

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická



Návrh výstavby větrné elektrárny u dálnice D1

The Wind Turbine Project Near Highway D1

Diplomová práce

Bc. David Hodač

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Elektroenergetika
Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **David Hodač**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Návrh výstavby větrné elektrárny u dálnice D1**

Pokyny pro vypracování:

1. Určete umístění větrné elektrárny.
2. Pro zvolenou lokalitu realizujte návrh a dimenzování větrné elektrárny.
3. Navrhnete připojení větrné elektrárny do elektrizační soustavy.
4. Zpracujete technicko - ekonomické vyhodnocení výstavby a provozu větrné elektrárny.

Seznam odborné literatury:

- [1] BURTON, Tony. Wind energy handbook. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2011, xxxvii, 742 s., ISBN 978-0-470-69975-1.
- [2] MANWELL, J, J MCGOWAN a A ROGERS. Wind energy explained: theory, design and application. Chichester: Wiley, 2002, xi, 577 s. ISBN 0-471-49972-2.
- [3] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- [4] SCHAFFARCZYK, Alois. Understanding wind power technology: theory, deployment and optimisation. 1st pub. Chichester: Wiley, 2014, xv, 466 s. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [5] SORENSEN, John D a J SORENSEN. Wind energy systems: optimising design and construction for safe and reliable operation. 1st pub. Cambridge: Woodhead, 2011, xvii, 598 s. ISBN 978-1-84569-580-4.

Vedoucí: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27. 5. 2016

podpis

Poděkování

Děkuji panu Kleinovi za vedení diplomové práce. Velice si vážím toho, že mi bylo umožněno pracovat na vlastním tématu.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti EON za poskytnutí dat pro tuto diplomovou práci.

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o možnosti výstavby větrné elektrárny u dálnice D1. Nejprve je vysvětleno, proč by měl být projekt uskutečněn v dané lokalitě, a zároveň, s jakým záměrem je tato plánovaná stavba pozitivní v okolí dálnice D1. V další části je představen typ větrné elektrárny vhodný pro danou lokalitu s připojením do distribuční soustavy. V poslední řadě je provedena ekonomická rozvaha a vypočtena efektivnost celkové výstavby.

Klíčová slova

Větrná elektrárna, průměrná rychlost větru, obnovitelné zdroje energie, distribuční soustava, hodnocení investice.

Abstract

This diploma thesis concerns the possibility of building a wind turbine near the motorway D1. Firstly, the paper sheds some light on the choice of the location where the project should be carried out and also in which way this construction is beneficial to the surroundings of the motorway D1. Secondly, the suitable type of the wind turbine is presented clarifying the details of the grid connection. Finally, the thesis offers an insight into the economic assessment of the whole construction examining its effectiveness.

Keywords

Wind turbine, average wind speed, renewable energy sources, public distribution networks, economic assessment.

Obsah

Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova.....	5
Abstract.....	5
Keywords.....	5
1. Úvod.....	9
2. Větrná energetika.....	10
2.1 Energetický mix České republiky.....	11
2.2 Větrná energetika v Evropě.....	12
3. Předpoklady pro provoz větrné elektrárny a základní princip.....	14
3.1 Vznik větru na Zemi.....	14
3.2 Energie větru.....	15
3.3 Výkon větru.....	15
3.4 Maximální teoretická účinnost větrné turbíny.....	15
3.5 Rychlost větru v určité výšce.....	17
3.6 Profil listu rotoru a působící síly.....	18
4. Části větrné elektrárny.....	20
4.1 Gondola.....	20
4.2 Generátor.....	21
4.2.1 Technologie DFIG (Double-Fed Induction Generator).....	21
4.3 Rotorový list.....	23
4.4 Stožár.....	23
4.5 Betonový základ.....	23
5. Umístění větrné elektrárny.....	25
5.1 Klimatické podmínky kraje Vysočina.....	25
5.2 Hluk v oblasti plánované výstavby.....	28
5.3 Rychlost větru v dané lokalitě.....	28
5.3.1 Weibullovo rozdělení rychlosti větru.....	29
5.3.2 Jednorozměrný statistický soubor hodnot průměrných rychlostí větru.....	32
5.3.3 Větrná růžice.....	35
5.4 Vyhodnocení daného místa.....	35
5.5 Vyhodnocení umístění záměru.....	36
6. Návrh a dimenzování větrné elektrárny pro zvolenou lokalitu.....	38

6.1	Návrh větrné turbíny	38
6.1.1	Technická specifikace V110.....	39
6.1.2	Výpočet ročního množství přeměněné elektrické energie.....	40
7.	Připojení větrné elektrárny k distribuční soustavě	43
7.1	Vliv větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy.....	43
7.2	Podmínky připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy	44
7.2.1	Zvýšení napětí	44
7.2.2	Změny napětí při spínání zdroje	45
7.2.3	Flikr efekt	45
7.3	Návrh připojení větrné elektrárny do elektrizační soustavy	46
7.3.1	Výpočet zkratového výkonu v místě připojení.....	46
7.3.2	Výpočet zvýšení napětí.....	48
7.3.3	Výpočet změny napětí při spínání zdroje.....	48
7.3.4	Výpočet flikru.....	49
7.4	Vyvedení výkonu z větrné elektrárny.....	49
7.5	Další podmínky připojení k síti	50
7.6	Shrnutí návrhu připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy.....	51
8.	Ekonomická rozvaha výstavby a provozu větrné elektrárny.....	52
8.1	Předpokládaná roční přeměněná elektrická energie	53
8.2	Určení diskontní míry.....	53
8.3	Cash flow.....	53
8.4	Prostá doba návratnosti a diskontovaná doba návratnosti	53
8.5	Čistá současná hodnota	54
8.5.1	Výpočet čisté současné hodnoty.....	54
8.6	Vnitřní výnosové procento	57
8.7	Citlivostní analýza	57
8.7.1	Vliv diskontu na hodnotu NPV	58
8.7.2	Vliv sumy výkupní ceny se zeleným bonusem	58
8.7.3	Vliv roční produkce elektrické energie	59
8.7.4	Vliv počáteční ceny investice výstavby větrné elektrárny	60
8.8	Shrnutí ekonomické rozvahy	60
9.	Závěr.....	61
10.	Seznam použité literatury	62
11.	Seznam obrázků	65
12.	Seznam tabulek a grafů	66

12.1	Seznam tabulek.....	66
12.2	Seznam grafů.....	66
13.	Příloha A	67
13.1	Průměrné rychlosti a směry větru ve výšce 10 m nad povrchem v jednotlivých dnech v roce 2015 ^[38]	67
13.2	Průměrné rychlosti větru v jednotlivých dnech a korigované hodnoty pro výšku 110 m nad povrchem.....	73
14.	Příloha B.....	79
14.1	Jednopolové schéma rozvodny 22 kV, Humpolec	79

1. Úvod

Práce představuje větrnou energetiku, jako zajímavý artikl pro budoucí rozvoj obnovitelných zdrojů energie. Vysvětlen je zde základní princip fungování větrné elektrárny a zároveň je uveden nainstalovaný výkon nejen v České republice, ale i téměř v celé Evropě.

Důvodem návrhu výstavby větrné elektrárny u dálnice D1 bylo záměrné spojení několika společných negativních aspektů v užitečný cíl. Jedná se především o hluk, který je hlavním argumentem projeveného odporu daného tématu a stejně tak enormní zásah do krajinného rázu.

Plánované místo pro výstavbu větrné elektrárny bylo prozkoumáno za účelem prokázání, že oblast je vhodná. Jednak s ohledem na chráněné oblasti a současně s respektováním určitých stanovených pravidel.

Text pojednává o konkrétní vybrané lokalitě u dálnice D1, pro kterou jsou uvedeny informace o povětrnostních podmínkách. Je spočtena průměrná rychlost větru za rok 2015 s předloženými daty s průměrnými denními rychlostmi větru. Zjištěné hodnoty jsou přepočítány pro zvolenou výšku osy otáčení rotoru.

V závislosti na povětrnostních podmínkách je vybrána větrná turbína z hlediska instalovaného výkonu.

Pro zvolený typ větrné elektrárny je uveden plán připojení výroby do elektrizační soustavy se zřetelem na rázový zkratový výkon přesně v přípojném bodě.

Jako každá investice, tak i obnos vložený do výstavby větrné elektrárny je nutné ekonomicky zvážit. Posledním úkolem diplomové práce je zhotovení ekonomické rozvahy výstavby větrné turbíny. Pro předepsané výkupní ceny a zeleného bonusu, jsou na základě predikované roční výroby vypočítané základní finanční veličiny.

2. Větrná energetika

Nejen větrná energetika, ale všechny obnovitelné zdroje energie mají asi největší rozvoj ve své dlouholeté historii, kdy je snaha o maximální zvýšení účinnosti celého systému a minimalizovat tak spalování fosilních paliv, kvůli negativnímu vlivu na životní prostředí. Podíváme-li se do okolních států jako je Německo nebo Rakousko, je úsilí o čím dál vyšší využitelnost větrných a fotovoltaických zdrojů elektrické energie.

Je zajímavé pozorovat názory velkých businessmanů, kteří kladou důraz na stavby poměrně levné a rychlé co se výstavby týče. Samozřejmě z hlediska plánování pro budoucí výrobu elektrické energie je, podle mého názoru, zapotřebí stavět jaderné elektrárny, které sice mají obrovské vstupní náklady pro výstavbu, ukládání vyhořelého paliva a v konečném životním cyklu také nemalé náklady na samotnou likvidaci celého komplexu elektrárny, ale na druhou stranu, přeci jen jde o nepřetržitý a nezávislý zdroj energie. Přirovnáme-li například jadernou elektrárnu Temelín, s celkovým nainstalovaným výkonem 2132 MW, s větrnou elektrárnou, která má v dnešních novějších typech přibližně 3 MW při jmenovitých otáčkách, muselo by být postaveno 1066 těchto elektráren, které by ještě ke všemu museli generovat plný nainstalovaný výkon.

Vrátím-li se k podstatě věci, nemyslím si, že dojde v příštích deseti letech k enormnímu rozmachu obnovitelných zdrojů energie, míněno v České republice. Je, ale zcela jasné, že do budoucna budeme muset být zelení a v žádném případě nevyrobět elektrickou energii spalováním uhlí.

Za pozoruhodné považuji porovnání, kolik spáleného uhlí je ušetřeno, a tím, i vypuštěného množství CO₂ do ovzduší díky obnovitelným zdrojům energie. Za rok 2014 bylo díky větrným elektrárnám přeměněno z větrné energie na elektrickou energii 472 472,3 MWh.^[1] Počítá-li se, že 1 kg uhlí je roven 1 kWh, tak po jednoduchém výpočtu vyjde úspora uhlí na neuvěřitelných 472 472,3 tun. K úspoře dochází nejen ve spalování uhlí a výfukového plynu CO₂ nebo síry, ale také k omezení spotřebě vápníku, který je třeba k odsiřování spalování uhlí v tepelných elektrárnách.

Je stále větší důraz k omezování skleníkových plynů CO₂. Pořádají se konference na toto téma a vyspělé země vytváří tlak na ty zaostalejší, k provedení opatření, které vede k maximální minimalizaci emisí skleníkových plynů.

Podle vytvořené studie (týkající se výstavby a provozu větrné elektrárny) společností VESTAS, která je přední výrobcem větrných turbín, vychází na 1 kWh přeměněné energie větrnou turbínou 7,51 g emitovaného CO₂. Na rozdíl uhelná elektrárna emituje na přeměněnou 1 kWh elektrické energie přibližně 1 kg CO₂.^[2] Je to tedy téměř 133 krát vyšší znečištění na jednotku energie. Ještě k tomu, tato úvaha neobsahuje, na rozdíl od vytvořené LCA studie větrné elektrárny firmou VESTAS, podíl vypuštěného CO₂ při výstavbě uhelné elektrárny a hlavně těžbu, opracování a dopravu paliva. Zde je znatelně pozorovatelný hlavní cíl, a to stavět obnovitelné zdroje pro ochranu životního prostředí.

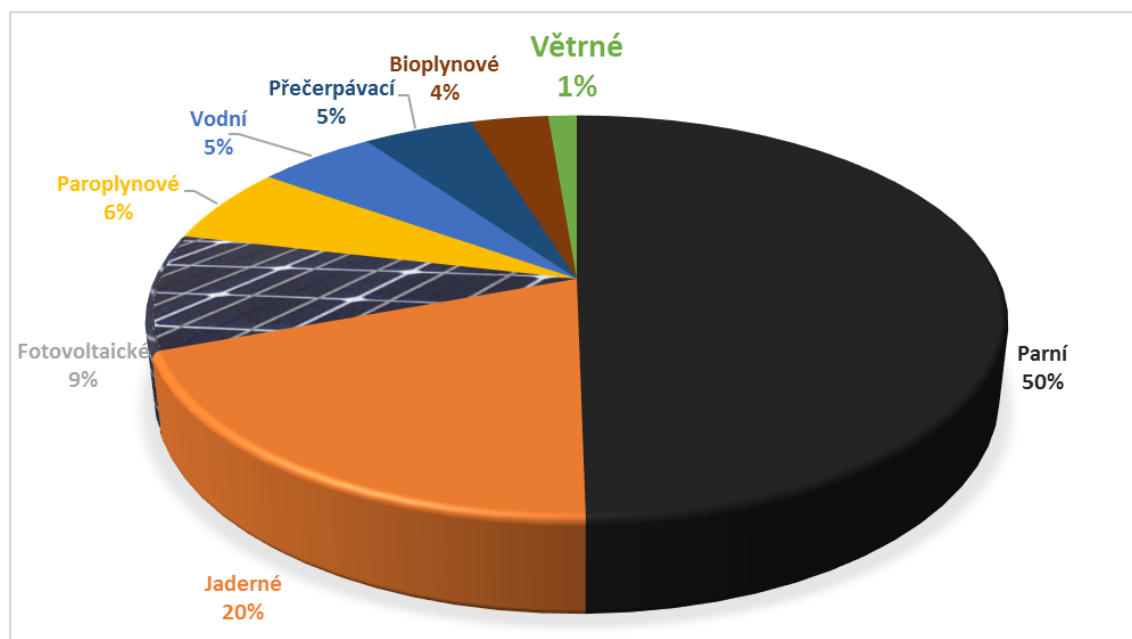
Obnovitelné zdroje, i když to zatím například v České republice tak nevypadá, budou v budoucnu přesahovat výkonově nad fosilním spalováním a tím bude dosažena úplně odlišná koncepce energetického mixu, jak je tomu doposud. Dneska je energetický mix nastaven, kde obnovitelné zdroje energie hrají spíše jen doplněk k velkému spalování uhlí. V budoucnu tomu bude zcela opačně. Ve velké míře bude zajištěna akumulace energie, jako jsou například baterie nebo výroba vodíku nebo jiných plynů a jako podpůrné služby budou právě tepelné nebo spíše plynové elektrárny.

Větrná energie je zcela zadarmo a definitivně nedochází ke znečišťování životního prostředí, co se samotné přeměny týče. Je-li počítán celkový Life Cycle Assessment (posouzení životního cyklu celku), je podle studií dokázáno, že energie vyrobená z větrných elektráren je prakticky čistší než z ostatních zdrojů. Studie dokazuje, že větrné elektrárny nemají žádný negativní vliv na životní prostředí. Hlavním předmětem posouzení dopadu na životní prostředí byla výroba, transport, instalace a posléze odstranění celku po uplynutí doby životnosti. [2]

Po skončení doby života celého systému se celý komplex i se samotnou elektrárnou recykluje až do posledního šroubu.

2.1 Energetický mix České republiky

Z energetického mixu české energetické soustavy vyplývá, že v dnešní době získaná energie z větrných elektráren činí zhruba 1,3 %, to je přibližně 283 MW nainstalovaného výkonu z celkového 21 923 MW. Tato hodnota je opravdu nízká v porovnání s nainstalovaným výkonem fotovoltaických systémů. Tam činí nainstalovaný výkon téměř 10 %, tedy 2 061 MW. V České republice se vyskytují stále ještě lokality, kde jsou dobré podmínky pro připojování dalších větrných elektráren, jakožto obnovitelné zdroje energie. Výkupní ceny elektrické energie a zároveň zelené bonusy pro větrnou energetiku jsou aktualizovány téměř každý rok Energetickým regulačním úřadem. Tyto ceny každým rokem klesají, ale je to odůvodněné zvyšováním efektivnějšího získávání elektrické energie z větrné energie. Tyto argumenty jsou pravdivé. Systémy turbín větrných elektráren jsou schopné nabíhat i při nízké rychlosti větru v oblastech s nedostatečnými povětrnostními podmínkami. Naproti tomu v místech vyšších průměrných hodnot rychlosti větru, jsou turbíny schopné pracovat s vyšší účinností díky novým technologiím.



Graf 1: Graf energetického mixu České republiky [3]

Druh elektrárny	Nainstalovaný výkon [MW]	Podíl [%]
Parní	10 904	49,7
Jaderné	4 290	19,6
Fotovoltaické	2 061	9,4
Paroplynové	1 363	6,2
Vodní	1 172	5,3
Přečerpávací	1 090	5,0
Bioplynové	766	3,5
Větrné	283	1,3
Celkem	21 923	100

Tabulka 1: Energetický mix České republiky z roku 2014 ^[3]

2.2 Větrná energetika v Evropě

Větrná energetika v Evropě má nyní největší rozmach v offshore výstavbách. Jedná se především o oblasti u pobřeží Severního moře, kde Německo staví svůj nový energetický zdroj elektriny. A je to právě Německo, které se pyšní prvním místem nainstalovaného výkonu větrných elektráren v Evropě. My tuto možnost nemáme, ale existuje několik investičních skupin, které také investují do výstaveb offshore větrných farem.

Stát	Nainstalovaný výkon [MW]	Stát	Nainstalovaný výkon [MW]
Německo	39 165	Bulharsko	690,5
Španělsko	22 986,5	Finsko	627
Velká Británie	12 440,3	Ukrajina	497,5
Francie	9 285	Chorvatsko	346,5
Itálie	8 662,9	Maďarsko	329,2
Švédsko	5 424,8	Estonsko	302,7
Portugalsko	4 914,4	ČR	281,5
Dánsko	4 845	Litva	279,3
Polsko	3 833,8	Lotyšsko	61,8
Rumunsko	2 953,6	Švýcarsko	60,3
Nizozemsko	2 805	Lucembursko	58,3
Irsko	2 271,7	Rusko	15,4
Rakousko	2 095	Bělorusko	3,4
Řecko	1 979,8	Slovinsko	3,2
Belgie	1 959	Slovensko	3,1
Norsko	819,3	Island	3

Tabulka 2: Evropských států s nainstalovaným výkonem VtE z roku 2014 ^[4]



Obrázek 1: Mapa Evropy s nainstalovaným výkonem VtE z roku 2014 ^[4]

3. Předpoklady pro provoz větrné elektrárny a základní princip

Větrná elektrárna neboli větrná turbína je rozdělena na dva základní typy závislé podle osy otáčení. První typ je vertikální osa otáčení, která je rozšířená především pro nízké rychlosti větru. To je také největší důvod, proč se převážně staví jen do výkonu několika desítek kW. Druhou a nejčastější skupinou turbín je s osou otáčení v horizontálním směru. Tento typ otáčení je užíván pro výkony od jednotek W až do jednotek MW. Turbína musí být přizpůsobená v závislosti na rychlosti větru. ^[5]

Rychlost větru je nejpodstatnější aspekt pro návrh a využití větrné elektrárny. Proto je nutné se v širším objemu věnovat vzniku větru a následnému maximálnímu využití pro danou problematiku.

3.1 Vznik větru na Zemi

Je to právě Slunce, které má na svědomí generování větru. Energie, která je vyzařována od Země nejbližší hvězdy, dopadá na zemský povrch, jež je oteplován nerovnoměrně kvůli zakřivenému reliéfu. V důsledku nerovnoměrného zahřívání zemského povrchu vzniká cirkulace vzduchu po celém objemu atmosféry. Logicky na Zemi dopadá sluneční záření podle úhlu naklonění.

Na rovník dopadá nejvíce slunečního záření oteplující zemský povrch a hustota vzduchu je nižší než v okolních oblastech. Následkem toho teplý vzduch stoupá vzhůru a tvoří se oblast s nižším tlakem. V polohách nacházející se na pólech Země, je povrch zahříván jen nepatrně v porovnání s oblastmi na rovníku a studený vzduch se drží u zemského povrchu. Jde tedy o místa s vysokým tlakem vzduchu. Zásluhou toho vznikají nerovnosti tlaku vzduchu a tímto následkem je počátek větrné energie, která se snaží vyrovnat rozdíl tlaku vzduchu tím, že vítr proudí od místa vyššího tlaku do míst s nižším tlakem. Ve vysokých výškách vítr vane od rovníku k severnímu pólu a také od rovníku k jižnímu pólu. Dále se vítr vrací, tentokrát v nižších polohách atmosféry od severního respektive jižního pólu k rovníku. ^[6]

Dále je generována Coriolisova síla, důsledkem rotace Země kolem vlastní osy. Výsledkem pro využití celkových povětrnostních účinků je proudění větru v oblastech několik desítek metrů nad zemským povrchem. ^[6]

Velkým vlivem pro proudění masy vzduchu je nehomogenní zemský povrch, který v určitých částech přímo brzdí rychlost větru. Proto rychlost větru nad oceány je obecně vyšší než nad souši, jelikož povrch oceánu nemá prakticky žádné nerovnoměrné zakřivení. Z tohoto všeho se dá racionálně usoudit, že při vzdalujících se oblastech na pevnině od pobřeží oceánů či moří je rychlost větru redukována. Navzdory všemu je nutno podotknout, že nacházíme-li se v poloze vysoko nad mořským povrchem v hornatých oblastech kontinentů, je rychlost větru vyšší, než v nížinách, protože zde samozřejmě hraje roli vysoká poloha nic nebránící proudění vzduchu.

Rychlost větru také závisí na výšce daného pohoří. Na vrcholcích hor je teplota vzduchu chladnější, než je tomu v údolích, tím vzniká opět diference mezi tlakem vzduchu v horních úsecích hor a údolím. Je generován proud vzduchu k regulaci odlišných tlaků a dochází ke vzniku větru s určitou rychlostí. ^[6]

Dopadající sluneční záření má hlavní vliv na vznik a působení větru. Druhým efektem je tedy rotace Země kolem své osy.

Nejúčinnějším předpokladem pro návrh výstavby větrné turbíny je, co možná největší, výška vrtule, jelikož, jak již bylo zmíněno, ve vysokých polohách se rychlost větru rapidně zintenzivňuje. Ovšem na druhou stranu jsme omezeni konstrukčními a materiálovými prvky pro celkovou návratnost vložené investice.

3.2 Energie větru

Energii pohybu určité masy větru lze vyjádřit pomocí vztahu kinetické energie:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad 3.1$$

kde m je hmotnost pohybující se množství vzduchu a v značí rychlost proudění vzduchu.

Pro hmotnost m platí rovnice:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad 3.2$$

kde ρ je hustota vzduchu, V objem vzduchu, A plocha, kterou daný objem projde a s jako dráha prošlého vzduchu. ^[7]

3.3 Výkon větru

Z předešlých rovnic lze odvodit vztah pro výkon větru procházející jednotkovou plochou:

$$P = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{V}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{s}{t} \cdot v^2 \quad 3.3$$

Rychlost proudění vzduchu se vypočítá jako:

$$v = \frac{s}{t} \quad 3.4$$

Po dosazení vyjádřené rychlosti proudění vzduchu do rovnice pro výpočet výkonu vyjde výsledný vztah, který je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti proudění vzduchu. ^[7]

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad 3.5$$

3.4 Maximální teoretická účinnost větrné turbíny

Betzovo pravidlo určuje maximální reálné množství energie z proudícího média s určitou rychlostí skrze rotor. Je-li rychlost média vstupující do rotoru v_1 a rychlost vystupujícího média z rotoru v_2 , platí pro průměrnou rychlost daného média rovnice:

$$v_{AV} = \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2) \quad 3.6$$

Plocha disku rotoru je označena jako S a hustota média ρ , hmotnostní tok určitého média za jednotku času činí:

$$\dot{m} = \rho \cdot S \cdot v_{AV} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot (v_1 + v_2) \quad 3.7$$

Užitečné energii bude odpovídat rozdíl kinetických energií média vstupující do rotoru a vystupující z rotoru:

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot (v_1 + v_2) \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad 3.8$$

Po vytknutí v_1 lze dosáhnout tvaru:

$$\dot{E} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 + \left(\frac{v_2}{v_1}\right)\right), \quad 3.9$$

kde pomocí derivace podle $\frac{v_2}{v_1}$ pro rychlost v_1 a průměr rotoru S je získán extrém funkce \dot{E} a

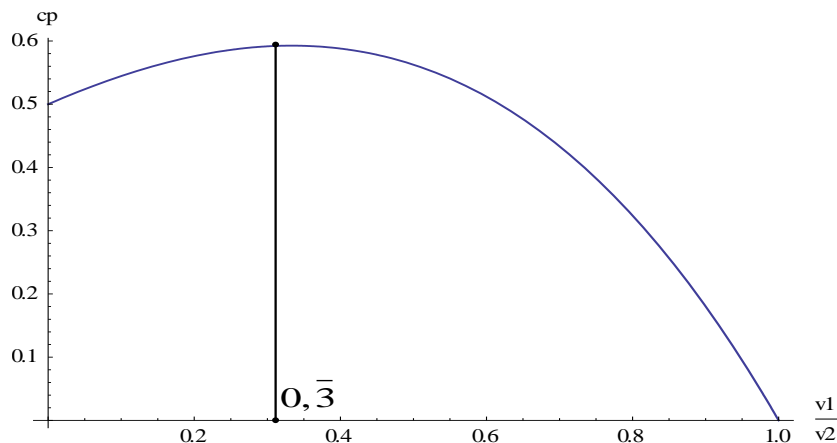
výslednou hodnotou maxima funkce je $\frac{1}{3}$. Je-li dosazena tato hodnota do rovnice, vyjde:

$$cp = \frac{E_{\max}}{E} = \frac{\frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3} = \frac{16}{27} \doteq 0,593 \quad 3.10$$

Součinitel výkonnosti cp se vyjádří ze vztahu:

$$E_{\max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \quad 3.11$$

Z rovnice vyplývá, že největší teoretickou účinnost, kterou lze dosáhnout je 59,3%.^[7]



Graf 2: vyznačující maximum funkce \dot{E} [7]

K dosažení účinnosti podle Betzova postupu by dokonalý rotor musel obsahovat nekonečně mnoho tenkých listů bez působení tření při proudění masy vzduchu a dále nekonečnou obvodovou rychlost. Toto Betzovo odvození platí pouze pro rotory s horizontální osou otáčení s aerodynamickým profilem listů pracujícím na vzlakovém principu. [8]

3.5 Rychlost větru v určité výšce

Pro návrh větrné elektrárny jsou nejdůležitějším požadavkem kvalitní povětrnostní podmínky budoucího umístění. Rychlost větru se v drtivé většině případů měří v minimální požadované výšce 10 m nad zemským povrchem, aby zjištěné hodnoty rychlostí nebyly zkresleny různými překážkami. Ovšem i naměřené hodnoty v oněch 10m nejsou zcela přesné. Problém nastává, jak změřit rychlost proudícího vzduchu ve výšce 50 a více metrů nad zemí, pokud se v blízké vzdálenosti nenachází nějaký stožár vvn nebo vysílač. Nicméně i stožáry velmi vysokého napětí nedosahují takových výšek, aby mohla být změřena užitečná data pro rozvalu výstavby větrné elektrárny. Na tento problém je nalezeno řešení ve formě vzorce, ve kterém je uvažována výška, kde je měřena rychlost větru a požadovaná výška pro určení rychlosti větru. Jedná se o vzorec:

$$\frac{v_x}{v_{10}} = \left(\frac{h_x}{h_{10}} \right)^n \quad 3.12$$

kde v_x je počítaná rychlost větru v dané výšce h_x , v_{10} je změřená rychlost větru ve výšce h_{10} rovna 10m, exponent n závisí na drsnosti povrchu dané lokality. [8]

V následující tabulce jsou spočítány hodnoty rychlostí větru v určité výšce. Jako známé hodnoty rychlostí větru byly vygenerovány čísla od 1 m.s⁻¹ do 10 m.s⁻¹. Dle vzorce 3.12 byla dopočítána rychlost ve výšce 80 m, 90 m, 100 m a 110 m ke každé vygenerované rychlosti větru, která je uvedena jako rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí.

Rychlost větru v_{10} [m/s]	Rychlost větru v_{80} ve výšce $h_{80} = 80$ m [m/s]	Rychlost větru v_{90} ve výšce $h_{90} = 90$ m [m/s]	Rychlost větru v_{100} ve výšce $h_{100} = 100$ m [m/s]	Rychlost větru v_{110} ve výšce $h_{110} = 110$ m [m/s]
1	1,8	1,9	1,9	2,0
2	3,6	3,7	3,8	3,9
3	5,4	5,6	5,7	5,9
4	7,2	7,4	7,6	7,8
5	9,0	9,3	9,5	9,8
6	10,7	11,1	11,4	11,7
7	12,5	13,0	13,3	13,7
8	14,3	14,8	15,2	15,7
9	16,1	16,7	17,1	17,6
10	17,9	18,5	19,1	19,6

Tabulka 3: Spočítané rychlosti větru v určité výšce nad zemským povrchem

Z tabulky je patrné, že porovná-li se hodnota měřená v 10m nad zemí, je podle výpočtu hodnota rychlosti větru ve 110m nad zemí téměř dvojnásobná při vyšších rychlostech proudícího vzduchu. Za činitele drsnosti byla zvolena hodnota 0,28, která se řadí mezi druh povrchu: lesy s mnoha stromy, dle literatury ^[8].

3.6 Profil listu rotoru a působící síly

Tvar profilu listu má největší význam pro „zachycování“ pohybu větru, a proto jeho aerodynamický tvar je modelován pro velkou účinnost své účelnosti.

Profil listu rotoru je navržený tak, aby byl natočen svojí spodní stranou ve směru hlavního vektoru proudění větru v . Působením vztlakové složky síly F_y a odporové složky síly F_x vzniká výslednice těchto složek, kterou je celková síla F působící na aerodynamický profil listu. Jednotlivé složky sil jsou dány vztahy:

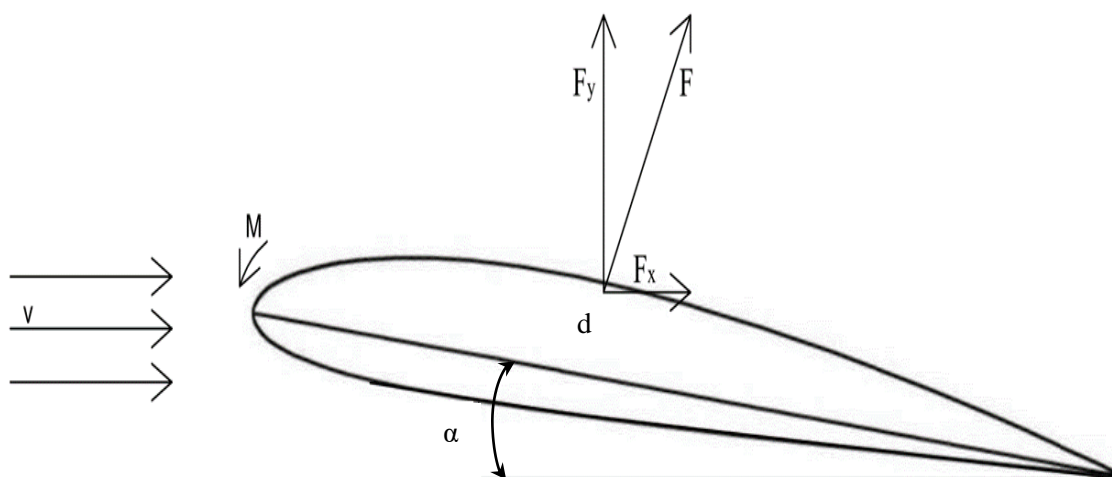
$$F_y = \frac{1}{2} \rho c_y A v^2, \quad 3.13$$

$$F_x = \frac{1}{2} \rho c_x A v^2, \quad 3.14$$

kde c_x je aerodynamický součinitel odporu a c_y je aerodynamický součinitel vztlaku, A je plocha listu, získána součinem délky listu a délky těživy profilu listu d . ^[8]

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}, \quad 3.15$$

Pro přehlednější vyjádření vzorců jsou na obrázku 2 znázorněny jednotlivé složky působících sil.



Obrázek 2: Působící síly na profil listu rotoru ^[8]

Úhlem α se značí poloha profilu listu v proudu vzduchu. Tento úhel svírá hlavní vektor směru proudícího vzduchu s tětvou profilu listu, jak je vyznačeno na obrázku 2. Na rotoru větrné turbíny je profil listu nainstalován svojí spodní částí po větru. Tím kinetická energie větru působí na rotor větrné turbíny a umožňuje otáčivý pohyb rotoru. Na celém povrchu listu vrtule dochází k obtékání proudu vzduchu. Na spodní části povrchu lopatky vzniká přetlak, jelikož je proud vzduchu zpomalován listem vrtule a naopak, na horním úseku listu se tvoří podtlak, kde rychlost proudu vzduchu stoupá. Pro efektivní využití kinetické energie větru jsou listy rotoru natáčeny podle směru větru pro maximální odběr větrné energie. ^[8]

Působením výsledné síly F následkem síly vztahové a odporové, vzniká moment M :

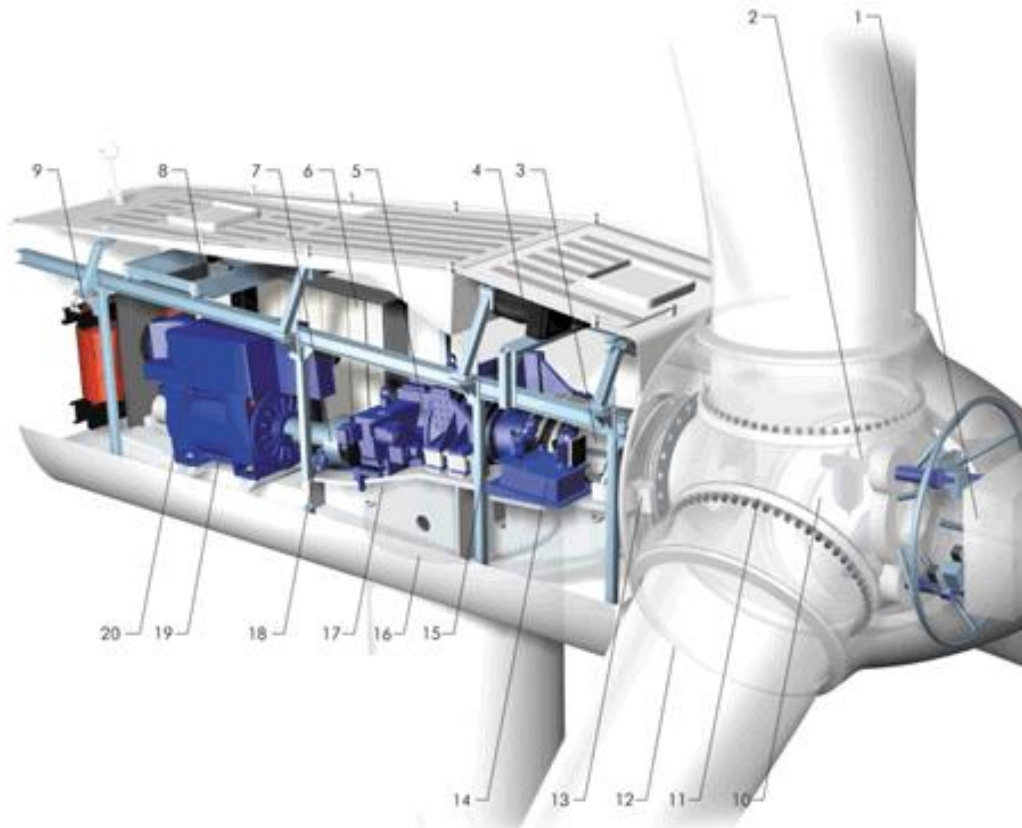
$$M = \frac{1}{2} \rho c_M A d v^2, \quad 3.16$$

kde c_M je momentový součinitel, charakterizující velikost momentu, který vzniká na profilu listu, d je délka tětivy profilu.

Hodnoty všech zmíněných součinitelů jsou závislé na aerodynamickém tvaru profilu rotorového listu a úhlu natočení po směru větru. ^[8]

4. Části větrné elektrárny

4.1 Gondola



Obrázek 3: Strojovna větrné elektrárny VESTAS ^[9]

1 – kontrolér centrální části, 2 – systém natáčení rotorových lopatek, 3 – hlavní hřídel, 4 – chladič oleje, 5 – převodovka, 6 – VMP regulátor s konvertorem (Voltage Maximum Point), 7 – brzda, 8 – servisní jeřáb, 9 – transformátor, 10 – centrální část lopatek, 11 – ložisko lopatky, 12 – lopatka, 13 – jisticí systém rotoru, 14 – hydraulický agregát, 15 – hydraulická kotoučová brzda rotoru, 16 – nosný rám strojovny, 17 – opěrná jednotka převodovky, 18 – ozubené kolo převodovky, 19 – generátor, 20 – chladič generátoru ^[9]

Kontrolér centrální části, detekuje rychlost větru, případně odstavuje rotaci lopatek. Systém natáčení rotorových lopatek, který je velmi důležitý pro dosažení vyšší účinnosti celkového systému a zároveň se při vyšších rychlostech proudění větru dá optimalizovat rychlost rotace otáčejícího se mechanismu. Hlavní hřídel slouží ke spojení rotoru turbíny s ostatními částmi poháněného ústrojí. Hřídel je spojen přes ložiska k převodovce, která patří mezi nejdůležitější části větrné elektrárny pro účinné využití energie, jelikož převádí nižší rychlost otáčení z rotoru turbíny na vyšší rychlost otáčení na generátor. V tomto případě jde o asynchronní generátor, který potřebuje převodovku. U generátorů synchronních s permanentními magnety se převodovka nepoužívá. Nejpodstatnější bezpečnostní část celé konstrukce je brzdový mechanismus, jenž je nezbytný pro odstavení celé elektrárny při nepříznivých vlivech počasí, popřípadě plánovaného odstavení.

4.2 Generátor

Nejdůležitější elektrická část jako v každé elektrárně je generátor, který přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou.

Existuje mnoho modelů elektrických generátorů pro nízké rychlosti větru, jako jsou mnohapólové stroje, či naopak pro vyšší rychlosti otáčení, díky dobrým povětrnostním podmínkám dané lokality, jsou to stroje s menším počtem pólů. ^[10]

V nových typech větrných elektráren převažuje synchronní generátor nad asynchronním, protože není nutná převodovka, kde se ztrácí energie. Tím je celý systém jednodušší. Asynchronní alternátor je dále rozdělen na asynchronní alternátor s kotvou nakrátko neboli s klecovým vinutím a s kroužkovou kotvou. Asynchronní alternátory patří všeobecně k nejlevnějším točivým strojům pro svoji konstrukční jednoduchost. Asynchronní stroje jsou častěji využívány pro rychloběžné větrné turbíny a naopak synchronní stroje pro nižší otáčky. ^[11]

Generátory pro rychloběžné systémy jsou většinou čtyřpólové se jmenovitými otáčky 1500 ot/min u synchronního stroje a 1650 ot/min u stroje asynchronního. Nejslabším článkem celého stroje jsou především ložiska a dále pak izolace vinutí. ^[10]

Synchronní generátor se stacionárním polem ve statoru je vytvořený nalepenými permanentními magnety ve statorové části, které jsou zdroji magnetického pole. V otáčejícím se rotoru jsou navinuty cívky, ve kterých je podle Faradayova indukčního zákona indukováno napětí. Výstupní průběh napětí závisí na velikosti magnetického pole a zároveň na konstrukci stroje. Frekvence výstupního průběhu napětí přímo závisí na rychlosti otáčení rotoru a samozřejmě na počtu pólů. Elektrický proud ve vinutí rotoru je odváděn pomocí sběracích kroužků. Tento typ synchronního generátoru je užíván pro výkony do 5 kW, pro větrné turbíny designované na vysoké rychlosti větru, kde není zapotřebí velké množství pólů. Tím jsou tyto stroje velice levné, protože generátor je rozměrově malý a lehký. ^[12]

4.2.1 Technologie DFIG (Double-Fed Induction Generator)

Technologie DFIG umožňuje maximální využitelnost energie při nízkých rychlostech větru, optimalizuje turbínu, tak aby bylo minimální mechanické namáhání při výkyvech větru.

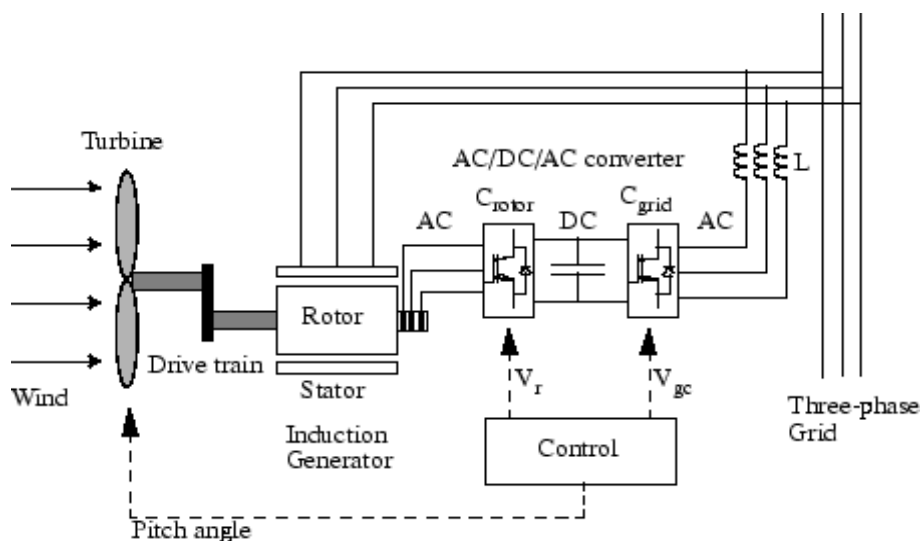
V dřívější době byla energetická přeměna z větrných elektráren, které disponovaly samozřejmě nižších výkonů než je tomu teď, uskutečňována pomocí asynchronních alternátorů s vinutím nakrátko, přímo připojeny do elektrizační soustavy.

Jako všude jinde, tak i u generování výkonu přeměnou z větrné energie, jde o co nejvyšší výtěžnost a maximální účinnost celého konceptu větrné elektrárny.

Generátor je řízen podle rychlosti větru k získání maximálního výkonu, kvality a zároveň účinnosti přeměny elektrické energie.

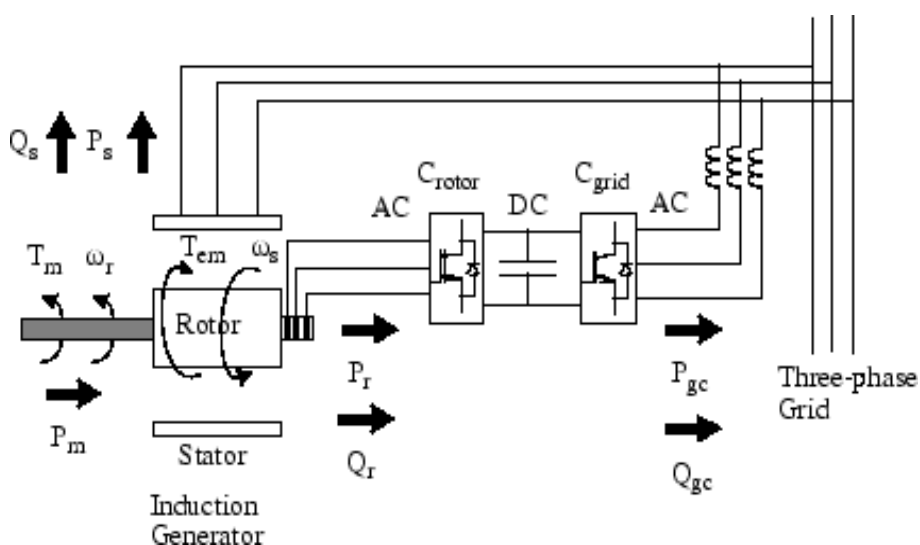
Dvojitě napájený indukční generátor se skládá z několika částí. Jako všechny generátory i tento je vybaven státorem a rotorem. Stator je přímo připojen k síti a rotor je řízen AC/DC/AC měničem napětí, tento měnič se skládá ze dvou střídavých obvodů řízených IGBT tranzistory a jednoho stejnosměrného meziobvodu, kde se nachází kondenzátor, který je zdrojem vyhlazeného napětí. Jedna strana měniče napětí je připojena k vinutí rotoru přes sběrací kartáče ke kroužkům stroje. Druhá strana měniče napětí je spojena přes vyhlazovací indukční cívky k třífázové síti stejně jako stator generátoru. Kinetická energie přeměněná na elektrickou vystupuje přes stator do sítě a zároveň

i do vinutí rotoru. Řídicí jednotka zajišťuje změnu řídicího napětí a generuje impuls (pitch angle) pro natáčení lopatek. [13]



Obrázek 4: Princip funkce DFIG [13]

Na následujícím obrázku je přesněji vysvětlen fyzikální děj celého systému DFIG. Moment na rotoru turbíny T_m je činitel elektrického výkonu generátoru a na ω_s je závislá frekvence napětí sítě. Při rychlostech nižších než synchronních, je výkon P_r odebírán ze stejnosměrného meziobvodu. Naopak je-li rychlost rotoru vyšší než synchronní rychlost, je výkon P_r dodáván. Jedna strana napěťového měniče je tedy cíleně připojena k síti pro odběr výkonu P_{gc} ze sítě při podsynchronních otáčkách a obráceně, při nadsynchronních otáčkách rotoru je výkon P_{gc} dodáván do sítě. Zde je skryta komplexní podstata systému DFIG. Jde především o udržování konstantního napětí ve stejnosměrném meziobvodu při výkyvech povětrnostních podmínek a tím rychlosti otáčení rotoru turbíny respektive generátoru, a tedy k regulaci jalového výkonu a výstupního napětí. [13]



Obrázek 5: Fyzikální děj systému DFIG [13]

4.3 Rotorový list

Nejsložitější výpočtová část větrné elektrárny je jednoznačně lopatka rotoru. Její aerodynamický tvar musí být konstruován pro maximální využití kinetické energie, která je obsažena v proudící mase vzduchu. Každý výrobce používá svojí metodu návrhu lopatky, a z tohoto důvodu má každý producent své originální výrobní tajemství.

Obecně rotorový list je dutý segment, vyrobený z kompozitních materiálů. Celý proces vzniká na základě laminování. Skelnou tkaninou se prosívá pojivo epoxidové pryskyřice. Celá metoda je poměrně finančně náročná, protože je nutné vyrobit kvalitní list rotoru pro náročné namáhání po dlouhé období provozu. ^[14]

4.4 Stožár

Při výrobě jednotlivých prvků větrné elektrárny, věž představuje třetí nejdražší část z celku. Jedná se o 15-20 % z celkových nákladů. Hned za ní následují rotorové lopatky. ^[15]

Enormním významem na celkový dosažitelný výkon je výška stožáru. Souvisí to se zakřivením zemského povrchu, a jak již bylo zmíněno ve větších výškách nad povrchem země, dosahuje vítr větších rychlostí. Samozřejmě se vzrůstajícím požadavkem na vyšší věže větrných turbín stoupá i závěrečná cena na výstavbu, nicméně, jsem přesvědčen, že tato investice se několikanásobně vrátí. Jde přeci jen o několik pár tun železa navíc, a jestliže se má rychlost větru zvýšit i o několik procent v určité výšce, tak ve finální návratnosti se to významným způsobem projeví.

Tvar ocelového tubusu je logicky s rostoucí výškou mírně kónického tvaru kvůli úspoře oceli. Vezme-li se to z fyzikálního hlediska, tak největší moment působící na větrnou elektrárnu bude ve spodní části věže, kde ve vrchní části působí síla větru a vzniká ohybový moment, který má největší velikost u paty stožáru.

Stožár je podle instalace z výběru tří variant. Nejčastějším je stožár ocelový tubusový, který je rozdělen na menší segmenty o přibližné délce 20 m, kvůli dopravě. Tyto segmenty jsou z plechů a při instalaci se tyto plechy svařují k sobě. Tento typ stožárů pro větrnou elektrárnu se používá pro výšky 40 až 110 m. Pro výšky větší, než je 110 m, je finančně efektivnější volba příhradového stožáru, který je lépe dopravovatelný a především je zde velká úspora materiálu oproti tubusovému. Nejméně častým, spíše ojedinělým stožárem je betonový. Jde o novou technologii, která se postupně vyvíjí. Největší výhodou je prakticky žádná koroze a veliký útlum hluku a vibrací na rozdíl od ocelového tubusového stožáru. ^[16]

4.5 Betonový základ

Betonový základ je nejdůležitější částí stavby pro stabilitu celého systému. Jedná se o železobetonový monolit, kde hmotnost hraje největší roli. Čím těžší základ je, tím větší pravděpodobnost bezpečnosti a odolnosti větrné elektrárny při vysoké rychlosti větru. Pro stavbu železobetonového základu je nutné provést geologický průzkum spodních vrstev zeminy dané lokality. Celková hmotnost železobetonového základu se pohybuje kolem 1200 tun, ale hmotnost se liší v závislosti na výšce gondoly a průměru rotoru. Základová konstrukce má čtvercový tvar. Do

středu čtverce je umístován základový ocelový kruh s hmotností přes 20 tun, na který je dále připevněn stožár. ^[17]

Betonový základ je na našem území používán železobetonovým deskovým monolitem. Samozřejmě v případech, kdy podloží v místě výstavby je měkké nebo podmáčené, tak se buď výstavba zcela zavrhne, anebo se přistoupí k základu, jenž je tvořen pilířem či skupinou pilířů vnořených do příslušné hloubky v zemi. Tento způsob základů se významným způsobem využívá pro offshore výstavby.

Prvním příkladem je základ jako rovinná deska s rovnoměrným tvarem, kde její vrchní část vystupuje nad zemský povrch. Tento způsob základu je volen v oblastech s tvrdým skalnatým podložím v malé hloubce. Druhým příkladem je rovinná deska s podstavcem. Tato varianta se využívá v místech se skalnatým podložím ve větší hloubce, než je výška deskového základu. Deska s podstavcem jsou situovány pod zeminou a tím je nezanedbatelným způsobem zesílena hmotnost celé základové soustavy. Třetím typem je základ, kde část věže je již vnořená v zemi a spojená se zúženou deskou. Zúžená základová deska má významný vliv na úsporu materiálů. V neposlední řadě se jedná o základ rovinné desky s podstavcem vnořený pod povrchem a zároveň ukotvený ve skalnatém podkladě. Ukotvení celého základového systému ve skalnatém podkladě eliminuje nutnost vytvořit těžký a rozměrově náročný monolit. Tím je efektivně ušetřeno velkého množství materiálu. S dalšími typy základů se lze setkat především při výstavbách větrných elektráren v mořích, kde jsou využívány různé systémy železobetonových pilířů. ^[18]

5. Umístění větrné elektrárny

Jak již jméno celé práce napovídá, mohla by větrná elektrárna být postavena u nejfrekventovanější dálnice v České republice. Je samozřejmé, že jsou názory na obrovské točící se rotory ve většině případů negativní. Jedná se hlavně o strach rušení hlukem celkového provozu větrné elektrárny a vizuálního poškození krajinného rázu. Ovšem stojí-li větrná elektrárna poblíž nejvyužívanějšího silničního úseku v Čechách, tak hluk z větrné turbíny by neměl překročit práh hluku vozidel projíždějící v daném úseku, snad jen v případě, kdyby na dálnici nebylo žádné pohybující se vozidlo.

Dalším záporným faktorem provozu je stroboskopický efekt, který má na svědomí otáčivý pohyb rotoru. Vliv výstavby a provozu větrných elektráren na volně žijící živočichy, především na populace ptáků a netopýrů, je bohužel ve většině případů negativního charakteru. Jde také o ztrátu vhodných biotopů. Výstavby větrných turbín však mohou mít negativní vlivy i na rostliny a jejich populace, např. pokud je záměr situován do biotopu s výskytem jednoho či více zvláště chráněných druhů rostlin. Na všechny jmenované nežádoucí okolnosti je třeba brát zřetel a vyhnout se, popřípadě minimalizovat problém negativního dopadu na přírodu.

Jako příručka pro výstavbu větrných elektráren na našem území slouží „Metodický návod k vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny“ vypracovaný Ministerstvem životního prostředí. Základním předmětem hodnocení a cílem tohoto návodu je posouzení dopadu na přírodu a krajinného rázu z hlediska umístění větrné elektrárny. Tato příručka definuje tři typy hodnocení daného území.

První z nich je území neodpovídající pro výstavbu větrné elektrárny, je označena jako červená zóna. Jde o národní parky, chráněné krajinné oblasti, přírodní parky, plochy soustavy NATURA 2000, jako jsou území významná z ornitologického hlediska a lokality s výskytem netopýrů.^[19]

Druhý typ území je označen jako žlutá zóna, vyznačující se jako území spíše nevhodná pro výstavbu. Jde o různá ochranná pásma zaštitěná zákony České republiky a lesy s pásmem 150 m od vlastního okraje a skladebné části územního systému ekologické stability regionálního či nadregionálního významu pro případný vznik nechtěného biokoridoru, který je důsledkem výstavby vysoké větrné turbíny.^[19]

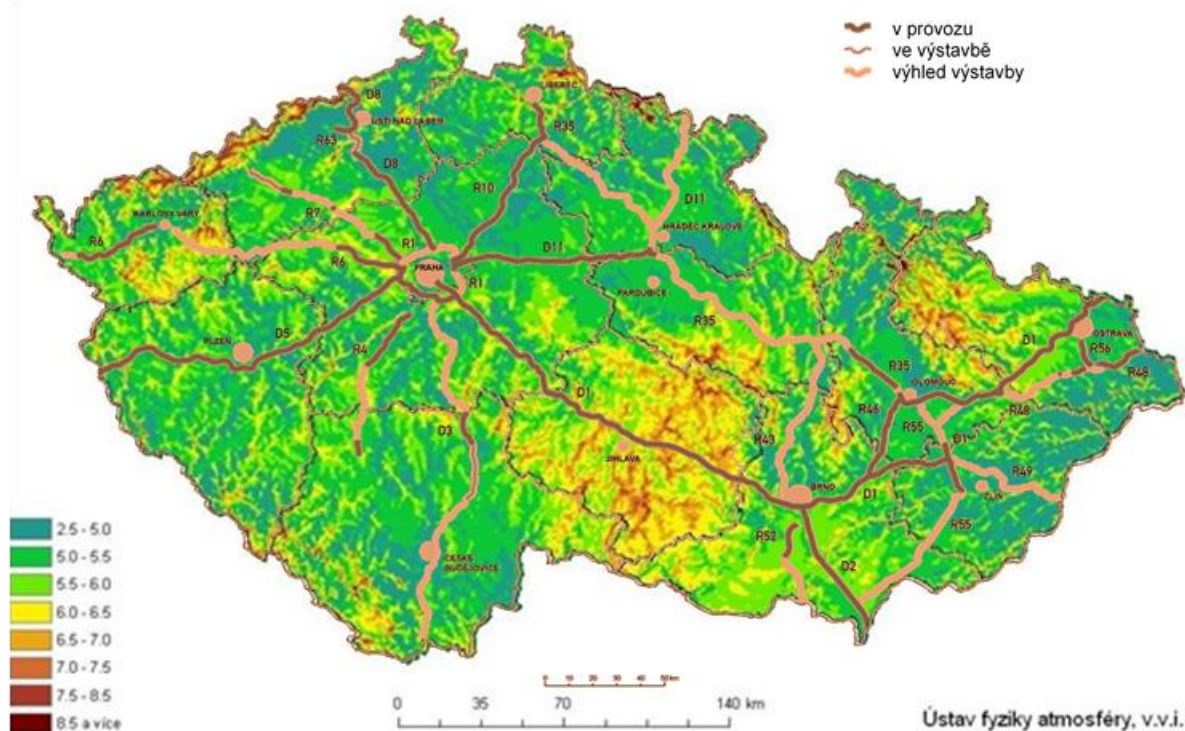
A konečně třetím typem je zóna zelené barvy. Zde je pouhé posouzení dopadu na krajinný ráz plánované lokality, jelikož plánované umístění se nenachází v červené ani ve žluté zóně. Zelená zóna má nejvyšší pravděpodobnost pro případné povolení k výstavbě.^[19]

Instalace větrných turbín s výkonem přesahující 500 kW nebo s výškou stožáru větší než 35 m musí podléhat posouzení vlivu na životní prostředí s ohledem na proces EIA (z anglického Environmental Impact Assessment).^[20]

5.1 Klimatické podmínky kraje Vysočina

Ústav fyziky atmosféry České republiky provedl odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na našem území, ve kterém je uvedeno, že Kraj Vysočina má velice kvalitní povětrnostní podmínky po celém kraji a výstavba větrné elektrárny je možná skoro na celém území. Odhad možné realizace nainstalovaného výkonu činí 428 MW.^[21] V tomto okamžiku je v kraji nainstalovaný výkon pouhých 11,8 MW.

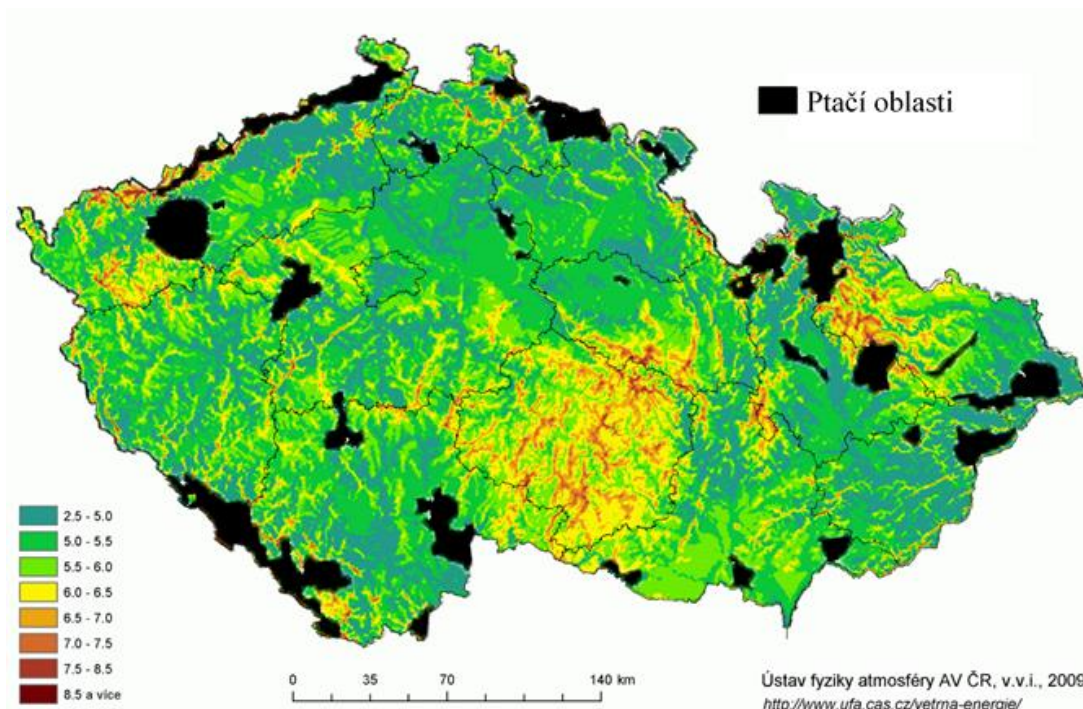
Kraj Vysočina je situován v mírně teplém podnebním pásmu s průměrnými ročními teplotami okolo 6 až 8 °C. [21] Na mapě České republiky jsou vyznačené plochy průměrných rychlostí ve výšce 100 m nad zemským povrchem s dálniční sítí. Z mapy je zřejmé, jak obrovský potenciál z větrné energie by mohl mít Kraj Vysočina. Tato mapa naznačuje hlavní motiv myšlenky, kvůli které vznikl celý můj nápad pro návrh výstavby větrné elektrárny u dálnice D1.



Obrázek 6: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a dálniční sítí ČR [21]

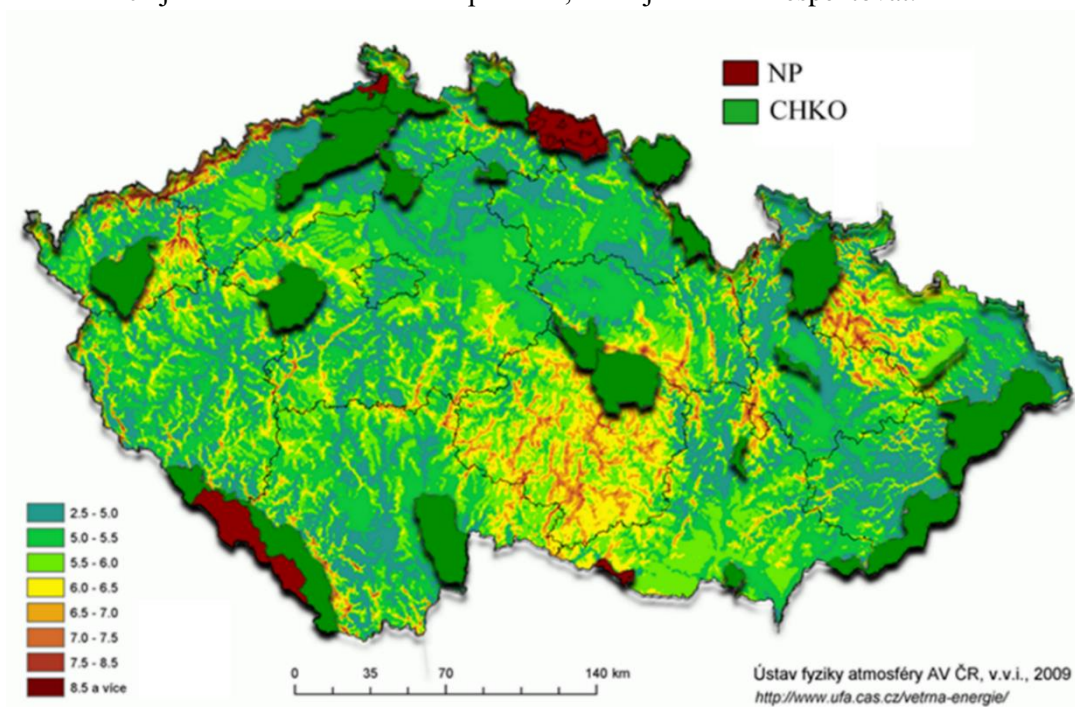
Mapa také rudou barvou vyznačuje oblasti, kde vane vítr o nejvyšších rychlostech v České republice. Jedná se především o naše vysoké pohoří, jako jsou Krkonoše, Jizerské hory, Krušné hory a Jeseníky. Ovšem v těchto oblastech je významný výskyt ohrožených ptáků, jak naznačuje obrázek 7. Zamítnutí výstavby v těchto lokalitách je dáno kolizemi spojené s ublížením nebo dokonce úhynem živočichů a také o migrační bariéry, které vysoké větrné elektrárny do jisté míry mají na svědomí, proto není povoleno stavět větrné parky v těchto výjimečných oblastech. Je nutné dohlížet na cenné bohatství, které nám příroda nadělila a zabránit k devastaci toho, co člověk nedokáže napodobit, či vytvořit tak, jak to umí jen čistá a netknutá příroda.

Opět je z mapy zřejmé, že Kraj Vysočina je příznivý pro výstavbu.



Obrázek 7: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a lokality s výskytem ohrožených ptáků ^[21]

Oblasti bránící realizace výstavby chrání především zájem ochrany přírody a krajinný ráz. Jedná se o chráněné krajinné oblasti a hlavně národní parky, což je vyznačeno na obrázku 8. Na těchto územích jsou zákonem daná určitá pravidla, která jsou nutná respektovat.



Obrázek 8: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a vyznačené chráněné krajinné oblasti s národními parky ^[21]

5.2 Hluk v oblasti plánované výstavby

Emise hluku je brána jako nejzávažnější překážka výstavby větrné elektrárny ve zvolené lokalitě. Problém s hlukem u každé větrné turbíny, do určité míry, je v každém případě. Z vlastních zkušeností vím, že šíření hluku je především ve formě jakési „pískavé meluzíny“ s měnícím se „tónem“ při dynamické rychlosti větru. Hluk je emitován jednak mechanickými komponenty stroje, ale zejména třením proudícího vzduchu aerodynamickým profilem lopatek.

Udávané hodnoty hluku výrobců výkonných větrných turbín jsou kolem 100 až 110 dB, v těsné blízkosti gondoly. U základu současných větrných turbín je typický hluk mezi 50 dB a 60 dB. ^[22]

Hygienické limity hluku jsou přísně nastaveny v nočních hodinách od 22:00 hod. do 6:00 hod. V České republice je systém limitů hluku nastaven poměrně přísně s porovnáním okolních států v Evropské unii. V chráněném venkovním prostoru staveb je limit nastaven na 40 dB a v chráněném vnitřním prostoru staveb na 30 dB. Tyto limity jsou v souladu doporučení WHO. ^[23]

Podle mých naměřených hodnot, se denní hodnoty hluku pohybují v rozmezí 80 až 90 dB přibližně 5 metrů od okraje vozovky. V nočních a v brzkých ranních hodinách průměrné hodnoty hluku jsou 70-80 dB s ohledem na hustotu dopravy. Naměřené hodnoty ukazují, že dálnice je pro své okolí nežádoucím hygienickým znečištěním, co se hluku týče. Dále jsou naměřené hodnoty jednoznačným důkazem, že dálnice má o něco vyšší hladinu hluku než vykazuje hluk u paty stožáru větrné elektrárny. I když provoz vozidel na dálnici, hlavně po půl noci, rapidně ubývá, větrná elektrárna je ve velké výhodě, zvláště svoji výškou, kde je hluk emitující z otáčejícího se rotoru tlumen nebo je někdy dokonce přehlučován vanoucím větrem. Na rozdíl dálnice je se svým specifickým a intenzivním hlukem problémem i pro vnímajícího pozorovatele, který je vzdálen i jednotky kilometrů.

Hygienické znečištění hlukem klesá s narůstající vzdáleností od zdroje vykazující hluk. Za bezpečnou vzdálenost pro nejbližší obydlí domy se považuje 400 m. ^[20] Z toho také vyplývá, že legislativa České republiky nedovoluje přistoupit ke stavebnímu povolení při nedodržení stanovených parametrů.

5.3 Rychlost větru v dané lokalitě

Pro nejpřesnější určení průměrné rychlosti větru v plánované lokalitě výstavby by mělo být provedeno sofistikované měření rychlosti a zároveň i směr větru. Pro složitost a především finančně náročné měření jsou potřebná data převzata ze služby, založené na matematickém modelu vycházející z celoplošné sítě měřících meteorologických stanic, pomocí nichž probíhá online animace rychlosti a směru větru pro celou Českou republiku.

Mezi základní a zároveň prioritní vyhodnocení povětrnostních podmínek v prostoru slouží četnostní rozdělení rychlostí větru a větrná růžice směrů proudícího vzduchu pro určité rozsahy rychlostí větru. Proto jsou dále provedena matematická vyhodnocení k následné práci s výslednými hodnotami. Je vypočítáno a znázorněno Weibullovo rozdělení pro odhad četností rychlostí větru a poté jsou zpracována statistická data k přehlednému znázornění četností výskytů průměrných rychlostí větru v jednotlivých dnech roku 2015. Obě tyto metody slouží pro konkrétní oblast.

Průměrné rychlosti a směr větru v jednotlivých dnech v roce 2015 jsou uvedeny v příloze A. Dále pak v tabulce 4 jsou seřazeny průměrné hodnoty větru pro všechny měsíce, jak ve výšce 10 m

nad povrchem, tak i korigované hodnoty ve 110m. Ve spodní části tabulky jsou také spočítány průměrné roční rychlosti větru. Ve výšce 110 m nad povrchem korigovaná roční průměrná rychlost větru činí 7,4 m/s, což je sice teoretická, ale poměrně příznivá rychlost pro plánování výstavby větrné elektrárny ve zvolené lokalitě.

Měsíc	Průměrná rychlost větru v 10m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 110m [m/s]
Leden	4,57	8,94
Únor	3,38	6,61
Březen	4,48	8,77
Duben	4,18	8,18
Květen	3,31	6,49
Červen	3,21	6,28
Červenec	3,38	6,61
Srpen	2,87	5,62
Září	3,84	7,52
Říjen	3,15	6,17
Listopad	5,22	10,22
Prosinec	3,80	7,43
Roční průměr	3,78	7,40

Tabulka 4: Průměrné měsíční rychlosti větru pro zvolenou lokalitu s korigovanými hodnotami

5.3.1 Weibullovo rozdělení rychlosti větru

Pro obecnou charakteristiku větru v jakékoliv lokalitě slouží Weibullovo rozdělení. Toto teoretické rozdělení je v některých případech rychlejší a méně náročnější pro odvození pravděpodobnosti výskytu rychlostí větru. Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení je dána vztahem:

$$f(b, a, v) = \frac{b \cdot v^{b-1}}{a^b} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{a}\right)^b\right], b > 0. \quad 5.1$$

Veličina b je nazývána tvarovým činitelem a může nabývat hodnot v rozsahu od 1,5 do 3, parametr měřítka a determinuje polohu maxima funkce a v je rychlost větru. [8]

Hodnota jako je tvarový činitel lze iteračně dopočítat pomocí metody, která je dána vztahem:

$$b_{j+1} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^{b_j} \cdot \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^{b_j}} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right]^{-1}, \quad 5.2$$

kde v_j plní opět funkci rychlosti větru, ale tentokrát v i -tém měření, n je počet naměřených hodnot a j je ukazatel provedených iterací.

Po vypočtení tvarového činitele lze dosáhnout výsledku i pro parametr měřítka, rovnicí [24]:

$$a = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^b \right]^{\frac{1}{b}}. \quad 5.3$$

Podle literatury [8] tvarový činitel nabývá hodnot od 1,5 do 3, proto počáteční odhad je nastaven hodnotou 1,5. Poté další vypočítané výsledky tvarového činitele jsou dosazovány do dalších výpočtů. Počet iterací je dán minimální změnou tvarového činitele, která se zjistí pomocí rozdílů dvou po sobě následujících hodnot tvarového činitele [24]:

$$\Delta b = |b_{j+1} - b_j|. \quad 5.4$$

Číslo iterace j [-]	Tvarový činitel b_j [-]	Rozdíl iterací Δb [-]
1	3,164	1,528
2	1,636	1,282
3	2,917	1,171
4	1,746	1,000
5	2,746	0,910
6	1,836	0,786
7	2,621	0,712
8	1,909	0,620
9	2,529	0,560
10	1,968	0,490
⋮	⋮	⋮
364	2,213	$1,51 \cdot 10^{-14}$
365	2,213	$1,33 \cdot 10^{-14}$

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty tvarového činitele a jejich rozdíly

V tabulce 5 je provedeno 365 iterací. Poslední hodnota tvarového činitele, která se měnila jen minimálně, činí:

$$b = 2,213. \quad 5.5$$

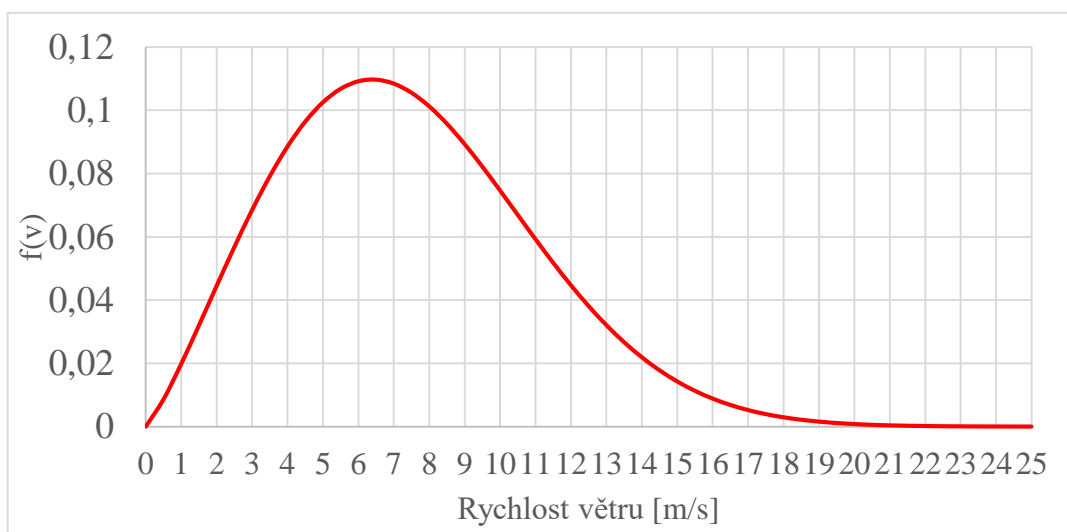
Po dosazení parametru b do vzorce 6.4 vyšel parametr měřítka:

$$a = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^b \right]^{\frac{1}{b}} = \left[\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} v_i^{2,213} \right]^{\frac{1}{2,213}} = 8,385 \quad 5.6$$

Jestliže jsou nyní známy hodnoty pro tvarový činitel a parametr měřítka, může být vyobrazen průběh Weibullova rozdělení v závislosti na rychlosti větru ve 110m nad povrchem. Dosažení hodnot a a b do funkce Weibullova rozdělení:

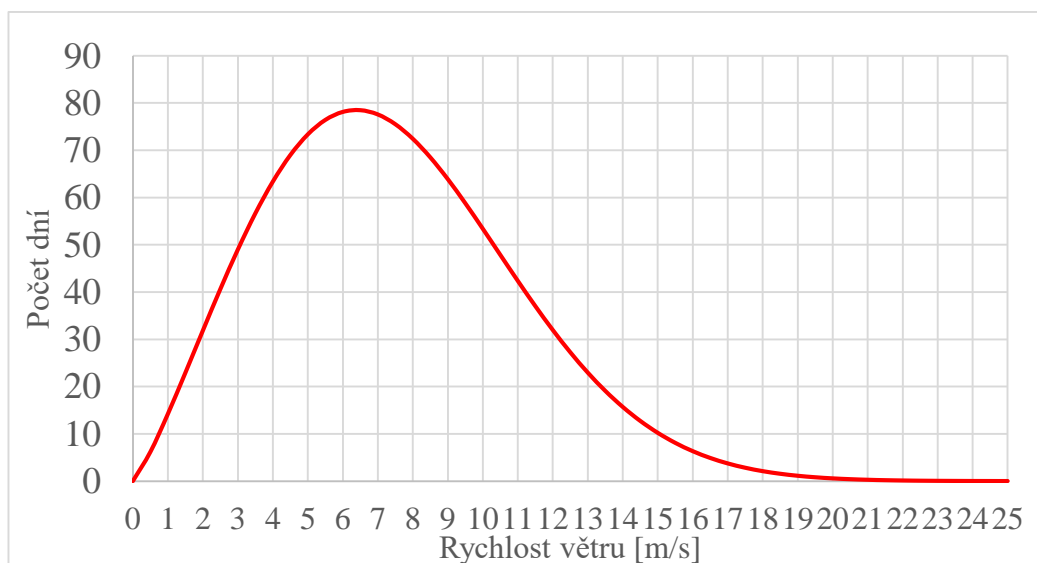
$$f(v) = \frac{2,213 \cdot v^{2,213-1}}{8,385^{2,213}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{8,385}\right)^{2,213}\right]. \quad 5.7$$

Průběh Weibullova rozdělení je vyneseno do grafu 3:



Graf 3: Průběh Weibullova rozdělení

Pro přehlednější znázornění četností je v grafu 4 osa Y přepočítána na počet dní, při kterých je lépe pozorovatelná pravděpodobnost výskytu rychlosti větru. Hodnoty na ose Y jsou tedy vynásobené délkou třídy a počtem dní v roce.



Graf 4: Weibulovo rozdělení po přepočtu osy Y

5.3.2 Jednorozměrný statistický soubor hodnot průměrných rychlostí větru

Získaná data rychlostí větru představují soubor hodnot pro následující statistické výpočty a výsledkem je grafické znázornění pro další úvahy a rozhodnutí v citlivostní analýze výstavby.

Populace nebo jinak řečeno základní soubor dat slouží ke sledování statistických znaků pro následnou představu veličin k výběru těch zásadních informací.^[25] V tomto případě populace zahrnuje statistické hodnoty průměrných rychlostí větru všech dní v roce 2015.

V první řadě je rozsortován statický soubor obsahující určitý rozsah, který zobrazuje celkový počet dní ve sledovaném roce. Rozsah je značen písmenem n a tedy:

$$n = 365. \quad 5.8$$

Je-li dán rozsah, který je tvořen souborem hodnot, rozdělí se obor hodnot do vzájemně disjunktních intervalů. Počet těchto intervalů je volen podle vztahu vycházející z Sturgesova pravidla:

$$m = 1 + 3,3 \cdot \log(n) \quad 5.9$$

Značící písmeno m je počet intervalů, který se obecně nazývá počet tříd. Ve vztahu je použit dekadický logaritmus. Po dosazení rozsahu n vyjde:

$$m = 1 + 3,3 \cdot \log(365) \doteq 9,5 \quad 5.10$$

Počet tříd je po zaokrouhlení zvolen na hodnotu 10. Dále je třeba vyhledat nejnižší a zároveň nejvyšší průměrnou hodnotu rychlosti větru ve sledovaném období.

Nejnižší hodnota průměrné rychlosti větru:

$$v_{\min} = 1,49 \text{ m / s} . \quad 5.11$$

Nejvyšší hodnota průměrné rychlosti větru:

$$v_{\max} = 21,10 \text{ m / s} . \quad 5.12$$

Následně je zvolen variační obor. Jde o interval, kde jsou seřazeny čísla průměrných rychlostí větru od nejnižší po nejvyšší. Jinými slovy se jedná o uspořádaný statistický soubor.

$$\text{Variační obor} = \langle 1,49; 21,10 \rangle . \quad 5.13$$

Díky známým hodnotám nejnižší a nejvyšší průměrné rychlosti větru se stanoví rozpětí statistického souboru. Tedy rozdílem nejvyšší a nejnižší průměrné rychlosti větru vyjde již zmíněné rozpětí:

$$r = v_{\max} - v_{\min} = 21,10 - 1,49 = 19,61 \text{ m / s} \quad 5.14$$

Závěrem je ovšem ještě zapotřebí determinovat délku třídy, jež se vypočítá podílem rozsahu s počtem tříd:

$$d = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{m} = \frac{r}{m} = \frac{19,61}{10} = 1,961 \quad 5.15$$

Všechny potřebné hodnoty jsou zvoleny a dopočítány a je tudíž možné přistoupit k výsledné tabulce 6, kde jsou vypsaný všechny informace pro grafické znázornění celého procesu.

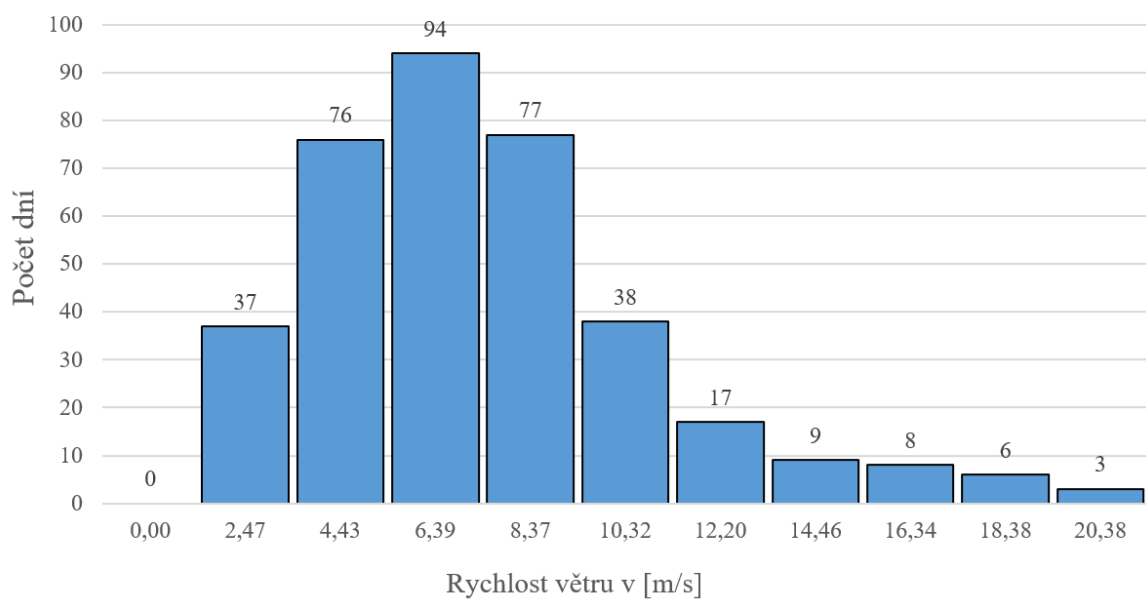
	Interval třídy	Třída	Absolutní četnost	Relativní četnost	Kumulativní absolutní četnost	Kumulativní relativní četnost
j	$\langle x_j; x_{j+1} \rangle$	x_j^*	f_j	f_j/n	F_j	F_j/n
1	$\langle 1,49; 3,45 \rangle$	2,47	37	0,101	37	0,101
2	$\langle 1,46; 5,40 \rangle$	4,43	76	0,208	113	0,310
3	$\langle 5,42; 7,36 \rangle$	6,39	94	0,258	207	0,567
4	$\langle 7,43; 9,30 \rangle$	8,37	77	0,211	284	0,778
5	$\langle 9,39; 11,25 \rangle$	10,32	38	0,104	322	0,882
6	$\langle 11,39; 13,0 \rangle$	12,20	17	0,047	339	0,929
7	$\langle 13,54; 15,38 \rangle$	14,46	9	0,025	348	0,953
8	$\langle 15,59; 17,09 \rangle$	16,34	8	0,022	356	0,975
9	$\langle 17,28; 19,46 \rangle$	18,38	6	0,016	362	0,992
10	$\langle 19,65; 21,10 \rangle$	20,38	3	0,008	365	1,000

Tabulka 6: Statistické třídy s četnostmi

Značení x_j^* je reprezentantem třídy. Jedná se o střed intervalu j-té třídy a získá se ze vztahu ^[25]:

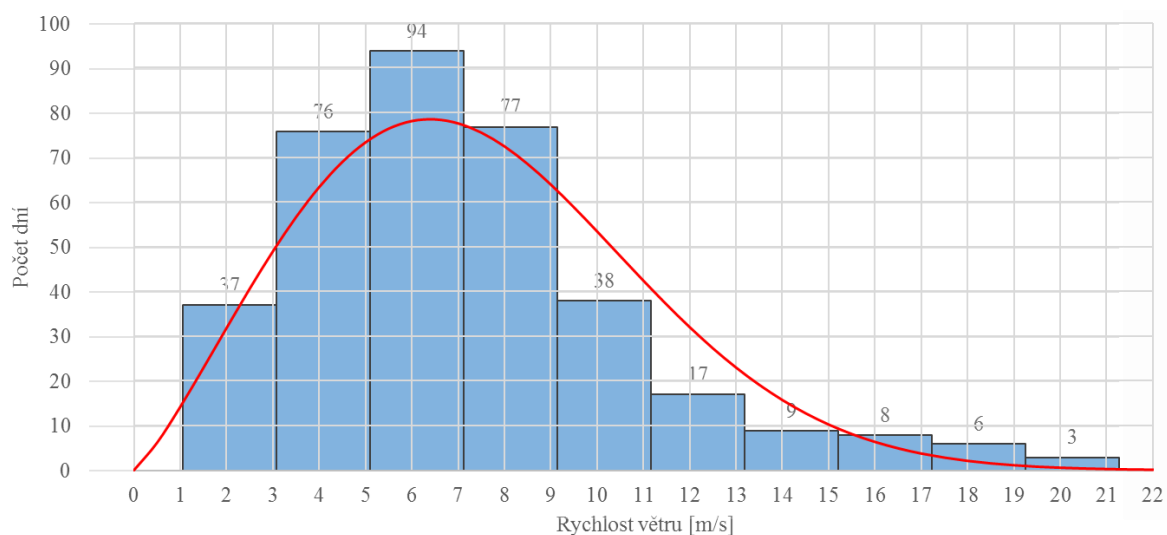
$$x_j^* = \frac{x_j + x_{j+1}}{2}, \text{ kde } j = 1, 2, \dots, m. \quad 5.16$$

Z celkových dopočítaných hodnot je výsledkem histogram. Přehledně zobrazuje četnost výskytu průměrných rychlostí větru ve 110m nad povrchem ve zvolené lokalitě.



Graf 5: Histogram četností průměrných rychlostí větru

V grafu 6 je zobrazen, jak průběh Weibullova rozdělení, tak histogram četností zjištěných a přepočítaných dat průměrných rychlostí větru v dané lokalitě.

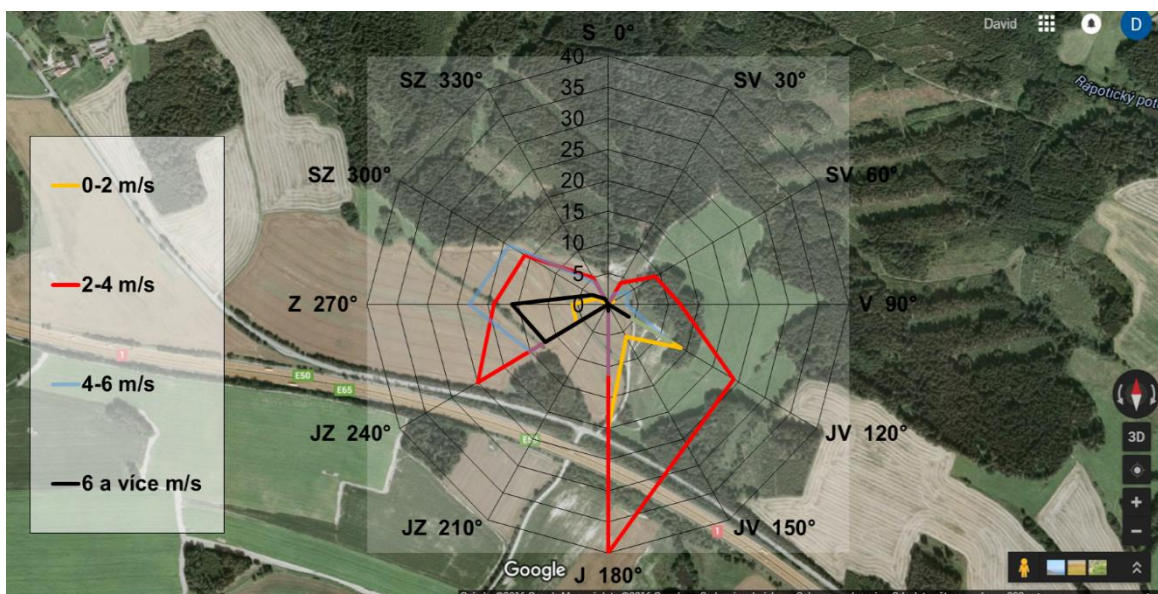


Graf 6: Weibullovo rozdělení s histogramem četností průměrných rychlostí větru.

Z grafu je zřejmá skutečnost, proč je Weibullovo rozdělení tak často využíváno pro vyjádření pravděpodobnosti výskytu rychlostí větru.

5.3.3 Větrná růžice

Rozdělení směrů větru v prostoru dané lokality je pro názorné vyobrazení ve větrné růžici. Větrná růžice ukazuje převládající směry větru pro různé průměrné rychlosti. Moje vlastně vytvořená růžice větru vyznačuje hlavní, ale i vedlejší světové strany. Kde 0° vyjadřuje sever a dále jsou světové strany v pořadí východ, jih a západ odstupňovány po 90° ve směru hodinových ručiček.



Graf 9: Větrná růžice pro převládající směr větru v závislosti na průměrné rychlosti

Z obrázku je patrné, že nízké rychlosti větru převažují hlavně z jihu a z jihovýchodu. Jde o rychlosti větru od 0 až do 4. Naopak vyšší rychlosti větru, pro návrh více zajímavé, panují především z jihozápadní a západní strany. Je zajímavé, že ze severní strany je nulová četnost výskytu jakékoli rychlosti větru. Znárodně větrná růžice je pro rychlosti větru přibližně v 10m nad povrchem. Ve skutečnosti ve výšce 110 m nad povrchem se větrná růžice může v některých případech i značně lišit, jelikož ve větších výškách není proudění větru ovlivňováno povrchem Země či vysokými lesy.

5.4 Vyhodnocení daného místa

Výběr lokality pro stavbu větrné elektrárny musí být inženýrsky velmi pečlivě posouzen. V hlavní části je záměr pro výběr lokality s minimálním dopadem na krajinný ráz a především na vzdálenost výstavby od obydlených budov, pro minimální nevoli obyvatelstva žijících v blízkosti dané stavby. Další neméně podstatným kritériem je, zdali se lokalita nenachází v chráněné krajinné oblasti ba dokonce v národním parku, kde je přísný zákaz budovat jakoukoli stavbu. V neposlední řadě se hledí na soustavu chráněných území ptačích oblastí. Zkráceně to neznamená nic jiného, zda nemigrují velcí ptáci, jako jsou hlavně čápi, danou oblastí. V potaz se také bere posouzení biotopu z hlediska zachování diverzity krajiny. V poslední řadě, ale opět významného charakteru, se hledí na inženýrsky geologický průzkum základových půd.

Všechna zjištěná data jsou vzata z animované mapy, která sleduje pohyb větru na základě matematického modelu se vstupními hodnotami z meteorologických stanic rozmístěných po České republice. Je proto nutné brát tyto převzaté informace o průměrných rychlostech a směrech větru s rezervou. Nicméně je také třeba si uvědomit, že žádné lepší informace, mimo měření, o povětrnostních podmínkách nelze zpracovat. Podle mého názoru, jako pro prvotní podnět k projektu, jsou tyto zjištěná data dostačujícím vodítkem pro teoretický návrh a určité zjednodušené dimenzování větrné elektrárny.

V první řadě probíhalo zjišťování, zda je vůbec možné ve zvolené oblasti uvažovat výstavbu větrné elektrárny. Souvisí s tím prověření, nenachází-li se lokalita na chráněném území daném zákony České republiky.

Za druhé bylo nutné zjistit roční informace o povětrnostních podmínkách ve zvolené lokalitě. Tato data jsou zjištěna ve výšce 10 m nad povrchem pro jednotlivé dny v roce 2015. Pro každý den v roce se spočítal průměr rychlostí. Průměrné hodnoty rychlostí větru musely být korigovány pro výšku 110 m nad povrchem. Následně bylo vyjádřeno Weibullovo rozdělení a zároveň vytvořen histogram s četnostmi průměrných rychlostí větru. Tyto dvě statistické metody ke znázornění výskytu větru jsou porovnány v grafu 6.

Ze zjištěných směrů větru ještě byla znázorněna větrná růžice a vložena do mapy pro názornou představu povětrnostních podmínek přesné oblasti.

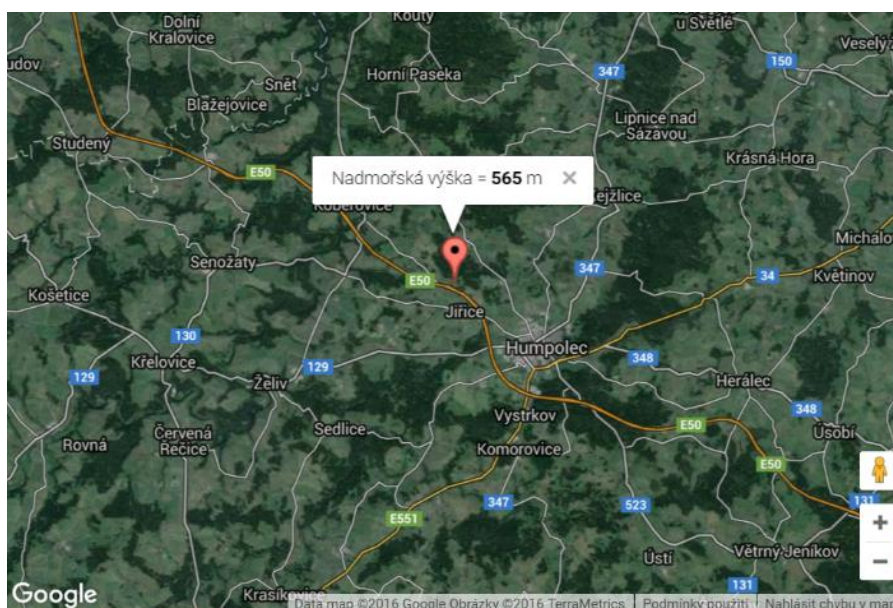
5.5 Vyhodnocení umístění záměru

Kraj: Vysočina

Katastrální území: Jiřice u Humpolce

Obec: Jiřice

Správní obec s rozšířenou působností: Humpolec



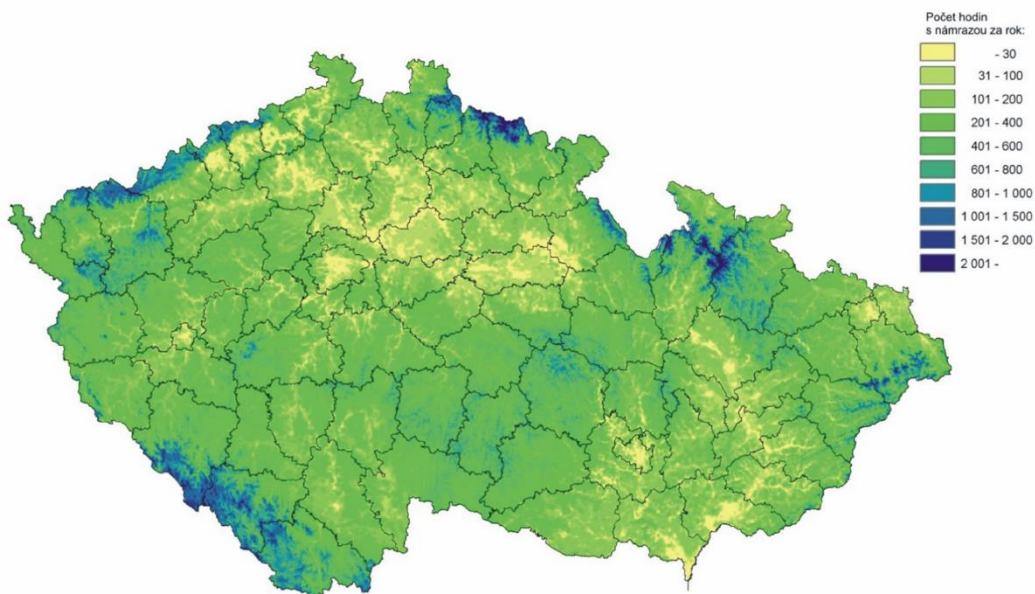
Obrázek 93: Umístění záměru výstavby s vyznačením nadmořské výšky.

Podle vyhledaných dat se daná lokalita nenachází v žádném chráněném území zaštitěným zákonem České republiky. To znamená, že lokalita se nenachází v červeném pásmu, definované v metodickém návodě pro výstavbu větrných či fotovoltaických elektráren. Na druhou stranu odstup od hranice lesa, jenž by měl být 150 m, není splněn. Tento problém by musel být posouzen individuálně, nicméně nevidím zásadní problém v případné diskuzi týkající se nedodržení doporučené vzdálenosti od hranice lesa. Nynější plán výstavby je vzdálen od hranice lesa 100 m. Vzdálenost od nejbližší komunikace činí 200 m, což považuji za dostatečné pro bezpečný silniční provoz. Vzdálenost od dálnice D1 je přibližně 240 m. Větrná elektrárna je plánována alespoň 1 040 m od nejbližšího obytného domu, což by měla být dostatečná délka pro eliminaci hluku. Teoreticky možná výstavba větrné elektrárny v lesních porostech zvažována nebyla a plánovaná je pouze varianta výstavby na zemědělské půdě, která je specifikována jako půda orná.

Kraj Vysočina je celkově kopcovitá oblast hustě posázená stromy. Téměř i u každé silnice se nachází stromořadí a to právě dosahuje příznivého účinku pro zastínění větrné elektrárny v níže položených místech, než je plánovaná věž turbíny. Ono paradoxně nachází-li se takto vysoká věž ve větších výškách je z velké dálky samozřejmě nepřehlédnutelná, nicméně v kratších vzdálenostech od věže je viditelnost, právě kopcovitým terénem a hustým porostem stromů, z velké části skryta. Pro mě je tento fakt velice povzbuzující, jakožto pro citlivého jedince, který vnímá vysoké nebo objemné stavby spíše za depresivní dominanty v krásné rozmanité přírodě. Zblízka tato stavba budí v lidech opravdu velký zásah do krajinného rázu, ale však z velké dálky se stavba zdá štíhlá a lépe zapadá do krajiny, která je již velkým či menším vlivem sítí silnic, staveb budov, vysílačů nebo elektrického vedení vizuálně ovlivněna.

Hranice rentability je pro klimatické podmínky, které v České republice panují uvažována od rychlosti větru 6 m/s ve výšce 100 nad zemí. Tato hranice je v souladu s předpoklady, které jsou určeny Energetickým regulačním úřadem. Požadavek je podle výsledných dat dostatečný, průměrná rychlost větru ve 100m je přibližně přes 7 m/s.

V poslední řadě je znázorněn obrázek 10, kde jsou naznačeny oblasti ČR s nejčastějším výskytem námrazy za rok. Mapa ukazuje, že daná oblast patří, s výskytem námrazy se 100 - 400 hodin ročně, mezi lokality bez výrazných negativních podmínek pro provoz větrné elektrárny.



Obrázek 10: Mapa ČR a průměrný počet hodin námrazy za rok ^[21]

6. Návrh a dimenzování větrné elektrárny pro zvolenou lokalitu

Vybraná lokalita podle výsledných dat povětrnostních podmínek je příhodná pro výstavbu větrné elektrárny. Ovšem je třeba dodat, že průměrná roční rychlost větru 7,4 m/s ve 100m, není pro výběr určitých větrných turbín optimální. Záleží především na volbě průměru rotoru. Platí, čím delší lopatky, tím vhodnější pro výstavbu v oblastech s nízkými ročními hodnotami průměrných rychlostí větru. Další faktor, pro prvotní plán turbíny, je závislý na minimální spouštěcí rychlosti, kdy se rotor stroje dostává do pohybu a začíná generovat elektrickou energii. Je zřejmé, že tato minimální rychlost větrné energie pro nastartování turbíny je požadována, co možná nejnižší. V opačném případě pro odstavení stroje není nutná nijak závratná rychlost, jelikož četnost vysokých rychlostí není příliš častá, míněno 20 m/s a více. Posledním podstatným vlivem na efektivnost přeměny elektrické energie je jmenovitá rychlost větru. Účelem je volit takovou jmenovitou rychlost, jež převyšuje jen o něco málo průměrnou roční rychlost, neboť množství nevyužité energie vyšších rychlostí s nízkou pravděpodobností výskytu je zanedbatelné.

Pro řazení specifických průměrných ročních rychlostí větru slouží označení „Třída větru větrných turbín“. Nejdůležitějším faktorem pro návrh větrné elektrárny je rychlost větru v dané oblasti, podle které se volí typ větrné turbíny. Třída větru se označuje písmeny IEC s číslem od jedné do tří, určující, zda se jedná o nízké, střední či vysoké rychlosti větru. Třída větru pro větrné turbíny slouží při návrhu konkrétní lokality se specifickými povětrnostními podmínkami. V tabulce 7 jsou uvedeny dané třídy větru pro větrné turbíny s průměrnými ročními hodnotami rychlosti větru, jež by měli být měřeny ve výšce osy otáčení rotoru. Třídy větru pro větrné turbíny jsou definovány Mezinárodní elektrotechnickou komisí (International Electrotechnical Commission standard).

Třída větru pro turbíny	IEC I Vysoká rychlost větru	IEC II Střední rychlost větru	IEC III Nízká rychlost větru
Roční průměrná rychlost větru (max.)	10 m/s	8,5 m/s	7,5 m/s
Nejvyšší rychlost větru za 50 let	70 m/s	59,5 m/s	52,5 m/s

Tabulka 7: Třídy větru pro větrné turbíny ^[26]

6.1 Návrh větrné turbíny

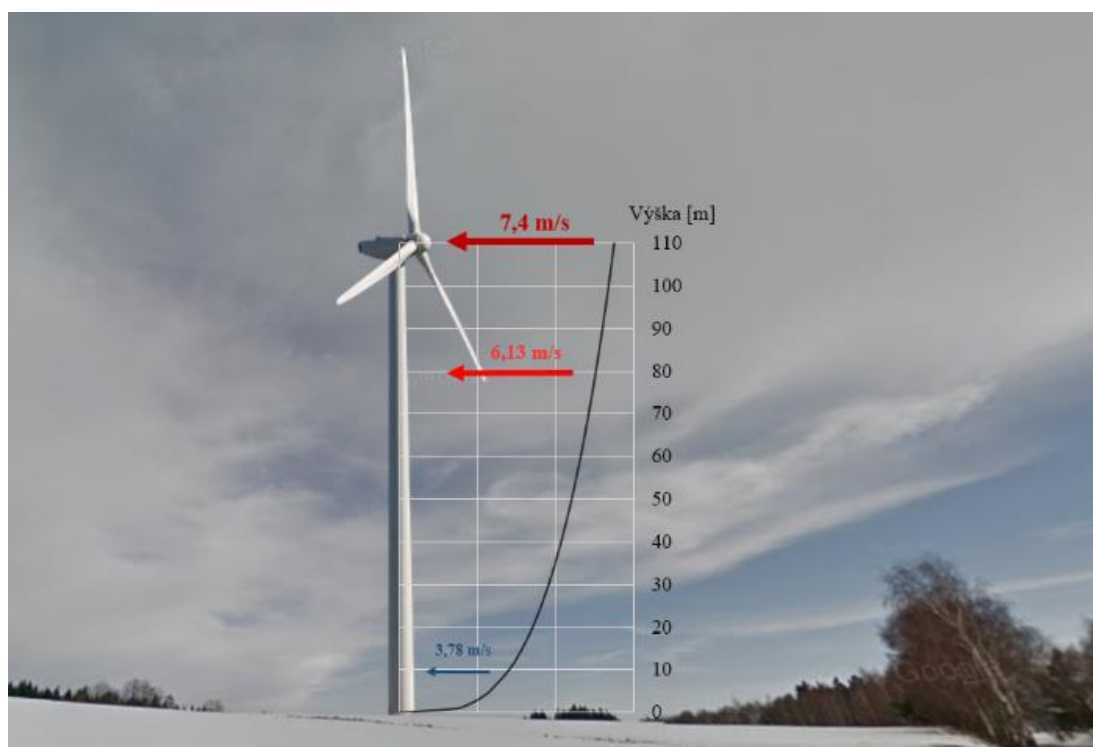
Po dlouhodobém pozorování různých společností zabývajících se větrnými turbínami, několika kalkulacemi a odbornou komunikací, jsem došel k názoru pro volbu větrné elektrárny firmy VESTAS V110 2 MW.

Platforma V110 je vhodná pro lokality s nízkou roční průměrnou rychlostí větru, to znamená pro většinu území v České republice. Dánská společnost VESTAS s dlouholetou tradicí, působí svojí činností po celém světě. Nabízí produkty, které jsou osvědčené, realizuje nejmodernější technologické postupy a prokazuje se špičkovou spolehlivostí.

6.1.1 Technická specifikace V110

Větrná turbína V110 nabízí výkon 2 MW při nominální rychlosti větru 11 m/s. Startovací rychlost začíná při rychlosti větru 3 m/s. Na druhé straně úplné odstavení otáčení rotoru dochází v dosažení rychlosti nad 20 m/s, kdy je kvůli bezpečnostním opatřením a nepříznivým technickým závadám elektrárna, respektive lopatky natočeny k dosažení minimálního odporu proudícího vzduchu o vysoké rychlosti. Obě hodnoty rychlosti větru, jak minimální, tak maximální, jsou udávány konkrétně pro výšku osy otáčejícího se rotoru. V tomto případě se jedná o 110 m nad povrchem. Výrobce udává operativní teplotu standartního provedení v rozmezí -20 °C až 40 °C. Maximální hodnota hluku je udána 107,6 dB. Turbína splňuje omezující limity akustického znečištění optimalizací výroby pro dané rychlosti větru [27].

Průměr rotoru, jak název napovídá, je 110 m, a tedy velikost plochy rotoru činí 9 503 m². Výška věže je v katalogu VESTAS nabízena v pěti variantách, s ohledem na povětrnostní podmínky plánované lokality výstavby podle třídy větru uvedené v tabulce 7. Veškeré poskytované ocelové věže jsou pro zvolenou lokalitu příznivé a výšky konstrukcí se pohybují v rozmezí 80 až 125 m. Volba mého plánu je výška věže 110 m, v závislosti na větší rychlosti větru. Vyšší ocelová konstrukce je zbytečně náročná na dimenzování mechanických částí s komplikovanějším provedením železobetonových základů. Naproti tomu 80m věž, neumožňuje využití většího větrného potenciálu, jak je názorně vykresleno na obrázku 11.



Obrázek 41: Větrná turbína a průměrná roční rychlost větru ve specifické výšce. Vizualizace na plánovaném místě.

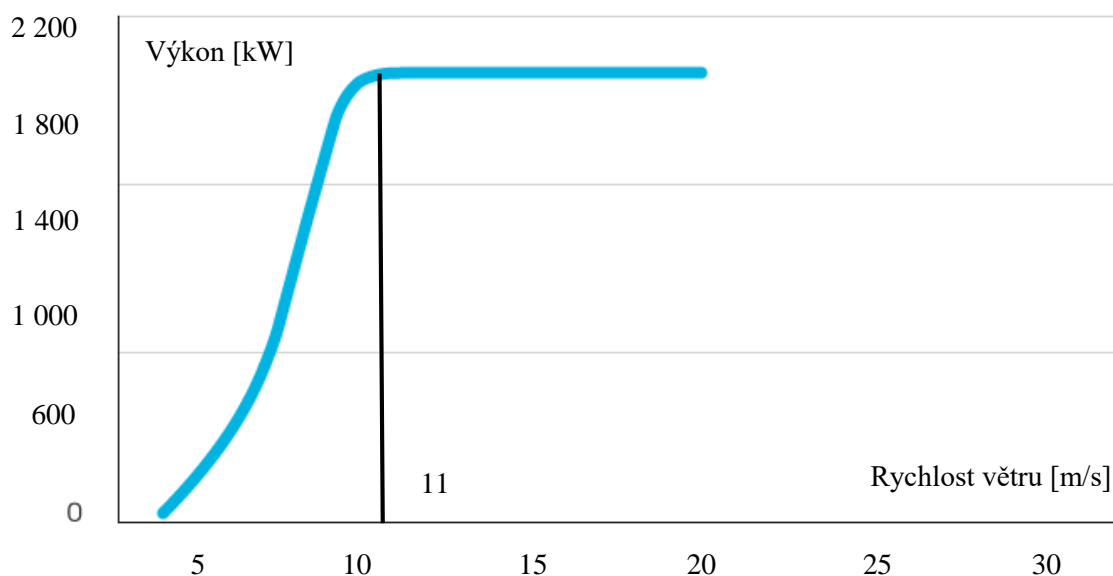
Elektrické vybavení obsahuje 4-pólový dvojité napájený asynchronní generátor s kroužkovým rotorem. Pro přenesení dvoumegawattového výkonu slouží kombinovaná převodovka se dvěma planetovými stupni a jedním koaxiálním [27].

Výkon	2000 MW
Napětí U_n /rozsah napětí	690 V/0,9-1,06 U_n
Frekvence	50 Hz
Jmenovitý účinnost generátoru ($\cos\varphi$)	1
Zkratový poměr	8,07
Maximální činitel flikru	2,1
Největší spínací ráz	1,1

Tabulka 8: Parametry generátoru VtE ^[27]

6.1.2 Výpočet ročního množství přeměněné elektrické energie

Dle zjištěných dat průměrných rychlostí větru pro zvolenou lokalitu, které jsou uvedeny v příloze A, lze spočítat přibližné roční množství elektrické energie přeměněné větrnou turbínou V110. Na výkonové charakteristice elektrárny v grafu 8 jsou uvedeny hodnoty výkonu v závislosti na rychlosti proudění vzduchu.



Graf 7: Výkonová charakteristika větrné elektrárny V110 ^[27]

K jednotlivým rychlostem větru byly odečteny hodnoty výkonů z výkonové charakteristiky. V tabulce 9 se nacházejí vypsané hodnoty rychlosti větru odstupňované po 0,5 m/s v rozsahu 0 až 12 m/s. Od 12 až do rychlosti 20 m/s, při které dochází k odstavení otáčení rotoru, je krok nastaven na 1 m/s, protože se výkon turbíny nemění. Četnost výskytu rychlostí větru představuje počet dní v roce. Výkon větrné elektrárny je počítán až od rychlosti 3 m/s, tudíž, při nižších rychlostech, je výkon nulový. Podle vzorce pro výpočet přeměněné energie:

$$E_j = \frac{P_j \cdot f_j \cdot 24}{1000}, \text{ kde } j = 1, 2, \dots, 29. \quad 6.1$$

Parametr P představuje elektrický výkon, f četnost výskytu rychlostí a celé je to násobeno počtem hodin, které má jeden den. Aby nevycházely dlouhá čísla, je výsledek vynásoben tisícinou, tím vyjde energie v megawatthodinách.

	Rychlost větru [m/s]	Výkon větrné elektrárny [kW]	Četnost výskytu rychlostí větru [počet dní]	Přeměněná el. energie [MWh]
j	v_j	P_j	f_j	E_j
1	1	0	0	0
2	1,5	0	1	0
3	2	0	2	0
4	2,5	0	11	0
5	3	100	10	24
6	3,5	150	26	93,6
7	4	200	15	72
8	4,5	250	19	114
9	5	300	19	136,8
10	5,5	350	27	226,8
11	6	450	29	313,2
12	6,5	500	21	252
13	7	600	18	259,2
14	7,5	710	32	545,28
15	8	1 100	14	369,6
16	8,5	1 600	16	614,4
17	9	1 800	21	907,2
18	9,5	1 900	12	547,2
19	10	1 960	14	658,56
20	11	2 000	16	768
21	12	2 000	11	528
22	13	2 000	4	192
23	14	2 000	8	384
24	15	2 000	1	48
25	16	2 000	4	192
26	17	2 000	5	240
27	18	2 000	4	192
28	19	2 000	2	96
29	20	2 000	2	96
Celková přeměněná energie za rok: 7 869,84 MWh/rok				

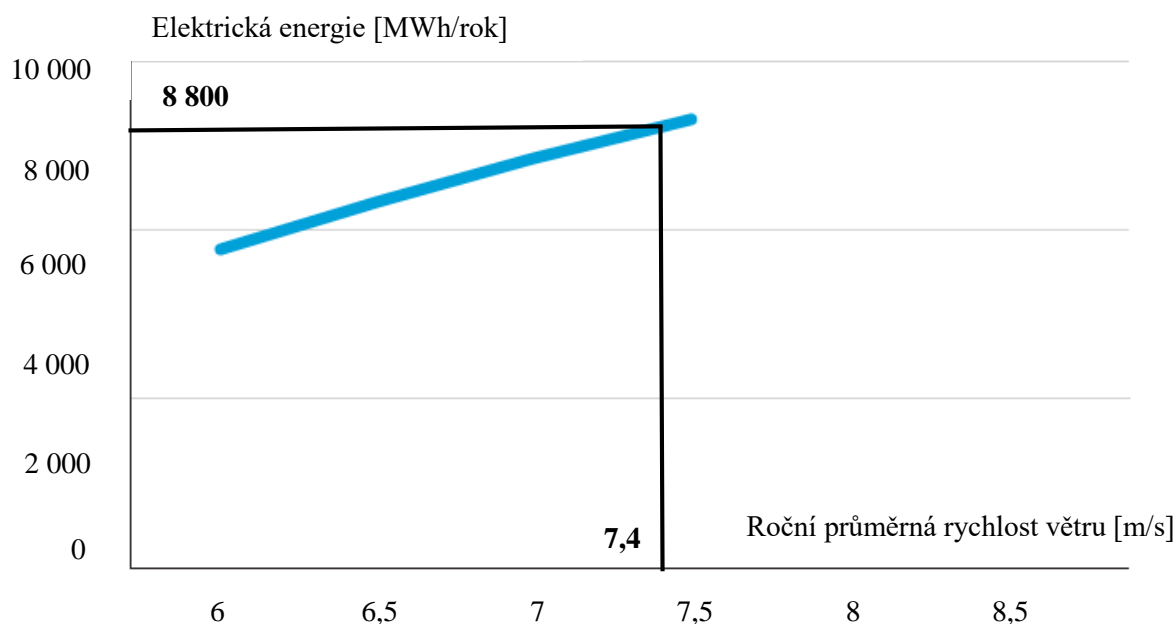
Tabulka 9: Roční množství vyrobené energie pro výkonovou charakteristiku větrné elektrárny V110

K celkové přeměněné energii za rok se vychází ze vztahu:

$$E = \sum_{j=1}^{29} E_j \quad 6.2$$

Výsledná hodnota je 7 870 MWh/rok. V dalších výpočtech se po zaokrouhlení dolů bude brát v úvahu množství energie 7 800 MWh/rok.

Celková přeměněná energie za rok větrnou turbínou VESTAS V110 se dá určit ještě jedním způsobem. Výrobce poskytuje charakteristiku roční produkce elektrické energie v závislosti na průměrné roční rychlosti větru, jak je vyznačeno v grafu 9.



Graf 8: Roční produkce elektrické energie v závislosti na průměrné roční hodnotě rychlosti větru ^[27]

Ze zjištěné průměrné roční rychlosti větru 7,4 m/s ve 110m nad povrchem vyjde, po odečtení z průběhu, roční produkce elektrické energie 8 800 MWh/rok.

7. Připojení větrné elektrárny k distribuční soustavě

Přenosová a distribuční soustava byla vyprojektována a vybudována formou centralizovaně situovaných výkonných zdrojů elektrické energie. S tímto faktem se postupně mění a v budoucnu bude významně obměňovat celý elektrizační systém pro decentralizaci nových a méně výkonných výroben, rozmístěných po celém území republiky. Opadne problém s přenosem značných výkonů elektrické energie na dlouhé vzdálenosti, kde bude omezen vliv přenosových ztrát, a decentralizované zdroje vykompenzují výkonovou poptávku přímo v dané oblasti. Následkem toho bude vyšší účinnost řízení výkonových toků a vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie.

Pro připojení větrné elektrárny do elektrizační soustavy je nejvýznamnějším problémem zachovat kvalitu dodávky elektrické energie k odběrateli. Proto nejvyšším důrazem na nový design větrných turbín je omezení negativních vlivů na kvalitu elektrické energie.

7.1 Vliv větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy

Zatím byly jmenovány především klady větrných elektráren, kterými jsou hlavně minimální dopad na životní prostředí a téměř nulové náklady na výrobu elektrické energie. Ovšem větrná energetika přináší mnoho komplikací související s připojením k elektrizační soustavě. Největší nesnází je velice špatná předpověď rychlosti a síly větru. To způsobuje značnou kontrolu pro dispečerské oddělení jak na straně distribuční sítě, tak na straně přenosové soustavy. Je známo, že provozovatel distribuční soustavy je nucen připojit každý zdroj elektrické energie, který splňuje podmínky připojení. Jak bylo zmíněno, tak větrné elektrárny stejně jako fotovoltaické systémy mají hlavní problém se špatnou predikcí počasí a tím jsou tyto zdroje elektrické energie často nechtěným artiklem pro provozovatele přenosové soustavy. Jde o nestálou produkci elektrické energie, protože je malý rozsah rychlosti větru, kdy je větrná elektrárna funkční.

Nejzávažnějšími vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu má především přetěžování lokální sítě, místo připojení větrné elektrárny a elektrizační soustava musí být dostatečně dimenzována. Dalším negativním vlivem je kolísání napětí, a zvýšení zkratových poměrů. Také pak se jedná o zhoršení kvality dodávky elektrické energie do elektrizační soustavy, jelikož výkonová elektronika pro chod větrné elektrárny má rušivé vlivy ve formě vyšších harmonických a rušení hromadného dálkového ovládní.

Kvůli těmto všem nepříznivým vlivům na elektrizační soustavu jsou stanoveny požadavky pro provoz větrných elektráren, kde jsou tyto požadavky:

Chování větrných elektráren při zkratech, při změnách frekvence a při změnách účinníku. Požadavky chování při zkratech je nejdůležitější v co nejrychlejším čase odpojit zařízení při zkratu a zabránit tak k narušení funkčnosti zařízení. Při změnách frekvence v síti je důležité kooperace větrné elektrárny vyrovnávat bilanci výkonů. ^[28]

7.2 Podmínky připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy

O podmínkách připojení výroby k elektrizační soustavě vypovídá vyhláška ERÚ 51/2006 Sb. V této vyhlášce se i mimo jiné popisuje způsob podání žádosti o připojení zařízení do přenosové nebo distribuční soustavy. Dále je zde uveden případný požadavek ke zhotovení studie připojitelnosti. Jde o metodu výpočtů o možnosti posouzení zpětných vlivů na elektrizační síť. Studie analyzuje například napět'ové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě, změny napětí způsobené spínáním posuzovaného zdroje, ovlivnění HDO signálu, vliv vyšších harmonických, či velikost flikru. [29]

7.2.1 Zvýšení napětí

Jelikož se v tomto případě zabýváme připojením zdroje do vn, tak bude pojednáno jen pro tento napět'ový rozsah.

Provoz připojených zdrojů elektrické energie nesmí ani v nejnepříznivějším případě vyvolat zvýšení napětí 2 % pro výroby s přípojným bodem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení, zároveň nesmějí být překročeny limity napětí v předávacím místě zdroje podle [30]:

$$\Delta u_{vn,110} \leq 2 \% . \quad 7.1$$

„Úroveň napětí musí být posouzena s ohledem na výši skutečné hodnoty napětí v předávacím místě.“ [30]

Když se v síti vn pouze jediný přípojný bod, je možné 2% hranici zvýšeného napětí posoudit dle vztahu:

$$k_{kl} = \frac{S_{ksViE}}{\sum S_{Amax}} , \quad 7.2$$

kde S_{ksViE} je zkratový výkon v přípojném bodu a $\sum S_{Amax}$ je suma maximálních zdánlivých výkonů všech připojených výroben. Výsledkem je zkratový poměr výkonů k_{kl} .

Pokud se jedná o jeden předávací bod v síti, je podmínka pro zvýšení napětí dodržena tehdy, když zkratový poměr výkonů k_{kl} je pro připojené zdroje ve vn: [30]

$$k_{kl} \geq 50 . \quad 7.3$$

V případě, že je síť vn silně induktivní, je posouzení pomocí činitele k_{kl} nedostačující a je nutné počítat s komplexní hodnotou impedance sítě s jejím fázovým úhlem ψ pro přesnější výsledek:

$$\sum S_{Amax} \leq \frac{2 \% \cdot S_{ksViE}}{|\cos(\psi - \varphi)|} , \quad 7.4$$

kde φ je fázový úhel mezi proudem a napětím výroby při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax} .

Pro kosinový člen, tj. $\cos(\psi - \varphi)$ v rovnici 7.4, volím hodnotu 0,1 ke zjednodušení výpočtu, protože předpokládám, že kosinový člen vychází menší než 0,1. ^[30]

Pro známý maximální připojitelný výkon lze zjistit velikost zvýšeného napětí v místě připojení výroby: ^[30]

$$\Delta u_{AV} \leq \frac{S_{VtE} |\cos(\psi - \varphi)|}{S_{ksVtE}}. \quad 7.5$$

7.2.2 Změny napětí při spínání zdroje

Spínání nebo odpojování jednotlivých generátorů může vést k nežádoucím změnám napětí ve společném napájecím bodě. Stanovený limit pro výrobní v síti vn je: ^[30]

$$\Delta u_{\max, vn} \leq 2 \% , \quad 7.6$$

platí pro spínání více časté než jednou za 1,5 min. ^[30]

Odhad změny napětí lze určit pomocí zkratového výkonu S_{ksVtE} a jmenovitém zdánlivém výkonu výrobní S_{VtE} :

$$u_{\max, vn} = k_{i \max} \frac{S_{VtE}}{S_{ksVtE}}, \quad 7.7$$

kde $k_{i \max}$ se vyjadřuje největší spínací ráz výrobní a představuje poměr největšího proudu, který se označuje jako spínací, ke jmenovitému proudu generátoru. ^[30]

7.2.3 Flicker efekt

Flicker efekt je způsoben kolísáním napětím v předávacím místě. Je zapotřebí dodržet stanovené limity ve společném napájecím bodě. Mezní hodnota flickru pro vn je:

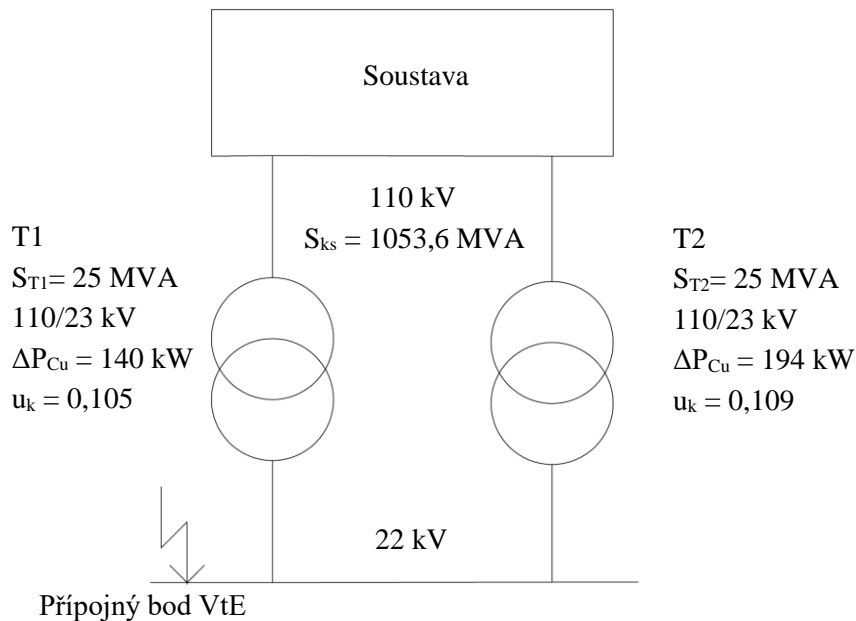
$$P_{fl} \leq 0,46. \quad 7.8$$

Dlouhodobá míra flickru P_{fl} jednoho zdroje lze vyjádřit pomocí činitele flickru c_f , jmenovitého výkonu zařízení a zkratového výkonu: ^[30]

$$P_{fl} = c_f \cdot \frac{S_{VtE}}{S_{ksVtE}}. \quad 7.9$$

7.3 Návrh připojení větrné elektrárny do elektrizační soustavy

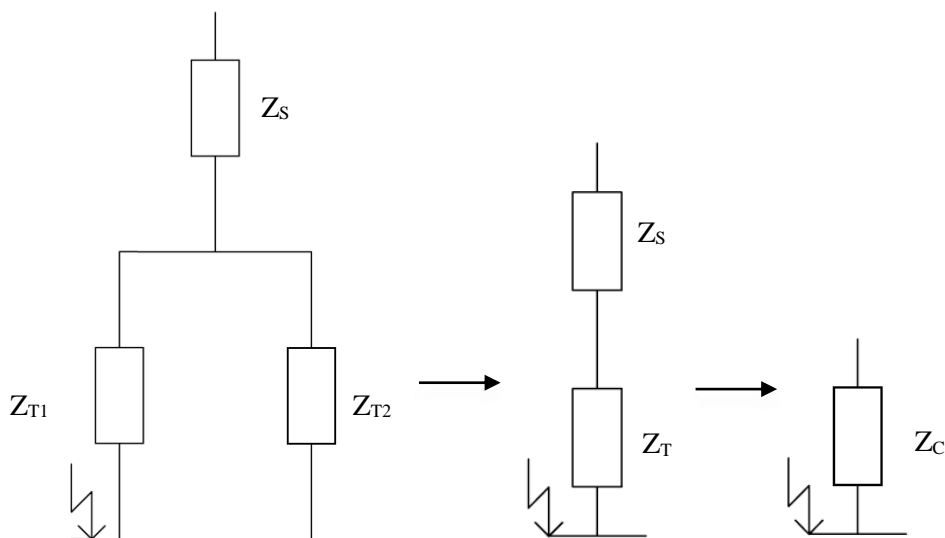
V první řadě je nutné vypočítat rázový zkratový výkon v přípojném místě, jak je vyznačeno na obrázku 12. Hodnoty transformátorů a rázový zkratový výkon humpolecké rozvodny 110 kV poskytl provozovatel distribuční soustavy EON.



Obrázek 52: Schéma pro výpočet rázového zkratového výkonu v přípojném bodě.

7.3.1 Výpočet zkratového výkonu v místě připojení

Soustavu lze zakreslit do zjednodušeného schématu pomocí impedancí prvků v síti. Postupnými výpočty dosahuje schéma zjednodušení. Z obrázku je viditelné, že celková impedance v plánovaném místě připojení obsahuje jednak impedance z nadřazené sítě a impedance transformátorů.



Obrázek 13: Schéma impedancí pro výpočet rázového zkratového výkonu v přípojném bodě

Impedanci z nadřazené sítě lze vypočítat ze známého rázového zkratového výkonu, napětového součinitele, jmenovitého napětí nadřazené soustavy a napětí na straně připojovacího bodu:

$$Z_S = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{ks}} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110^2}{1053,6} \cdot \left(\frac{22}{110} \right)^2 = 0,505 \, \Omega. \quad 7.10$$

Napětový součinitel c pro soustavu vn má hodnotu 1,1. ^[31]

Impedance transformátorů se vypočítají ze známých hodnot poskytnutých provozovatelem distribuční soustavy.

Transformátor T1:

$$Z_{T1} = \frac{u_k \cdot U_{nT1}^2}{S_{nT1}} = \frac{0,105 \cdot 23^2}{25} = 2,223 \, \Omega. \quad 7.11$$

nebo: ^[32]

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_{Cu} \cdot U_{nT1}^2}{S_{nT1}} = \frac{140 \cdot 23^2}{25} = 0,118 \, \Omega. \quad 7.12$$

$$X_{T1} = \frac{U_{nT1}^2}{S_{nT1}} \cdot \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{\Delta P_{Cu}}{S_{nT1}} \right)^2} = \frac{23^2}{25 \, 000} \cdot \sqrt{0,105^2 - \left(\frac{140}{25} \right)^2} = 2,219 \, \Omega \quad 7.13$$

$$Z_{T1} = \sqrt{R_{T1}^2 + X_{T1}^2} = \sqrt{0,118^2 + 2,219^2} = 2,223 \, \Omega \quad 7.14$$

Transformátor T2:

$$Z_{T2} = \frac{u_k \cdot U_{nT2}^2}{S_{nT2}} = \frac{0,109 \cdot 23^2}{25} = 2,306 \, \Omega \quad 7.15$$

Paralelně zapojené impedance se převedou pro zjednodušení:

$$Z_T = \frac{Z_{T1} \cdot Z_{T2}}{Z_{T1} + Z_{T2}} = \frac{2,223 \cdot 2,306}{2,223 + 2,306} = 1,132 \, \Omega \quad 7.16$$

Nyní, jak je vyznačeno na obrázku 13, se impedance přepočtou do jedné celkové hodnoty:

$$Z_C = Z_S + Z_T = 1,637 \, \Omega \quad 7.17$$

Tím je dosažen přepočet impedancí a lze vypočítat zkratový výkon v plánovaném místě připojení:

$$S_{ksVtE} = c \cdot \frac{U_S^2}{Z_C} = 1,1 \cdot \frac{22^2}{1,137} = 325,2 \, MVA \quad 7.18$$

Maximální připojitelný výkon podle vztahu 7.4 se stanoví:

$$\sum S_{A_{\max}} \leq \frac{2 \% \cdot S_{ks}}{|\cos(\psi - \varphi)|} = \frac{0,02 \cdot 325,2}{0,1} = 65,05 \text{ MVA} \quad 7.19$$

Výsledný maximální připojitelný výkon zaručuje fakt, že je dostatečná rezerva pro zapojení větrné elektrárny s instalovaným výkonem 2 MVA.

7.3.2 Výpočet zvýšení napětí

Následně je třeba analyzovat zvýšení napětí při provozu zdroje podle vztahu 7.5:

$$\Delta u_{AV} \leq \frac{\sum S_{A_{\max}} \cdot |\cos(\psi - \varphi)|}{S_{ksVtE}} = \frac{2 \cdot 0,1}{325,2} \cdot 100 = 0,06 \% \quad 7.20$$

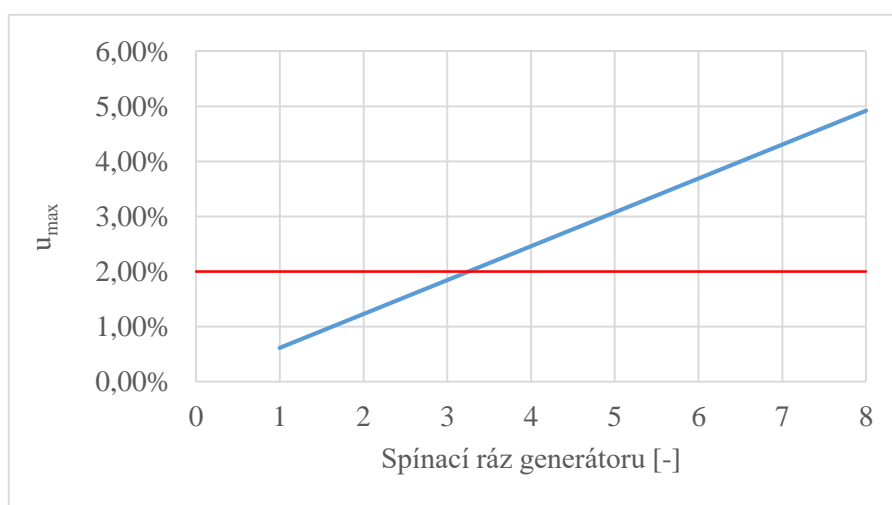
Zvýšené napětí v bodě připojení je daleko pod dvouprocentní hranicí.

7.3.3 Výpočet změny napětí při spínání zdroje

Výpočet pro změnu napětí při spínání silně ovlivňuje parametr $k_{i\max}$, který udává spínací ráz generátoru. V tomto případě volím hodnotu 1,1.

$$u_{\max} = k_{i\max} \frac{S_{VtE}}{S_{ksVtE}} = 1,1 \cdot \frac{2}{325,2} \cdot 100 = 0,676 \% \quad 7.21$$

V grafu 10 je vyznačen průběh změny napětí při spínání v závislosti na spínacím rázu generátoru.



Graf 9: Průběh změny napětí pro jednotlivé spínací rázy generátoru

7.3.4 Výpočet flikru

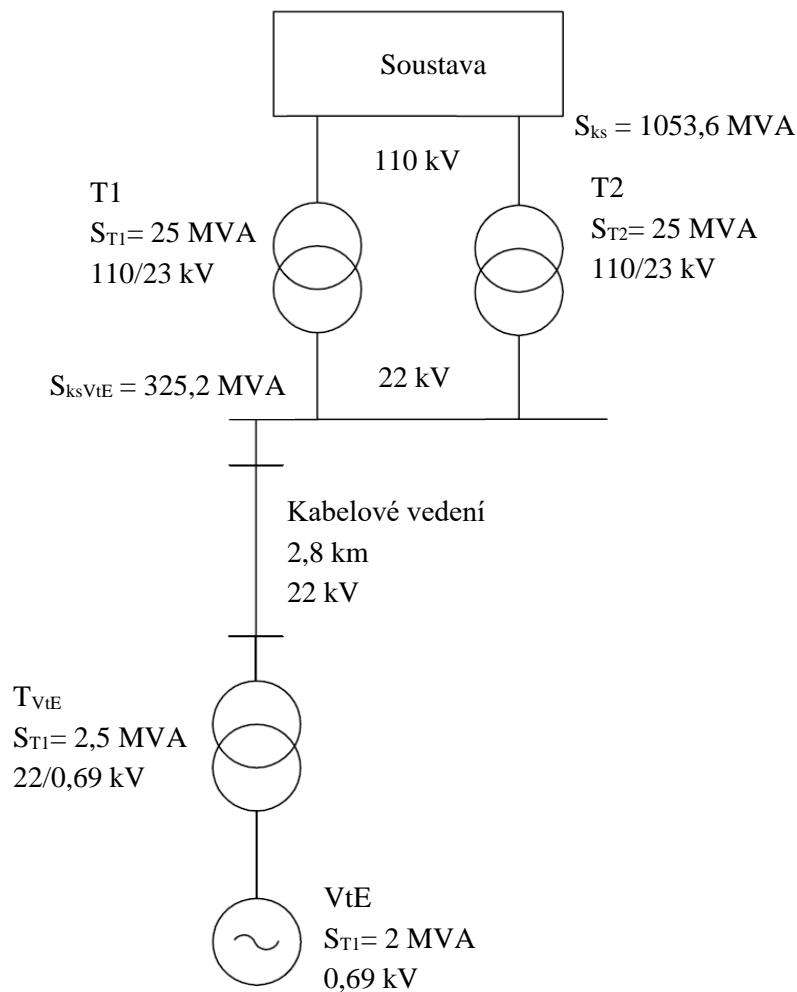
Dlouhodobá hodnota flikru vycházející ze zařízení při provozu musí zůstat pod stanovenou hodnotou.

$$P_{fl} = c_f \cdot \frac{S_{VtE}}{S_{ksVtE}} = 2,1 \cdot \frac{2}{325,2} = 0,013 \quad 7.22$$

Podmínka je s dostatečnou rezervou splněna.

7.4 Vyvedení výkonu z větrné elektrárny

Vyvedení výkonu z větrné jde do transformátoru, který převede jmenovité napětí na generátoru na hladinu 22 kV pro kabelové vedení z místa větrné elektrárny do přípojného bodu. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu zdroje do elektrizační soustavy je na obrázku 14.



Obrázek 146: Schéma zapojení VtE do distribuční soustavy

Větrná elektrárna VESTAS V110 by podle mého návrhu mohla být připojena do humpolecké rozvodny 22 kV. Jednopolové schéma dané rozvodny se nachází v příloze B. Ve schématu je vyznačená rezerva pro případné připojení výroby.

Transformovna je od plánovaného místa výstavy vzdálená 2,8 km. Kabelová trasa, která by mohla vést podél silnice třetí třídy s číslem 12935, je vyznačena na obrázku 15.



Obrázek 75: Kabelová trasa od větrné elektrárny k humpolecké rozvodně 22 kV [33]

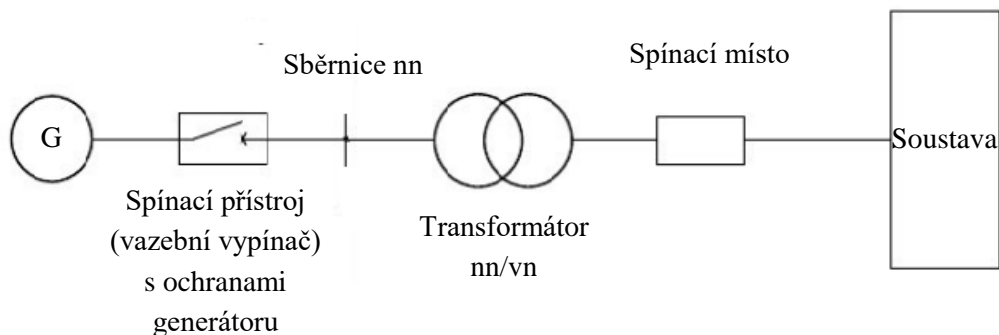
7.5 Další podmínky připojení k síti

Připojované výroby do distribuční soustavy musí být připraveny pro instalaci dálkového ovládní a komunikační cestu mezi elektroměrovým rozváděčem a novým zdrojem. Dále pak u zdrojů přesahující nainstalovaný výkon 100 kVA musí být spínač s oddělovací funkcí vybaven dálkovým ovládním a signalizací stavu. [30]

Dálkové řízení spínače s oddělovací funkcí musí splňovat:

- Vypnutí při kritických stavech v síti
- Omezení dodávky činného výkonu
- Řízení jalového výkonu
- Rozhraní pro přenos dat (jde především o data týkající se řízení, stavu zařízení, zadávané hodnoty, přenosů měření, signálů ochran a výstražné signalizace)

Pro zapojení výrobního zdroje do distribuční sítě musí být použito spínací zařízení se schopností vypínání zátěže (vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový odpínač) a zajištění galvanického oddělení ve všech fázích. Vypínací zařízení má předřazenou zkratovou ochranu jako opatření na ochranu vlastní výroby. Schéma zapojení podle platných předpisů je na obrázku 16. ^[30]



Obrázek 8: Zapojení výroby v paralelním provozu se sítí ^[30]

7.6 Shrnutí návrhu připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy

Z vypočtených základních parametrů pro připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy vychází výsledné hodnoty ve stanovených mezích. Není provedena analýza zpětných vlivů vyšších harmonických na síť a vliv rušení na signál HDO. V případě podrobnější studie připojitelnosti, ve které se používají sofistikované programy pro náročnější výpočty s ohledem na parametry sítě dané lokality, jsou zapotřebí celkové údaje o distribuční soustavě v místě připojení a protokol o provedení kvalitativního měření větrné turbíny.

8. Ekonomická rozvaha výstavby a provozu větrné elektrárny

Ekonomická stránka, zcela každé investice, je nejdůležitějším článkem každého podnikání v tržní ekonomice. Porovná-li se cena za nainstalovanou jednotku výkonu ve výstavbě jednotlivých typů elektrických zdrojů energie, vyjdou poměrně rozdílná čísla. Stavba jaderné elektrárny vyžaduje obrovské množství finančních prostředků, ale poté má velice nízkou cenu přeměněné elektrické energie. Výstavba uhelné elektrárny není tolik finančně obtížná, ale na rozdíl od jaderné elektrárny, kde je třeba jen malé množství paliva, cena silně závisí na ceně uhlí a dále pak také na ceně vápence, který je důležitý pro odsiřování procesu hoření. Cena přeměněné energie ve větrné turbíně je zcela zadarmo, protože závisí pouze a jen na síle a rychlosti proudění větru.

Finanční část celého projektu je pro investora nejsledovanější partií. Je jasné, že každý investor se snaží maximálně zpeněžit svojí investici. Ovšem je zde ještě další aspekt pro zásadní vliv k výstavbě jakéhokoli projektu, který přispívá nejen tím, že přeměňuje energii jedné formy na druhou pro další potřeby zákazníků, ale jedná se o celkovou ekonomickou rozvahu plánování výstavby a provozu objektu. Mezi ekonomickou a čistě finanční částí je v určitých ohledech i markantní rozdíl. Na rozdíl od finančního pohledu na věc, kde je pozorovatelný pouze jediný cíl a tím je získat co nejvyšší zisk z vloženého kapitálu za co nejkratší dobu, ekonomická podstata připraveného a zdárného projektu je mimo jiné omezení nežádoucího účinku pro životní prostředí, čímž provoz obnovitelných zdrojů bez pochyby disponuje. Na ekonomii projektu se samozřejmě také hledí jako na investici, která by měla být v kladných číslech, ale nezáleží jen a pouze na zisku, nýbrž na více pozitivních aspektech ve více oblastí, jež jsou prospěšné pro lidstvo a neškodí přírodě.

V této kapitole se budu snažit dokázat fakt, že ani člověk nerozumějící elektroenergetice nemusí mít obavy pro investici do větrné energetiky. Celkem nechápu, proč je tak malý rozvoj konkrétně větrné energetiky velkých známých českých energetických společností, když jakýsi potenciál pro rozvoj obnovitelných zdrojů zde lze najít. Je proto na místě vyzvat investory, kteří mají určitý obnos pro vložení kapitálu do rozvoje jmenované oblasti i s minimální znalostí problematiky, protože jak je zatím vidět, velké podniky se angažují velice zřídka, vezme-li se v potaz, jakým obnosem mají možnost vynakládat.

Základní a zároveň velice podstatný ukazatel zohledňující faktor času je v první řadě čistá současná hodnota, vyjadřující diskontovaný tok peněz za dané období. Toto nejvhodnější a nejužívanější kritérium slouží pro sledování hodnocení výnosnosti investičního účelu pro danou dobu životnosti či působení na trhu. Dalším primárním hlediskem pro investiční rozvahu slouží prostá doba návratnosti. Tato metoda je podklad pro následující operace k rozhodování záměru k podnikání. Jde o triviální, ale nadmíru užívanou cestu k určení přibližné doby, za kterou by měl být business rentabilní. Tento krok nezahrnuje vliv času, a proto je proces doby návratnosti doplněn diskontní mírou, a tím vzniká sofistikovanější metoda pro určení doby návratnosti. Většina hodnot, jež jsou použity v postupech výpočtů, vychází z praxe, popřípadě ze závěrů dotazů určených k příslušným odborným respondentům. Snažil jsem se ve výpočtech využít co nejpřesnějších hodnot, ovšem na druhou stranu v investičních nákladech byly částky poměrně nadhodnocené pro spíše pesimistický scénář vývoje celé rozvahy.

8.1 Předpokládaná roční přeměněná elektrická energie

Pro konkrétní větrnou turbínu VESTAS V110 bude názorně předložena rozvaha výstavby a provozu pro zvolenou oblast, která byla vysvětlena a navrhuta v kapitole 6. Podle zjištěné průměrné roční hodnoty rychlosti větru byla z grafického znázornění, které udává výrobce dané větrné turbíny, přeměněná elektrická energie. Z grafu 9 vyplývá pro roční průměrnou hodnotu rychlosti větru 7,4 m/s vyrobená elektrická energie 8 800 MWh za rok. Další zjištěná hodnota roční předpokládané výroby elektrické energie, byla poměrně lépe vyhodnocena ze zjištěných dat dané lokality. Předpokládaná roční přeměněná energie vyšla na 7 800 MWh. S touto hodnotou se dále bude odvíjet další postup při výpočtech důležitých ekonomických metod k determinaci finančnímu prospěchu výstavby a provozu větrné elektrárny, jelikož lépe vyjadřuje a dokazuje roční produkci energie.

8.2 Určení diskontní míry

Diskontní míra je určité procento, které přepočítává očekávané výnosy z naplánované investice na hodnotu před započatou investicí. Určení diskontní míry je občas složitější než cokoliv jiného. Závisí na různých faktorech. Mezi tyto faktory patří mimo jiné výše inflace. Diskontní míra ve výpočtech je zvolena na 15 %. Je zde započítán určitý vliv inflace, který sice nyní je několik desetin procenta, nicméně já jsem zvolil míru inflace 2 %. Vycházím z dat Českého statistického úřadu ve sledovaném období posledních dese-ti let.

Míra inflace má za následek znehodnocení vloženého kapitálu v průběhu realizované investice a zapříčiňuje rozdíl mezi reálnou a nominální cenou. Asi nejvyšším činitelem, na němž je diskontní míra závislá v souvislosti ocenění investic, je výše rizika. Udává procentuální vliv ohrožení dané investice.^[34] Obecně platí, čím vyšší je požadovaný výnos, tím riziko stoupá. Podle zákonem určených cen jak výkupních, tak zeleného bonusu se investice do větrné elektrárny jeví poměrně méně riziková záležitost. I přesto je míra rizika zvolena vyšší, a proto je v důsledku diskont na hodnotě 15%.

8.3 Cash flow

Hotovostní tok neboli více užívaný anglické spojení cash flow znamená rozdíl mezi peněžními příjmy a výdaji podniku. Patří mezi hlavní ukazatele schopnosti firmy produkovat finanční zdroje pro vlastní investice či jakýkoli jiný záměr. Mezi příjmy a výdaje lze zařadit čistý zisk po zdanění, odvedenou daň, úroky či fixní náklady pro provoz.^[35]

8.4 Prostá doba návratnosti a diskontovaná doba návratnosti

Prostou dobou návratnosti je rozuměno uplynulé období, za které se investované peníze do daného business plánu vrátí. Prostá doba návratnosti patří k nejjednodušším a nejběžnějším výpočtům pro zcela prvotní rozvahu investic. Nevýhodou určení prosté doby návratnosti je především zanedbání odlišné hodnoty peněz po určitém období. Proto je dále užívána ještě další

metoda k zjištění doby návratnosti a tou je diskontovaná doba návratnosti. V tomto postupu je již zahrnuta hodnota peněz za uplynulé období, jelikož je počítáno se stanovenou diskontní mírou a tedy celkový výpočet je přepočítán na odhadovanou budoucí hodnotu peněz.

Prostá doba návratnosti vychází podle vzorce:

$$T_{pdn} = \frac{IN}{CF}, \quad 8.1$$

kde IN jsou investiční náklady a CF peněžní tok. Podle zadaných hodnot, kde odhadované cash flow se rovná 20 mil. Kč a investiční náklady by byly 100 mil. Kč, vychází prostá doba návratnosti přibližně na 5 let.

S diskontovanou dobou návratnosti podle vztahu:

$$T_{pdn} = \frac{IN}{DCF}, \quad 8.2$$

kde diskontovaný cash flow je vyjádřen: ^[36]

$$DCF = \frac{CF}{(1 + \text{diskont})^t}. \quad 8.3$$

Diskontovaná doba návratnosti je po dosazení téměř 14 let.

Podle Energetického regulačního úřadu se doba návratnosti pohybuje kolem 16 let.

8.5 Čistá současná hodnota

Z pohledu dlouholeté doby návratnosti je zapotřebí vypočítat Net Present Value, neboli v překladu čistou současnou hodnotu, která říká, zda je investor v plusových číslech ve svém projektu, nebo nikoliv. Nulová hodnota NPV je také možná, říká doslova to, že uvažovaná investice nic nepřinese, ale také nic nevezme.

$$NPV = \sum_1^t \frac{CF}{(1 + \text{diskont})^t} - IN, \quad 8.4$$

kde t označuje dobu životnosti nebo stanovený čas podnikání, CF je cash flow a IN představuje vloženou počáteční investici. ^[36]

8.5.1 Výpočet čisté současné hodnoty

Doba návratnosti je zvolena 20 let, jež je předpokládaná doba životnosti celé větrné elektrárny. Předpokládané období, které je zvoleno, samozřejmě neznamená naprosté ukončení

funkčnosti daného zdroje elektrické energie. Elektrárna by i po 20 letech, například po vyžádaném specializovaném servisu, mohla být v provozu i nadále.

Diskont byl určen již dříve na 15-ti % hodnotu.

Investice celkové výstavby byla stanovena podle zjištěných informací přímo od dodavatele větrné turbíny pod obchodní značkou VESTAS. Byl jsem informován, že jeden nainstalovaný megawatt elektrického výkonu se dá určit ze stanoviska 1,1 až 1,2 mil. EUR/MW. Při kurzu 27 Kč za 1 € vychází 32,4 mil. Kč za 1 MW v té horní hranici cenového rozsahu. Mé odvození pořizovací ceny vychází z předpokladu, z kterého vychází Energetický regulační úřad pro výpočet tarifů. Jedná se o finanční rozpětí 38 000 až 44 000 Kč za instalovanou kilowatthodinu. Po přepočtu vyjde 88 mil. Kč za 2 MW. Automaticky po zaokrouhlení budou další výpočty provedeny s hodnotou 90 mil. Kč plus 10 mil. Kč nedefinované rezervy pro nepříznivý vývoj výstavby. Celková suma je 100 mil. Kč, jež představuje úplnou vloženou investici do projektu výstavby. V této ceně uvažuji vypracovaný projekt se všemi náležitostmi pro povolení stavby, dále veškeré pořizovací náklady na jednotlivé součásti větrné elektrárny, jako je železobetonový základ, věž, zcela vybavená gondola obsahující jednak elektrozařízení turbíny i mechanické prvky, rotor, kontrolní systém, elektrickou instalaci připojení elektrárny do distribuční sítě, cenu přípojky. V sumě také nechybí pozemkové vypořádání, terénní úpravy a spojovací cesta s nejbližší komunikací.

Příjem z prodeje přeměněné elektrické energie za časové období jeden rok je vypočítán a následně použit, jako hlavní vodítko k určení hrubého příjmu. Výkupní cena elektrické energie vyrobené z větrné elektrárny opět stanovuje Energetický regulační úřad a stejně tak je zde uveden i tzv. zelený bonus, jež hraje roli jakéhosi dotačního programu. Výkupní cena je předepsána částkou 2 020 Kč/MW a zelený bonus je vytyčen 1 520 Kč/MW. ^[37] Celkový součet těchto cenových rozhodnutí se rovná 3 540 Kč/MW. Vynásobením celkové sumy cen a vyrobenou elektrickou energií za rok vychází zisk, který je ještě před zdaněním zkrácen odpisem počáteční investice výstavby. Investice se odepisuje rovnoměrně po dobu 20-ti let, tedy po celkový čas plánovaného provozu. Sazba daně je stanovena na 19% pro právnické osoby zákonem č. 586/1992 Sb.

Mezi fixní náklady větrné elektrárny jsou zahrnuty odhadnuté ceny servisu a důležité kontroly funkčnosti stroje, popřípadně revize. Nejvyšší částkou mezi stálými náklady je bezpochyby komplexní pojištění proti negativním vlivům počasí. Výdej za běžný provoz elektrárny je stanoven částkou 800 000 Kč s předpokladem, že každým rokem se suma navyšuje o dvou procentní inflaci, o které bylo pojednáno v kapitole 8.2.

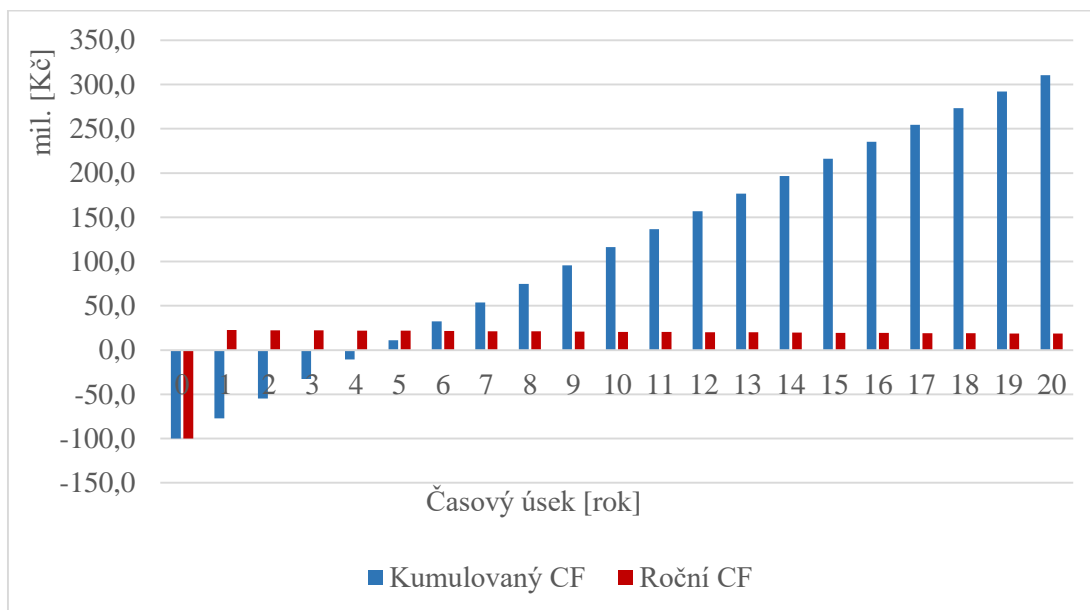
Pro výsledné cash flow jednotlivých časových období, se fixní náklady na provoz odečtou od zisku po zdanění a následným diskontováním peněžního toku je spočten diskontovaný cash flow jednotlivých let. Sečtením všech diskontovaných cash flow se dostane čistá současná hodnota, která zhruba činí 34 mil. Kč. Tato hodnota je velice příznivá pro ekonomicky-technickou rozvahu, jelikož vezme-li se v potaz, že NPV udává vrácení všech vložených investičních prostředků do stavby větrné elektrárny, nebo splacení úvěru v celém rozsahu a zároveň je investor za dvacet let bohatší o 34 mil. Kč. Ze všech určených předpokladů, je investice do větrné turbíny v současné době rentabilní.

Čas [rok]	Energie za rok [MWh]	Příjem z prodeje elektřiny [Kč]	Výdej za běžný provoz [Kč]	Odpis [Kč]	Zisk před zdaněním [Kč]	Daň ze zisku [Kč]	DCF [Kč]
0							-100 000 000
1	7 800	27 612 000	-800 000	-5 000 000	21 812 000	-4 144 280	19 711 061
2	7 722	27 335 880	-816 000	-5 000 000	21 519 880	-4 088 777	16 961 136
3	7 645	27 062 521	-832 320	-5 000 000	21 230 201	-4 033 738	14 594 535
4	7 568	26 791 896	-848 966	-5 000 000	20 942 930	-3 979 157	12 557 858
5	7 493	26 523 977	-865 946	-5 000 000	20 658 031	-3 925 026	10 805 145
6	7 418	26 258 737	-883 265	-5 000 000	20 375 473	-3 871 340	9 296 830
7	7 344	25 996 150	-900 930	-5 000 000	20 095 220	-3 818 092	7 998 861
8	7 270	25 736 188	-918 949	-5 000 000	19 817 240	-3 765 276	6 881 924
9	7 197	25 478 827	-937 328	-5 000 000	19 541 499	-3 712 885	5 920 792
10	7 125	25 224 038	-956 074	-5 000 000	19 267 964	-3 660 913	5 093 748
11	7 054	24 971 798	-975 196	-5 000 000	18 996 602	-3 609 354	4 382 101
12	6 984	24 722 080	-994 699	-5 000 000	18 727 380	-3 558 202	3 769 764
13	6 914	24 474 859	-1 014 593	-5 000 000	18 460 266	-3 507 450	3 242 890
14	6 845	24 230 110	-1 034 885	-5 000 000	18 195 225	-3 457 093	2 789 564
15	6 776	23 987 809	-1 055 583	-5 000 000	17 932 226	-3 407 123	2 399 528
16	6 708	23 747 931	-1 076 695	-5 000 000	17 671 237	-3 357 535	2 063 954
17	6 641	23 510 452	-1 098 229	-5 000 000	17 412 223	-3 308 322	1 775 247
18	6 575	23 275 347	-1 120 193	-5 000 000	17 155 154	-3 259 479	1 526 867
19	6 509	23 042 594	-1 142 597	-5 000 000	16 899 997	-3 210 999	1 313 188
20	6 444	22 812 168	-1 165 449	-5 000 000	16 646 719	-3 162 877	1 129 368
NPV = 34 214 361 Kč							

Tabulka 10: Hodnoty pro výpočet NPV

Časový úsek je v tabulce 9 vyjádřen od 0, kdy započala investice do stavby a končí rokem 20. V tabulce nejsou uvedeny specifické roky, jelikož by to nemělo žádný širší význam. Přeměňená roční energie je v tabulce klesající každým rokem o 1 %. Uvažuji mírný pokles účinnosti a zároveň je to předpoklad pro různou průměrnou rychlost v každém roce. Rozhodnutí plyne z odhadu pro nepříliš optimistická čísla.

V grafu 11 je zobrazen průběhu ročního peněžního toku s kumulovaným cash flow.



Graf 10: Roční a kumulovaný CF v průběhu provozu VtE

8.6 Vnitřní výnosové procento

Vnitřním výnosovým procentem je rozuměna míra procenta, kolik daná investice vydělá, tedy trvalý roční výnos business plánu. Jednoduše by se dalo napsat, že je to diskontní míra, která má za následek nulové čisté současné hodnoty po určenou dobu životnosti projektu. Lze vyjádřit:

$$NPV = 0 = \sum_1^t \frac{CF}{(1 + IRR)^t} - IN, \quad 8.5$$

kde NPV je čistá současná hodnota, t předpokládaná doba životnosti, IRR vnitřní výnosové procento a IN jsou počáteční investice. ^[36]

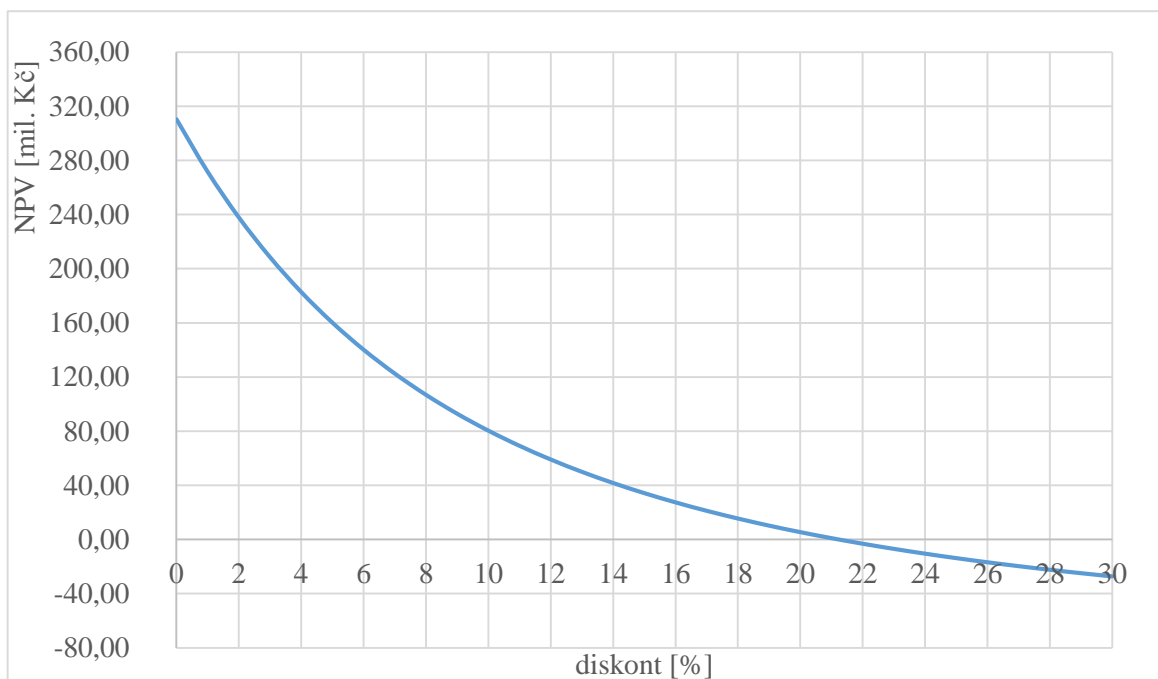
Je-li dosazeno do vzorce počáteční investice 100 mil. Kč, cash flow z tabulky 8 za každý rok po dobu 20 let, vyjde vnitřní výnosové procento cca 21,2 %.

8.7 Citlivostní analýza

V následující studii budou stanoveny rozličné diskontní míry a hraniční cenové relace, na kterých jsou závislé výsledné hodnoty ke stanovení efektivnosti ekonomické rozvahy investice. V prvotní analýze je volena diskontní míra v rozmezí, ve kterém se daná investice vyplatí až do hodnoty, kdy se čistá současná hodnota dostane do červených čísel. Následně bude suma výkupní ceny a zeleného bonusu posuzována, v jakých mezích je investice ještě rentabilní. Na závěr bude čistá současná hodnota vyhodnocována na základě roční průměrné hodnoty produkce, a také pak na počáteční investici.

8.7.1 Vliv diskontu na hodnotu NPV

Diskont má významný vliv na výslednou hodnotu NPV. Proto volba diskontu bývá nejtěžší úkol, z celého seznamu výpočtů. Při volbě malého diskontu bývá výsledné NPV velmi vysoké a tím i dosti lákavé, ovšem nese to s sebou skryté obtíže. Volba vyššího diskontu je vždy příznivější pro další vyhodnocování dané situace. Z grafu 12 je patrné, že NPV se stává záporné, pro diskontní míru, která je vyšší než vnitřní výnosové procento, tedy hodnoty převyšující 21,2 %.

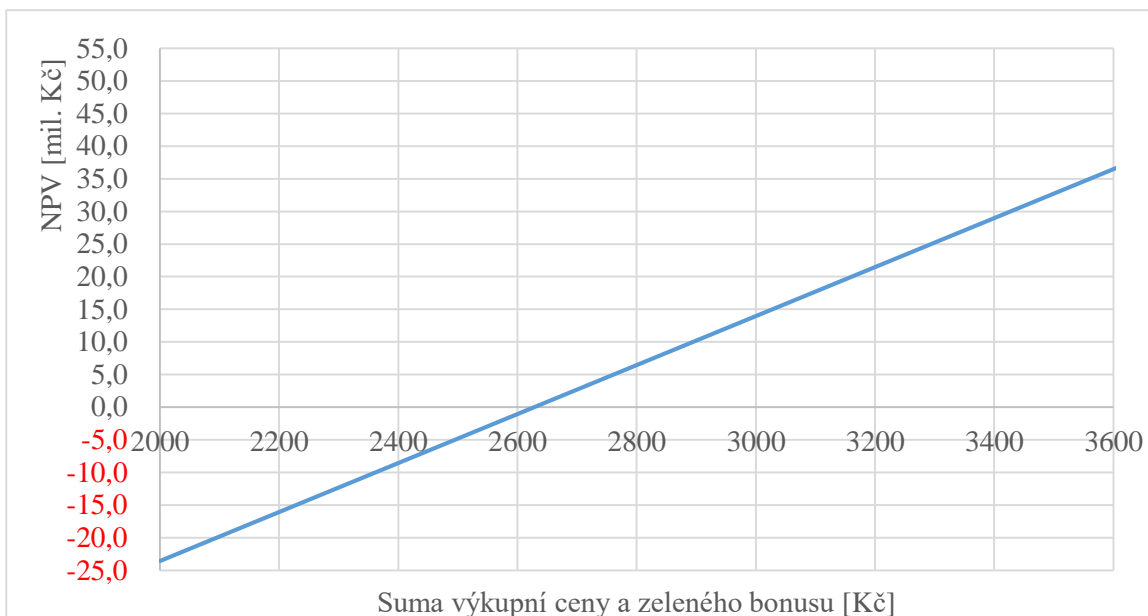


Graf 11: Vliv diskontu na NPV

8.7.2 Vliv sumy výkupní ceny se zeleným bonusem

Suma výkupní ceny je v základním výpočtu, z kterého vycházím, 3 520 Kč dle platného cenového rozhodnutí ERÚ. V následujícím grafickém znázornění je vyjádřen průběh, ve kterém je závislost NPV na celkové sumě ceny za přeměněnou jednotku elektrické energie.

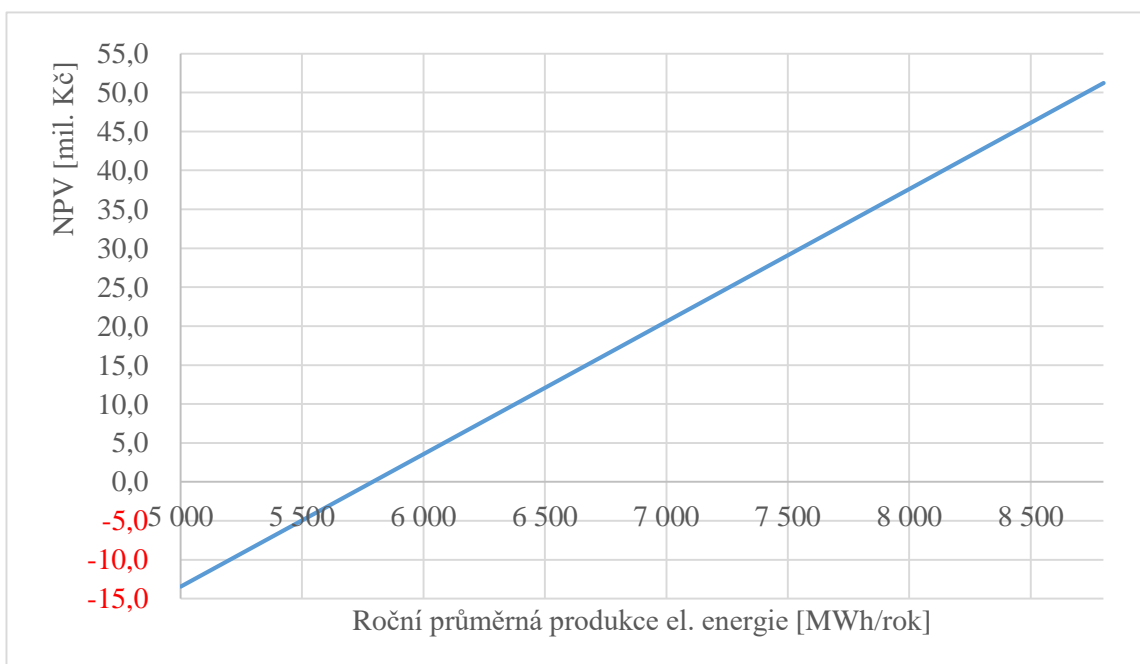
Hodnota NPV, počítala by se bez zeleného bonusu, tedy pouze s výkupní cenou 2020 Kč/MW, vychází 22,5 mil. Kč v mínusu. Jako nejnižší cena, alespoň pro minimální kladné NPV, musí překročit sumu výkupní ceny a zeleného bonusu 2 630 Kč. Nižší čísla cen jsou nepřipustná pro rentabilitu projektu.



Graf 12: Vliv ceny za přeměněnou jednotku energie na NPV

8.7.3 Vliv roční produkce elektrické energie

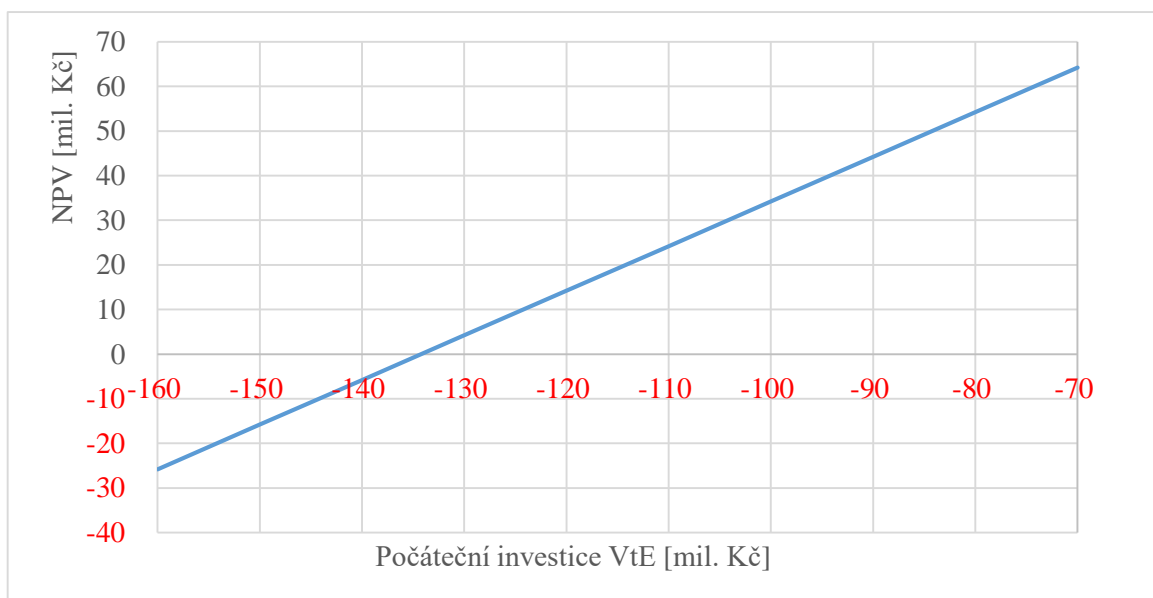
Výkupní cena a roční produkce patří mezi klíčové parametry pro ekonomické hodnocení. Roční produkce elektrické energie byla vypočítána na základě zjištěných dat dané lokality. Další hodnota roční produkce byla odečtena z průběhu závislého na průměrné roční rychlosti větru. V grafu 14 je znázorněn průběh NPV v závislosti na roční průměrné produkci. Při množství roční přeměněné energie, která je odečtena z grafu 9 převyšuje NPV neuvěřitelných 50 mil. Kč. Na druhé straně nulová hodnota NPV je při roční průměrné produkci elektrické energie 5 790 MWh/rok.



Graf 13: Vliv roční průměrné produkce el. energie na NPV

8.7.4 Vliv počáteční ceny investice výstavby větrné elektrárny

Poslední činitel, který by mohl významným způsobem ovlivnit ekonomickou rozvahu, je samotná počáteční investice. Podle ERÚ byla hodnota pořizovací investice a celkový průběh výstavby nastavena na 100 mil. Kč. Kdyby bylo počítáno s cenou, jíž uvedl distributor dané značky, tak by investice dosahoval přibližně 70 mil. Kč. V průběhu (graf 15) je opět vyznačeno NPV, ale tentokrát v závislosti právě na pořizovací investici. Maximální pořizovací cena větrné elektrárny se všemi náležitostmi k dosažení nulového NPV je 134,2 mil Kč.



Graf 14: Vliv investice výstavby VtE na NPV

8.8 Shrnutí ekonomické rozvahy

Ke stanovení ekonomické rozvahy byly prvotně vytyčeny základní parametry, jako počáteční investice výstavby, prodejní cena jednotkové vyprodukované elektrické energie a diskontní míra. Podle těchto nejpodstatnějších parametrů, byla spočítána čistá současná hodnota, která při počáteční investici 100 mil. Kč, diskontní míře 15 % a sumy výkupní ceny a zeleného bonusu 3 540 Kč/MWh nabývá přes 34 mil. Kč. Diskontovaná doba návratnosti vychází na 14 let. Ze všech získaných skutečností po finanční stránce věci vyplývá, že výstavba by mohla dostat „zelenou“.

Vytvořená citlivostní analýza zkoumá, pro jaké vstupní parametry je NPV kladné a naopak. V první řadě je analyzován vliv diskontu, dále suma výkupní ceny a zeleného bonusu, roční průměrná produkce elektrické energie nebo i počáteční investice pro výstavbu větrné elektrárny.

V analýze by se ještě dali zkoumat jiné vstupní parametry výpočtu NPV, například výši pojištění, nebo „roční daň“ obci ke svolení stavebnímu povolení na jejím území, nicméně se nejedná o takové cenové relace, které by podstatným způsobem změnily průběh výsledků.

9. Závěr

Výstavba větrné elektrárny, jak jsme zvyklí v naší zeměpisné šířce, se nekoná v těsné blízkosti u obydlených částí. Obyvatelé mají převážně negativní postoj pro výstavbu tohoto druhu energetického zdroje u svých obydlí. Tento odpor pramení z nepříliš příjemného dopadu na krajinný ráz a především z hluku, který je asi klíčový těchto typů staveb. Proto je tu myšlenka pro výstavbu větrné elektrárny u dálnice D1 a záměrně v kraji Vysočina, který má nadmíru kvalitní povětrnostní podmínky pro větrnou energetiku. Je zde zásadní otázka proč právě u dálnice. Není zde skryto nic jiného, než důvod poškození krajinného rázu, který dálnice jistě má za následek, ale také značný hluk vydávaný důsledkem projíždějící hustou dopravou. Porovnájí-li se tyto dvě stavby jako je větrná elektrárna a dálnice, mají minimálně dva jmenované důvody společné. Proto výstavba větrné elektrárny u nejvytíženější dálnice v České republice má velký potenciál.

Stavba by mohla být realizována přibližně na 85km směrem na Prahu, kde nadmořská výška povrchu přesahuje 500 m n.m. Pro tuto oblast by se hodila nejedna větrná elektrárna, zde by mohla být postavena celá farma větrných turbín.

Větrná elektrárna, která je navržena pro lokalitu u dálnice D1, je od firmy VESTAS. Jde o typ V110, který má vysoký účinek při výrobě elektrické energie v nepříliš větrných lokalitách, jež má Česká republika převažující počet. I když Kraj Vysočina se může chlubit svými povětrnostními podmínkami v porovnání s ostatními kraji, stále se jedná o nižší čísla. Typ větrné elektrárny V110 najíždí už při rychlosti větru 3 m/s a je odstavována při rychlostech 20 m/s kvůli bezpečnosti celkového zařízení. Jmenovitý výkon této elektrárny činí 2 MW. Jde se o větrnou elektrárnu s průměrem rotoru 110 m a roční výrobou energie při vypočítané průměrné rychlosti větru 7,4 m/s ve 110m nad povrchem okolo 8 000 MWh.

Zadáním této diplomové práce byl také návrh připojení zdroje do elektrizační soustavy. Plán je připojit větrnou elektrárnu do rozvodny 22 kV, kde podle zjištěných a dopočítaných hodnot rázového zkratového výkonu je analyzována možná připojitelnost a vliv provozu větrné turbíny na distribuční soustavu. Vše nasvědčuje k bezproblémovému připojení a chodu bez negativních překážek.

Na závěr této práce byla spočítána efektivnost celého projektu. Při zvoleném diskontu, predikované roční produkci a zjištěné ceny za jednotku výkonu vyšla čistá současná hodnota za dobu 20-ti let přibližně 34 mil. Kč. I když byly záměrně voleny poměrně pesimistické investiční náklady na výstavbu, vychází celkový závěr pro výstavbu a vložená investice by byla tedy efektivní.

Z mého pohledu je myšlenka výstavby větrné elektrárny u dálnice, nejlepší řešení. Proč stavět v natolik nedotčené přírodě, která vypadá skvostně bez zásahu člověka, když se dají tyto nepřehlédnutelné věže postavit v místech, kde v žádném případě nebudou zásadním způsobem vadit svým hlukem a monstrózním zásahem do krajiny.

10. Seznam použité literatury

- [1] Csve. Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/statistika/281>
- [2] GARRETT, Peter a Klaus RØNDE. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V126-3.3 MW Wind Plant [online]. 2014 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/~media/vestas/about/sustainability/pdfs/lcav12633mwfinal060614.pdf>
- [3] Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/energeticky-mix-cr/485>
- [4] Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/vetrne-elektrarny-v-evrope/282>
- [5] SCHAFFARCZYK, Alois a Gunther ROTH (překl.). Understanding wind power technology. 2014, s. 126. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [6] SCHAFFARCZYK, Alois a Gunther ROTH (překl.). Understanding wind power technology. 2014, s. 74. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Betzovo_pravidlo
- [8] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1563-7.
- [9] Wiatr [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://krawat60.vot.pl/elektrownie-wiatrowe/>
- [10] SCHAFFARCZYK, Alois a Gunther ROTH (překl.). Understanding wind power technology. 2014, s. 225. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [11] SCHAFFARCZYK, Alois a Gunther ROTH (překl.). Understanding wind power technology. 2014, s. 126. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [12] MPOWERUK. Electrical Machines - Generators (Description and Applications) [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/generators.htm#pmsg>
- [13] Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator (Phasor Type). MathWorks [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/windturbinedoublyfedinductiongeneratorphasortype.html#bqs2x4j>
- [14] ČSVE. Výroba rotorového listu větrné elektrárny [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vyroba-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/315>
- [15] SCHAFFARCZYK, Alois a Gunther ROTH (překl.). Understanding wind power technology. 2014, s. 254. ISBN 978-1-118-64751-6.
- [16] Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://krawat60.vot.pl/elektrownie-wiatrowe/>
- [17] Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/betonovy-zaklad/305>
- [18] BURTON, Tony. Wind energy handbook. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-69975-1.
- [19] SKLENIČKA Petr, VOREL Ivan. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2009 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa_metodika_oze/\\$FILE/oued-metodika_umisteni_vetrnych_a_fotovoltaickych_elektraren-20100312.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa_metodika_oze/$FILE/oued-metodika_umisteni_vetrnych_a_fotovoltaickych_elektraren-20100312.pdf)

- [20] Větrné elektrárny a životní prostředí [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/05.html>
- [21] Ústav fyziky atmosféry České Republiky [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf
- [22] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK, Jacek KERUM, Jaroslav SVOBODA a Josef ŠTEKL. Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03 [online]. 2004 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/zprava.pdf>
- [23] JIRÁSKA, Aleš. Hluk větrných elektráren [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.csve.cz/pdf/cz/Hluk_vetrnych_elektraren.pdf
- [24] KOLLU, Ravindra, Srinivasa Rao RAYAPUDI a Krishna Mohan PAKKURTHI. Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions [online]. 2012 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-3-27>
- [25] ŽÁK, Libor. Popisná statistika [online]. 2006 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: http://mathonline.fme.vutbr.cz/download.aspx?id_file=475
- [26] Turbine wind class. VESTAS [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://cvi.se/uploads/pdf/Master%20Literature/Wind%20Turbine%20Technology/Turbine_wind_class.pdf
- [27] VESTAS Turbine V110 2 MW. VESTAS [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.vestas.com/en/products/turbines/v110-2_0_mw#!
- [28] MASTNÝ, Pet, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie [online]. , 254 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: https://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-2-OZE.pdf
- [29] VYHLÁŠKA o podmínkách připojení k elektrizační soustavě [online]. 2006, 13 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/474307/51_2006_ve+zneni_82_11_KZ.pdf/92e74c62-f2d0-4fca-bba7-113a36127421
- [30] Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí nízkého nebo vysokého napětí PLDS. PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ LOKÁLNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [online]. , 159 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.psptsl.cz/Energie/pravidla_provozovani.pdf
- [31] VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ [online]. , 3 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova/PE/Soubory/Vypocet%20Ik.pdf>
- [32] Měření parametrů transformátorů [online]. , 6 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/images_laboratory/Trafa/Navody/04_Mereni_parametru_transformatoru.pdf
- [33] Katastr nemovitostí. IKATASTR [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.ikatastr.cz/#ilon=15.430124&zoom=15&lat=49.55416&lon=15.3368&layers_3=000B0FFFTFT
- [34] Úspory a investice. Finanční gramotnost [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.nenechsedojit.cz/urokove-miry>
- [35] FIALOVÁ, Helena a Jan FIALA. Ekonomický slovník. Praha: A plus, 2009, s. 312. ISBN 978-80--903804-4-8.

- [36] Ekonomická efektivnost investic. Tzb-info [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [37] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2015 ze dne 19. listopadu 2015, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_6_2015/e64aff61-1df9-485e-b3fe-56bef976440b
- [38] WINDYTY [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://www.windyty.com/?49.562,15.313,16>

11. Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa Evropy s nainstalovaným výkonem VtE z roku 2014	13
Obrázek 2: Působící síly na profil listu rotoru	18
Obrázek 3: Strojovna větrné elektrárny VESTAS	20
Obrázek 4: Princip funkce DFIG	22
Obrázek 5: Fyzikální děj systému DFIG	22
Obrázek 6: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a dálniční síť ČR	26
Obrázek 7: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a lokality s výskytem ohrožených ptáků	27
Obrázek 8: Vyznačené průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem a vyznačené chráněné krajinné oblasti s národními parky	27
Obrázek 9: Umístění záměru výstavby s vyznačením nadmořské výšky.....	36
Obrázek 10: Mapa ČR a průměrný počet hodin námrazy za rok	37
Obrázek 11: Větrná turbína a průměrná roční rychlost větru ve specifické výšce. Vizualizace na plánovaném místě.....	39
Obrázek 12: Schéma pro výpočet rázového zkratového výkonu v přípojném bodě.	46
Obrázek 13. Schéma impedancí pro výpočet rázového zkratového výkonu v přípojném bodě.....	46
Obrázek 14: Schéma zapojení VtE do distribuční soustavy.....	49
Obrázek 15: Kabelová trasa od větrné elektrárny k humpolecké rozvodně 22 kV	50
Obrázek 16: Zapojení výroby v paralelním provozu se sítí	51

12. Seznam tabulek a grafů

12.1 Seznam tabulek

Tabulka 1: Energetický mix České republiky z roku 2014	12
Tabulka 2: Evropských států s nainstalovaným výkonem VtE z roku 2014	12
Tabulka 3: Spočítané rychlosti větru v určité výšce nad zemským povrchem.....	17
Tabulka 4: Průměrné měsíční rychlosti větru pro zvolenou lokalitu.....	29
Tabulka 5: Vypočítané hodnoty tvarového činitele a jejich rozdíly.....	30
Tabulka 6: Statistické třídy s četnostmi.....	33
Tabulka 7: Třídy větru pro větrné turbíny	38
Tabulka 8: Parametry generátoru VtE	40
Tabulka 9: Roční množství vyrobené energie pro výkonovou charakteristiku	41
Tabulka 10: Hodnoty pro výpočet NPV	56

12.2 Seznam grafů

Graf 1: Graf energetického mixu České republiky	11
Graf 2: vyznačující maximum funkce \dot{E}	16
Graf 3: Průběh Weibullova rozdělení.....	31
Graf 4: Weibullovo rozdělení po přepočtu osy Y	31
Graf 5: Histogram četností průměrných rychlostí větru.....	34
Graf 6: Weibullovo rozdělení s histogramem četností průměrných rychlostí větru.....	34
Graf 7: Větrná růžice pro převládající směr větru v závislosti na průměrné rychlosti.....	35
Graf 8: Výkonová charakteristika větrné elektrárny	40
Graf 9: Roční produkce elektrické energie v závislosti na průměrné roční	42
Graf 10: Průběh změny napětí pro jednotlivé spínací rázy generátoru	48
Graf 11: Roční a kumulovaný CF v průběhu provozu VtE.....	57
Graf 12: Vliv diskontu na NPV	58
Graf 13: Vliv ceny za přeměněnou jednotku energie na NPV	59
Graf 14: Vliv roční průměrné produkce el. energie na NPV.....	59
Graf 15: Vliv investice výstavby VtE na NPV.....	60

13. Příloha A

13.1 Průměrné rychlosti a směry větru ve výšce 10 m nad povrchem v jednotlivých dnech v roce 2015 ^[38]

Leden			Únor		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.1.15	3,18	255	1.2.15	3,30	231
2.1.15	6,51	250	2.2.15	2,89	204
3.1.15	6,00	254	3.2.15	2,97	219
4.1.15	6,97	290	4.2.15	1,60	285
5.1.15	5,86	288	5.2.15	4,12	54
6.1.15	2,07	181	6.2.15	5,26	64
7.1.15	2,68	201	7.2.15	3,69	293
8.1.15	4,80	214	8.2.15	7,97	309
9.1.15	8,03	255	9.2.15	7,86	284
10.1.15	8,57	263	10.2.15	4,62	285
11.1.15	7,27	269	11.2.15	1,80	208
12.1.15	7,10	246	12.2.15	2,73	131
13.1.15	5,24	209	13.2.15	3,40	129
14.1.15	5,57	232	14.2.15	3,76	118
15.1.15	4,57	170	15.2.15	5,19	103
16.1.15	3,74	132	16.2.15	5,17	102
17.1.15	2,86	272	17.2.15	3,62	143
18.1.15	1,18	153	18.2.15	0,99	252
19.1.15	1,76	115	19.2.15	1,64	228
20.1.15	1,82	125	20.2.15	2,77	180
21.1.15	2,42	145	21.2.15	2,57	117
22.1.15	3,27	77	22.2.15	2,40	273
23.1.15	3,10	283	23.2.15	3,35	195
24.1.15	3,48	317	24.2.15	2,79	265
25.1.15	5,82	313	25.2.15	2,59	311
26.1.15	4,86	314	26.2.15	1,69	218
27.1.15	4,28	312	27.2.15	2,12	145
28.1.15	4,75	310	28.2.15	1,73	259
29.1.15	4,55	311			
30.1.15	4,65	312			
31.1.15	4,65	312			
Průměr	4,57	237,99		3,38	200,15

Březen			Duben		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.3.15	4,65	210	1.4.15	9,95	280
2.3.15	7,05	239	2.4.15	8,70	276
3.3.15	7,13	250	3.4.15	6,05	283
4.3.15	5,54	268	4.4.15	2,78	153
5.3.15	4,44	297	5.4.15	3,26	204
6.3.15	2,83	289	6.4.15	3,74	201
7.3.15	1,60	210	7.4.15	4,45	301
8.3.15	3,15	142	8.4.15	4,83	281
9.3.15	2,18	113	9.4.15	2,06	183
10.3.15	1,77	229	10.4.15	1,51	171
11.3.15	4,92	327	11.4.15	3,55	229
12.3.15	3,85	335	12.4.15	3,39	272
13.3.15	3,00	134	13.4.15	5,75	284
14.3.15	2,00	81	14.4.15	4,29	272
15.3.15	6,92	113	15.4.15	5,27	259
16.3.15	8,83	122	16.4.15	4,06	274
17.3.15	6,64	117	17.4.15	3,28	321
18.3.15	3,30	99	18.4.15	4,94	323
19.3.15	1,80	81	19.4.15	2,73	270
20.3.15	1,75	152	20.4.15	5,74	318
21.3.15	2,87	254	21.4.15	6,23	307
22.3.15	3,64	57	22.4.15	3,66	228
23.3.15	1,54	114	23.4.15	1,10	182
24.3.15	2,52	163	24.4.15	2,53	253
25.3.15	5,45	114	25.4.15	2,74	217
26.3.15	3,68	201	26.4.15	2,72	222
27.3.15	5,98	286	27.4.15	3,74	167
28.3.15	4,62	272	28.4.15	6,31	316
29.3.15	6,27	233	29.4.15	3,36	183
30.3.15	8,95	265	30.4.15	2,62	197
31.3.15	10,04	250			
Průměr	4,48	194,01		4,18	247,49

Květen			Červen		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.5.15	2,13	190	1.6.15	2,18	192
2.5.15	3,38	233	2.6.15	3,38	233
3.5.15	4,20	271	3.6.15	4,20	271
4.5.15	3,46	95	4.6.15	3,43	95
5.5.15	2,66	101	5.6.15	2,68	101
6.5.15	1,72	132	6.6.15	1,73	130
7.5.15	2,18	111	7.6.15	2,14	112
8.5.15	3,94	34	8.6.15	3,94	34
9.5.15	3,93	57	9.6.15	3,93	57
10.5.15	2,96	45	10.6.15	3,02	33
11.5.15	1,59	155	11.6.15	2,85	57
12.5.15	3,62	182	12.6.15	2,93	154
13.5.15	3,13	248	13.6.15	2,28	160
14.5.15	3,80	217	14.6.15	1,91	173
15.5.15	1,68	113	15.6.15	4,06	287
16.5.15	3,11	277	16.6.15	3,08	120
17.5.15	4,72	302	17.6.15	3,33	297
18.5.15	2,81	176	18.6.15	4,71	266
19.5.15	2,98	250	19.6.15	4,55	278
20.5.15	4,52	308	20.6.15	4,25	290
21.5.15	3,95	196	21.6.15	3,04	228
22.5.15	3,80	128	22.6.15	2,68	150
23.5.15	3,80	37	23.6.15	5,16	252
24.5.15	2,84	138	24.6.15	4,52	246
25.5.15	2,58	312	25.6.15	1,27	165
26.5.15	5,42	320	26.6.15	2,83	271
27.5.15	5,55	311	27.6.15	3,66	272
28.5.15	2,84	249	28.6.15	4,75	270
29.5.15	2,53	213	29.6.15	1,89	264
30.5.15	4,83	260	30.6.15	1,95	192
31.5.15	2,12	199			
Průměr	3,31	188,97		3,21	188,29

Červenec			Srpen		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.7.15	2,52	63	1.8.15	4,65	117
2.7.15	3,31	89	2.8.15	2,01	136
3.7.15	2,33	116	3.8.15	1,62	112
4.7.15	1,71	177	4.8.15	2,78	164
5.7.15	1,84	191	5.8.15	3,35	248
6.7.15	3,73	213	6.8.15	1,53	135
7.7.15	2,24	153	7.8.15	2,70	118
8.7.15	3,08	153	8.8.15	3,08	153
9.7.15	1,77	166	9.8.15	1,77	166
10.7.15	3,85	109	10.8.15	3,85	113
11.7.15	1,51	183	11.8.15	1,26	148
12.7.15	3,27	274	12.8.15	1,49	105
13.7.15	5,14	284	13.8.15	3,97	67
14.7.15	5,45	269	14.8.15	5,12	133
15.7.15	3,72	264	15.8.15	2,21	190
16.7.15	1,96	213	16.8.15	2,76	150
17.7.15	1,53	183	17.8.15	4,88	185
18.7.15	3,40	246	18.8.15	2,30	294
19.7.15	3,98	242	19.8.15	1,80	263
20.7.15	3,59	280	20.8.15	4,61	302
21.7.15	3,10	262	21.8.15	3,07	239
22.7.15	1,64	177	22.8.15	3,53	146
23.7.15	3,84	180	23.8.15	2,97	252
24.7.15	3,21	85	24.8.15	3,10	299
25.7.15	5,95	235	25.8.15	3,90	317
26.7.15	4,43	231	26.8.15	3,28	218
27.7.15	5,08	232	27.8.15	3,17	153
28.7.15	6,31	248	28.8.15	3,00	255
29.7.15	4,49	251	29.8.15	1,48	73
30.7.15	4,35	278	30.8.15	1,66	126
31.7.15	2,36	194	31.8.15	2,14	135
Průměr	3,38	201,25		2,87	177,67

Září			Říjen		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.9.15	2,80	238	1.10.15	3,57	98
2.9.15	3,32	290	2.10.15	4,58	106
3.9.15	1,47	130	3.10.15	4,34	135
4.9.15	3,13	261	4.10.15	1,58	210
5.9.15	4,38	266	5.10.15	1,82	208
6.9.15	8,73	278	6.10.15	3,99	117
7.9.15	6,29	281	7.10.15	2,22	123
8.9.15	3,93	293	8.10.15	1,76	300
9.9.15	2,24	133	9.10.15	2,24	170
10.9.15	3,70	67	10.10.15	4,13	66
11.9.15	4,21	107	11.10.15	5,43	45
12.9.15	3,11	137	12.10.15	3,27	47
13.9.15	6,53	125	13.10.15	3,84	101
14.9.15	5,06	187	14.10.15	2,45	95
15.9.15	2,34	193	15.10.15	4,31	97
16.9.15	2,76	150	16.10.15	1,85	274
17.9.15	4,90	185	17.10.15	1,88	254
18.9.15	2,30	294	18.10.15	0,76	124
19.9.15	1,80	263	19.10.15	2,23	251
20.9.15	4,63	314	20.10.15	3,82	290
21.9.15	3,07	239	21.10.15	3,56	290
22.9.15	3,53	146	22.10.15	3,81	258
23.9.15	2,97	252	23.10.15	3,85	281
24.9.15	3,08	298	24.10.15	2,40	140
25.9.15	3,90	317	25.10.15	2,46	283
26.9.15	3,86	248	26.10.15	3,01	120
27.9.15	3,88	213	27.10.15	4,90	115
28.9.15	3,93	132	28.10.15	5,69	124
29.9.15	4,48	42	29.10.15	1,99	195
30.9.15	4,97	58	30.10.15	1,54	128
			31.10.15	4,45	129
Průměr	3,84	204,58		3,15	166,86

Listopad			Prosinec		
Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]	Datum	Průměrná rychlost větru [m/s]	Průměrný směr větru [°]
1.11.15	4,35	129	1.12.15	8,04	288
2.11.15	2,87	114	2.12.15	4,40	272
3.11.15	2,65	120	3.12.15	2,14	212
4.11.15	0,94	249	4.12.15	3,72	212
5.11.15	1,17	284	5.12.15	2,71	210
6.11.15	1,98	235	6.12.15	4,04	200
7.11.15	4,23	247	7.12.15	2,52	191
8.11.15	4,22	247	8.12.15	2,78	138
9.11.15	7,15	256	9.12.15	2,99	264
10.11.15	8,46	273	10.12.15	2,45	226
11.11.15	5,52	267	11.12.15	4,56	216
12.11.15	4,07	250	12.12.15	5,12	246
13.11.15	4,05	210	13.12.15	5,23	273
14.11.15	8,33	272	14.12.15	1,65	152
15.11.15	10,17	263	15.12.15	1,71	196
16.11.15	6,02	265	16.12.15	2,53	153
17.11.15	6,96	247	17.12.15	3,88	209
18.11.15	9,36	260	18.12.15	2,99	229
19.11.15	9,35	254	19.12.15	2,37	189
20.11.15	5,60	263	20.12.15	3,80	143
21.11.15	3,52	290	21.12.15	4,70	206
22.11.15	4,28	278	22.12.15	6,43	237
23.11.15	5,25	253	23.12.15	4,04	237
24.11.15	2,82	202	24.12.15	2,46	157
25.11.15	3,16	180	25.12.15	4,70	234
26.11.15	2,65	309	26.12.15	5,04	235
27.11.15	1,76	225	27.12.15	3,59	232
28.11.15	5,48	263	28.12.15	2,15	173
29.11.15	9,57	225	29.12.15	3,68	107
30.11.15	10,78	265	30.12.15	5,94	117
			31.12.15	5,38	135
Průměr	5,22	239,72		3,80	202,80

13.2 Průměrné rychlosti větru v jednotlivých dnech a korigované hodnoty pro výšku 110 m nad povrchem

Leden			Únor		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.1.15	3,18	6,22	1.2.15	3,30	6,45
2.1.15	6,51	12,74	2.2.15	2,89	5,65
3.1.15	6,00	11,74	3.2.15	2,97	5,81
4.1.15	6,97	13,63	4.2.15	1,60	3,13
5.1.15	5,86	11,47	5.2.15	4,12	8,06
6.1.15	2,07	4,04	6.2.15	5,26	10,30
7.1.15	2,68	5,25	7.2.15	3,69	7,22
8.1.15	4,80	9,39	8.2.15	7,97	15,59
9.1.15	8,03	15,72	9.2.15	7,86	15,38
10.1.15	8,57	16,76	10.2.15	4,62	9,04
11.1.15	7,27	14,23	11.2.15	1,80	3,51
12.1.15	7,10	13,90	12.2.15	2,73	5,33
13.1.15	5,24	10,25	13.2.15	3,40	6,65
14.1.15	5,57	10,90	14.2.15	3,76	7,36
15.1.15	4,57	8,94	15.2.15	5,19	10,16
16.1.15	3,74	7,31	16.2.15	5,17	10,11
17.1.15	2,86	5,59	17.2.15	3,62	7,09
18.1.15	1,18	2,31	18.2.15	0,99	1,93
19.1.15	1,76	3,44	19.2.15	1,64	3,20
20.1.15	1,82	3,56	20.2.15	2,77	5,42
21.1.15	2,42	4,74	21.2.15	2,57	5,02
22.1.15	3,27	6,39	22.2.15	2,40	4,69
23.1.15	3,10	6,07	23.2.15	3,35	6,56
24.1.15	3,48	6,81	24.2.15	2,79	5,46
25.1.15	5,82	11,39	25.2.15	2,59	5,07
26.1.15	4,86	9,52	26.2.15	1,69	3,30
27.1.15	4,28	8,37	27.2.15	2,12	4,14
28.1.15	4,75	9,30	28.2.15	1,73	3,39
29.1.15	4,55	8,91			
30.1.15	4,65	9,09			
31.1.15	4,65	9,09			
Průměr	4,57	8,94		3,38	6,61

Březen			Duben		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.3.15	4,65	9,11	1.4.15	9,95	19,47
2.3.15	7,05	13,79	2.4.15	8,70	17,03
3.3.15	7,13	13,96	3.4.15	6,05	11,83
4.3.15	5,54	10,85	4.4.15	2,78	5,44
5.3.15	4,44	8,69	5.4.15	3,26	6,38
6.3.15	2,83	5,53	6.4.15	3,74	7,32
7.3.15	1,60	3,14	7.4.15	4,45	8,72
8.3.15	3,15	6,16	8.4.15	4,83	9,44
9.3.15	2,18	4,26	9.4.15	2,06	4,04
10.3.15	1,77	3,46	10.4.15	1,51	2,95
11.3.15	4,92	9,63	11.4.15	3,55	6,95
12.3.15	3,85	7,54	12.4.15	3,39	6,63
13.3.15	3,00	5,88	13.4.15	5,75	11,25
14.3.15	2,00	3,91	14.4.15	4,29	8,40
15.3.15	6,92	13,54	15.4.15	5,27	10,32
16.3.15	8,83	17,28	16.4.15	4,06	7,95
17.3.15	6,64	13,00	17.4.15	3,28	6,41
18.3.15	3,30	6,45	18.4.15	4,94	9,67
19.3.15	1,80	3,51	19.4.15	2,73	5,35
20.3.15	1,75	3,43	20.4.15	5,74	11,23
21.3.15	2,87	5,62	21.4.15	6,23	12,18
22.3.15	3,64	7,13	22.4.15	3,66	7,16
23.3.15	1,54	3,02	23.4.15	1,10	2,16
24.3.15	2,52	4,93	24.4.15	2,53	4,96
25.3.15	5,45	10,67	25.4.15	2,74	5,36
26.3.15	3,68	7,19	26.4.15	2,72	5,32
27.3.15	5,98	11,70	27.4.15	3,74	7,31
28.3.15	4,62	9,03	28.4.15	6,31	12,35
29.3.15	6,27	12,26	29.4.15	3,36	6,58
30.3.15	8,95	17,52	30.4.15	2,62	5,12
31.3.15	10,04	19,65			
Průměr	4,48	8,77		4,18	8,18

Květen			Červen		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.5.15	2,13	4,17	1.6.15	2,18	4,26
2.5.15	3,38	6,61	2.6.15	3,38	6,61
3.5.15	4,20	8,22	3.6.15	4,20	8,22
4.5.15	3,46	6,78	4.6.15	3,43	6,70
5.5.15	2,66	5,20	5.6.15	2,68	5,23
6.5.15	1,72	3,36	6.6.15	1,73	3,39
7.5.15	2,18	4,26	7.6.15	2,14	4,19
8.5.15	3,94	7,71	8.6.15	3,94	7,71
9.5.15	3,93	7,69	9.6.15	3,93	7,69
10.5.15	2,96	5,80	10.6.15	3,02	5,91
11.5.15	1,59	3,11	11.6.15	2,85	5,58
12.5.15	3,62	7,08	12.6.15	2,93	5,73
13.5.15	3,13	6,12	13.6.15	2,28	4,47
14.5.15	3,80	7,43	14.6.15	1,91	3,73
15.5.15	1,68	3,28	15.6.15	4,06	7,95
16.5.15	3,11	6,09	16.6.15	3,08	6,03
17.5.15	4,72	9,23	17.6.15	3,33	6,52
18.5.15	2,81	5,50	18.6.15	4,71	9,22
19.5.15	2,98	5,83	19.6.15	4,55	8,91
20.5.15	4,52	8,85	20.6.15	4,25	8,33
21.5.15	3,95	7,72	21.6.15	3,04	5,94
22.5.15	3,80	7,44	22.6.15	2,68	5,24
23.5.15	3,80	7,44	23.6.15	5,16	10,10
24.5.15	2,84	5,56	24.6.15	4,52	8,85
25.5.15	2,58	5,05	25.6.15	1,27	2,48
26.5.15	5,42	10,61	26.6.15	2,83	5,54
27.5.15	5,55	10,85	27.6.15	3,66	7,17
28.5.15	2,84	5,56	28.6.15	4,75	9,30
29.5.15	2,53	4,94	29.6.15	1,89	3,70
30.5.15	4,83	9,46	30.6.15	1,95	3,82
31.5.15	2,12	4,15			
Průměr	3,31	6,49		3,21	6,28

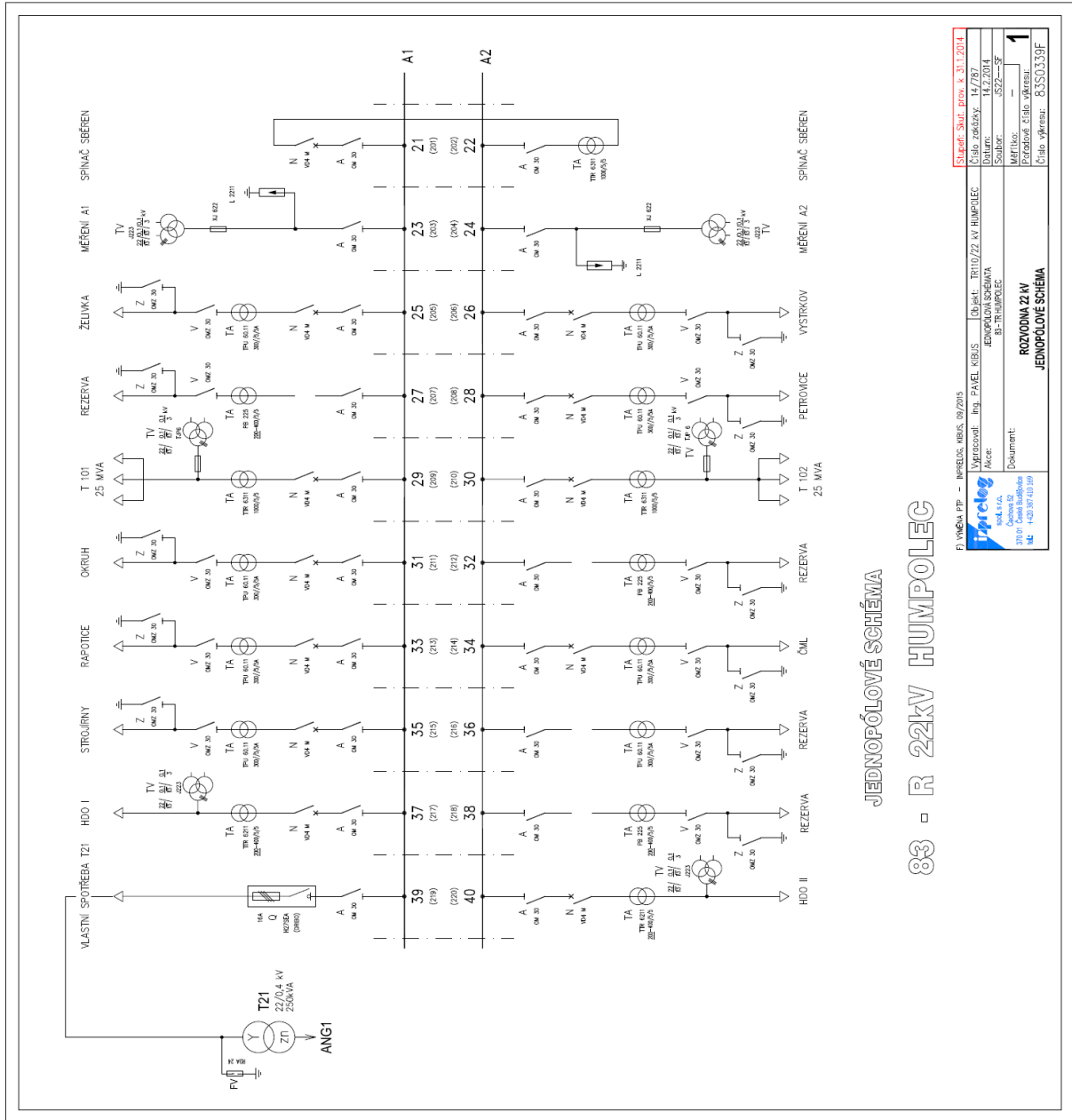
Červenec			Srpen		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.7.15	2,52	4,93	1.8.15	4,65	9,11
2.7.15	3,31	6,47	2.8.15	2,01	3,94
3.7.15	2,33	4,57	3.8.15	1,62	3,17
4.7.15	1,71	3,35	4.8.15	2,78	5,45
5.7.15	1,84	3,60	5.8.15	3,35	6,56
6.7.15	3,73	7,30	6.8.15	1,53	2,98
7.7.15	2,24	4,39	7.8.15	2,70	5,28
8.7.15	3,08	6,03	8.8.15	3,08	6,03
9.7.15	1,77	3,46	9.8.15	1,77	3,46
10.7.15	3,85	7,54	10.8.15	3,85	7,54
11.7.15	1,51	2,95	11.8.15	1,26	2,46
12.7.15	3,27	6,40	12.8.15	1,49	2,92
13.7.15	5,14	10,05	13.8.15	3,97	7,76
14.7.15	5,45	10,67	14.8.15	5,12	10,01
15.7.15	3,72	7,28	15.8.15	2,21	4,32
16.7.15	1,96	3,83	16.8.15	2,76	5,40
17.7.15	1,53	2,99	17.8.15	4,88	9,56
18.7.15	3,40	6,65	18.8.15	2,30	4,51
19.7.15	3,98	7,80	19.8.15	1,80	3,51
20.7.15	3,59	7,02	20.8.15	4,61	9,03
21.7.15	3,10	6,06	21.8.15	3,07	6,01
22.7.15	1,64	3,21	22.8.15	3,53	6,91
23.7.15	3,84	7,52	23.8.15	2,97	5,81
24.7.15	3,21	6,29	24.8.15	3,10	6,07
25.7.15	5,95	11,64	25.8.15	3,90	7,62
26.7.15	4,43	8,68	26.8.15	3,28	6,41
27.7.15	5,08	9,94	27.8.15	3,17	6,21
28.7.15	6,31	12,35	28.8.15	3,00	5,88
29.7.15	4,49	8,79	29.8.15	1,48	2,90
30.7.15	4,35	8,52	30.8.15	1,66	3,25
31.7.15	2,36	4,62	31.8.15	2,14	4,18
Průměr	3,38	6,61		2,87	5,62

Září			Říjen		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.9.15	2,80	5,49	1.10.15	3,57	6,99
2.9.15	3,32	6,50	2.10.15	4,58	8,95
3.9.15	1,47	2,87	3.10.15	4,34	8,50
4.9.15	3,13	6,12	4.10.15	1,58	3,08
5.9.15	4,38	8,58	5.10.15	1,82	3,56
6.9.15	8,73	17,09	6.10.15	3,99	7,80
7.9.15	6,29	12,30	7.10.15	2,22	4,34
8.9.15	3,93	7,70	8.10.15	1,76	3,45
9.9.15	2,24	4,38	9.10.15	2,24	4,39
10.9.15	3,70	7,25	10.10.15	4,13	8,07
11.9.15	4,21	8,24	11.10.15	5,43	10,62
12.9.15	3,11	6,09	12.10.15	3,27	6,39
13.9.15	6,53	12,77	13.10.15	3,84	7,51
14.9.15	5,06	9,90	14.10.15	2,45	4,79
15.9.15	2,34	4,58	15.10.15	4,31	8,43
16.9.15	2,76	5,40	16.10.15	1,85	3,61
17.9.15	4,90	9,58	17.10.15	1,88	3,69
18.9.15	2,30	4,51	18.10.15	0,76	1,49
19.9.15	1,80	3,51	19.10.15	2,23	4,35
20.9.15	4,63	9,05	20.10.15	3,82	7,47
21.9.15	3,07	6,01	21.10.15	3,56	6,97
22.9.15	3,53	6,91	22.10.15	3,81	7,46
23.9.15	2,97	5,81	23.10.15	3,85	7,54
24.9.15	3,08	6,03	24.10.15	2,40	4,69
25.9.15	3,90	7,64	25.10.15	2,46	4,82
26.9.15	3,86	7,56	26.10.15	3,01	5,90
27.9.15	3,88	7,59	27.10.15	4,90	9,58
28.9.15	3,93	7,70	28.10.15	5,69	11,14
29.9.15	4,48	8,77	29.10.15	1,99	3,90
30.9.15	4,97	9,73	30.10.15	1,54	3,02
			31.10.15	4,45	8,70
Průměr	3,84	7,52		3,15	6,17

Listopad			Prosinec		
Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]	Datum	Průměrná rychlost větru v 10 m [m/s]	Průměrná rychlost větru ve 100 m [m/s]
1.11.15	4,35	8,51	1.12.15	8,04	15,73
2.11.15	2,87	5,62	2.12.15	4,40	8,61
3.11.15	2,65	5,19	3.12.15	2,14	4,18
4.11.15	0,94	1,84	4.12.15	3,72	7,27
5.11.15	1,17	2,28	5.12.15	2,71	5,31
6.11.15	1,98	3,88	6.12.15	4,04	7,91
7.11.15	4,23	8,27	7.12.15	2,52	4,93
8.11.15	4,22	8,26	8.12.15	2,78	5,43
9.11.15	7,15	13,99	9.12.15	2,99	5,85
10.11.15	8,46	16,55	10.12.15	2,45	4,80
11.11.15	5,52	10,80	11.12.15	4,56	8,92
12.11.15	4,07	7,97	12.12.15	5,12	10,02
13.11.15	4,05	7,92	13.12.15	5,23	10,24
14.11.15	8,33	16,29	14.12.15	1,65	3,24
15.11.15	10,17	19,90	15.12.15	1,71	3,35
16.11.15	6,02	11,78	16.12.15	2,53	4,94
17.11.15	6,96	13,63	17.12.15	3,88	7,58
18.11.15	9,36	18,32	18.12.15	2,99	5,85
19.11.15	9,35	18,31	19.12.15	2,37	4,63
20.11.15	5,60	10,96	20.12.15	3,80	7,43
21.11.15	3,52	6,89	21.12.15	4,70	9,21
22.11.15	4,28	8,38	22.12.15	6,43	12,58
23.11.15	5,25	10,28	23.12.15	4,04	7,90
24.11.15	2,82	5,52	24.12.15	2,46	4,81
25.11.15	3,16	6,19	25.12.15	4,70	9,21
26.11.15	2,65	5,18	26.12.15	5,04	9,87
27.11.15	1,76	3,45	27.12.15	3,59	7,03
28.11.15	5,48	10,71	28.12.15	2,15	4,22
29.11.15	9,57	18,73	29.12.15	3,68	7,20
30.11.15	10,78	21,10	30.12.15	5,94	11,63
			31.12.15	5,38	10,54
Průměr	5,22	10,22		3,80	7,43

14. Příloha B

14.1 Jednopolové schéma rozvodny 22 kV, Humpolec



Poskytnuto od společnosti EON

P. Vlněná PTP - INERELUX, KŘIBS, 09/2015		Stupeň: Skut. prok. k. 31.1.2014	
Vytvořoval: Ing. PAVEL KUBIS		Číslo zápisů: 14/787	
Místo: Humpolec		Datum: 14.2.2014	
Objekt: TR10/22 kV HUMPOLEC		Souhrn: 3522--CF	
Jednotka: 83 - Humpolec		Měřič: 1	
Document: 3010: Číslo: 8350139F		Příloha: 8350139F	
3010: Číslo: 8350139F		Číslo výkresu: 8350139F	
TEL: +420 387 430 099		ROZVODNA 22 kV	
		JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA	

JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA
83 - R 22kV HUMPOLEC