedošlo už dříve.

### 8.2. Modelová situace 2

Modelová situace 2 bude popisovat situaci, při níž by se chladicí věže nacházely na území České republiky. Česká republika se dělí na 8 skupin dle působení rychlosti větru, viz. kapitola 5, obrázek 7.

V České republice se nachází dvě jaderné elektrárny Dukovany a Temelín. Dle obrázku 7 se Temelín nachází v oblasti 3 a Dukovany v oblasti 6.

Pro výpočty bude použita poslední větrná oblast, oblast 8, aby bylo možné dokázat, zda by chladicí věže mohly být umístěny kdekoliv na území České republiky.

Z tabulky 4 bude odečtena hodnota pro 8. větrnou oblast.

Tabulka 11, Tlak větru a maximální rychlost větru pro běžné stavby a objekty jaderné energetiky

| Větrná oblast | Běžné stavby           |                            | Jaderná energetika     |                            |
|---------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
|               | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s |
| Ia            | 0,17                   | 16,7                       | 0,43                   | 26,4                       |
| I             | 0,23                   | 19,4                       | 0,58                   | 30,7                       |
| II            | 0,3                    | 22,2                       | 0,75                   | 35,1                       |
| III           | 0,38                   | 25                         | 0,95                   | 39,5                       |
| IV            | 0,48                   | 28,1                       | 1,2                    | 44,4                       |
| V             | 0,6                    | 31,4                       | 1,5                    | 49,6                       |
| VI            | 0,73                   | 34,6                       | 1,83                   | 54,7                       |
| <b>VII</b>    | 0,85                   | 37,3                       | 2,13                   | <b>59</b>                  |

#### 8.2.1. Výpočty

Nejprve vypočítáme rychlost větru  $v_m$  dle vzorce (8.6.). Podle tabulky 9 zjistíme, že ve **VII.** větrné oblasti, kde se nachází stavba, se tlak větru rovná **2130** Pa. Pro horní část věže (kóta +114.0) je koeficient zvýšení rychlosti větru  $k = 2,5$ .

$$v_{g,sp} = 3,5f_1 \sqrt{\frac{abSc}{a_{n,sp}}} = 136 \text{ m/s} \quad (8.5.)$$

$$v_m = \sqrt{\frac{w_0 \gamma_f k(z)}{0,61}} = 110.2 \text{ m/s} \quad (8.6.)$$

### 8.2.2. Podmínky

$$v_{g,sp} > 1,25 v_m \quad (8.7.)$$

$$71 < 1,25 * 110,2$$

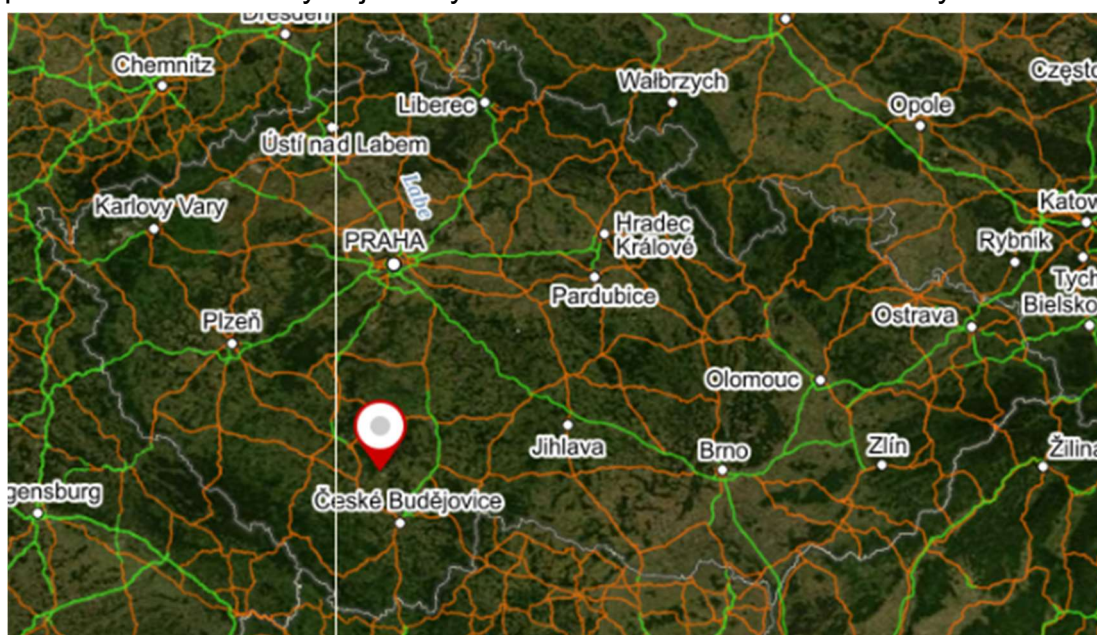
$$71 < 137,75 \text{ m/s}$$

Nesplnění podmínky prokázalo, že nelze umístit chladicí věže při těchto konstrukčních podmínkách kamkoliv na území České republiky.

Nelze však vyloučit, že by chladicí věže nemohly být na území České republiky umístěny. Na to se zaměřuje modelová situace 3.

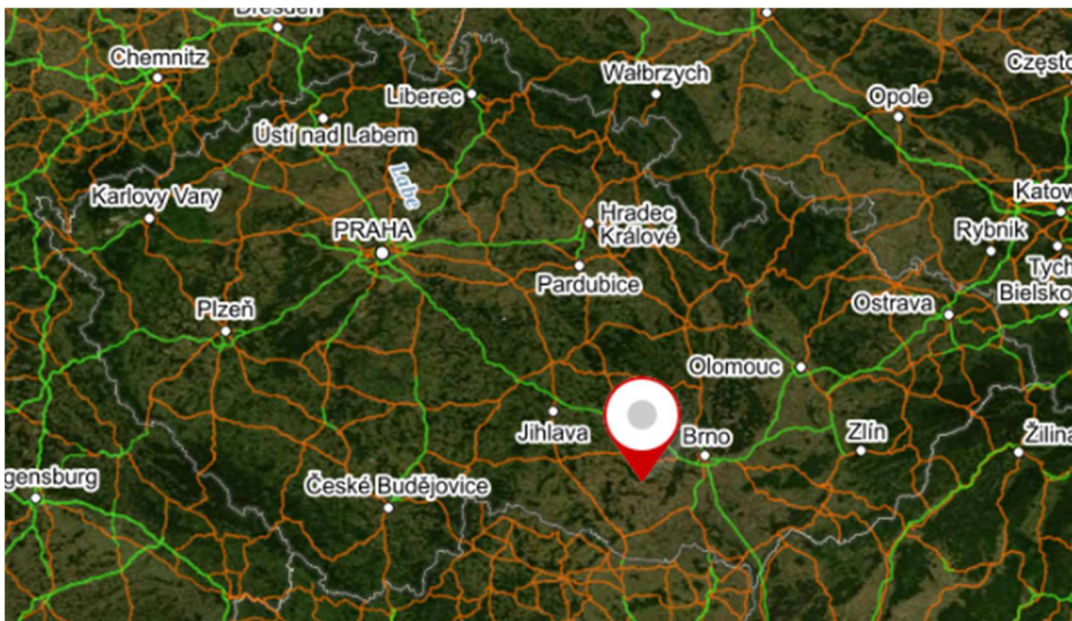
### 8.3. Modelová situace 3

Modelová situace 3 bude zkoumat, zda by bylo možné umístit chladicí věže na území České republiky tak, aby jejich konstrukce vyhověla požadavkům a nedošlo k její zřícení. Konkrétněji, zda by bylo možné umístit chladicí věže přímo na území českých jaderných elektráren Temelín a Dukovany.



Obrázek 17, mapa s umístěním jaderné elektrárny Temelín [15]





Obrázek 18, mapa s umístěním jaderné elektrárny Dukovany [14]

Z modelové situace 2 vyplývá, že chladicí věže nemůžou být umístěny tam, kde je 8. větrná oblast. Do ní však nespadá ani Temelín ani Dukovany. Temelín spadá do 3. větrné oblasti a Dukovany spadají do větrné oblasti 6.

Pro vyhodnocení této modelové situace musíme vypočítat normativní tlak větru  $w_0$ , tuto hodnotu pak zpětně porovnat s tabulkou 10. Pokud se budou hodnoty z tabulky shodovat, pak určíme větrnou oblast, ve které by chladicí věže mohly být umístěny, pokud by tak bylo možné.

### 8.3.1. Podmínky

Pro výpočet musí být upravena podmínka, která byla použita pro výpočty v modelových situacích 1 a 2. Abychom vypočetly maximální rychlost větru, pro kterou nedojde ke kolapsu chladících věží, musíme položit rovnosti hodnoty v podmínce. Tím vypočteme normativní tlak větru. Jeho hodnotu dosadíme do tabulky 10 a odečteme rychlost větru. Rychlost větru, pro kterou bude platit, že je maximální, aniž by došlo ke kolapsu, poté bude rovna a menší než výsledek.

### 8.3.2. výpočty

$$V_{g,sp} = 1,25 * v_m \quad (8.8.)$$

$$71 = 1,25 * v_m$$

$$71 = 1,25 * 1,51 \sqrt{w_0 k(z)}$$

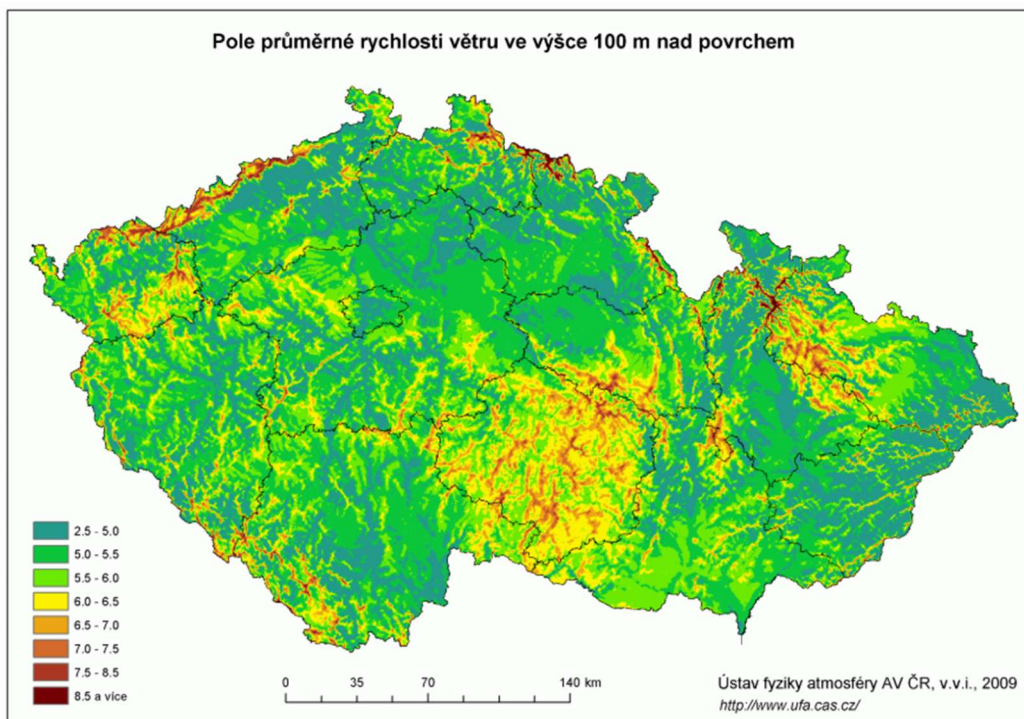
$$w_0 = 566 \text{ Pa}$$

### 8.3.3. Vyhodnocení

Z výpočtu vyplývá, že taková stavba a rozmístění chladících věží jako bylo ve Ferrybridge by se na území České republiky mohlo vyskytovat jen na velmi malém území. Konkrétně na území s modrou barvou dle obrázku 7. Pokud by chladící věže byly umístěné na místě Temelína nebo Dukovan, došlo by velmi rychle k autokmitání a následnému kolapsu.

Tabulka 12, tabulka s vyznačenými vhodnými oblastmi pro umístění chladících věží jaderných elektráren na území České republiky

| Větrná oblast | Jaderná energetika     |                            |
|---------------|------------------------|----------------------------|
|               | Tlak větru $w_0$ , kPa | Rychlost větru $v_0$ , m/s |
| <b>Ia</b>     | 0,43                   | <b>26,4</b>                |
| I             | 0,58                   | 30,7                       |
| II            | 0,75                   | 35,1                       |
| III           | 0,95                   | 39,5                       |
| IV            | 1,2                    | 44,4                       |
| V             | 1,5                    | 49,6                       |
| VI            | 1,83                   | 54,7                       |
| VII           | 2,13                   | 59                         |



Obrázek 19, mapa větrných oblastí ČR ve výšce 100 m nad povrchem, [12]

## Závěr

Cílem práce bylo nastínit problematiku přírodních a technogenních vnějších vlivů na objekty jaderné energetiky.

Nejprve na tyto vlivy bylo nahlíženo z pohledu legislativy České republiky. Jak již bylo v práci zmíněno, česká legislativa je v ohledu této problematiky naprosto nedostačující a bylo by velmi žádoucí, aby se v tomto směru začaly tyto nedostatky doplňovat. Tato práce tedy může sloužit jako základní kamínek pro naši vládu, aby si uvědomila, jak závažný tento problém je. V práci je tedy nastíněno řešení této problematiky z pohledu jiných států a jiných legislativ. Tím se můžeme jedinečně inspirovat.

Další část práce se zaměřuje konkrétně na nejproblematičtější vnější vliv pro Českou republiku, jímž je vítr. Byly zde popsány dva problémové jevy, kterými jsou zatížení větrem a autokmitání.

Oba tyto problémy byly alespoň částečně nasimulovány pro naše dvě lokality, Dukovany a Temelín. Lokality, ve kterých se nachází naše jaderné elektrárny. Pro tyto simulace byl využit model chladících věží elektrárny Ferrybridge C.

Samotná Ferrybridge C podlehla vlivu autokmitání a došlo k jejímu zhroucení. Ze samotných výpočtů vyplývá, že pokud byla rychlost větru 44 m/s jak uvádějí zdroje, k pádu muselo dojít. Maximální rychlost větru, při které by k pádu nedošlo, by musela být 26,4 m/s. Velký rozdíl těchto hodnot je částečně ovlivněn bezpečnostními koeficienty, které se ve výpočtech používají a také tím, že skutečná hodnota normativního tlaku větru by odpovídala oblasti mezi Ia a I.

Po simulacích na naše území se ukázalo, že takovéto rozmístění chladících věží, by mohlo být jen na velmi malém území. Umístění chladících věží stejných jako ve Ferrybridge na území Temelína nebo Dukovan by vůbec nebylo možné. Velmi rychle by také došlo k autokmitání a následnému pádu.

## Zdroje a použitá literatura

### Použité tištěné dokumenty

[1]HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.

[2] podklady použité pro zpracování od Ing. Alexandera Kravcova, Ph.D.

### Použité elektronické dokumenty

[3]Úvod - SÚJB. [online]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/uvod/>

[4]263/2016 Sb. Zákon atomový zákon. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

[5]18/1997 Sb. Atomový zákon. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-18>

[6]239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>

[7]NRC: Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants: LWR Edition — Design of Structures, Components, Equipment, and Systems (NUREG-0800, Chapter 3). *NRC: Home Page* [online]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0800/ch3/>

[8]*NRC: Home Page* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML0705/ML070570001.pdf>

[9]*NRC: Home Page* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML0705/ML070570002.pdf>

[10]NRC: Home Page. *NRC: Home Page* [online]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/>

[11]Ferrybridge C Power Station, West Yorkshire – Power Stations of the UK. *Power Stations of the UK – Documenting the decline of coal and oil fired*

*electricity generation in the UK* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019].  
Dostupné z: <http://www.powerstations.uk/ferrybridge-c-power-station-west-yorkshire/>

[12] *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i* [online]. Copyright © [cit. 09.12.2019].  
Dostupné z: [http://www.ufa.cas.cz/imgs/DLouka/vetrna\\_mapa.gif](http://www.ufa.cas.cz/imgs/DLouka/vetrna_mapa.gif)

[13] *David Štička - Fotovoltaické systémy. David Štička - Fotovoltaické systémy* [online]. Copyright © Fotovoltaické systémy [cit. 14.12.2019].  
Dostupné z: <http://www.sticka.cz>

[14] *Mapy.cz. Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.8345417&y=49.9466210&z=7&base=ophoto&source=muni&id=5359>

[15] *Mapy.cz. Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.8706839&y=49.6319999&z=7&base=ophoto&q=temel%C3%ADn>

[16] *Document Moved* [online]. Copyright ©,X6 [cit. 31.12.2019].  
Dostupné z: [https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety\\_Series\\_050-SG-S11A\\_1981.pdf](https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_050-SG-S11A_1981.pdf)

[17] *Portál ČHMÚ : Aktuální situace : Aktuální stav počasí : Česká republika : Stanice : Profesionální stanice : Mapy. Portál ČHMÚ : Home* [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/stanice/professionalni-stanice/mapy>

[18] *Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. Промышленный портал Complexdoc: нормативные документы, блоги о промышленности, промышленные товары, выставки, обучение - Нормативно-технические документы. ГОСТы, СНиПы, СанПиНы, нормы,*

правила и др. [online]. Dostupné z: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/542954/16>

[19] 302 Found [online]. Copyright © [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: [http://fast10.vsb.cz/krejsa/studium/spec\\_num\\_05.pdf](http://fast10.vsb.cz/krejsa/studium/spec_num_05.pdf)

[20] [online]. Copyright ©F [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: [http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Fyzikaprobakalare/PD/F/1\\_7\\_2\\_tlum.pdf](http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Fyzikaprobakalare/PD/F/1_7_2_tlum.pdf)

[21] ИС «МЕГАНОРМ» [online]. Copyright © [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294814/4294814663.pdf>

[22] Бесплатная база ГОСТ [online]. Copyright ©U [cit. 01.01.2020]. Dostupné z: <https://docplan.ru/Data2/1/4293850/4293850819.pdf>

[23] [online]. Dostupné z: <http://Eurocode 1: Actions on structures. Pt. 1-4: General actions – Wind actions. BS EN 1991-1-4:2005. Brussels.: CEN / European Committee for Standardization. April 2005>

[24] Нормативные базы ГОСТ/СП/СНиП [online]. Copyright © [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830283.pdf> Барштейн, М.Ф.: Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. ЦНИИСК им. Кучеренко. Стройиздат, 1978

[25] Document Moved [online]. Copyright ©,X6 [cit. 04.01.2020]. Dostupné [https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety\\_Series\\_050-SG-S11A\\_1981.pdf](https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_050-SG-S11A_1981.pdf)

[26] СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями N 1, 2), СП (Свод правил) от 03 декабря 2016 года №20.13330.2016. Docs.cntd.ru, все Кодексы РФ, СП, ГОСТ, СНИП, Санпин, регламенты, указы, законы [online]. Copyright © [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <http://docs.cntd.ru/document/456044318>

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| OBRÁZEK 1, ROZDĚLENÍ USA A 3 OBLASTI PODLE VLIVU TORNÁDA, 8.....  | 35 |
| OBRÁZEK 2, MODEL CHLADÍCI VĚŽE FERRYBRIDGE C.....   | 40 |
| OBRÁZEK 3, USPOŘÁDÁNÍ FERRYBRIDGE C, 11 .....   | 41 |
| OBRÁZEK 4, PLÁNEK FERRYBRIDGE C, 11.....  | 41 |
| OBRÁZEK 5, ZHROUCENÍ CHLADÍCI VĚŽE FERRYBRIDGE C, 11 .....  | 42 |
| OBRÁZEK 7, MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ ČR VE VÝŠCE 100 M NAD POVRCHEM, 12 .....   | 43 |
| OBRÁZEK 6, MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ ČR, 13 .....   | 43 |
| OBRÁZEK 7, MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ ČR VE VÝŠCE 100 M NAD POVRCHEM, 12 .....   | 43 |
| OBRÁZEK 8, ŘEZ PRVKEM: LOKÁLNÍ SOUŘADNICE Y, PŘIROZENÁ SOUŘADNICE S, LOKÁLNÍ<br>PŘEMÍSTĚNÍ U, V, W, O, GLOBÁLNÍ PŘEMÍSTĚNÍ U, V, W, O 26..... | 44 |
| OBRÁZEK 9, VNITŘNÍ SÍLY VE SKOŘEPINOVÉM PÁSU 26.....  | 44 |
| OBRÁZEK 10, GRAF ZÁVISLOSTI PRO RYCHLOST VĚTRU V M/SEC NA PROMĚNNÉ YG GUMBELOVA<br>ROZDĚLENÍ 25.....  | 51 |
| OBRÁZEK 12, ZÁVISLOSTI PRO ROZDĚLENÍ TLAKU VĚTRU PO OBVODĚ CHLADÍCI VĚŽE V ZÁVISLOSTI<br>NA PARAMETRU K/A 2.....                              | 53 |
| OBRÁZEK 11, KŘIVKY K1-K4 PRO STANOVENÍ DRSNOSTI 2 .....   | 53 |
| OBRÁZEK 13, ZÁVISLOSTI PRO ROZDĚLENÍ TLAKU VĚTRU PO OBVODĚ CHLADÍCI VĚŽE V ZÁVISLOSTI<br>NA PARAMETRU K/A 2.....                              | 54 |
| OBRÁZEK 15, MODEL CHLADÍCI VĚŽE FERRYBRIDGE C.....  | 57 |
| OBRÁZEK 14, SCHÉMA CHLADÍCÍCH VĚŽÍ .....  | 59 |
| OBRÁZEK 16, MAPA S UMÍSTĚNÍM JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN 15.....   | 64 |
| OBRÁZEK 17, MAPA S UMÍSTĚNÍM JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY 14 .....   | 65 |
| OBRÁZEK 7, MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ ČR VE VÝŠCE 100 M NAD POVRCHEM, 12 .....   | 66 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| TABULKA 1, HYDROMETEOROLOGICKÉ PROCESY A JEVY (RUSKÁ NORMA) 22 .....   | 14 |
| TABULKA 2, GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ PROCESY A JEVY (RUSKÁ NORMA) 22 .....   | 22 |
| TABULKA 3, FAKTORY VYTVÁŘEJÍCÍ VNĚJŠÍ VLIVY TECHNOGENNÍHO PŮVODU (RUSKÁ NORMA) 22 .  | 28 |
| TABULKA 4, VÝBĚR MĚŘÍCÍCH METEOROLOGICKÝCH STANIC V OKOLÍ EDU DLE DOPORUČENÍ ČHMÚ<br>PRAHA [17] .....                                  | 47 |
| TABULKA 5, VÝBĚR NAMĚŘENÝCH ROČNÍCH MAXIM RYCHLOSTI VĚTRU [M/S].....   | 48 |
| TABULKA 6, SETŘÍDĚNÍ DAT A VÁHOVÉ OCENĚNÍ PRAVDĚPODOBNOTI VÝSKYTU DANÝCH HODNOT  | 49 |
| TABULKA 7, VÝSLEDKY PO DOSAZENÍ.....   | 50 |
| TABULKA 8, PARAMETRY GUMBELOVA ROZDĚLENÍ PRO RYCHLOST VĚTRU [M/S] .....  | 50 |
| TABULKA 9, TLAK VĚTRU A MAXIMÁLNÍ RYCHLOST VĚTRU PRO BĚŽNÉ STAVBY A OBJEKTY JADERNÉ<br>ENERGETIKY .....                                | 61 |
| TABULKA 9, TLAK VĚTRU A MAXIMÁLNÍ RYCHLOST VĚTRU PRO BĚŽNÉ STAVBY A OBJEKTY JADERNÉ<br>ENERGETIKY .....                                | 62 |
| TABULKA 9, TLAK VĚTRU A MAXIMÁLNÍ RYCHLOST VĚTRU PRO BĚŽNÉ STAVBY A OBJEKTY JADERNÉ<br>ENERGETIKY .....                                | 63 |
| TABULKA 10, TABULKA S VYZNAČENÝMI VHODNÝMI OBLASTMI PRO UMÍSTĚNÍ CHLADÍCÍCH VĚŽÍ<br>JADERNÝCH ELEKTRÁREN NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY..... | 66 |