

ČVUT

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

Fakulta Strojní

Ústav Energetiky

**Návrh větrné elektrárny pro zadanou
lokalitu**

**Design of wind power plant for the
specified location**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Ondřej Mitrenga

Studijní program: B 2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový
Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mitrenga** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **459589**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh větrné elektrárny pro zadanou lokalitu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of wind power plant for the specified location

Pokyny pro vypracování:

Pro vybranou lokalitu navrhnete větrnou elektrárnu alespoň ne dvou výkonových variantách a vyhodnotíte její energetický a ekonomický potenciál.

Práce bude obsahovat:

- 1) Rešerši problematiky návrhu a provozu větrných elektráren.
- 2) Analýzu povětrnostních podmínek vybrané lokality.
- 3) Variantní návrh větrné elektrárny a vyhodnocení roční výroby.
- 4) Ekonomické posouzení navržených variant.

Seznam doporučené literatury:

Cetkovský, S a kol.: Větrná energie v ČR, ÚGN 2010

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc., ústav energetiky FS

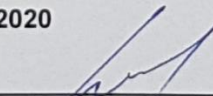
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

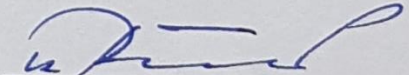
Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

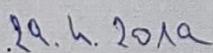

doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

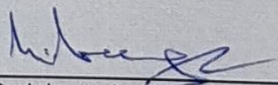

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.


Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení o autorství práce

Čestně prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma *Návrh větrné elektrárny pro zadanou lokalitu (Design of wind power plant for the specified location)* vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Třinci dne

.....
Ondřej Mitrenga

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem lidem, kteří mě při psaní mé bakalářské práce podporovali a poskytli mi cenné informace a podklady, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. Rovněž bych chtěl vyjádřit své poděkování celému ústavu Energetiky na Fakultě Strojní ČVUT v Praze za financování potřebných podkladů a rovněž věcných doporučení ohledně směřování této práce. Jmenovitě bych rád také poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, jímž byl pan doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc. za jeho věcné a odborné komentáře při vedení mé práce.

Anotační list

Jméno autora:	Ondřej Mitrenga	
Název BP:	Návrh větrné elektrárny pro zadanou lokalitu	
Anglický název:	Design of wind power plant for the specified location	
Rok:	2019	
Studijní program:	B 2342 Teoretický základ strojního inženýrství	
Studijní obor:	2301R000 Studijní program je bezoborový	
Ústav:	Ústav Energetiky	
Vedoucí práce:	doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.	
Bibliografie:	počet stran	83
	počet grafů	23
	počet obrázků	11
	počet tabulek	23
	počet příloh	11

Anotace

Cílem této bakalářské práce je teoreticky navrhnout projekt výstavby větrné elektrárny pro zvolenou lokalitu, vytvořit bilanci nákladů pro reálnou stavbu a vypočítat ekonomickou provozuschopnost. Práce se také zabývá obecně energetikou a problematikou obnovitelných zdrojů a podává ucelený náhled konkrétně na využití jejího větrného potenciálu.

Klíčová slova

Větrná elektrárna, potenciál větru, energie, obnovitelné zdroje, výkon, návrh, ekonomické ukazatele, návratnost, zhodnocení projektu

Abstract

A goal of this work is to theoretically offer a solution of a wind power plant for a chosen location. A structure of costs balance sheet for a real construction and a calculation of an economical operability are determined. The work is also focusing on the energy sector in general and opens a question of renewable energy sources, therefore provides with a comprehensive view and mentions a real wind potential.

Key words

Wind power plant, wind potential, energy, renewable sources, power, design, economical indicators, economic return, project evaluation

Obsah

Prohlášení o autorství práce	3
Poděkování	4
Anotační list	5
Anotace.....	5
Klíčová slova.....	5
Abstract.....	5
Key words	5
Seznam zkratk	10
1. Úvod.....	11
2. Energetika.....	11
2.1. Rozdělení energetických zdrojů	12
3. Obnovitelné zdroje	13
4. Vítr zdrojem energie.....	15
4.1. Historický vývoj.....	16
4.2. Energie větru.....	17
4.3. Měření směru a rychlosti větru	19
4.4. Potenciál větrné energie v ČR.....	20
5. Schéma větrné elektrárny	23
5.1. Vztlaková turbína.....	23
5.2. Větrná turbína s horizontální osou.....	24
5.3. Yaw drive systém	24
5.3.1. Yaw error	26
5.4. Větrná elektrárna jako celek.....	28
5.4.1. Záložní zdroje elektrárny.....	29
5.4.2. Přenosová a distribuční soustava	29
6. Volba lokality	30
6.1. Obec Klíny.....	30
6.2. Místo plánované instalace vte	30
7. Povětrnostní data	31
7.1.1. Modelování pomocí softwaru	32
7.2. Přepočtové vzorce.....	33
8. Zpracování povětrnostních dat.....	33
9. Volba větrné elektrárny	37
10. Srovnání větrných elektráren	38
11. Ekonomická analýza projektu.....	40
11.1. Náklady	41
11.1.1. Cena vte	41
11.1.2. Napojení na distribuční síť	41
11.1.3. Příjezdová komunikace.....	42

11.1.4. Pozemek.....	42
11.1.5. Administrativní činnost.....	42
11.1.6. Náklady celkem	43
11.2. Tržby	44
11.2.1. Výkupní ceny	45
11.2.2. Zelené bonusy	45
11.3. Financování.....	47
11.4. Návratnost investice	47
11.4.1. Prostá návratnost.....	47
11.4.2. Reálná doba návratnosti.....	51
11.4.3. Čistá současná hodnota	53
12. Citlivostní analýza	54
12.1. Odchylka měření	54
12.2. Změna průměrné rychlosti větru.....	56
12.3. Změna počáteční investice.....	58
12.4. Výkupní ceny a zelené bonusy.....	60
13. Vliv na životní prostředí.....	64
13.1. Hluk.....	64
13.2. Vliv na faunu	64
13.3. Stroboskopický efekt	64
13.4. Vliv na signál	64
13.5. Environmentální vliv	65
13.6. Ráz krajiny	65
14. Závěr	66
15. Seznam citací.....	68
16. Přílohy.....	74

Seznam grafů

Graf 1: Potenciál konečné spotřeby OZE	13
Graf 2: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE	14
Graf 3: Vývoj instalovaného výkonu a výroby elektřiny z VtE v ČR.....	22
Graf 4: Vyjádření yaw error, závislost [° / %].....	26
Graf 5: Rozložení větrné tendence [hod/ °]	34
Graf 6: Průměrná rychlost větru [m/s / °]	35
Graf 7: Četnost výskytu rychlostí	36
Graf 8: Instalace větrných elektráren v ČR podle výrobců	37
Graf 9: Výkonová charakteristika Vestas V126-3,450	38
Graf 10: Výkonová charakteristika Enercon E-101 3,050.....	38
Graf 11: Graf poměrového srovnání základních vlastností obou VtE.....	39
Graf 12: Nediskontované roční tržby Vestas V126-3,450	49
Graf 13: Nediskontované roční tržby Enercon E-101 3,050	50
Graf 14: Kumulované diskontované tržby obou VtE.....	51
Graf 15: Změna výroby elektrické energie citlivostní analýza I	54
Graf 16: Změna výroby elektrické energie citlivostní analýza II	55
Graf 17: Změna průměrné roční rychlosti citlivostní analýza I.....	56
Graf 18: Změna průměrné roční rychlosti citlivostní analýza II.....	57
Graf 19: Změna počáteční investice citlivostní analýza I.....	58
Graf 20: Změna počáteční investice citlivostní analýza II.....	59
Graf 21: Citlivostní analýza výkupních cen a zelených bonusů.....	60
Graf 22: Změna ceny elektřiny + zelené bonusy citlivostní analýza I	62
Graf 23: Změna ceny elektřiny + zelené bonusy citlivostní analýza II	63

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma všeobecné cirkulace atmosféry	15
Obrázek 2: Vývoj velikost a instalovaného výkonu větrných turbín	16
Obrázek 3: Větrná mapa UFA AV ČR pro výšku 100 m nad povrchem	21
Obrázek 4: Princip funkce vztlakové turbíny	23
Obrázek 5: Větrná turbína s horizontální osou	24
Obrázek 6: Schématické zobrazení hlavních komponentů VtE.....	25
Obrázek 7: Yaw drive mechanismus.....	25
Obrázek 8: Definice úhlů vychýlení vůči gondole	27
Obrázek 9: Schéma větrné elektrárny.....	28
Obrázek 10: Schéma využití asynchronního generátoru u VtE.....	29
Obrázek 11: Katastrální mapa pozemku 136/1	31

Seznam tabulek

Tabulka 1: Exponent korekčního vztahu závisící na drsnosti povrchu	19
Tabulka 2: Beaufortova stupnice síly větru	20
Tabulka 3: Ilustrativní modelová data poskytnutá ČHMÚ	32
Tabulka 4: IEC charakteristiky větrných tříd	37
Tabulka 5: Porovnání vypočtených hodnot pro uvažované VtE	39
Tabulka 6: Cena transportu a instalace VtE	41
Tabulka 7: Náklady na napojení do distribuční sítě	41
Tabulka 8: Náklady na zpevnění komunikace	42
Tabulka 9: Náklady na koupi pozemku	42
Tabulka 10: Celkové náklady	43
Tabulka 11: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro VtE	44
Tabulka 12: Roční tržby elektrárny při využití výkupních cen	45
Tabulka 13: Roční tržby elektrárny při využití zelených bonusů	45
Tabulka 14: Roční vývoj tržeb VtE	46
Tabulka 15: Nediskontované roční tržby obou VtE	48
Tabulka 16: Prostá doba návratnosti obou VtE	50
Tabulka 17: Diskontované roční tržby větrných elektráren	52
Tabulka 18: Reálná doba návratnosti obou VtE	52
Tabulka 19: Čistá současná hodnota obou VtE	53
Tabulka 23: Citlivostní analýza výkupních cen a zelených bonusů	61

Seznam příloh

Příloha 1: Katastrální mapa + ortofoto pozemku 136/1	74
Příloha 2: Katastrální mapa + ortofoto pozemku 136/1	74
Příloha 3: 9.36.01 eKatalog BPEJ	75
Příloha 4: 9.36.01 eKatalog BPEJ	76
Příloha 5: 9.36.01 eKatalog BPEJ	77
Příloha 6: 9.36.01 eKatalog BPEJ	78
Příloha 7: 9.36.01 eKatalog BPEJ	79
Příloha 8: 9.36.01 eKatalog BPEJ	80
Příloha 9: Pravděpodobnostní tabulka závislosti směru proudění na rychlosti	81
Příloha 10: Technická specifikace Vestas V126-3,450	82
Příloha 11: Technická specifikace Enercon E-101 3,050	82

Seznam zkratek

ČR	Česká republika
SEK	Státní Energetická Koncepce
OZE	Obnovitelné zdroje energie
VtE	Větrná elektrárna
ES	Elektrická síť
ERÚ	Energetický regulační úřad
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvláště vysoké napětí
ÚFA AV ČR, v.v.i	Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí

1. Úvod

Energie, její využití, kvalita, stabilita a efektivita její produkce jsou klíčovými faktory fungování lidstva. Toky a konverze energie jsou určující pro život všech organismů, makroorganismů, společností a civilizací na naší planetě. Charakter a způsob využití energie se nevyhnutelně zapisuje do podoby historie, kterou píšeme. A právě proto se tato bakalářská práce zabývá tématem větrné energetiky, respektive praktickým nastíněním zpracování projektu výstavby větrné elektrárny na předem zvolené lokalitě. Autor si danou problematiku vybral vzhledem ke své komplexnosti a rád by tímto cílil na své potenciální budoucí kariérní směřování.

V obnovitelných zdrojích energie lze vidět obrovský potenciál, který před nimi stojí, vycházíme-li už ze samotného světa kolem nás, spatřujeme neslábnuou tendenci věnovat se na globální úrovni ne pouze ekonomické stránce věci, nýbrž stránce environmentální. Energetické odvětví pochopitelně do tohoto konceptu spadá taktéž a neméně je tomu v souvislosti s hlasy, které volají po tzv. dekarbonizačních opatření. Větrná energetika v posledních letech tedy nachází své hojné využití, nicméně oproti jiným energetickým zdrojům nutno podotknout, že právě vítr je znám svou nepředvídatelností, nestálým prouděním a obecně významnou měrou nestability, což dělá větrnou energetiku odvětvím značně rizikovým, ale i přesto významným a stále sílicím energetickým zdrojem budoucnosti.

V rámci nově nastávajících trendů lze spatřovat také podstatné kroky jako opatření, respektive podpora tohoto odvětví od samotných států, a zároveň námi nadřazeného celku, a sice Evropské unie. Sílicí snaha umožnit ekonomicky zajímavou provozuschopnost vede k podpoře formou výkupních cen, případně tzv. zelených bonusů. Touto prací by si autor rád rozšířil znalosti v oboru větrné energetiky, ekonomické stránky projektu a zároveň podal ucelený pohled na toto téma vzhledem ke konkrétnímu mikroklimatu.

2. Energetika

Energetika je průmyslové odvětví, které se zabývá získáváním, přeměnou a distribucí různých forem energie. Do sekce energetiky zahrnujeme také těžbu nerostných surovin související s dalším zpracováním za účelem výroby energie, a to hlavně elektrické energie a tepla. Pro případ bakalářské práce bude řeč o elektrické energii vyrobené pomocí větru, její transformaci a distribuci prostřednictvím přenosové soustavy. S energetikou a možností zásobovat obyvatelstvo elektrickou energií došlo k odpovídajícímu výraznému zlepšení kvality života. Tento systém

zároveň způsobil významné rozdíly ve společnosti a jejími skupinami. Okolo 10 % lidstva dnes spotřebovává až 40 % veškeré primární energie, zatímco na méně bohatých 50 % připadá pouhých 10 % této energie.

2.1. Rozdělení energetických zdrojů

K energetickým zdrojům, které nám jsou na naší planetě k dispozici můžeme přistupovat na základě třech základních kritérií:

- Podle obnovitelnosti
- Podle místa a procesu přeměny
- Podle rozsahu využití

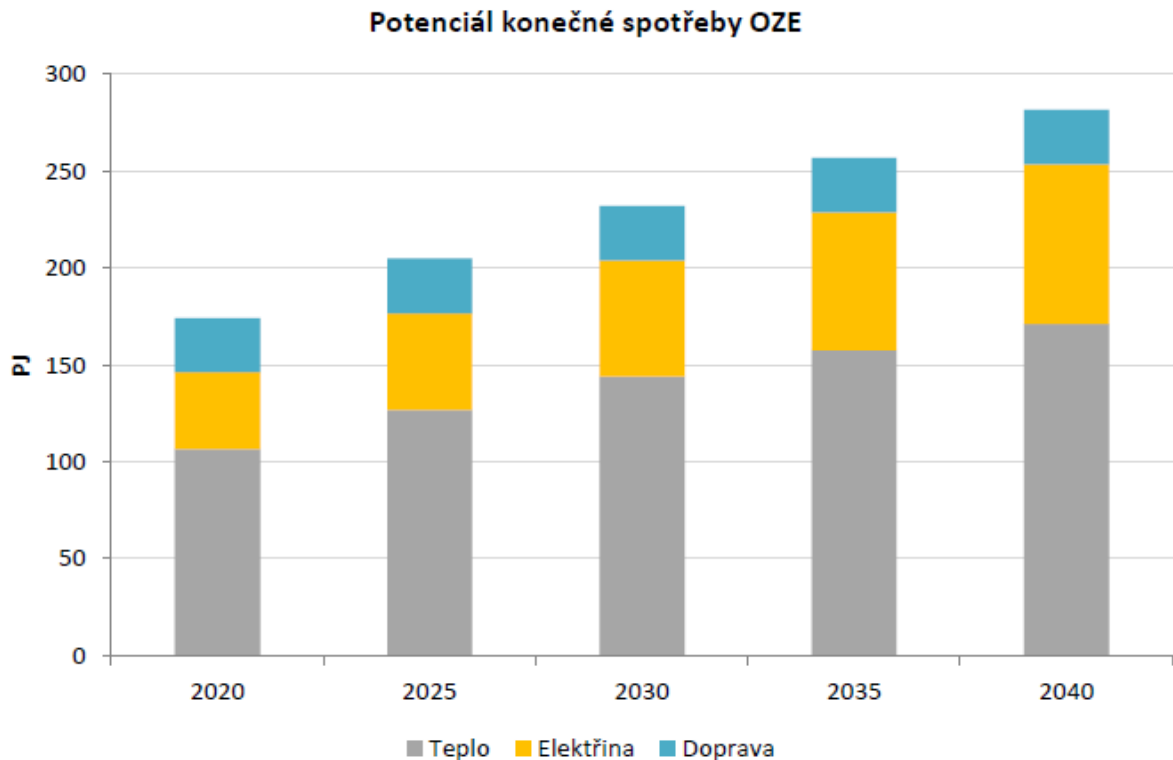
Podle obnovitelnosti dělíme zdroje na neobnovitelné a obnovitelné.

Neobnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, u nichž se jeho vyčerpání očekává v horizontu ne delším než 100 let a jeho případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Za neobnovitelné považujeme uhlí, ropu, zemní plyn a jaderná paliva jako jsou uran a thorium.

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou definovány podle českého zákona o životním prostředí následovně: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“¹ Jedná se o na Zemi přístupné formy energie, získané primárně z jaderných přeměn v nitru Slunce. Lidstvo tyto formy energie čerpá v podobě slunečního záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a další.

3. Obnovitelné zdroje

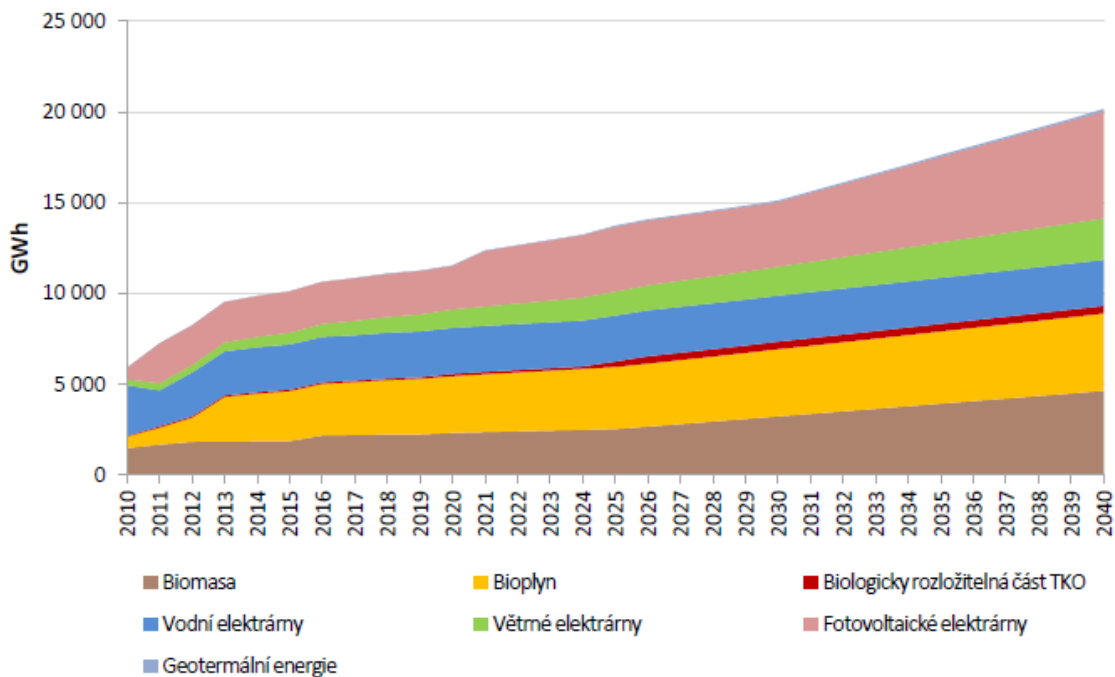
Na základě definice obnovitelných zdrojů energie přistupujeme k těmto formám energie jako k ekologicky čistému zdroji, který by teoreticky mohl být do budoucna využit pro pokrytí celosvětově významného procenta spotřeby energie.² Predikovaný potenciál využití OZE na konečné spotřebě v ČR je k nahlédnutí v grafu:



Graf 1: Potenciál konečné spotřeby OZE³

Graf zobrazuje predikci a tedy potenciál konečné spotřeby OZE na jednotlivá odvětví a to až s ohledem na rok 2040. V návaznosti na výše znázorněném grafu sledujeme zároveň vývoj a strukturu hrubé výroby elektřiny z OZE, jejíž výroba má silně vzrůstající tendenci, která do budoucna predikuje výrazný význam těchto zdrojů.

Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE

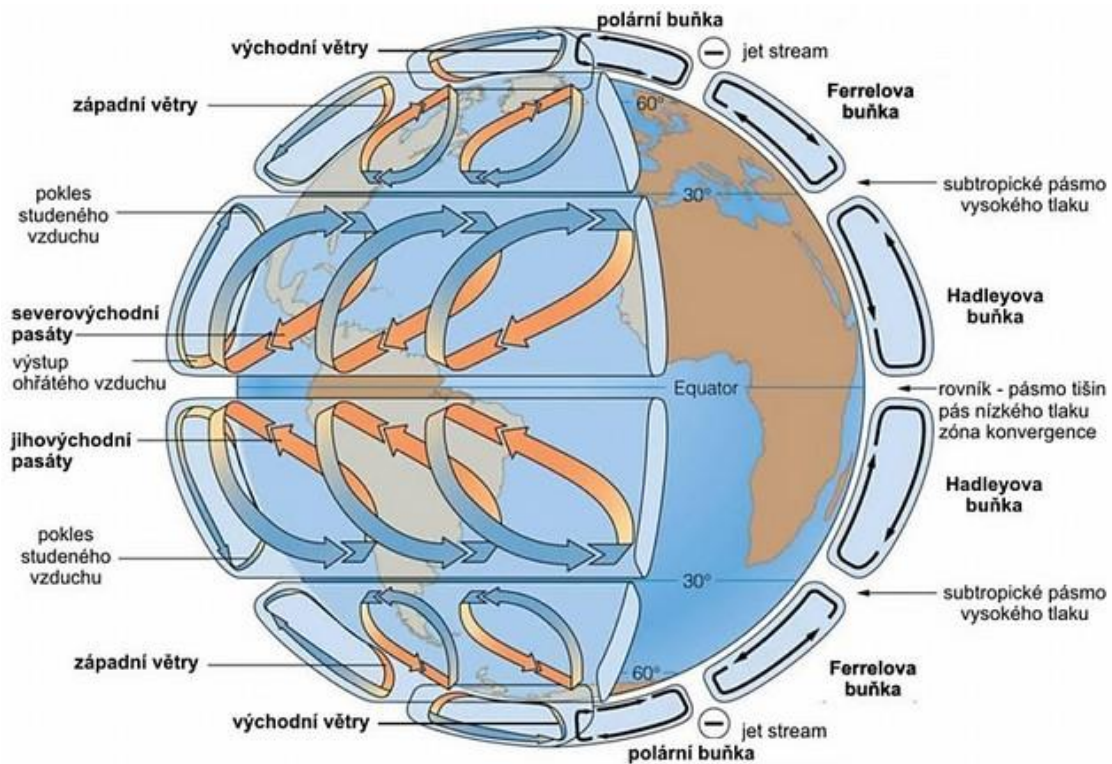


Graf 2: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE ³

Stále narůstající trend je naprosto zřejmý, a to i s přihlédnutím vzhledem k ostatním obnovitelným zdrojům energie.

4. Vítr zdrojem energie

Vítr můžeme definovat jako pohyb vzduchu způsobený vlivem rozdílných atmosférických tlaků, které jsou důsledkem různých teplot, a tedy i různých hustot vzduchu. Vítr má tendenci se pohybovat z oblasti vyššího tlaku do oblastí s tlakem nižším. Rychlost větru, jeho síla a směr, jsou výslednicí rychlostí způsobených rozdílnými tlaky a rotací zemského povrchu, který vzduch s sebou unáší. V pohybu větru spatřujeme jeho cykličnost, kdy dochází v oblasti rovníku k stoupání teplého vzduchu do vyšších vrstev atmosféry a poté směřuje k polárním oblastem, kdežto studený vzduch proudí v nízkých vrstvách atmosféry ve směru k rovníku a snaží se opět ohřát. Obvodová rychlost větru na zemském povrchu se mění od přibližně 460 m/s na rovníku do nuly na pólech, přičemž ovlivňuje rychlost větru, která se mění v závislosti na zeměpisné šířce. Princip cirkulace atmosféry je vyobrazen na obrázku níže.



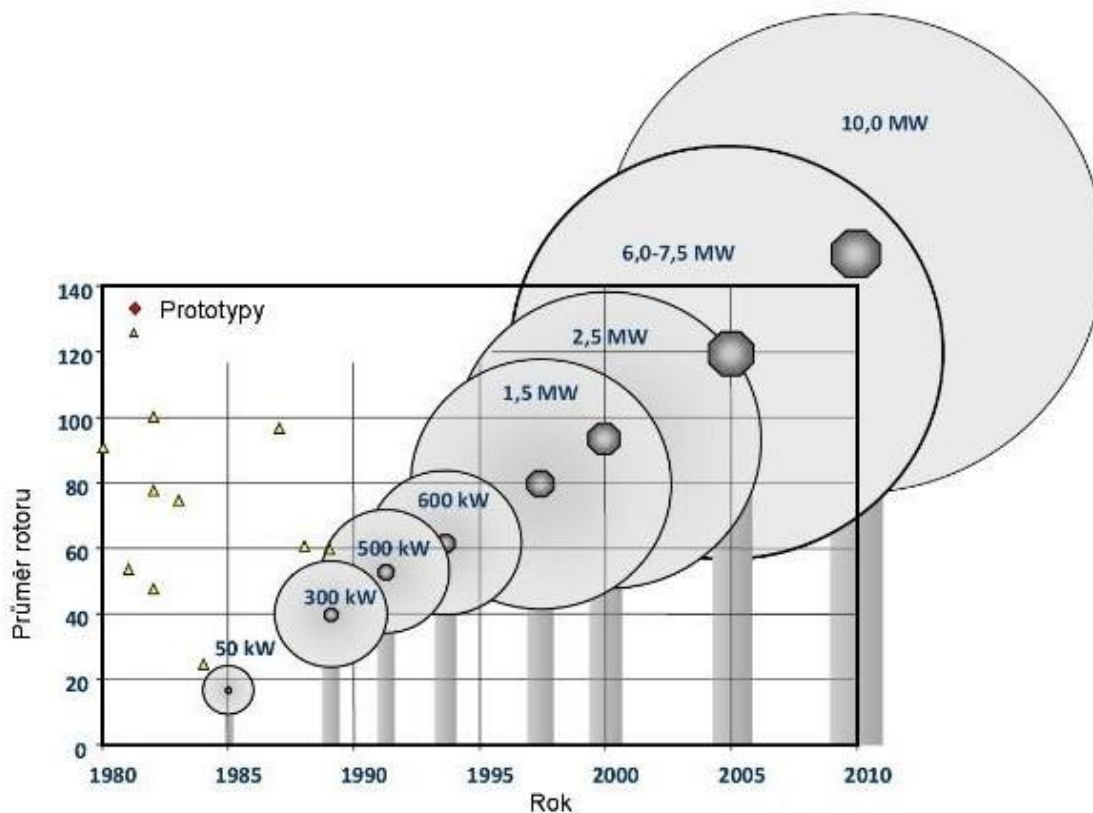
Obrázek 1: Schéma všeobecné cirkulace atmosféry⁴

Větrná energetika využívá sílu větru pro výrobu elektrické energie. Využití energie větru funguje na jednoduchém principu. Při proudění větru dochází k otáčení lopatek rotoru, které jsou přes převody napojeny na elektrický generátor. Celkový potenciál větrné energetiky se v České republice odhaduje na cca 4 000 GWh ročně, což odpovídá zhruba 4 % naší celkové roční spotřeby.²

4.1. Historický vývoj

V Evropě se větrné mlýny rozšířily během třináctého století, nejčastěji byly využívány k čerpání vody pro potřeby farmářů a napájení dobytka, k různým pohonům a později také k výrobě elektřiny.⁵ V rámci historické transformace je potřeba zmínit přechod z větrných mlýnů na větrné elektrárny. První větrnou elektrárnu, schopnou vyrobit elektřinu, postavil v roce 1888 v Clevelandu Američan Charles F. Brush. Tehdejší výkon dosahoval 12 kW. První evropská větrná elektrárna byla instalovaná roku 1891 v malé obci Askov v Dánsku.⁶ K největšímu rozmachu v rozvoji větrné energetiky došlo v polovině 70. let, kdy došlo k ropné krizi, která měla za důsledek zvýšený zájem Evropy o svou soběstačnost na dovozu energií, přičemž obnovitelné zdroje v tomto období dostaly šanci.

Větrné elektrárny dělíme podle jejich instalovaného výkonu, který se v rámci historického vývoje dramaticky mění. S narůstajícím instalovaným výkonem jde ruku v ruce zvětšování rozměrů turbín, jejich poloměrů a taktéž narůstá výkon dodávaný do sítě.



Obrázek 2: Vývoj velikost a instalovaného výkonu větrných turbín ⁷

4.2. Energie větru

Pro vyjádření kinetické energie větru za jednotku času tedy použijeme následující vzorec:

$$E = \frac{1}{2} A \rho v^3 [W]$$

A – plocha působící na objekt [m^2]

ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

v – rychlost proudění vzduchu [m/s]

Z tohoto vztahu je naprosto patrné, že energie proudění větru je přímo úměrná třetí mocnině rychlosti, což je pro samotnou tvorbu projektu klíčový údaj, na základě čehož uvažujeme ohledně reálných návratností dané investice. V praxi to znamená, že když se rychlost větru zvýší např. 4x, energie větru na stejném plošném průřezu stoupne 64x. Z toho plynou dva podstatné závěry, a sice v oblastech s nízkými rychlostmi poryvů větru nikdy nemůže dojít k využití plného potenciálu větrných turbín a naopak v oblastech s vysokým stupněm proudění větru může snadno dojít k poškození samotné větrné turbíny, případně silného přezásobování přenosové sítě.

Množství vyrobeného proudu se zvyšuje v návaznosti na stoupající rychlosti větru, a to většinou až do rychlosti 11–15 m/s, což je úzce spjato s kinetickou energií na větrnou turbínu působící, obvykle okolo 815–3 067 W/m². Při těchto hodnotách již dochází k snižování otáček větrné turbíny, a sice s pomocí tzv. brzdy, případně skrze natočení listů vrtule, na něž posléze vítr působí daleko menší silou. Při rychlostech dosahujících až 20–25 m/s, což odpovídá kinetické energii 4 900–9 570 W/m², je potřeba turbíny vypínat úplně, aby nedošlo k poškození jejich částí.⁸ Každá větrná turbína je taktéž nastavena na minimální rychlosti větru, při kterých se začíná otáčet, tyto optimální startovací podmínky provozu jsou definovány na rychlost 3,6 m/s, odpovídající 29 W/m².

Fyzikální zákon, uveden německým fyzikem Albertem Betzem, říká, že v praxi nelze využít více než 16/27 kinetické energie větru, což procentuálně odpovídá asi 59,3 %. Kinetickou energii větru navíc nelze využít beze zbytku, pokud by to bylo možné, turbína by uměla zpracovat veškeré proudění větru na ni působící a za turbínou samotnou by tedy docházelo k akumulaci vzduchu.

Pokud tedy vycházíme z idealizovaného stavu, bude maximální dosažitelná energie větru, převeditelná na energii mechanickou, následující:

$$E = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} A \rho v^3 \right) = \frac{8}{27} A \rho v^3 [W]$$

A – plocha působící na objekt [m^2]

ρ - hustota vzduchu [kg/ m^3]

v - rychlost proudění vzduchu [m/ s]

Vzhledem k faktu, že se jedná o stav plně idealizovaný, v reálné praxi tohoto stavu nikdy nemůžeme dosáhnout. Na účinnost větrné turbíny má také významný vliv tření lopatek turbíny o vzduch, tření převodových mechanismů a také drobné, ale i větší víry vznikající za turbínou. Na základě zkušenosti tedy docházíme k reálné odpovídající účinnosti 85 % Betzova limitu, což odpovídá celkové účinnosti lehce přes 50 %. Na samotnou účinnost má také vliv instalovaný výkon. Účinnost se u velkých větrných turbín pohybuje v rozmezí 40–45 %, přičemž u menších zdrojů s výkonem do 100 kW je to 20–40 %.⁹

Na základě výše zmíněného můžeme definovat teoreticky dosažitelný výkon, který působí na plochu, jenž je popsán následujícím vztahem:

$$P_t = k_B \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2} [W/m^2]$$

k_B - Betzův koeficient (0,593)

ρ - hustota vzduchu [kg/ m^3]

v - rychlost proudění vzduchu [m/ s]

4.3. Měření směru a rychlosti větru

Rychlost a směr větru se měří pomocí tzv. anemometru, doplněném o směrovku. Anemometr je obvykle trojramenný rotor s půlkulovými miskami, který se otáčí svisle na hřídeli. Otáčející se permanentní magnet vytváří napětí na statorovém vinutí, které je dále vyhodnocováno. Rychlost je udávána v základních jednotkách, tj. m/ s. Měření směru a rychlosti větru probíhá běžně v meteorologických stanicích. Podle jasně daných standardů probíhají tato měření v 10 m nad zemským povrchem, případně jsou na tuto výšku dohodnutým způsobem přepočítávána. V místech rovného terénu je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivněna pouze drsností povrchu. Zmíněné proměnné vypočítáme dle následujícího vzorce, neznámé viz Tabulka 1 níže:

$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n$$

v^* - průměrná rychlost větru ve výšce h nad zemským povrchem [m/ s]

v_0^* - průměrná rychlost větru v referenční výšce h_0 [m/ s]

n - exponent korekčního vztahu závisící na drsnosti povrchu [-]

h - uvažovaná výška [m]

h_0 - referenční výška [m]

Druh povrchu	n
a - hladký povrch – vodní hladina, písek	0,14
b - louka s nízkým travnatým porostem nebo oranice	0,16
c - vysoká tráva, nízké obilniny	0,18
d - porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesy	0,21
e – lesy	0,28
f - vesnice, malá města	0,48

Tabulka 1: Exponent korekčního vztahu závisící na drsnosti povrchu

Za účelem vhodného výběru místa pro instalaci větrné elektrárny je ideální stanovení rychlostí větru na základě relativně častých měření v kratších časových intervalech přímo na stanoveném místě a pro výšku předpokládaného středu rotoru.⁵

V 19. století byla podle britského námořníka Francise Beauforta definována tzv. Beaufortova stupnice, která každé rychlosti přisuzuje odpovídající projev větru v přírodě.¹⁰

Stupeň Beauforta	Označení síly větru	Rychlost [m/s]	Projev v přírodě
0	bezvětří	0 - 0,2	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	0,3 - 1,5	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	1,6 - 3,3	listí stromů šelestí
3	slabý vítr	3,4 - 5,4	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	5,5 - 7,9	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	8,0 - 10,7	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	10,8 - 13,8	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný víchř	13,9 - 17,1	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý víchř	17,2 - 20,7	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný víchř	20,8 - 24,4	vítr strhává komíny, tašky a břidlice se střech
10	plný víchř	24,5 - 28,4	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	28,5 - 32,6	působí rozsáhlá pustošení
12	orkán	32,7 a více	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

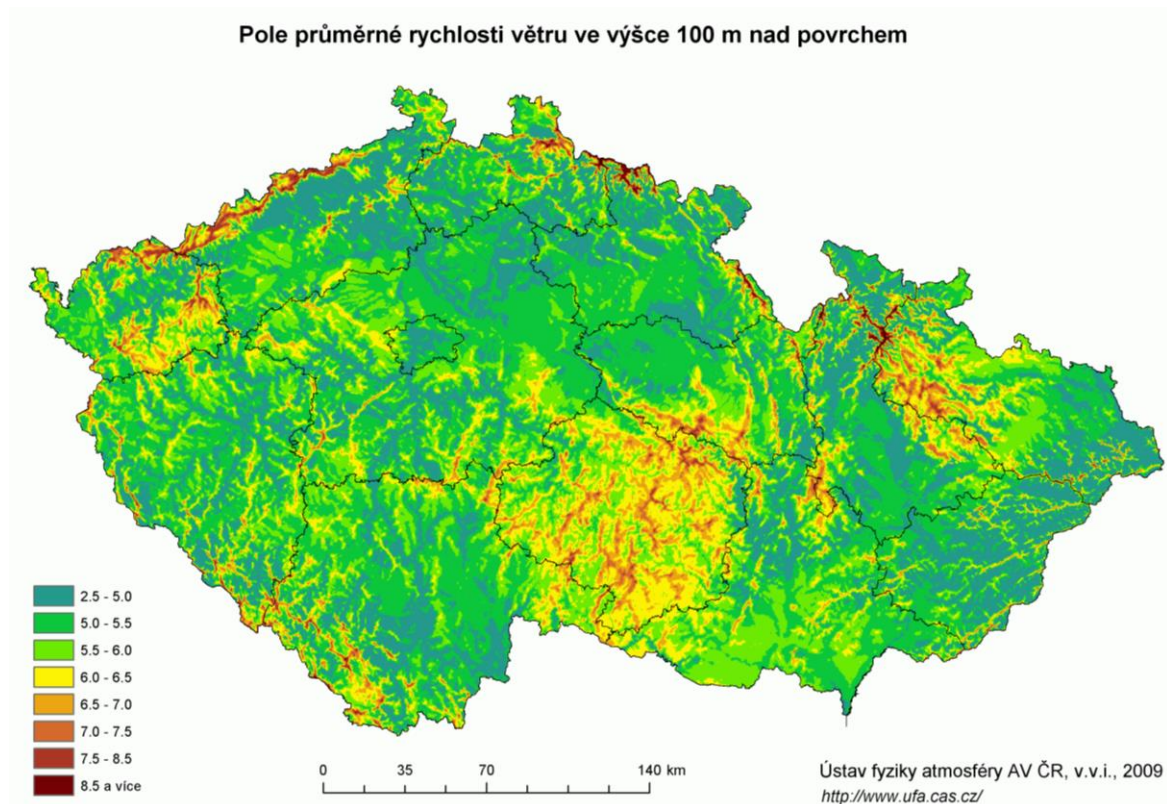
Tabulka 2: Beaufortova stupnice síly větru⁵

Pro zvolenou lokalitu v této práci uvažujeme o průměrné roční rychlosti $v = 8,54 \text{ m/s}$, což odpovídá podle Beaufortovy stupnice stupni 5, respektive čerstvému větru. K danému rozdělení se ještě vrátím při výběru vhodné větrné elektrárny, neboť každé průměrné roční rychlosti je přisuzována tzv. větrná třída IEC, v závislosti na turbulenci dané lokality, se volí vyhovující větrná instalace.

4.4. Potenciál větrné energie v ČR

Potenciál větrných elektráren v České republice je značně ovlivňován krajinným reliéfem, na nějž navazují sídelní celky, chráněné přírodní oblasti typu národních parků, CHKO a lokality soustavy Natura 2000, pásma vojenských omezení a další.³ Mění se drsnost povrchu, nejednotvárnost, často odlišný ráz krajiny, kde louky střídají lesy, z nížin rychle do vrchovin a do hor, toto jsou skutečnosti, které mají významný vliv na výběr vhodné lokality pro stavbu větrné elektrárny (VtE). V České republice je potenciál nížin téměř nulový, což nahrává myšlence, že značná část naší krajiny není vhodná pro provozování VtE, Česká republika taktéž nemá moře, které obecně nabízí vyšší a stabilnější rychlosti proudění větru. Po započtení těchto faktů přichází tedy k úvahu jako lokalita hory a

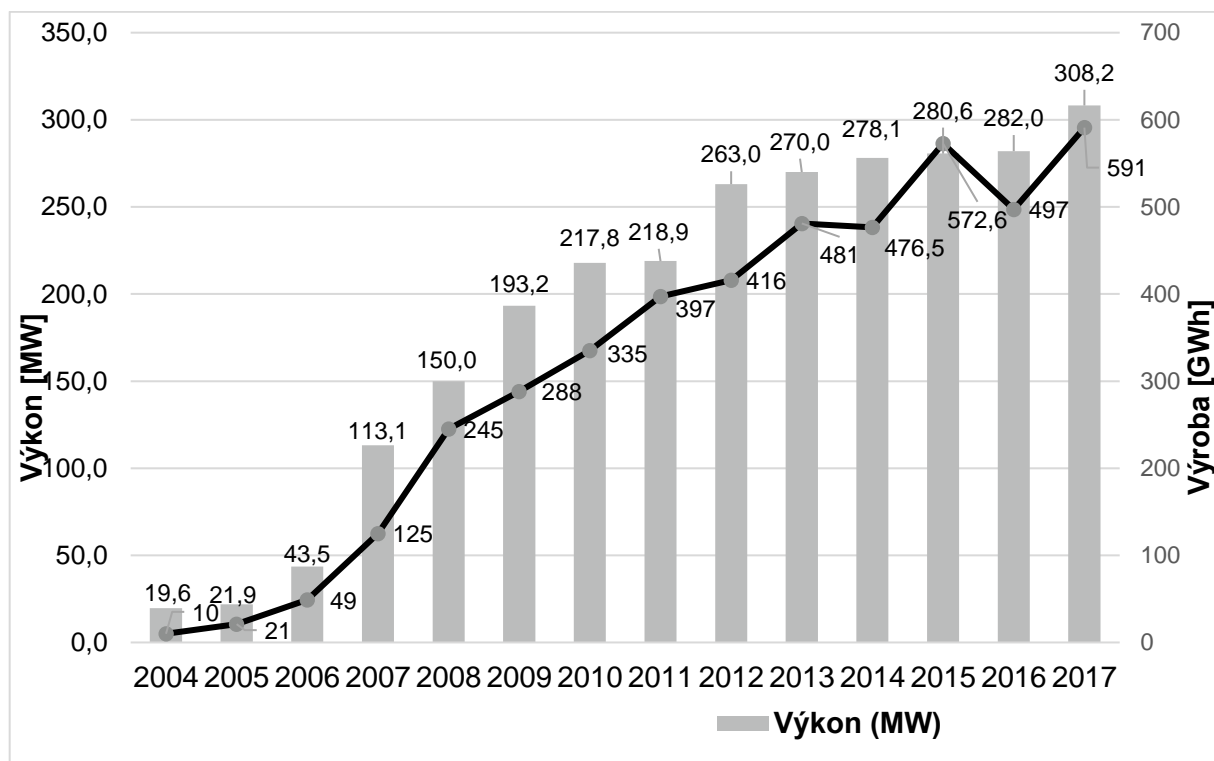
vrchoviny. Zároveň nehledáme místo na samotném vrchu hory, neboť se snažíme předejít ovlivnění proudění větru překážkami, resp. turbulentními větry vznikajícími od okolních překážek a následného poklesu rychlosti větru. Ideální místo se tedy nachází v určité vzdálenosti pod vrcholem kopce, kde dochází k maximálnímu urychlení větru, tedy údolí návětrné strany.¹¹ Ústav fyziky atmosféry taktéž vypracoval tzv. větrnou mapu, která demonstruje větrný potenciál České republiky.



Obrázek 3: Větrná mapa UFA AV ČR pro výšku 100 m nad povrchem ¹²

K 31.12.2017 byla hodnota instalovaného výkonu funkčních VtE v České republice 303 MW, přičemž roční produkce dosáhla 591 GWh, meziroční přírůstek činil 26,1 MW a na celkové výrobě elektrické energie v ČR se vítr podílel 1,1 %.¹³ Na základě matematických propočtů a modelací proudění větru docházíme k technickému potenciálu na území České republiky uvažující přibližně 10 000 větrných elektráren o výkonu 2 MW a 3 000 větrných elektráren o výkonu 3 MW, přičemž v tomto čísle nejsou zahrnuty lokality jakýmkoliv stupněm chráněné.¹⁴

Těchto vypočtených teoretických hodnot bychom na území ČR nicméně dosáhli pouze a jen v maximálně idealizovaném prostředí, a tedy nelze očekávat, že namodelovaný potenciál se bude scházet s reálnými hodnotami, tudíž je potřeba přihlídnout k faktu, že oněch kalkulovaných 29 GW instalovaného výkonu je značně nereálných již vzhledem k výše zmiňovaným proměnným, které mají významný vliv na tvorbu větrného prostředí.



Graf 3: Vývoj instalovaného výkonu a výroby elektřiny z VtE v ČR¹⁵

Z grafu výše je evidentní, že vývoj instalovaného výkonu a samotná výroba elektrické energie v České republice z větrných elektráren má dlouhodobě vzrůstající tendenci, což je zapříčiněno taktéž kladným vztahem k tomuto zdroji energie a míře podpory, která je tímto směrem vynakládána.

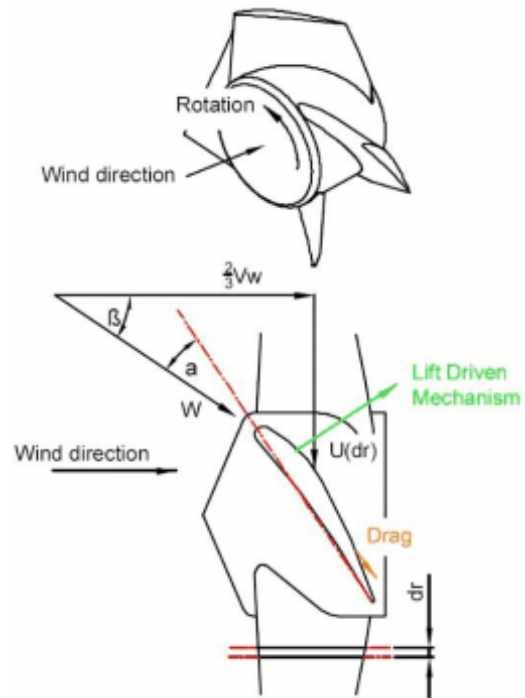
5. Schéma větrné elektrárny

Společným znakem všech větrných elektráren je jejich snaha o přetvoření energie větru na jiný typ energie, především elektrické. Větrné turbíny můžeme dělit jednak podle principu jejich fungování a také podle osy otáčení rotoru. Moderní větrné elektrárny se skládají z následujících komponentů.

5.1. Vztlaková turbína

V dnešní době jednoznačně nejpoužívanější typ větrné turbíny, která dosahuje násobných účinností (40–50 %) ve srovnání s turbínou odporovou. Vztlaková funguje na principu aerodynamického obtékání vzduchu přes speciálně tvarované lopatky větrné turbíny. Základ tvoří profilované lopatky různého tvaru, které rotují kolem svislé osy. Vztlaková síla má za účinek její roztočení a snažíme se zároveň eliminovat síly odporové. Zásadní podmínkou pro funkčnost tohoto principu je relativně velký poměr obvodové rychlosti k rychlosti větru. Charakteristika vztlakové turbíny s sebou nese několik důsledků:

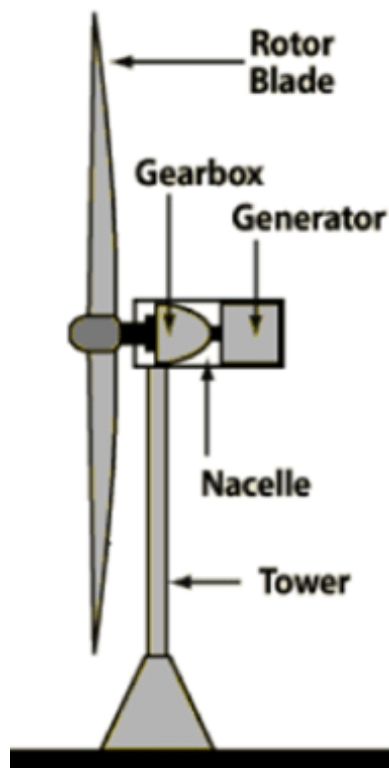
1. Větrnou turbínu musíme uvést do pohybu startovacím zařízením, tj. elektricky, při dostatečné rychlosti proudícího větru pomocí generátoru jakožto spouštěcího motoru. Zároveň při vysokých rychlostech větru musíme vypínat chod turbíny, aby nedošlo k jejímu poškození.
2. Větrná turbína pracuje s proměnlivými otáčkami regulovanými na základě rychlosti větru, které jsou dále upravovány převodovkou.
3. Na profilu lopatek vztlakové turbíny může vlivem změny směru vektoru aerodynamických sil docházet k vibracím, které způsobují značné namáhání lopatek a celého rotoru, je tedy potřeba věnovat pozornost správnému dimenzování.⁵



Obrázek 4: Princip funkce vztlakové turbíny¹⁶

5.2. Větrná turbína s horizontální osou

Jedná se v dnešní době o nejužívanější druh turbín, a to hlavně z důvodu její účinnosti. Lopatky musí vždy směřovat proti směru větru, za tímto účelem jsou zde u moderních větrných turbín větrné senzory a servo pohony, tedy tzv. yaw drive systém, případně směrové lopatky. U větrných turbín větších rozměrů je potřeba převodovky, která redukuje rychlost otáčení a tedy i napětí jdoucí do generátoru, aby splňovalo určité parametry potřebné pro přenosovou síť.¹⁷

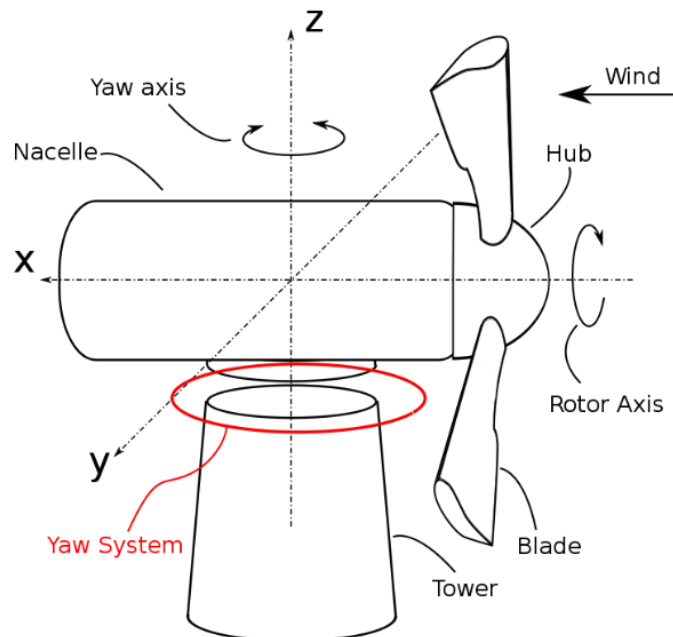


Obrázek 5: Větrná turbína s horizontální osou¹⁸

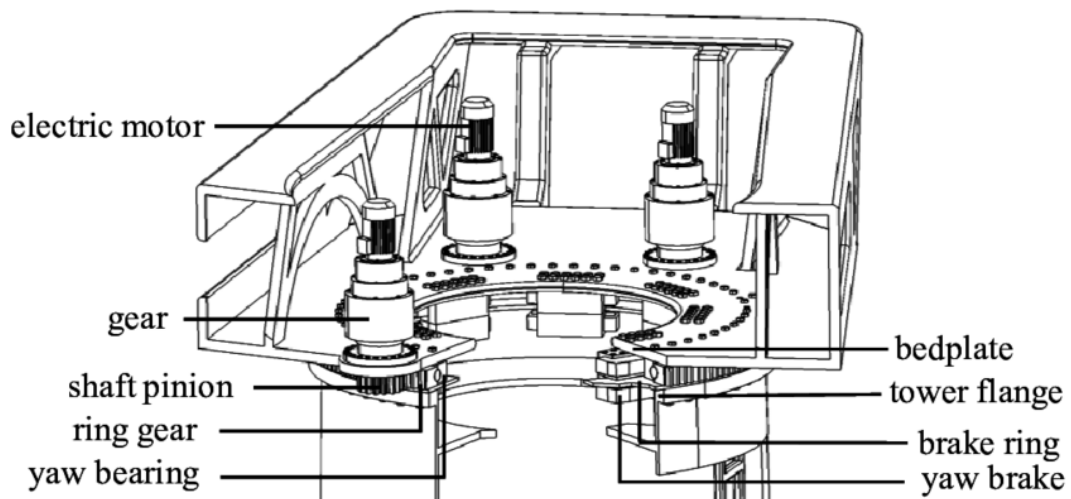
5.3. Yaw drive systém

Důležitým technickým prvkem VtE je tzv. yaw drive systém, respektive řídicí čelisti umístěné na horizontální ose. Yaw drive systém funguje na principu natáčení gondoly vždy směrem kolmo na proudění větru. Tento pohyb má svůj původ na zadní části gondoly, kde dochází k permanentnímu měření aktuálního směru proudění větru pomocí anemometrem. Pokud dojde k náhlé změně směru větru, anemometr vyšle signál přes řídicí elektroniku do elektromotoru, který uvede do pohybu ozubená kola a ta způsobí natočení gondoly v požadovaném směru. O tento rotační pohyb se povětšinou starají čtyři elektromotory o výkonu řádově do 2 kW.

Maximální úhel natočení je 1440° z výchozí pozice 0° , což odpovídá čtyřem plnohodnotným otáčkám. V případě dosažení maxima a tendence větru směřovat gondolu za tento úhel, procesor VtE vyhodnotí tuto situaci jako nepřijatelnou, turbína vypne svou činnost a gondola se automaticky natočí opět do výchozí pozice 0° , kde se rotační pohyb rotorové části obnoví. Jako prevence proti poškození kabeláže se v gondole nachází tzv. cable twist counter/ prevention, což je komponent starající se o nepřetáčivost kabeláže, která vede z generátoru přes celou délku věže až do spodní rozvodny proudu. Komponent yaw drive systém se využívá za účelem maximalizace efektivity větrné turbíny, tak aby byla elektrárna natočena vždy pokud možno kolmo proti směru větru.



Obrázek 6: Schématické zobrazení hlavních komponentů VtE¹⁹



Obrázek 7: Yaw drive mechanismus²⁰

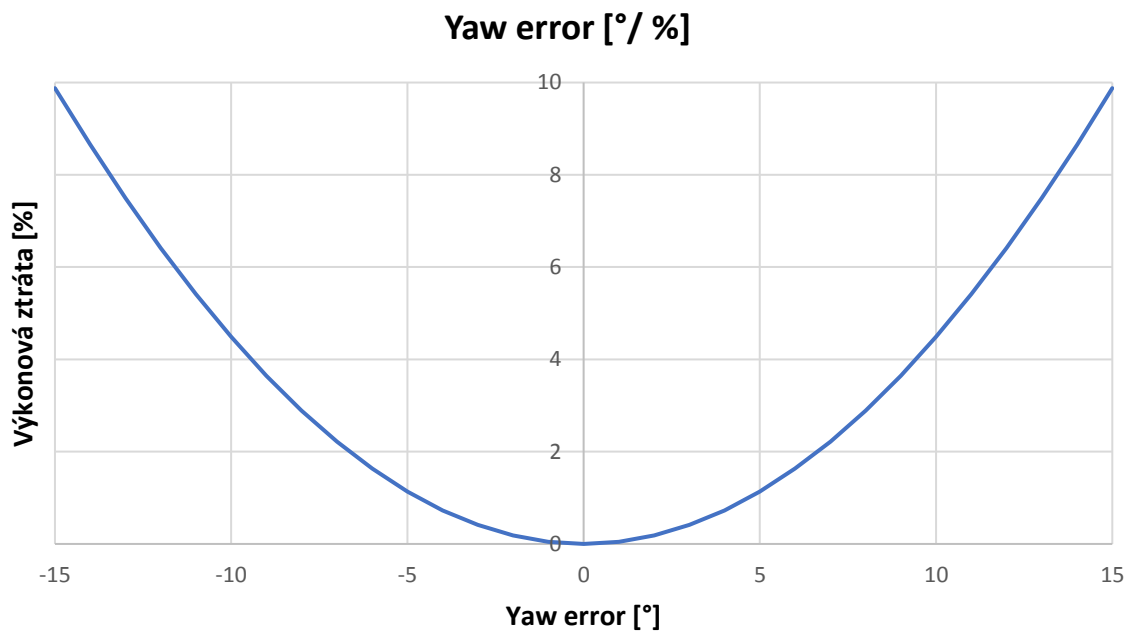
5.3.1. Yaw error

I přes vyspělost technologie yaw drive systému se zde vyskytují ztráty, tzv. yaw error, což je chyba, jenž je definována na základě třetí mocniny rychlosti proudění v závislosti na cosinu úhlu pootočení a samotném čase. Jedná se o stupňovité vychýlení od kolmice proudění větru, které se definuje na základě procenta ztráty z potenciálně vyrobitelného množství energie.²¹ Vzorcem může být daná chyba vypočítána následovně:

$$Y = (1 - \cos^3(\alpha)) \cdot 100 [\%]$$

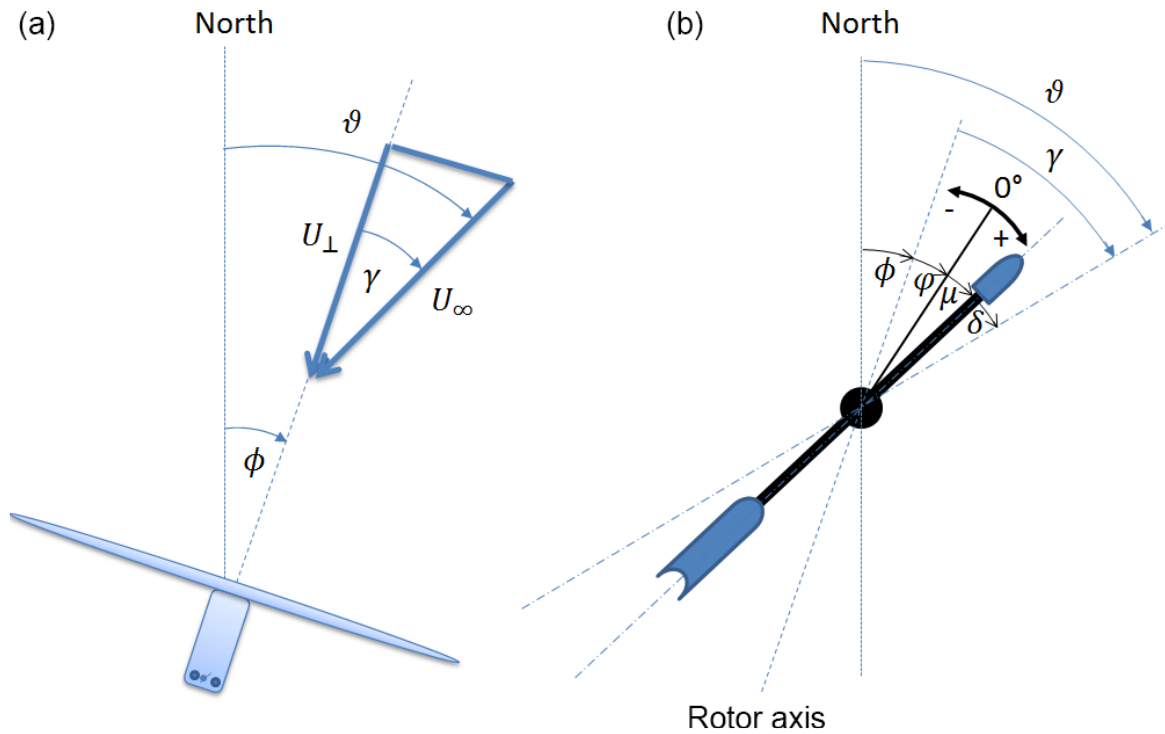
α - úhel pootočení gondoly

Odhad chyby je aproximován v rámci následujícího grafu.



Graf 4: Vyjádření yaw error, závislost [°/ %]

Nejčastěji uváděnou chybou odchylky yaw error bývá 10°, což odpovídá přibližně 4,49 % ztrátě energie, s touto hodnotou budu tedy nadále počítat.

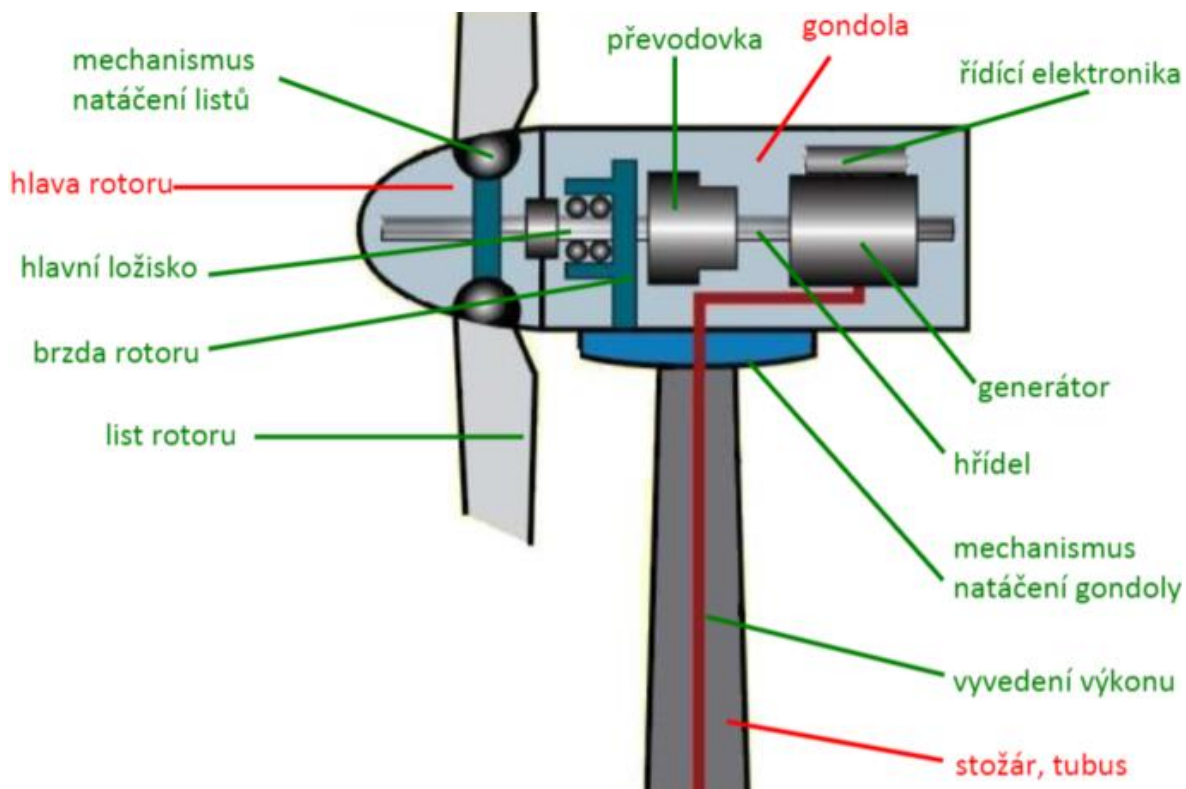


Obrázek 8: Definice úhlů vychýlení vůči gondole²²

Definice uhlů na obrázku:

- Úhel mezi reálným směrem větru (ϑ) U_∞ a jeho komponentem kolmým na rotor U_\perp se nazývá tzv. yaw error γ .
- Větrná lopatka nacházející se za rotorem, jejíž montážní úhel φ koreluje s osou rotoru, měřenou hodnotou μ a úhlovou výchylkou proudění δ mezi větrnou lopatkou a reálným směrem proudění větru, dávají dohromady úhel definující yaw error γ .²³

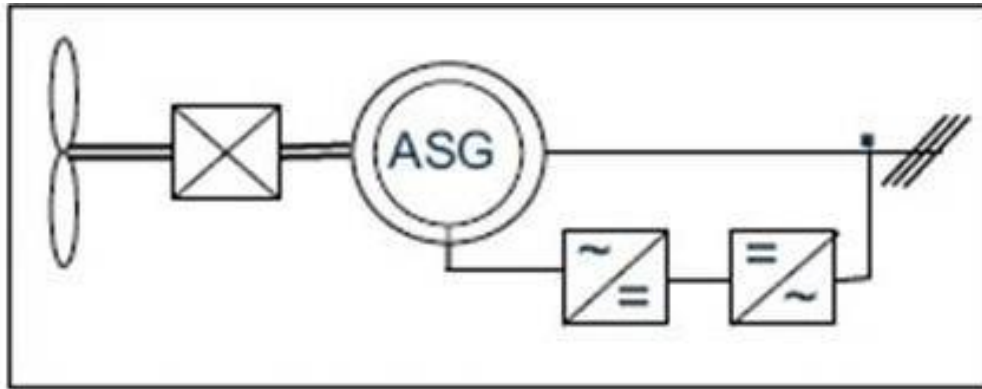
5.4. Větrná elektrárna jako celek



Obrázek 9: Schéma větrné elektrárny²⁴

Větrná elektrárna pracuje na principu přeměny větrné energie na energii elektrickou. K tomuto procesu dochází v momentu, kdy vítr dopadá na lopatky (list rotoru), což způsobuje přeměnu kinetické energie větru na energii mechanickou, která tímto pohání hřídel a roztáčí generátor, ten tuto mechanickou energii transformuje na energii elektrickou, odkud proudí tubusem trojfázový střídavý proud do lokální distribuční a přenosné sítě. Mimo výše vyjmenované části, VtE taktéž obsahuje mechanismus natáčení listů, který slouží k co jak nejefektivnějšímu využití proudění větru a tímto se tedy přizpůsobuje změnám jeho směru, případně také k eliminování možnosti poničení listů vlivem nadměrných rychlostí větru, k čemuž také slouží brzdy rotoru.

U moderních turbín se v dnešní době již většinou instalují do gondoly také převodovky, které mají za úkol volit optimální převodový poměr, za účelem zvýšení účinnosti a efektivity práce turbíny. Převodovky se instalují v případě využití asynchronního generátoru, což je strategie, kterou razí největší výrobce VtE na světě, dánská společnost Vestas. Je významná svou jednoduchostí také snadným připojením do sítě. Vinutí rotoru je tedy napájeno z frekvenčního měniče přes kroužky asynchronního motoru.



Obrázek 10: Schéma využití asynchronního generátoru u VtE ²⁵

5.4.1. Záložní zdroje elektrárny

Každá větrná elektrárna musí mít k dispozici dostatečnou soustavu záložních zdrojů, které pokrývají výpadky způsobené bezvětřím. Jedná se o zdroje, které jsou schopny podle potřeby najet během krátkého intervalu, počítaném na minuty, na plné jmenovité zatížení. Tuto funkci v České republice plní převážně uhelné a paroplynové elektrárny. Nestabilita dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů nutí významnou měrou zlepšovat predikci její výroby, na základě které lze uvolňovat zdroje, jinak blokové jako rezervní výkon.

5.4.2. Přenosová a distribuční soustava

S výraznějším nástupem větrné energetiky dochází k většímu uvědomování si důležitosti stability přenosové a distribuční elektrizační soustavy, která je dimenzovaná na určité hodnoty vstupního napětí a výkonu. Regiony s nejvyšším větrným potenciálem jsou často historicky dimenzovány na hodnoty distribuční sítě 22 kV pro nízké zatížení. V hrubém nákrese uvažujeme, že do sítí 22 kV lze připojit 6–10 MW instalovaného výkonu, kdežto do sítí 110 kV výkon až několika desítek MW, přičemž vyšší výkony jsou směřovány rovnou do přenosové soustavy, kde operují tzv. VVN a ZVN, v řádu 110 kV–440 kV.¹⁴

6. Volba lokality

Na základě dlouhodobých měření a tendencí proudění větru jsem si podle větrné mapy vytvořené ÚFA AV ČR, v.v.i zvolil lokalitu pro výstavbu větrné elektrárny v obci Klíny, okres Most, Ústecký kraj, katastrální území Klíny I, parcelní číslo 136/1. Bylo potřeba vzít v potaz možnost nedalekého připojení do distribuční sítě, přičemž v lokalitě Klíny se již nacházejí VtE. Jedná se o lokalitu Mníšek- Nová Ves, kde je instalace Enercon E70, 1x 2 MW a lokalita Klíny, taktéž s instalací Enercon E70, 2x 2 MW. Z tohoto usuzuji, že se jedná o lokalitu s dobře zavedenou infrastrukturou, vhodnou pro následné rozšíření současného stavu.

6.1. Obec Klíny

Obec Klíny je obec v okrese Most v Ústeckém kraji, nachází se ve východní části Krušných hor v nadmořské výšce 700–812 m. n., vzdušnou čarou 5 km od hranic s Německem a přibližně 8 km od města Litvínov. Katastrální rozloha činí 1 843 ha a žije zde 137 obyvatel.

V dnešní době jsou Klíny rekreační oblastí, ve které se nachází hojně turistické trasy a cyklistické stezky, během zimního období je zde lyžařské vyžití.

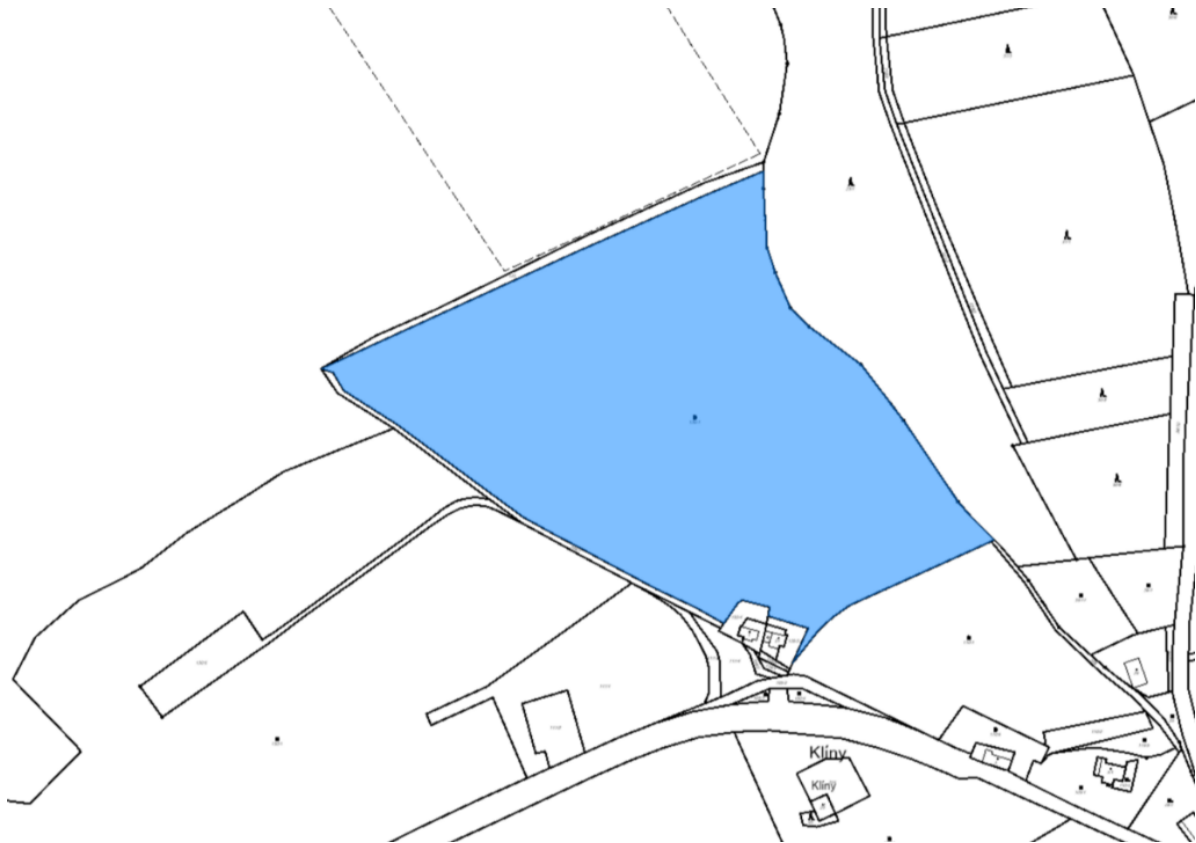
6.2. Místo plánované instalace VtE

Samotné místo plánované instalace VtE se nachází v dohledné vzdálenosti od stávající větrné instalace provozovatele ALTENERG, s.r.o., Enercon E70, 1x 2 MW. Výměra uvažovaného pozemku je 43 845 m² a jedná se o zemědělský půdní fond s trvalým travním porostem, na který má vlastnické právo Statutární město Most, se sídlem Radniční 1/2, 43401 Most. V příloze přikládám detailní rozbor půdy na daném pozemku, viz eKatalog BPEJ, spadající pod Ministerstvo zemědělství.

Na vizuálním pohledu pozemku lze vidět, že se nachází na hranici s lidským obydlím, tudíž je tedy potřeba směřovat výstavbu VtE na pomezí lesního porostu, aby byla dodržena zákonem stanovená vzdálenost od obydlí. Pozemek je rovněž dobře přístupný po zpevněné komunikaci, což činí přesun nadrozměrných objektů snazším. Daná oblast se rovněž nenachází v chráněném pásmu.

GPS souřadnice zvolené lokality:

Zeměpisná šířka: 50°38'23.65"N Zeměpisná délka: 13°32'48.31"E



Obrázek 11: Katastrální mapa pozemku 136/1 ²⁶

Katastrální mapa + ortofoto pozemku 136/1 viz příloha.

7. Povětrnostní data

Vhodnost daného místa pro výstavbu větrné elektrárny se určuje dlouhodobými větrnými poměry pro místo středu rotoru větrné elektrárny. Vítr je navíc jako zdroj velice nestálý, proměnlivý, a tudíž i složitě předvídatelný. Toto je hlavní překážkou pro volbu ideálního místa, neboť vítr nemá cyklickou tendenci a může se v rámci krátkých časových intervalů měnit, jednak jeho směr a také rychlost.

Data pro návrh VtE byla zpracována modelovou metodou WAsP/ WENg, vycházející z nejbližší měřicí stanice Nová Ves v Horách. Data byla zakoupena pro účely bakalářské práce od ČHMÚ. Budeme tedy pracovat s daty vztahujícími se k období roku 2018 s četností po jedné hodině, tj. $365 [d] \cdot 24 [h] = 8\,760$ jednotkových dat. Z daných dat je možno vyčíst modelovaný den, hodinu, rychlost větru a směr, což jsou informace, na jejichž základě jsme schopni vytvořit modelový návrh výroby elektrické energie. Veškeré hodnoty navíc byly modelovány pro výšku 100 m nad povrchem. Tato modelová data operují s odchylkou až do výše 6 %, což je hodnota, se kterou je potřeba počítat v rámci odhadu množství vyrobené elektrické energie.²⁷

Datum	F [m/ s]	D [°]
01.01.2018 00:00	12,2	213
01.01.2018 01:00	14,7	214
01.01.2018 02:00	13,7	208
01.01.2018 03:00	9,4	198
01.01.2018 04:00	11,9	229
01.01.2018 05:00	16,8	221
01.01.2018 06:00	9,6	259
01.01.2018 07:00	16,6	265
01.01.2018 08:00	14,2	262
01.01.2018 09:00	14,8	246
01.01.2018 10:00	10,8	247
01.01.2018 11:00	11,4	265
01.01.2018 12:00	13,8	274
01.01.2018 13:00	19,4	260
01.01.2018 14:00	15,2	274
01.01.2018 15:00	14,1	268
01.01.2018 16:00	12,5	264
01.01.2018 17:00	12,3	243
01.01.2018 18:00	7,1	198
01.01.2018 19:00	9,0	107
01.01.2018 20:00	5,9	142
01.01.2018 21:00	11,3	109
01.01.2018 22:00	5,7	154
01.01.2018 23:00	10,9	123
02.01.2018 00:00	6,4	147
02.01.2018 01:00	6,8	167
02.01.2018 02:00	5,4	164
02.01.2018 03:00	5,0	157
02.01.2018 04:00	6,8	192

Tabulka 3: Ilustrativní modelová data poskytnutá ČHMÚ

7.1.1. Modelování pomocí softwaru

Model WAsP je software určen speciálně pro větrnou energetiku. Představuje linearizovaný model proudění v přízemní vrstvě atmosféry, který je složen z jednotlivých modelů majících různé účinky zemského povrchu na větrné poměry. Největším zdrojem chyb je podle samotných autorů softwaru, vliv orografie.

7.2. Přepočtové vzorce

Pro správné určení výkonového koeficientu je potřeba také vypočítat atmosférický tlak pro uvažovanou lokalitu v návaznosti na nadmořskou výšku, která je ve zvolené lokalitě 802 m.n.m. Tento přepočet zjistíme pomocí vzorce:

$$p_b(h) = p_b(0) \cdot (1 - 0,118358 \cdot 10^{-3} \cdot h + 0,5291 \cdot 10^{-8} \cdot h^2) \text{ [Pa]}$$

$p_b(0)$ – atmosférický tlak v 0 m.n.m. [Pa]

h - nadmořská výška [m]

Po dosazení nadmořské výšky 802 m.n.m., obdržíme hodnotu 92 051,74 Pa, přičemž dále dosadíme do vzorce pro zjištění hustoty vzduchu:

$$\rho = \frac{p_b}{r \cdot T} \text{ [kg/ m}^3\text{]}$$

$p_b(h)$ – atmosférický tlak v 802 m.n.m. [Pa]

r – plynová konstanta [J/ kg·K]

T – termodynamická teplota [K]

Odkud pro zvolenou lokalitu obdržíme hodnotu 1,1327 kg/ m³.

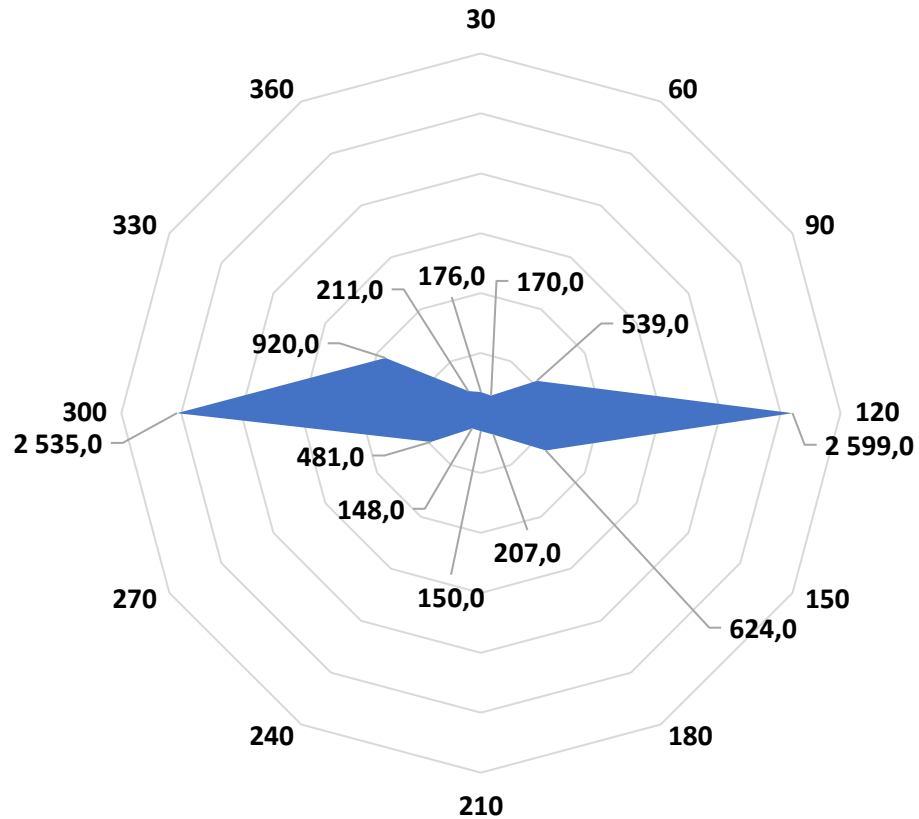
8. Zpracování povětrnostních dat

Z daných 8 760 dat vytvoříme pravděpodobnostní tabulku, ve které bude četnost rychlostí vyjádřena v hodinách v závislosti na směru proudění, kde si pomocí intervalů rozdělíme 360° na 12 polí po 30°. Zde tedy obdržíme hodinovou četnost rychlostí od 0 m/ s do 25 m/ s, neboť toto je tzv. vypínací rychlost VtE, každá vyšší by vedla k poškození turbíny.

Odtud získáme tabulku četností, rozdělenou v rámci intervalů po rychlostech v závislosti na úhlu proudění větru. Detailní tabulka viz příloha.

Z dané tabulky lze vytvořit tzv. větrnou růžici, respektive graf specifikující závislost intenzity větru vyjádřenou buďto v hodinách, případně v rychlostech v závislosti na směru proudění větru. Tato informace je klíčová pro ideální stanovení výchozí pozice větrné turbíny, jakož i nejefektivnější směr, ve kterém se vyrobí procentuálně největší množství elektrické energie, neboť jakékoliv sebemenší natočení turbíny způsobuje ztráty, kterým se snažíme přirozeně vyhýbat a maximálně je kompenzovat.

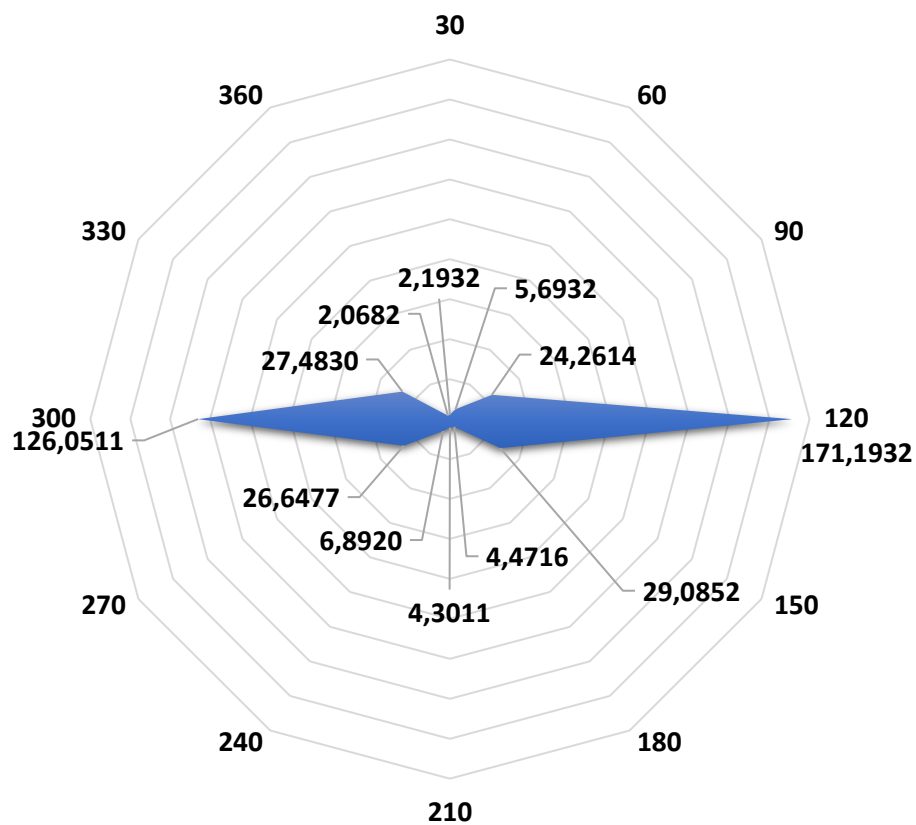
Rozložení větrné tendence [hod/ °]



Graf 5: Rozložení větrné tendence [hod/ °]

Větrná růžice znázorňuje rozložení větrné tendence na základě směru proudění a jemu příslušnou hodinovou dotaci. Je evidentní, že významnou měrou se na největším větrném rozložení podílí právě dva navzájem opačné směry.

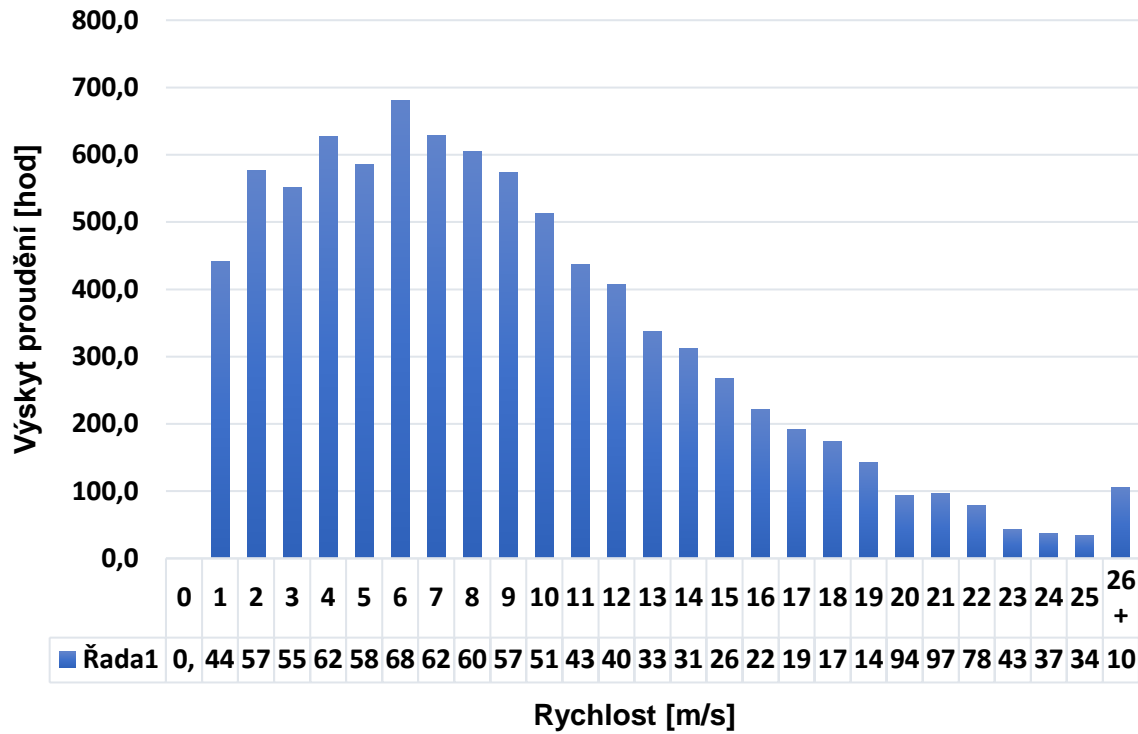
Průměrná rychlost větru [m/s / °]



Graf 6: Průměrná rychlost větru [m/s / °]

Tato grafická závislost určuje rozložení větrné tendence v závislosti intenzity větru vyjádřené v m/ s, tedy rychlosti vůči směru proudění.

Četnost výskytu rychlostí

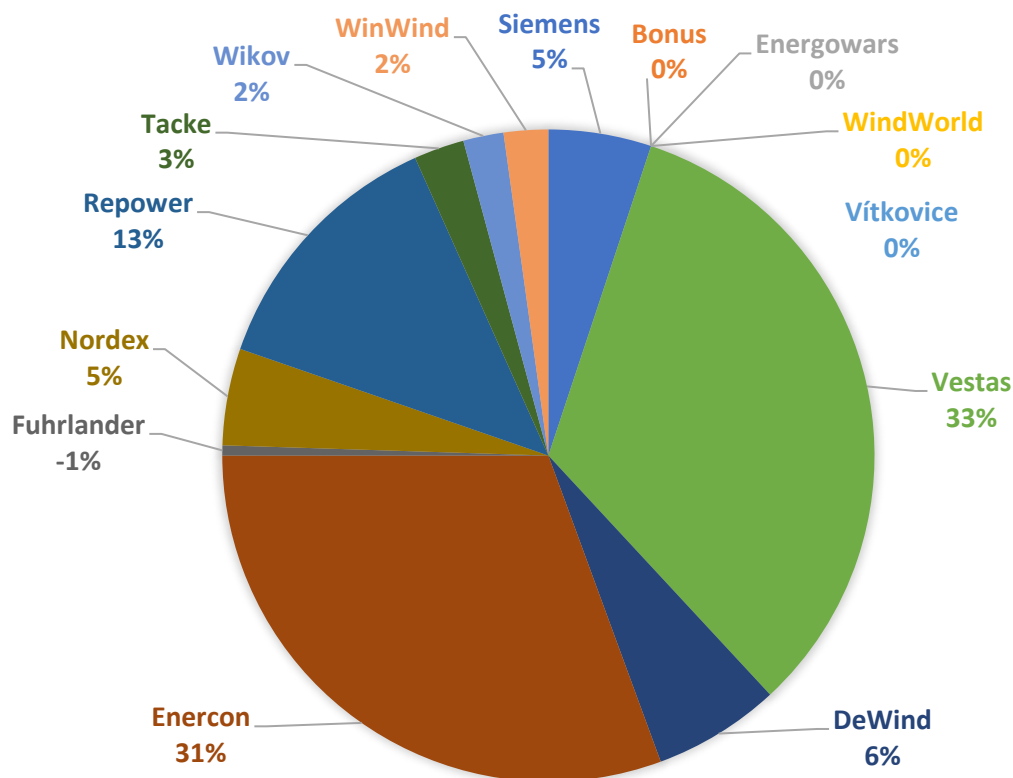


Graf 7: Četnost výskytu rychlostí

Četnost výskytu rychlostí nám poukazuje na tzv. Weibullovo rozdělení větrné tendence, což je křivka, která znázorňuje hodnotové rozložení větrných rychlostí a jejich četnost.

9. Volba větrné elektrárny

Instalace větrných elektráren v ČR podle výrobců



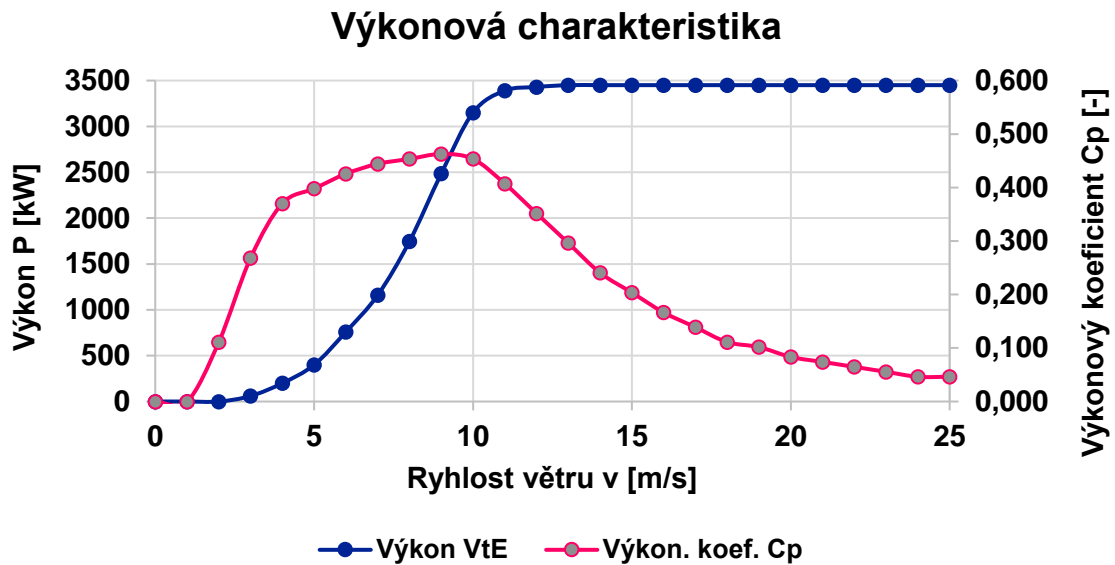
Graf 8: Instalace větrných elektráren v ČR podle výrobců ²⁸

Vhodnou větrnou elektrárnu vybírám na základě srovnání dvou nejpopulárnějších a v České republice nepoužívanějších firem, a sice Vestas a Enercon. Pro mnou zvolenou lokalitu $v_{\text{average}}=8,54$ m/ s, která odpovídá větrné třídě IEC II, což je kategorie $v_{\text{average}}=8,5$ m/ s, volím odpovídající větrné elektrárny, a sice typ Vestas V126- 3 450 kW a Enercon E-101 3 050 kW, které budu dále navzájem porovnávat.

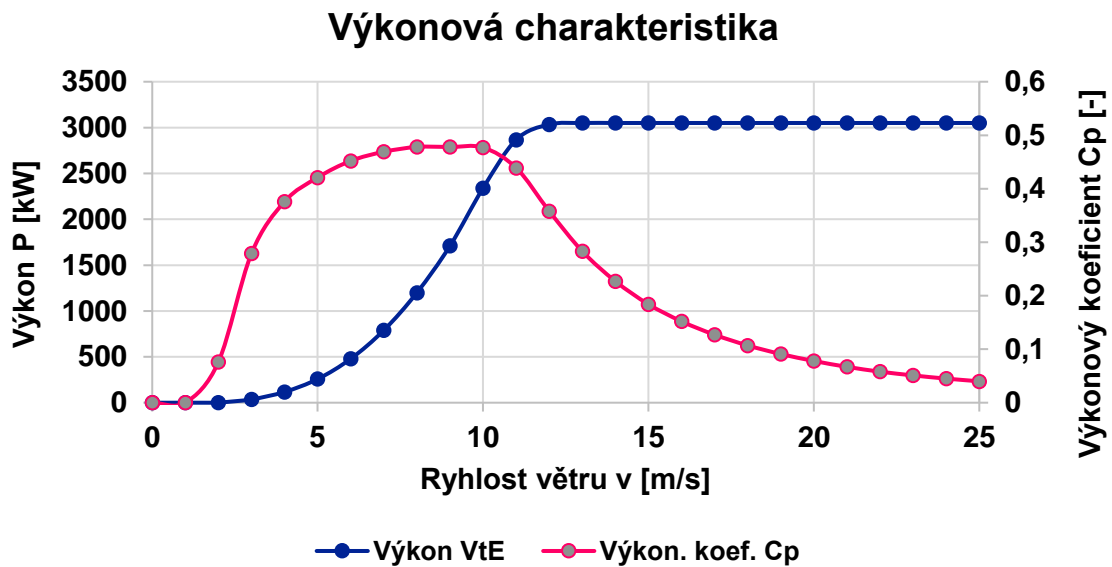
Charakteristika	Class IA	Class IIA	Class IIIA
Roční střední rychlost větru [m/ s]	10	8,5	7,5
Intenzita turbulence [%]	18	18	18
Úhel naklonění svahu [°]	8	8	8
Hustota vzduchu [kg/ m ³]	1,225	1,225	1,225
Minimální teplota [°C]	-20	-20	-20
Maximální teplota [°C]	+50	+50	+50
A odpovídá turbulenci 18 %, B by odpovídalo 16 %			

Tabulka 4: IEC charakteristiky větrných tříd ²⁹

10. Srovnání větrných elektráren



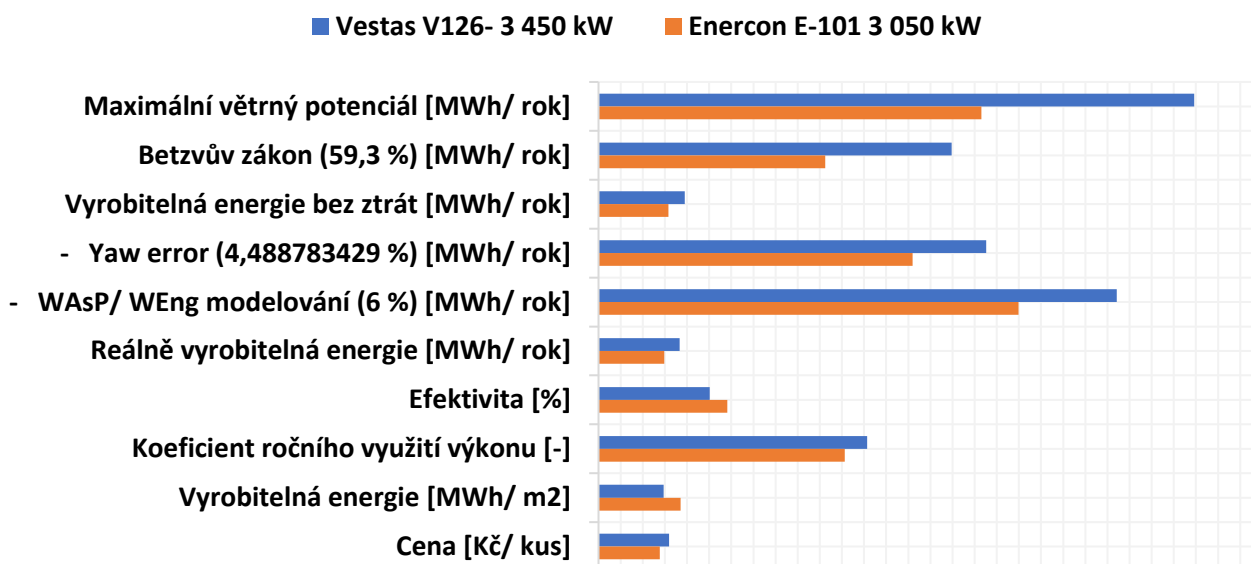
Graf 9: Výkonová charakteristika Vestas V126-3,450³⁰



Graf 10: Výkonová charakteristika Enercon E-101 3,050³¹

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Větrná třída	IEC IIA/ IEC IIB	IEC/ EN IIA
Max. větrný potenciál [MWh/ rok]	107 693,62	69 197,69
Betzův zákon (59,3 %) [MWh/ rok]	63 818,44	41 006,04
Vyrobitelná energie ideál [MWh/ rok]	15 611,31	12 651,40
Yaw error ($\approx 4,489$ %) [MWh/ rok]	- 700,76	- 567,89
Modelování dat (6 %) [MWh/ rok]	- 936,68	- 759,08
Vyrobitelná energie reál [MWh/ rok]	14 674,63	11 892,31
Efektivita [%]	20,10	23,27
Koeficient ročního využití výkonu [-]	0,4856	0,4451
Vyrobitelná energie [MWh/ m ²]	1,1769	1,4843
Cena [mil. Kč/ kus]	127,710	110,854

Tabulka 5: Porovnání vypočtených hodnot pro uvažované VtE



Graf 11: Graf poměrového srovnání základních vlastností obou VtE

11. Ekonomická analýza projektu

Rozvoj větrné energetiky podmiňuje její legislativní část a podnikatelské prostředí, respektive investorská činnost. Větrná energetika musí prokazovat rentabilní tendenci v dlouhodobém horizontu. Vycházíme-li z ekonomického hodnocení projektu, jsou pro nás naprosto klíčové následující aspekty:

- Výše výkupních cen elektřiny, respektive tzv. zelené bonusy, což je forma podpory stanovená ERÚ v Kč/ MWh. Vypisují se vždy pro každý rok a jejich predikce je v tomto směru obtížná.
- Výše investičních nákladů, nejvýznamnější část tvoří samotná VtE, jejich cena se pochopitelně odvíjí od tržních cen. Dále je potřeba hledět na náklady nutné pro připojení elektrárny do přenosové sítě, povolovací řízení, potřebné studie, sběr meteorologických dat a nakonec také náklady na samotnou výstavbu.
- Úvěrové prostředí, daňová politika, případný režim dotací.¹⁴

11.1. Náklady

Za účelem správného určení výhodnosti projektu je potřeba vytvořit analýzu nákladů, která uvažuje veškeré s projektem spjaté výdaje.

11.1.1. Cena VtE

Cenu VtE je poměrně komplikované zjistit ze stránek výrobce, případně se k této informaci vůbec dostat. Na základě dlouhodobé tendence tedy budu vycházet z medianu výstavby VtE v Evropě, tedy z výpočtového vzorce daného množstvím \$ na kW instalovaného výkonu. V Evropské Unii se tato částka pohybuje okolo 1 600 \$/ kW_{install}. V řeči čísel se tedy bavíme o celkových nákladech viz tabulka:

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Instalovaný výkon	3 450 kW	3 050 kW
Median VtE [\$/ kW _{install}]	1 600 +1,5 %= 1 624*	1 600
Kurz** [Kč/ USD]	22,716	22,716
Cena VtE [mil. Kč]	127,273	110,854

Tabulka 6: Cena transportu a instalace VtE

* V případě VtE Vestas je nutno připočíst zvýšené náklady vzhledem k mechanismu převodovky, kterou daná společnost instaluje a tímto se významně odlišuje od ostatních výrobců.

** Měnový kurz byl použit jako aritmetický průměr měsíce březen roku 2019.

11.1.2. Napojení na distribuční síť

Vzhledem k výchozí poloze uvažované lokality, která se nachází v poměrně zastavěné a zároveň aktivně obývané vesnici, a také s přihlédnutím na nedaleko umístěnou větrnou elektrárnu, odkud daná data čerpám, se mnou zvolená lokalita nachází zhruba 2 000 m od transformátoru společnosti ČEZ Distribuce, která působí v regionu Sever v rámci distribuční sítě a její správy, tedy i připojování nových zákazníků, respektive výrobců elektřiny.³² Veškeré uvažované náklady viz tabulka:

Vzdálenost k transformátoru [m]	200
Kabelové vedení [Kč/ m]	800
Pokládka kabeláže + napojení [mil. Kč]	1,3
Napojení na distribuční síť celkem [mil. Kč]	2,9

Tabulka 7: Náklady na napojení do distribuční sítě

11.1.3. Příjezdová komunikace

Za účelem výstavby větrné elektrárny je potřeba uvést veškerou komunikaci, po níž bude docházet k transportu nadměrných nákladů, tedy jednotlivých kusů větrné elektrárny, do stavu, aby tento nápor vydržela. Obec Klíny nabízí zpevněnou asfaltovou komunikaci, po níž lze bez větších komplikací převážet větší náklady, nicméně úsek zhruba 50 m komunikace se nachází ve stavu nezpevněném, zde bude potřeba investovat do bezpečnosti převáženého zařízení.

Zpevnění [Kč/ m²]	1 000
Šířka [m]	3,5
Délka [m]	50
Celkový výměr [m]	175
Nečekané výdaje [tis. Kč]	40
Výdaje celkem [tis. Kč]	215

Tabulka 8: Náklady na zpevnění komunikace

11.1.4. Pozemek

Důležitou složkou nákladů se jeví náklady na pozemek. Samotná životnost projektu větrné elektrárny se pohybuje v řádu 20–25 let, v této práci budeme uvažovat koupi celého pozemku, nikoliv pouhý pronájem. Celková výměra pozemku parcelního čísla 136/1 činí 43 845 m², což při uvažované legislativě, kdy instalace větrné elektrárny se nesmí nacházet blíže než 200 m od lidského obydlí, naprosto splňuje zákonem dané podmínky.

Rozloha [m²]	43 845
Cena [Kč/ m²]	250
Pozemek celkem [mil. Kč]	10,961

Tabulka 9: Náklady na koupi pozemku

11.1.5. Administrativní činnost

Administrativní činnost, zahrnující veškerá potvrzení, ověření, žádosti, úřední vyjádření, včetně dokumentace posouzení vlivu na životní prostředí EIA a další odhadují celkově zhruba na 1 000 000 Kč.

11.1.6. Náklady celkem

Po započtení veškerých dílčích nákladů se tedy dostávám na celkové náklady viz tabulka:

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Cena VtE [mil. Kč]	127,710	110,854
Napojení na síť [mil. Kč]	2,9	2,9
Komunikace [mil. Kč]	0,215	0,215
Pozemek [mil. Kč]	10,961	10,961
Administrativa [mil. Kč]	1,0	1,0
Náklady celkem [mil. Kč]	142,349	125,930

Tabulka 10: Celkové náklady

11.2. Tržby

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/ 2018 ze dne 25. září 2018 stanovuje podporu pro podporované zdroje energie. Jedná se o vyhlášku určující výrobcům elektrické energie z jmenovaných zdrojů, výši podpory tzv. výkupních cen a zelených bonusů. Tyto hodnoty mají postupně sestupnou tendenci, přičemž aktuální ceny se nacházejí na hodnotách, viz tabulka:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		b	c	j	k
400	Větrná elektrárna	-	31.12.2003	4 171	3 321
401		1.1.2004	31.12.2004	3 768	2 918
402		1.1.2005	31.12.2005	3 585	2 735
403		1.1.2006	31.12.2006	3 273	2 423
404		1.1.2007	31.12.2007	3 216	2 366
405		1.1.2008	31.12.2008	3 137	2 287
406		1.1.2009	31.12.2009	2 861	2 011
407		1.1.2010	31.12.2010	2 676	1 826
408		1.1.2011	31.12.2011	2 618	1 768
409		1.1.2012	31.12.2012	2 561	1 711
410		1.1.2013	31.12.2013	2 387	1 537
411		1.1.2014	31.12.2014	2 224	1 374
412		1.1.2015	31.12.2015	2 143	1 293
413		1.1.2016	31.12.2016	2 048	1 198
414		1.1.2017	31.12.2017	2 008	1 158
415		1.1.2018	31.12.2018	1 969	1 119
416		1.1.2019	31.12.2019	1 930	1 080

Tabulka 11: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro VtE³³

Vzhledem k předpisu v Cenovém rozhodnutí ERÚ: „V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat podporu formou výkupních cen a zelených bonusů na elektřinu.“³³, se pokusím nastínit možné scénáře a následně vybrat nejvýhodnější variantu pro uvažovanou lokalitu. Podstatnou informací je, že poskytovaná podpora jednak ve formě výkupních cen, tak i zelených bonusů se vztahuje na dobu živostnosti projektu, což je zákonně ověřovaný parametr. Níže uvažované propočty jsou navíc brány fixně na první rok instalace, respektive vzhledem k poskytnutým datům. Reálná výše tržeb se bude každoročně snižovat, což je zapříčiněno opotřebováním technologie větrné elektrárny, kde dochází každoročně k poklesu výkonu ve výši 1,6±0,2 %.³⁴

11.2.1. Výkupní ceny

Výkupní cena pro větrnou elektrárnu uvedenou do provozu od 1.1.2019 do 31.12.2019 včetně, je pro jednotarifní pásmo provozování stanovena na 1 930 Kč/ MWh, což v praxi znamená:

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Výkupní cena [Kč/ MWh]	1 930	1 930
Elektrická energie [MWh/ rok]	14 674,6	11 892,3
Tržby [mil. Kč/ rok]	28,322	22,952

Tabulka 12: Roční tržby elektrárny při využití výkupních cen

11.2.2. Zelené bonusy

Zelené bonusy jsou stanoveny jako forma podpory, jenž je státem doplácena nad rámec běžného prodeje elektrické energie. Samotná výše zelených bonusů, vztahujících se na větrné elektrárny uvedené do provozu v období od 1.1.2019 do 31.12.2019 včetně, je 1 080 Kč/ MWh. Zároveň vycházím-li z informací poskytnutých společností ČEZ ESCO komodity, která se zabývá výkupem elektrické energie z obnovitelných zdrojů, pro rok 2019 by byla nabídnuta cena 1 080 Kč/ MWh, což vede k následující tabulce:

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Zelené bonusy [Kč/ MWh]	1 080	1 080
Cena elektrické energie [Kč/ MWh]	1 080	1 080
Množství elektrické energie [MWh/ rok]	14 674,6	11 892,3
Tržby [mil. Kč/ rok]	31,697	25,687

Tabulka 13: Roční tržby elektrárny při využití zelených bonusů

Z výše uvedených tabulek si volím výhodnější možnost zelených bonusů v kombinaci s pevně danou výkupní cenou společnosti ČEZ ESCO komodity, která se vztahuje na obnovitelné zdroje energie a má v sobě již započítanou srážku za předpokládanou odchylku tzn. náklad způsobený vlivem nestability výroby větrné elektrárny.

Pro zvolený případ tvořím tabulku, včetně zahrnuté odchylky způsobené stářím elektrárny, tedy postupné snižování výkonosti elektrárny:

VtE	Vestas V126		Enercon E-101	
Rok	Energie [MWh]	Tržby [mil. Kč]	Energie [MWh]	Tržby [mil. Kč]
1	14 674,6	31,38	11 892,3	25,37
2	14 439,8	30,87	11 702,0	24,96
3	14 208,8	30,37	11 514,8	24,55
4	13 981,5	29,88	11 330,6	24,15
5	13 757,8	29,40	11 149,3	23,76
6	13 537,6	28,92	10 970,9	23,38
7	13 321,0	28,45	10 795,4	23,00
8	13 107,9	27,99	10 622,6	22,62
9	12 898,2	27,54	10 452,7	22,26
10	12 691,8	27,09	10 285,4	21,90
11	12 488,7	26,66	10 120,9	21,54
12	12 288,9	26,22	9 958,9	21,19
13	12 092,3	25,80	9 799,6	20,85
14	11 898,8	25,38	9 642,8	20,51
15	11 708,4	24,97	9 488,5	20,18
16	11 521,1	24,57	9 336,7	19,85
17	11 336,8	24,17	9 187,3	19,52
18	11 155,4	23,78	9 040,3	19,21
19	10 976,9	23,39	8 895,7	18,89
20	10 801,2	23,01	8 753,3	18,59
Celkem	252 887,4	539,84	204 939,9	436,27

Tabulka 14: Roční vývoj tržeb VtE

V dané tabulce tržeb je taktéž zahrnuta roční srážka 320 000 Kč na údržbu větrné elektrárny.

11.3. Financování

Za účelem financování daného projektu budu uvažovat, že disponuji dostatečným finančním obnosem. V tom případě tedy mohu rovnou přejít ke kalkulaci prosté doby návratnosti.

11.4. Návratnost investice

Návratnost počítaná v letech je ekonomický parametr, který stanovuje, za jaké časové období se navrátí námi investovaná částka a kdy začne náš uvažovaný projekt vynášet investorovi čistý zisk.

11.4.1. Prostá návratnost

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší formou stanovení doby návratnosti, vyjádřena jako podíl investičních nákladů a ročního peněžního toku viz vzorec:

$$T_s = \frac{IN}{CF} [rok]$$

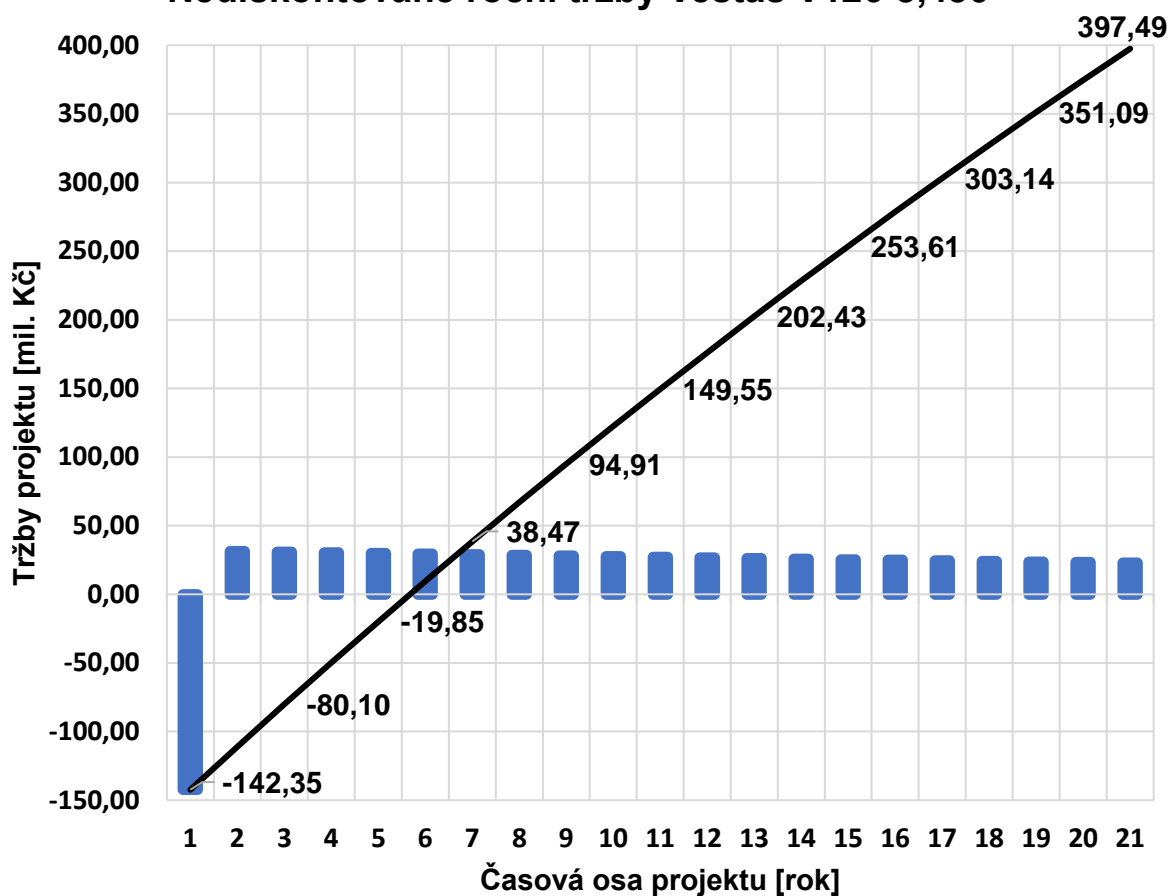
CF – cash flow daného roku, roční uvažovaný zisk [Kč/ rok]

IN – investiční výdaj [Kč]

VtE	Vestas V126		Enercon E-101	
Rok	Tržby [mil. Kč]	Kumulace [mil. Kč]	Tržby [mil. Kč]	Kumulace [mil. Kč]
1	-142,35	-142,35	-125,93	-125,93
2	31,38	-110,97	25,37	-100,56
3	30,87	-80,10	24,96	-75,61
4	30,37	-49,73	24,55	-51,05
5	29,88	-19,85	24,15	-26,90
6	29,40	9,55	23,76	-3,14
7	28,92	38,47	23,38	20,24
8	28,45	66,92	23,00	43,24
9	27,99	94,91	22,62	65,86
10	27,54	122,45	22,26	88,12
11	27,09	149,55	21,90	110,02
12	26,66	176,20	21,54	131,56
13	26,22	202,43	21,19	152,75
14	25,80	228,23	20,85	173,60
15	25,38	253,61	20,51	194,10
16	24,97	278,58	20,18	214,28
17	24,57	303,14	19,85	234,13
18	24,17	327,31	19,52	253,65
19	23,78	351,09	19,21	272,86
20	23,39	374,48	18,89	291,75
21	23,01	397,49	18,59	310,34

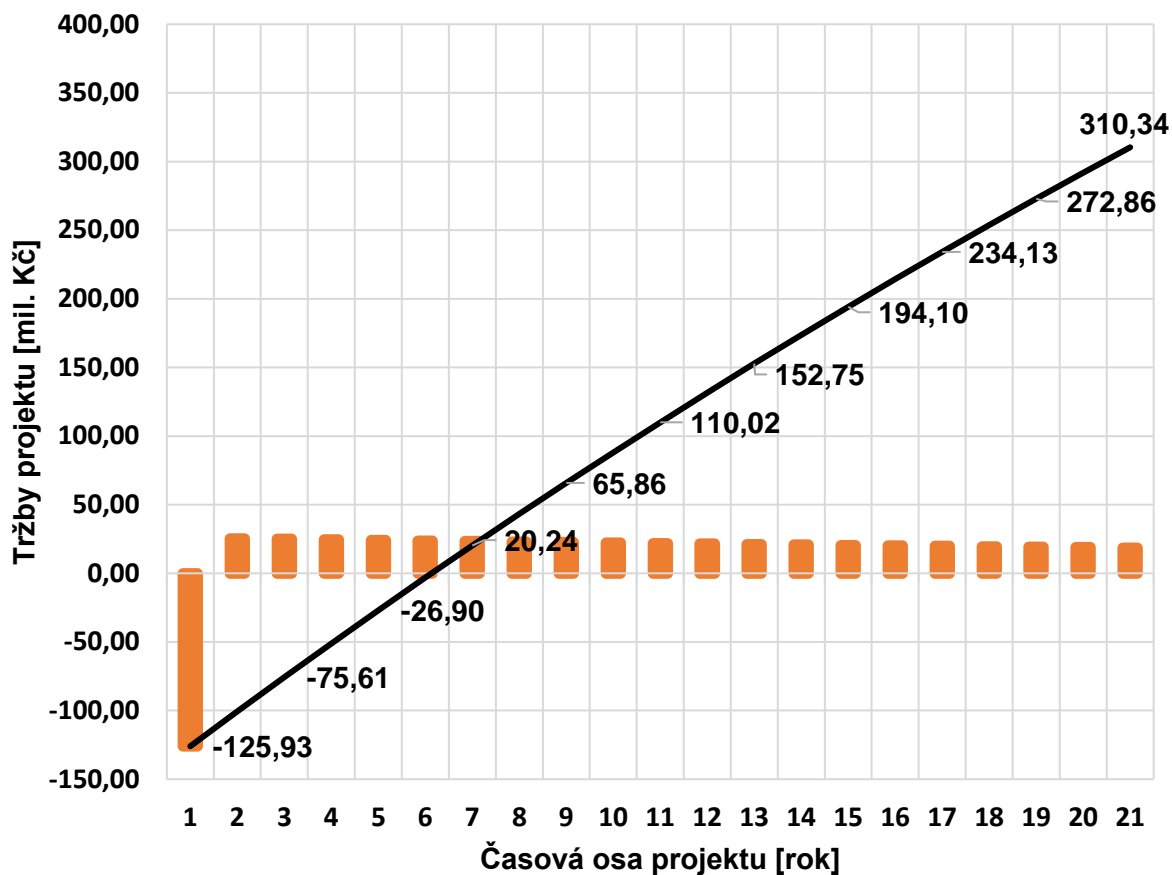
Tabulka 15: Nediskontované roční tržby obou VtE

Nediskontované roční tržby Vestas V126-3,450



Graf 12: Nediskontované roční tržby Vestas V126-3,450

Nediskontované roční tržby Enercon E-101 3,050



Graf 13: Nediskontované roční tržby Enercon E-101 3,050

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Investiční výdaj [mil. Kč]	142,349	125,930
Prostá doba návratnosti [rok]	4,68	5,13
Prostá doba návratnosti [měsíc]	56,10	61,61

Tabulka 16: Prostá doba návratnosti obou VtE

11.4.2. Reálná doba návratnosti

Reálná doba návratnosti je model, který bere v potaz různé okolní vlivy, jež mohou mít dopad na provoz větrné elektrárny. V matematickém vzorci reálné doby návratnosti se zohledňuje skrz diskontaci jednak faktor času, a také zároveň případná ušlá příležitost pro jiné investice, jedná se o přepočítání budoucí hodnoty na hodnotu současnou, zohledňuje tedy faktor času do peněžní hodnoty. Z důvodu uvažované roční míry inflace a rizikovosti uvažovaného projektu volím hodnotu diskontace na úrovni 7 %.

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - I \text{ [Kč]}$$

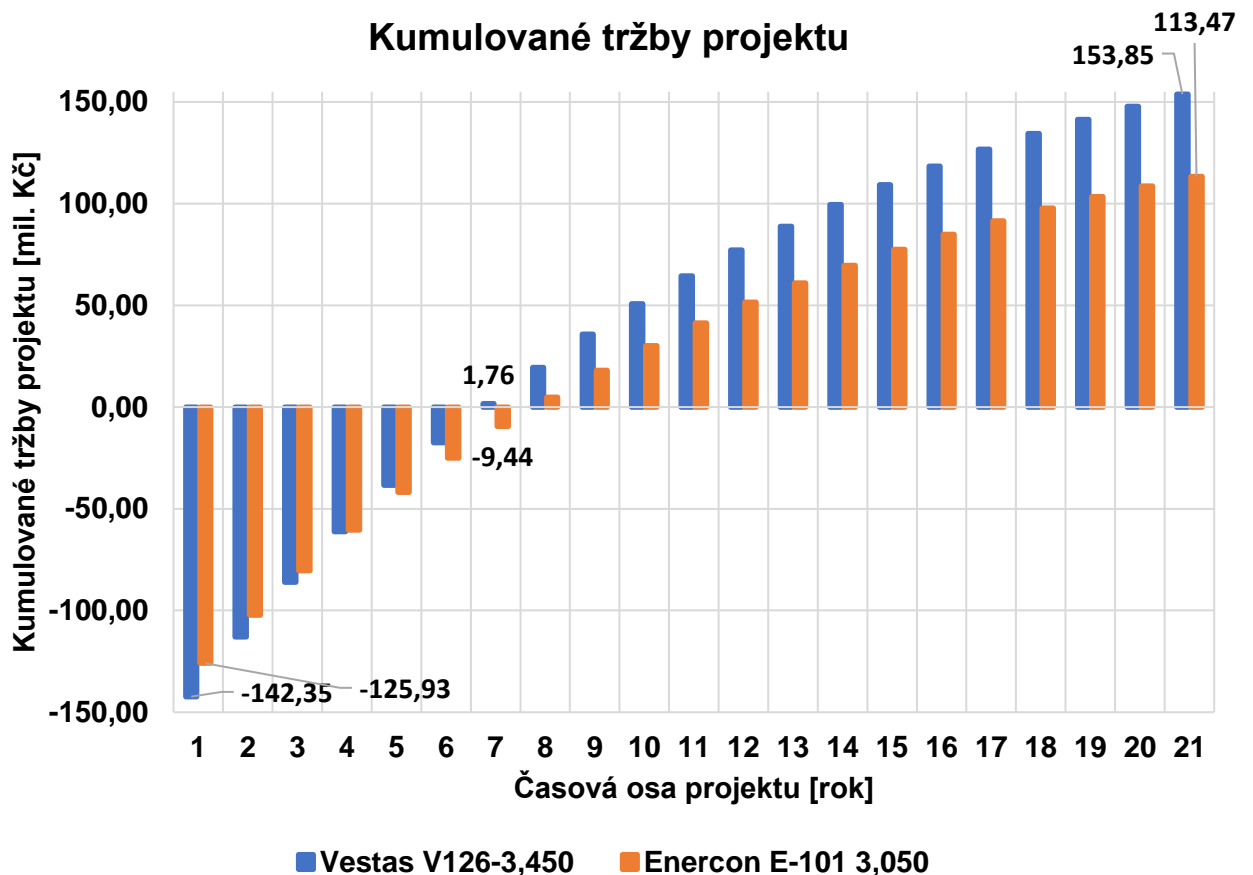
CF_t – cash flow daného roku, roční uvažovaný zisk [Kč/ rok]

t – uvažovaný rok [-]

T_{sd} – doba návratnosti [rok]

r – diskontace [%]

I – výše investice [%]



Graf 14: Kumulované diskontované tržby obou VtE

VtE Rok	Vestas V126		Enercon E-101	
	Tržby [mil. Kč]	Kumulace [mil. Kč]	Tržby [mil. Kč]	Kumulace [mil. Kč]
1	-142,35	-142,35	-125,93	-125,93
2	29,32	-113,02	23,71	-102,22
3	26,96	-86,06	21,80	-80,42
4	24,79	-61,27	20,04	-60,38
5	22,80	-38,47	18,43	-41,96
6	20,96	-17,52	16,94	-25,01
7	19,27	1,76	15,58	-9,44
8	17,72	19,48	14,32	4,89
9	16,29	35,77	13,17	18,05
10	14,98	50,75	12,11	30,16
11	13,77	64,52	11,13	41,29
12	12,66	77,18	10,23	51,53
13	11,64	88,83	9,41	60,93
14	10,71	99,53	8,65	69,59
15	9,84	109,38	7,95	77,54
16	9,05	118,43	7,31	84,85
17	8,32	126,75	6,72	91,57
18	7,65	134,40	6,18	97,76
19	7,03	141,43	5,68	103,44
20	6,47	147,90	5,22	108,66
21	5,95	153,85	4,80	113,47

Tabulka 17: Diskontované roční tržby větrných elektráren

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Investiční výdaj [mil. Kč]	142,349	125,930
Prostá doba návratnosti [rok]	5,91	6,66
Prostá doba návratnosti [měsíc]	70,91	79,91

Tabulka 18: Reálná doba návratnosti obou VtE

11.4.3. Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota je finanční ukazatel, který vyjadřuje celkovou současnou, tedy diskontovanou hodnotu veškerých finančních toků majících vliv na investiční projekt. Čisté současné hodnoty využíváme jako ukazatele pro hodnocení výnosnosti investičních projektů. Pro výpočet čisté současné hodnoty opět volím diskontaci ve výši 7 %.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I \text{ [Kč]}$$

NPV – čistá současná hodnota (Net Presented Value) [Kč]

CF_t - cash flow daného roku, roční uvažovaný zisk [Kč/ rok]

t – uvažovaný rok [-]

T – životnost projektu [rok]

r – diskontace [%]

I – výše investice [%]

Větrná elektrárna	Vestas V126	Enercon E-101
Investiční výdaj [mil. Kč]	142,349	125,930
Diskontovaný zisk [mil. Kč]	296,198	239,396
Čistá současná hodnota [mil. Kč]	153,848	113,466

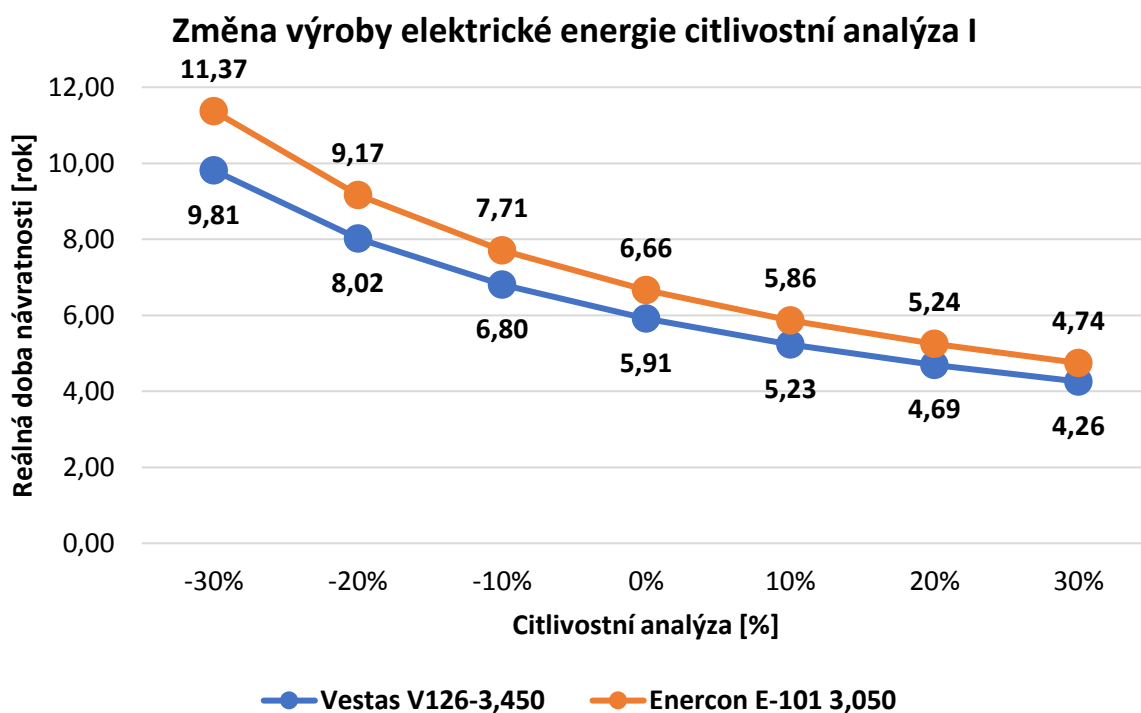
Tabulka 19: Čistá současná hodnota obou VtE

12. Citlivostní analýza

Na výše vypočtené parametry se může vztahovat odchylka dána jednak legislativou země, ve které se uvažovaná lokalita nachází, daňovou politikou, respektive proměnlivostí větrného proudění, a tedy i množstvím vyrobené energie. V této kapitole se pokusím vykreslit možné vlivy, které mají reálný dopad na ekonomickou povahu projektu.

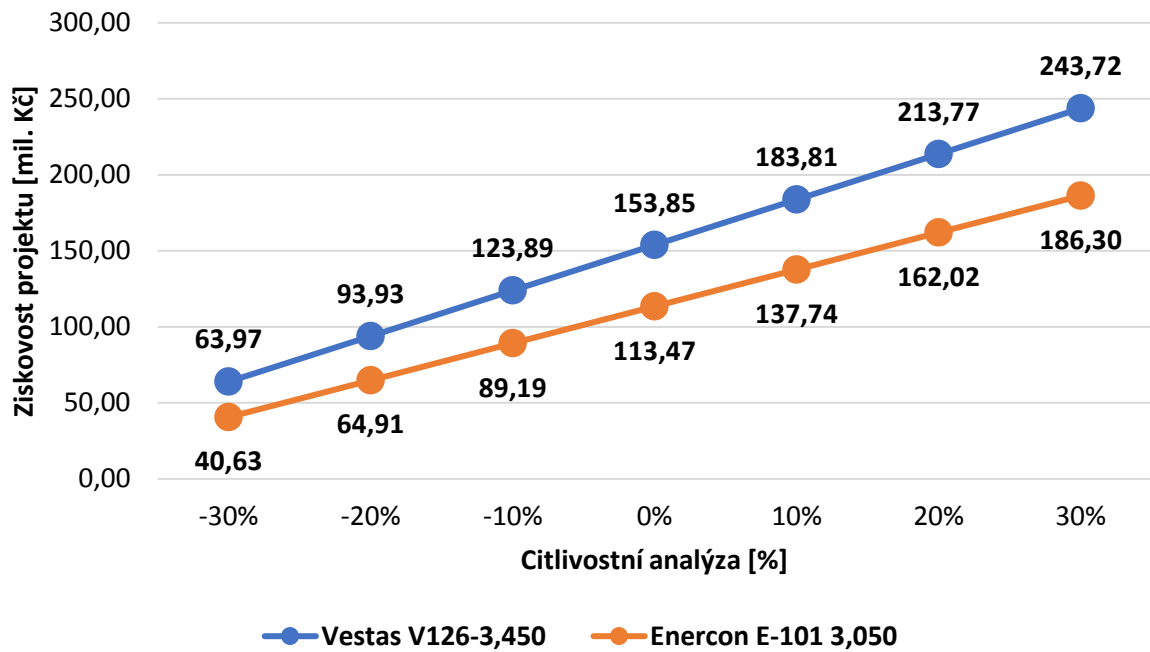
12.1. Odchylka měření

Odchylka vzniklá při měření povětrnostních dat má enormní vliv na celkovou povahu projektu, a tedy i rozhodování investora, zda-li do daného projektu investovat své finance, či nikoliv. Uvažujeme-li tuto vlastnost společně s reálným dopadem na vyrobitelné množství elektrické energie, přičemž podstoupíme citlivostní analýzu pro odchylky ± 10 , 20 a 30 %, bude grafické vyjádření pro jednotlivé hodnoty množství vyrobené elektrické energie v závislosti na reálné době návratnosti následující:



Graf 15: Změna výroby elektrické energie citlivostní analýza I

Změna výroby elektrické energie citlivostní analýza II

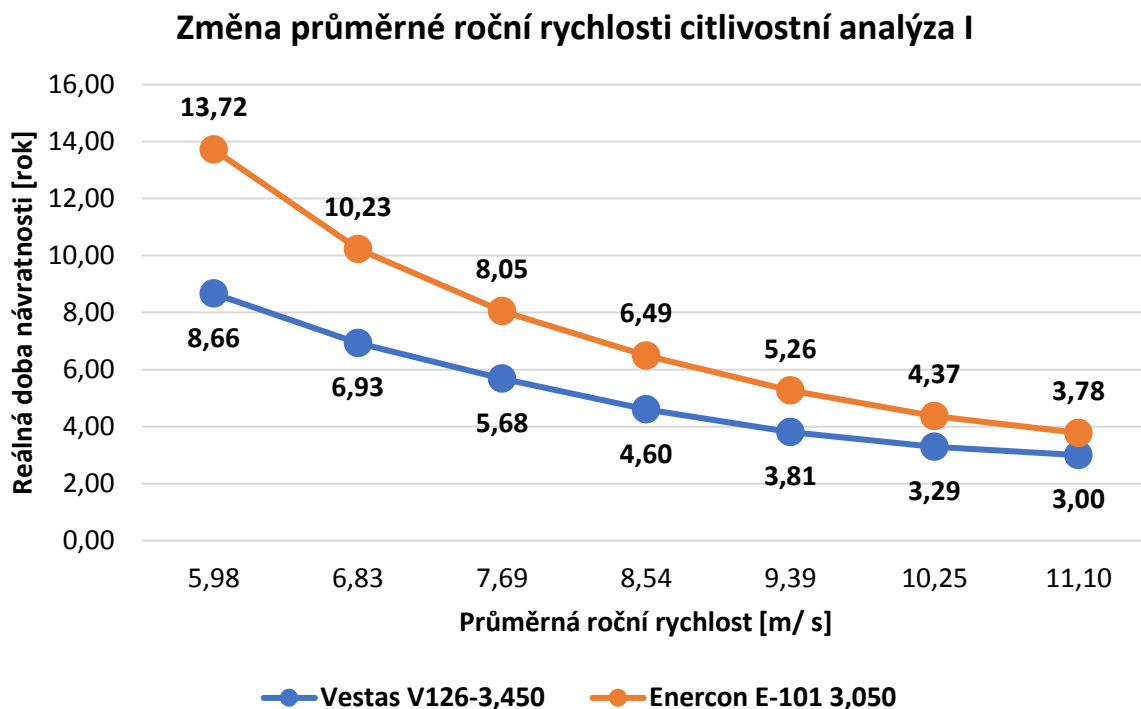


Graf 16: Změna výroby elektrické energie citlivostní analýza II

Srovnáním grafik lze pozorovat očekávanou tendenci, a sice, že s rostoucím množstvím vyrobené elektrické energie klesá reálná roční návratnost a naopak, přičemž zároveň lze vypočítat pro investora významný prvek, což je závislost reálné návratnosti projektu a jeho reálná ziskovost.

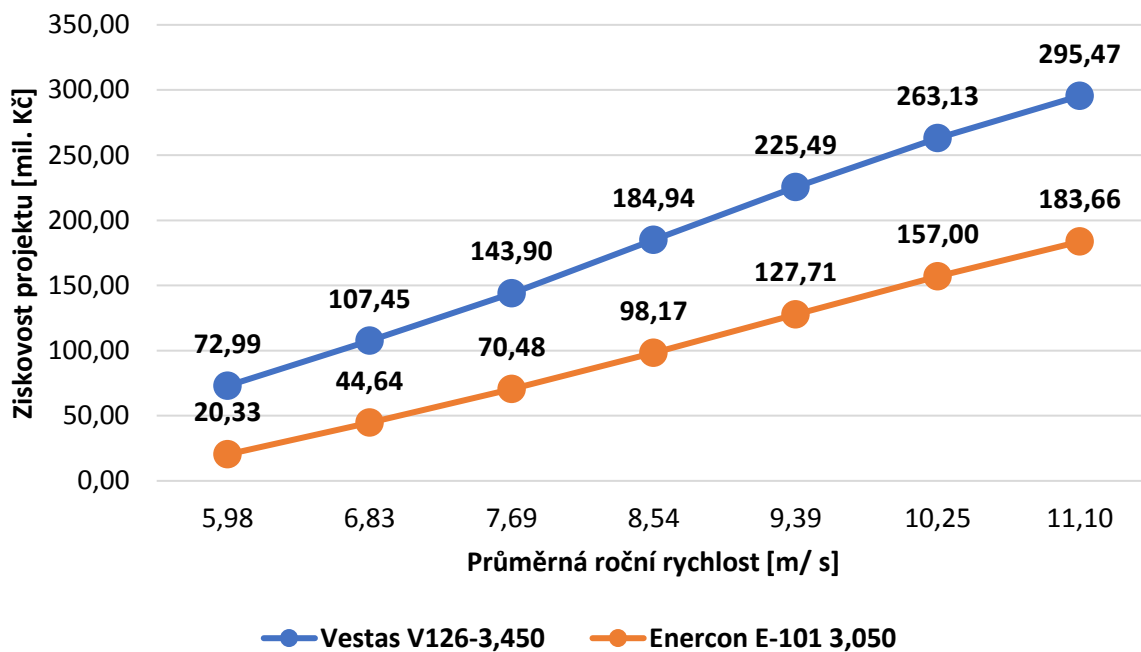
12.2. Změna průměrné rychlosti větru

Rychlost je parametr mající obrovský význam na výhodnost daného projektu, a je tedy potřeba uvažovat případné změny průměrné roční rychlosti a její reálné dopady na průběh ziskovosti uvažovaného projektu. Na základě uvažované změny odchylky větrného proudění lze sestavit pro následující scénáře ± 10 , 20 a 30 % grafiku:



Graf 17: Změna průměrné roční rychlosti citlivostní analýza I

Změna průměrné roční rychlosti citlivostní analýza II

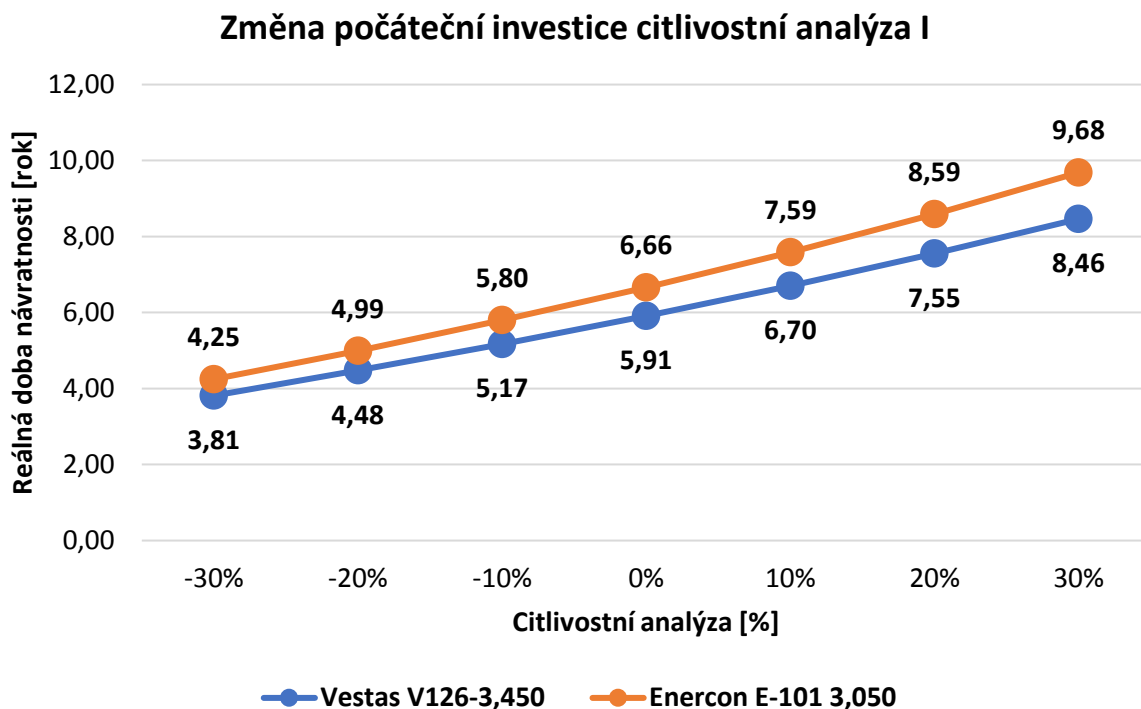


Graf 18: Změna průměrné roční rychlosti citlivostní analýza II

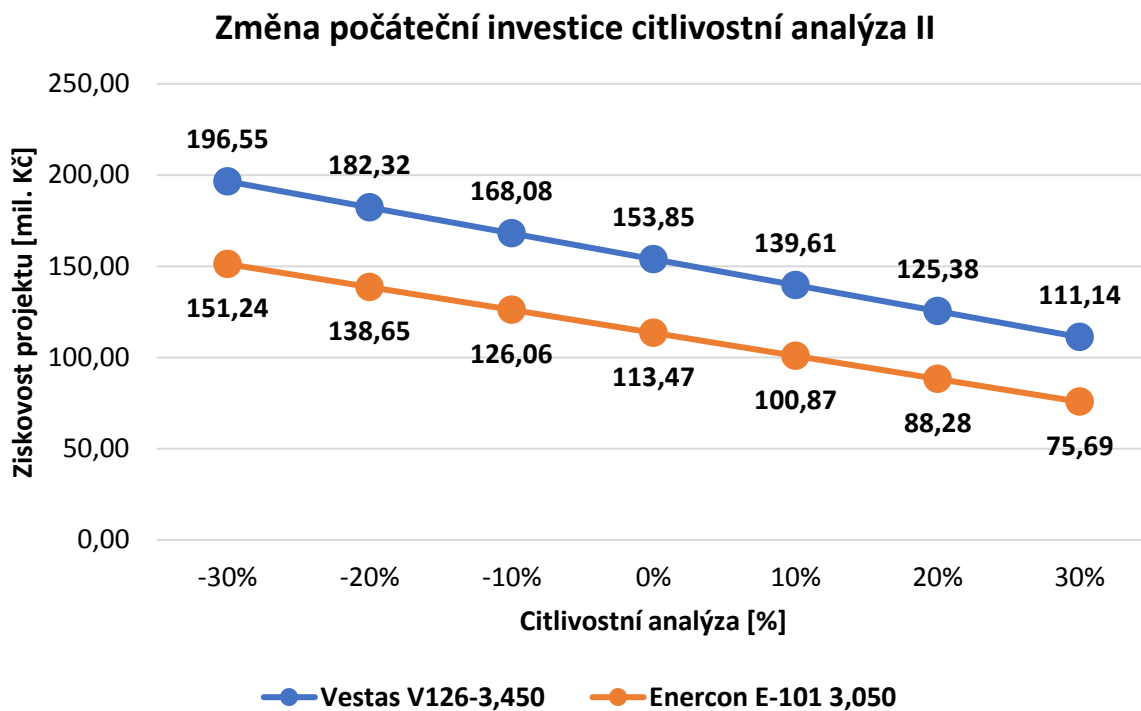
Z uvedených grafů lze vyčíst tendenci, která je evidentní u srovnání reálné roční návratnosti vůči průměrné roční rychlosti u elektrárny společnosti Vestas, lze pozorovat flexibilitu s jakou je elektrárna schopna operovat, neboť ve srovnání s elektrárnou od společnosti Enercon neobsahuje významné odchylky u reálné roční návratnosti. Zároveň spatřujeme, že uvažované větrné elektrárny obě spadají do stejné větrné kategorie, a tudíž je jejich tendence u jednotlivých grafů koherentní.

12.3. Změna počáteční investice

Vzhledem k složité předvídatelnosti konkrétních cen větrných elektráren je potřeba vykreslit možné scénáře vývoje, a to ať už uvažujeme změny vlivem tržního prostředí, respektive nabídko poptávkového schématu, a nebo samotných investičních parametrů, které významně ovlivňují celkové náklady, vykreslujeme pro uvažované změny grafické řešení:



Graf 19: Změna počáteční investice citlivostní analýza I



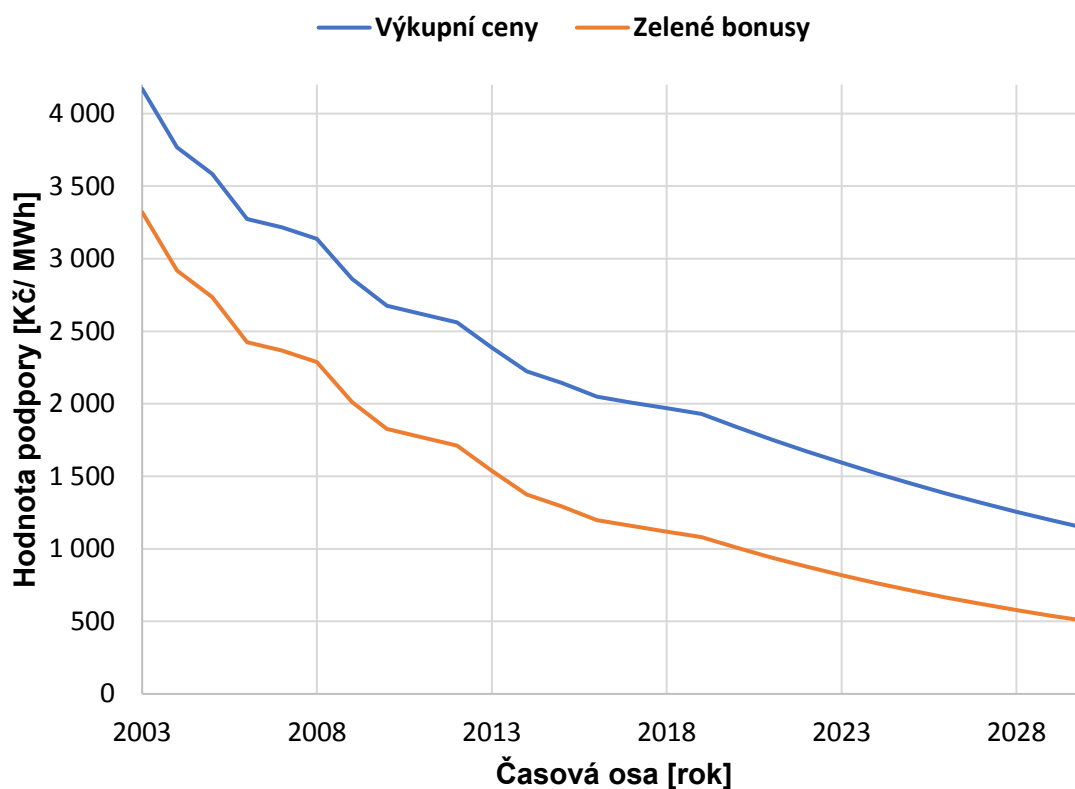
Graf 20: Změna počáteční investice citlivostní analýza II

I přes významně vyšší počáteční investici se projekt elektrárny Vestas jeví ve všech ohledech jako výhodnější, jednak z pohledu doby návratnosti projektu, dáno již množstvím vyrobitelné elektrické energie a také celkovou ziskovostí projektu, která je nezanedbatelně vyšší.

12.4. Výkupní ceny a zelené bonusy

Významnou položkou v tvorbě ekonomiky projektu jsou cenová rozhodnutí ERÚ, která určují výši výkupní ceny a zelené bonusy pro podporované zdroje energie. Budoucí hodnotu je potřeba brát v potaz, neboť nelze předpokládat, že daný projekt stihneme vystavět v námi uvažovaný rok, tedy v roce 2019. V České republice však v běžném případě od samotné myšlenky, přes územní plánování, stavební řízení, administrativní pochůzky, absolvování procesů vlivů na životní prostředí EIA až k realizaci a uvedení větrné elektrárny do provozu, většinou uběhnou 3-4 roky, neznámka to může být i dvojnásobná doba.³⁵ Na základě citlivostní analýzy těchto parametrů tedy uvažujeme vývoj výkupních cen a zelených bonusů, podle vycházející tendence z let předchozích.

Vývoj výkupních cen a zelených bonusů [Kč/ MWh/ rok]

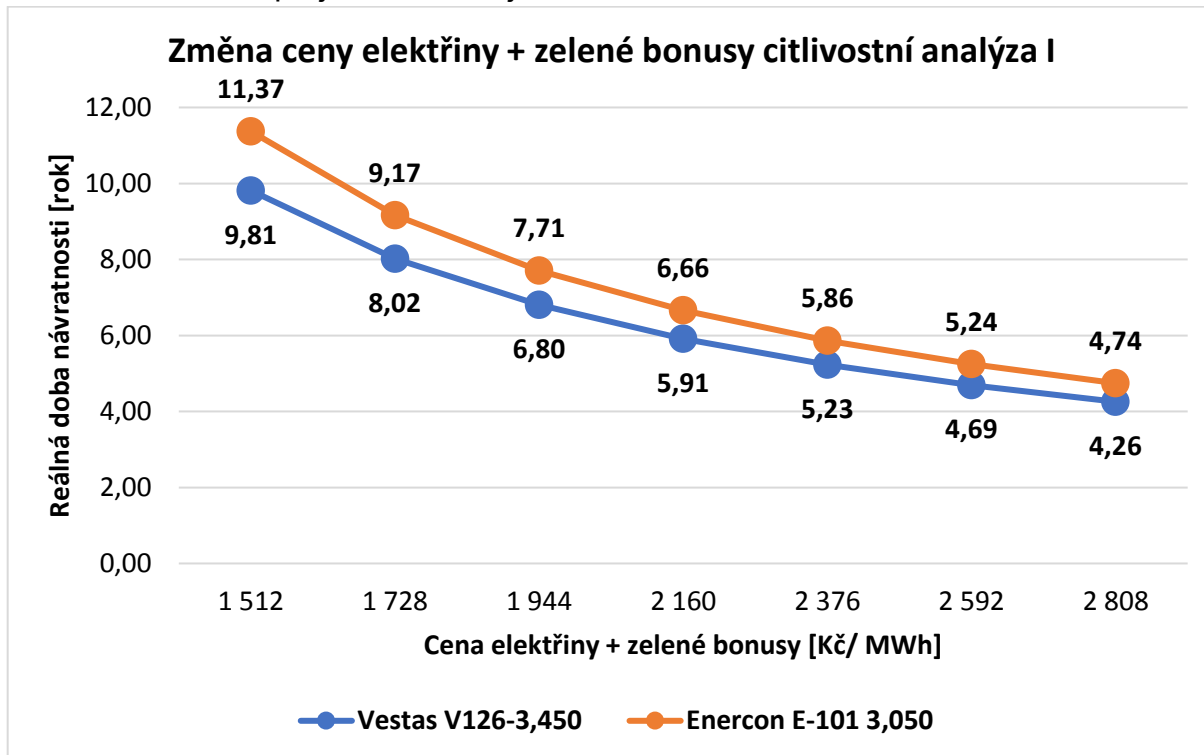


Graf 21: Citlivostní analýza výkupních cen a zelených bonusů

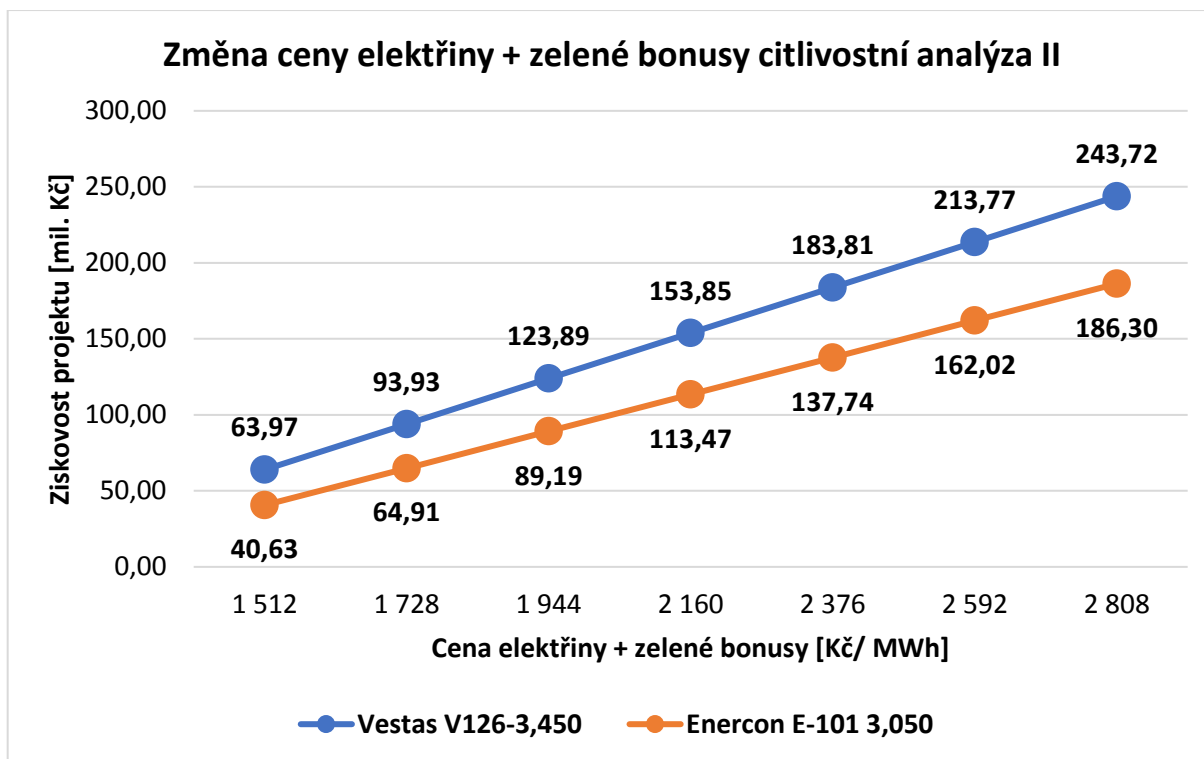
Rok	Výkupní ceny [Kč/ MWh]	Původní [%]	Zelené bonusy [Kč/ MWh]	Původní [%]
2003	4 171	100,00	3 321	100,00
2004	3 768	90,34	2 918	87,87
2005	3 585	95,14	2 735	93,73
2006	3 273	91,30	2 423	88,59
2007	3 216	98,26	2 366	97,65
2008	3 137	97,54	2 287	96,66
2009	2 861	91,20	2 011	87,93
2010	2 676	93,53	1 826	90,80
2011	2 618	97,83	1 768	96,82
2012	2 561	97,82	1 711	96,78
2013	2 387	93,21	1 537	89,83
2014	2 224	93,17	1 374	89,39
2015	2 143	96,36	1 293	94,10
2016	2 048	95,57	1 198	92,65
2017	2 008	98,05	1 158	96,66
2018	1 969	98,06	1 119	96,63
2019	1 930	98,02	1 080	96,51
		average= 95,34 %		average= 93,29 %
Predikce do budoucna				
2020	1 840	95,34	1 008	93,29
2021	1 754	95,34	940	93,29
2022	1 672	95,34	877	93,29
2023	1 594	95,34	818	93,29
2024	1 520	95,34	763	93,29
2025	1 449	95,34	712	93,29
2026	1 382	95,34	664	93,29
2027	1 317	95,34	620	93,29
2028	1 256	95,34	578	93,29
2029	1 197	95,34	539	93,29
2030	1 141	95,34	503	93,29

Tabulka 20: Citlivostní analýza výkupních cen a zelených bonusů

V případě mnou uvažovaného scénáře, a tedy kombinací vykoupení elektrické energie společností ČEZ ESCO komodity a využití možnosti tzv. zelených bonusů, uvažuji citlivostní analýzu na tyto parametry. V případě, že budu kalkulovat se scénářem jako u předchozích grafik, bude závislost, a tedy i cenová fixace na živostnost daného projektu následující:



Graf 22: Změna ceny elektřiny + zelené bonusy citlivostní analýza I



Graf 23: Změna ceny elektřiny + zelené bonusy citlivostní analýza II

Daná citlivostní analýza je poněkud složitě předvídatelné, nicméně i přesto může sloužit jako vypovídající materiál, který má za cíl poukázat na výhodnost, respektive stabilitu uvažovaného projektu, zda-li i takto významné odchylky nezapříčiní ztrátovost.

13. Vliv na životní prostředí

Instalace větrných elektráren musí podléhat posouzení vlivu na životní prostředí, které se řídí zákonem č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, v platném znění, tzv. EIA.³⁶

13.1. Hluk

U každé větrné elektrárny výrobce udává hlukové hodnoty daného typu, které jsou měřeny v akreditovaných zkušebnách. Dnešní elektrárny se pohybují zhruba na hodnotách 100-110 dB u paty stožáru a 50-70 dB v jejím okolí. Jsou jasně definovány vzdálenosti, ve kterých smí být stavěna lidská obydlí, aby nedocházelo k nadměrnému vlivu hluku na lidský organismus, a proto jsou stanoveny hygienické limity 50 dB ve dne a 40 dB v noci.

13.2. Vliv na faunu

Na základě studií a četného pozorování se zjistilo, že větrné elektrárny nemají zásadní vliv na zvířecí populaci. Ke střetům ptactva s lopatkami rotoru dochází zcela sporadicky, přičemž samotný posudek EIA taktéž zkoumá posouzení tranzitních tras ptáků a výskyt chráněných druhů. Na druhou stranu se objevuje několik prací, které pojednávají o vlivu vibrací způsobených rotací rotoru. Tyto vibrace se přenášejí tubusem elektrárny do zemské půdy, kde může docházet k rušení malých podzemních savců, jako např. krtek obecný.

13.3. Stroboskopický efekt

Tzv. diskoefekt, kdy dochází zejména během zimních měsíců k rytmickému střídání světla a stínu, způsobené polohou slunce nízko nad obzorem. Touto prevencí je dostatečná vzdálenost od zástavby a u dnešních moderních technologií se tento efekt eliminuje speciálním matným nátěrem.

13.4. Vliv na signál

Vrtule se v dnešní době vyrábí z nevodivého materiálu a v případě dodržení všech zákonem předepsaných vzdáleností o výstavby, větrné elektrárny tedy nemají žádný vliv na přenos televizního a radiového signálu.

13.5. Environmentální vliv

Vzhledem k principu, na kterém větrná energetika funguje, nedochází k negativním vlivům na životní prostředí. Jedná se o obnovitelný zdroj, který neprodukuje skleníkové plyny, toxické emise ani radioaktivní látky, způsobující kyselou dešť. V tomto ohledu považujeme energii z větru za tzv. zelenou energii. Nicméně je potřeba také přihlídnout k faktu, že samotné zařízení na výrobu elektrické energie musí být někde vyrobeno. Na samotnou výrobu a instalaci se použijí materiály přibližně v daném množství: beton 60–65 %, ocel 30–35 %, kompozitní materiál 2–3 %, elektro komponenty 1 %, měď 1 %, hliník 1 %, PVC 1 %, provozní tekutiny 1 % ³⁷, přičemž některé z těchto materiálů obsahují určitou uhlíkovou stopu mající vliv na životní prostředí. Taktéž je potřeba brát v potaz co se stane s elektrárnou po jejím plánovaném 20–25 let dlouhém využití, kdy musí dojít buďto k její rekonstrukci, nebo likvidaci. Samotný proces demontáže a likvidace má své podmínky a náležitosti.

13.6. Ráz krajiny

Nelze taktéž opomenout ráz větrné elektrárny na krajinu. Toto je aspekt, kterému mnoho lidí nepřikládá významnou hodnotu, nicméně ráz na krajinu má vliv pochopitelně po vzhledové stránce. Je tedy potřeba uvažovat nad projektem jako nad objektem, který významně naruší vzhled okolní krajiny a může takto obtěžovat i zdánlivě lidi v této věci nezaangažované. Směrnice na “krásu“ prozatím neexistují, nicméně za jednotlivé projekty se nezdá, kdy objevují petice lidí volajících po nedotknutelnosti konkrétního místa, a to často také právě z důvodu vlivu na vzhled okolní krajiny.

14. Závěr

Větrná energetika je odvětvím budoucnosti, jak mu mnoho odborníků předvídá. Na základě této práce jsem měl možnost se o samotné problematice a reálné aplikaci dozvědět podrobněji. Z výše zmíněných propočtů a kalkulací jsem došel k výhodnosti investice do větrné elektrárny. V mnou uvažovaném případě jsem srovnával dvě větrné elektrárny, Vestas V126- 3 450 kW, respektive Enercon E-101 3 050 kW, obě spadající do stejné povětrnostní třídy IEC II, která je definována průměrnou roční rychlostí větru 8,5 m/ s, přičemž zvolená lokalita má tuto hodnotu 8,54 m/ s. Pro uvažované větrné elektrárny jsem vytvořil srovnání základních parametrů, zahrnující vyrobitelné množství elektrické energie, procentuální efektivitu, koeficient ročního využití výkonu a hlavně ekonomickou bilanci, obsahující prostou dobu návratnosti, reálnou dobu návratnosti a ukazatel čisté současné hodnoty. Ze všech zmíněných srovnání, a to i přes vyšší vstupní investici, se jeví jako výhodnější výstavba větrné elektrárny dánského výrobce Vestas V126- 3 450 kW. Počáteční investice vyšší o zhruba 17 mil. Kč oproti německé elektrárně společnosti Enercon se splatí řádově o půl roku rychleji, ale hlavně vyšší instalovaný a optimálně zvolená najíždějící rychlost zapříčiní řádově vyšší roční zhodnocení, a tedy i tvorbu zisku. Při celkovém zhodnocení investice docházíme po uplynutí doby životnosti projektu, tj. 20 let, k nezdaněnému zisku ve výši 153,85 mil. Kč, po zaplacení daně z příjmu 124,62 mil. Kč, což je zhruba o 32,71 mil. Kč čistého více než v případě Enerconu. Daná investice by se tedy po době své životnosti dostala na přepočtenou výnosovou hodnotu ve výši 1,08 Kč/ 1 Kč investovanou, respektive zisku 44,59 mil. Kč/ MW instalovaný.

I přes veškeré pozitivní výsledky, které touto prací sleduji je potřeba brát v potaz, že větrný zdroj je zdrojem nepravidelným a nestabilním, což jsem se snažil nastínit v části citlivostní analýzy, kdy je potřeba brát v potaz významné výchyly, které jsem si stanovil na ± 10 , 20 a 30 %, je zde patrné, že jak už množství vyrobitelné elektrické energie, s tím související tržby, tedy i zisk a zároveň také legislativní věci v podobě výkupních cen, respektive zelených bonusů se můžou významně měnit, což může mít také neblahý vliv na ekonomickou stránku zamýšleného projektu.

Na závěr se tedy sluší říci, že výhodnost, a tedy rentabilita výstavby větrné elektrárny na území České republiky je stále významným způsobem ovlivňována aktuálně platnou legislativou. V případě, že by došlo k výraznému poklesu formy podpory a zachování cen instalací větrných elektráren, je poněkud diskutabilní, zda-li by Česká republika byla územím pro větrnou energetiku výhodným. I přestože jsem takřka přesvědčen, že vítr jako obnovitelný zdroj nebude tvořit páteřní soustavu

energetické výroby v České republice, plně věřím, a vídáme to konec konců kolem sebe stále čím dál častěji, že větrná energetika má a bude mít své neotřesitelné místo v energetickém mixu společnosti. Nicméně i přes tento fakt je také potřeba přihlídnout ke stránce přírodní, jen velice těžko bychom si my sami chtěli představit, že celá naše Česká republika by byla “posetá“ větrnými elektrárnami, které významně narušují přirozený ráz krajiny. Tudíž v tomto ohledu je zapotřebí přemýšlet nad větrným zdrojem jako nad zajímavým doplňkem energetického mixu a zároveň ctít přírodní podmínky, které nám byly naděleny.

15. Seznam citací

- [1] 17/1992 Sb. § 7: "O životním prostředí" [online]. Česká republika: Federální shromáždění České a Slovenské Federativní Republiky, 1992 [cit. 2019-05-08]. ISBN Občanský zákoník České republiky 17/1992 Sb. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/ws_content?contentKind=regulation&ion=1&id=39673&name=17/1992
- [2] *Vítejte na Zemi... multimediální ročenka životního prostředí: Obnovitelné zdroje energie* [online]. Česká republika: ISSaR, 2013 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/?p=obnovitelne_zdroje_energie&site=energie
- [3] *Státní energetická koncepce* [online]. Praha: Department 32400, 2015 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [4] RUDA, Aleš. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele: Všeobecná cirkulace atmosféry- Vzduchové hmoty* [online]. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity v Brně, 2014, 1 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html
- [5] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, Žitná 4, 166 35 Praha 6: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [6] KOČ, Břetislav. *ELEKTRO, časopis pro elektrotechniku: Z historie větrných elektráren* [online]. 2005, 2005(12.) [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektren--13364>
- [7] ČSVE- Česká společnost pro větrnou energii: *Velikost větrné elektrárny a její vývoj* [online]. Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1: ČSVE, 2013 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/velikost-vetrne-elektreny-a-jejiv-voj/110>

- [8] EDENHOFER, Ottmar, Ramón PICHS-MADRUGA a Youba SOKONA. *Renewable energy sources and climate change mitigation: Summary for policymakers and technical summary*[online]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011, 2012, 246 s. [cit. 2019-03-17]. ISBN 978-92-9169-131-9. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_FD_SPM_final-1.pdf
- [9] NGO, Christian a Joseph B. NATOWITZ. *Our Energy Future: Resources, Alternatives and the Environment*. New Jersey, USA: John Wiley, 2008, 536 s. ISBN 9780470473795. 10.1002/9780470473795.
- [10] Beaufertova stupnice síly větru - Inter Flag s.r.o. Inter Flag s.r.o. [online]. [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: http://www.vlajky.cz/informace/informace_beaufortova_stupnice.php
- [11] CHALUPA, Štěpán a David HANSLIAN. *Analýza větrné energetiky v ČR: Komora obnovitelných zdrojů energie – Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 03.2015, , 22 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2015/03/analiza_vetrne_energetiky.pdf
- [12] Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.: *Mapa větru ve výšce 100 m. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.*[online]. Boční II 1401, 141 00 Praha 4 Spořilov, Česká republika: Akademie věd ČR, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2011 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrne-mapy.html>
- [13] Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): *Aktuální instalace. Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Aktuální instalace* [online]. Moravské náměstí 14, 602 00 Brno, Česká republika: ČSVE, 2018, Aktualizováno 31.12.2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>
- [14] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK a Josef ŠTEKL. *Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR* [online]. Boční II 1401, 141 31 Praha 4, 2008 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf. Akademická práce. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i. Akademie věd ČR.

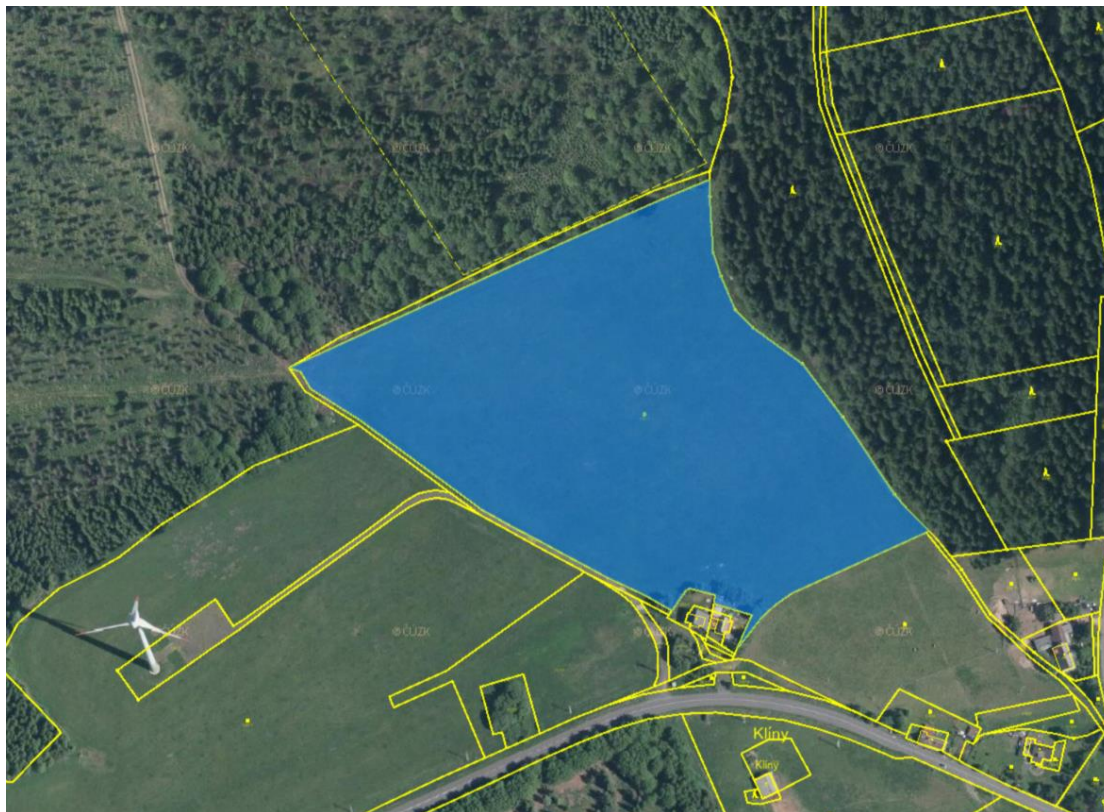
- [15] Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Grafy. *Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Grafy*[online]. Moravské náměstí 14, 602 00 Brno, Česká republika: ČSVE, 2017, Aktualizováno 31.12.2017 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/grafy/280>
- [16] LUKUTIN, Surkov. Oenergetice.cz: Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *Oenergetice.cz: Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. oenergetice.cz, 2015, 28.2.2015 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [17] Jan Klepárník - WEB podpora výuky: Větrná energie. *Jan Klepárník - WEB podpora výuky: Větrná energie*[online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/ez/oez_wind.htm
- [18] EBED, Mohamed. Researchgate.net: Vertical axis and horizontal axis wind turbines. *Researchgate.net: Vertical axis and horizontal axis wind turbines* [online]. Sohag, Egypt: Sohag University, 2013, 04.2013 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/2-Vertical-axis-and-horizontal-axis-wind-turbines_fig4_308674254
- [19] *Wind turbine components and coordinates* [online]. Hanuman Wind, 2009 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wind.turbine.components.and.coordinates.svg>
- [20] M-G, Kim a H DALHOFF. *Overview of concepts, current challenges and design methods. Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2014. 2014 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-yaw-system_fig1_263127900
- [21] JOSHUA, Smalley. *Windpower Engineering & Development: How are motors and drives used in a wind-turbine nacelle?*. <https://www.windpowerengineering.com/> [online]. 2015, 12.8.2015 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.windpowerengineering.com/mechanical/where-do-motors-and-drives-find-applications-in-wind-turbine-nacelles/>

- [22] MITTELMEIER, Niko a Martin KÜHN. Wind Energy Science: Determination of optimal wind turbine alignment into the wind and detection of alignment changes with SCADA data[online]. Überseering 10, 22297 Hamburg, Německo, Kükersweg 70, 26129 Oldenburg, Německo: Senvion GmbH, 2ForWind- University of Oldenburg, Institute of Physics, 2018 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.wind-energ-sci.net/3/395/2018/>
- [23] MITTELMEIER, Niko a Martin KÜHN. *Determination of optimal wind turbine alignment into the wind and detection of alignment changes with SCADA data*. Hamburg, Oldenburg, Germany, 2018, 14 s. Dostupné také z: www.wind-energ-sci.net/3/395/2018/. Case study. University of Oldenburg, Institute of Physics. European academy of wind energy; Wind Energy Science.
- [24] KOSTKA, Tomáš. *Docplayer.cz: Větrné elektrárny - Tomáš Kostka* [online]. , 5 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10263388-Vetrne-elektrarny-tomas-kostka.html>
- [25] Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Strojovna větrné elektrárny s převodovkou a asynchronním generátorem (výrobce VESTAS). *Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Strojovna větrné elektrárny s převodovkou a asynchronním generátorem (výrobce VESTAS)* [online]. Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1: ČSVE, 2013, 2013 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-%20generátorem-\(vyrobce-vestas\)/332](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-%20generátorem-(vyrobce-vestas)/332)
- [26] ČÚZK Nahlížení do katastru nemovitostí: Katastrální pozemek 136/1. *ČÚZKNahlížení do katastru nemovitostí: Katastrální pozemek 136/1* [online]. Pod sídlištěm 1800/9, Kobylisy, 18211 Praha 8, Česká republika: Český úřad zeměměřický a katastrální , 2019, 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://nahliznidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=fHcWyQXE08VUdiE-o01TwadEbT0sUwaxOY4E2oIIAQvnf2Zn8ASGGccEIDYr7hPY7YlawTkRQPWbZgogKz-4Dt75zvD7Sam5ipqW04lsqIPe9Z5LEVARalmuPg4jZvJc>
- [27] MIŠÁK, Stanislav a Lukáš PROKOP. *Odbornecasopisy.cz: Predikce výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů* [online]. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava – Poruba, Česká republika, 2011 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43320.pdf>. Akademická práce. VŠB-TUO, FEI, Katedra elektrotechniky.

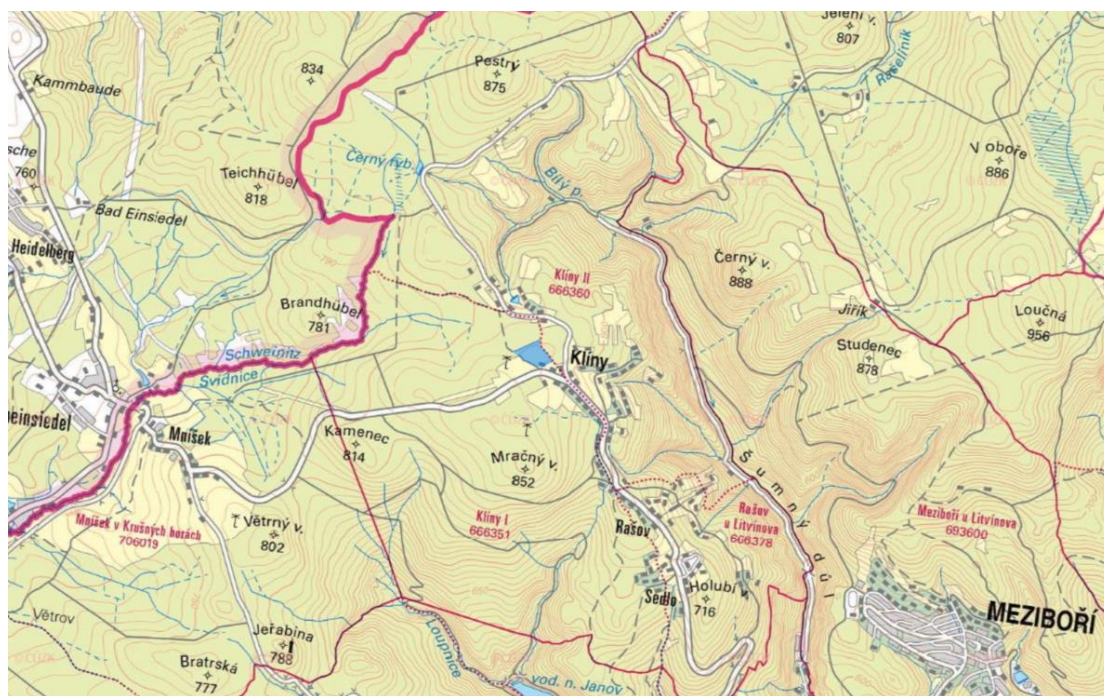
- [28] Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Grafy. *Česká společnost pro větrnou energii (ČSVE): Grafy*[online]. Moravské náměstí 14, 602 00 Brno, Česká republika: ČSVE, 2017, Aktualizováno 31.12.2017 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/grafy/280>
- [29] *Sonnenkollektoren: IEC wind* [online]. sky-flot.ru, 2016 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://sky-flot.ru/iec-wind/>
- [30] Vestas.com: V126-3.45 MW® at a glance. *Www.vestas.com* [online]. Hedeager 428200 Aarhus N, Denmark: Vestas Wind Systems A/S, 2019, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v126-3_3_mw#!facts
- [31] Enercon.de: ENERCON product overview. *Enercon.de* [online]. Dreekamp 5, 26605 Aurich, Germany: ENERCON, 2015, 2015 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf
- [32] *ČEZ Distribuce: Formuláře Pro výrobce - Sekce obsahující formuláře pro výrobce elektřiny* [online]. ČEZ Distribuce, a. s. Guldenerova 2577/19 326 00 Plzeň: Copyright 2019 ČEZ Distribuce, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/formulare/pro-vyrobce.html>
- [33] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Energetický regulační VĚSTNÍK: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018 ze dne 25. září 2018, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. 6/2018. Jihlava: ERÚ, 2018, 2018, 15 s. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/4697359/ERV_6_2018.pdf/b19eac97-d73e-472d-8105-d4e119a69cb8
- [34] STAFFELL, Iain a Richard GREEN. IMPERIAL COLLEGE BUSINESS SCHOOL. *ScienceDirect: How does wind farm performance decline with age?* [online]. Velká Británie, Londýn SW7 2AZ: Imperial College Business School, 2014, 21.2.2014 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113005727?fbclid=IwAR0XpR28tXd2ME5030K7eeoluQxdk9yuXthJNgZH7heDUQUbByX9tLX79t8>

- [35] KOČ, Břetislav a David HANSLIAN. *Tzb-info.cz: TZB-info / Obnovitelná energie a úspory energie / Větrná energie / Větrné elektrárny VII. – Jak se staví větrná elektrárna Větrné elektrárny VII. – Jak se staví větrná elektrárna* [online]. Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: tzv-info, 2016 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14893-jak-se-stavi-vetrna-elektrarna>
- [36] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Publi.cz: Energie větru, vody, biomasy* [online]. 2016 [cit. 2019-05-09]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/05.html>
- [37] J.L.M., Agentura. *Tzbinfo.cz: Byznys budoucnosti: recyklace větrných elektráren. Tzbinfo.cz: Byznys budoucnosti: recyklace větrných elektráren* [online]. tzbinfo.cz, 2015, 12.3.2015 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/12418-byznys-budoucnosti-recyklace-vetrnych-elektraren>

16. Přílohy



Příloha 1: Katastrální mapa + ortofoto pozemku 136/1



Příloha 2: Katastrální mapa + ortofoto pozemku 136/1



Kód 9.36.01

Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na rovině nebo úplné rovině, se všemi možnými expozicemi a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké ve chladném, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.

Obecné informace o 9.36.01

Bonitovaná půdně ekologická jednotka 9.36.01 legislativně spadá dle [Vyhlášky o stanovení tříd ochrany č. 48/2011 Sb.](#) do I. třídy ochrany zemědělského půdního fondu, její aktuální základní cena podle [Vyhlášky k provedení zákona o oceňování majetku \(oceňovací vyhlášky\) č. 441/2013 Sb.](#) je 3.93 Kč za m² a bodová výnosnost této půdy je na stupnici od 6 do 100 vyjádřena hodnotou 30. Jedná se o velmi málo produkční půdy.

Klimatický region: 9 - chladný, vlhký

Hledaná bonitovaná půdně ekologická jednotka spadá do devátého klimatického regionu, který je v podstatě totožný s horskou oblastí stanovištních jednotek. Zaujímá zemědělskou půdu ve všech okrajových pohořích Čech a Moravy, kromě toho pak nejvyšší část Českomoravské vrchoviny (Žďárské vrchy).

Charakteristika regionu	Rozsah hodnot
Suma teplot nad 10 °C	pod 2000
Průměrná roční teplota °C	pod 5
Průměrný úhrn srážek (mm)	nad 800
Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	0
Vláhová jistota ve vegetačním období	nad 10

Hlavní půdní jednotka: 36 - kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly

Genetický půdní představitel dle KPP	kryptopodzol modální (KPm), podzol modální (PZm), kambizem dystrická (KAd), kambizem modální mesobazická (KAma'), podzol železitý (PZz'), podzol humózní (PZh'), podzol arenický (PZr), podzol ortštejnový (PZy')
Půdotvorný substrát	různé substráty
Skupina půdních typů	kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly

Hydropedologické charakteristiky

Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.

Hydropedologická charakteristika	Rozsah hodnot	Kategorie
Hydrologická skupina	0.1 - 0.2 mm.min ⁻¹	B - půdy se střední rychlostí infiltrace
Infiltrace a propustnost	0.15 - 0.20 mm.min ⁻¹	vyšší střední
Retenční vodní kapacita	160 - 220 l.m ⁻²	střední
Využitelná vodní kapacita	110 - 149 l.m ⁻²	střední

Náchylnost k zamokření, vysychání

Trvale zamokřená půda	ne
Periodicky zamokřená půda	ne
Vysychavá půda	ne

Vhodnost půdy ke změně kultury

Vhodnost k zatravnění	nevhodná
Vhodnost k zalesnění	nevhodná
Vhodnost ke stavbě nádrží	nevhodná

Limity využití a ohroženost

Typ	Hodnoty	Ohroženost
Ohroženost acidifikací	do 16	vysoká
Ohroženost utužením	zanedbatelná	zanedbatelná
Potenciální ohroženost větrnou erozí		bez ohrožení

Sklonitost a expozice:

Sklonitost	úplná rovina, rovina	sklon 0 - 3
Orientace k světovým stranám	rovina se všesměrnou expozicí, jih (jihozápad až jihovýchod), východ a západ (jihozápad až severozápad, jihovýchod až severovýchod), sever (severozápad až severovýchod)	-

Hloubka a skeletovitost: 1

Skeletovitost	bezskeletovitá, s příměsí, slabě skeletovitá	s celkovým obsahem skeletu do 25 %
Hloubka půdy	půda hluboká, půda středně hluboká	hloubka od 30 cm

Společná zemědělská politika
Nařízení vlády 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu

stanovuje zranitelné oblasti (ZOD) a akční program pro tyto oblasti. Seznam ZOD je dostupný v příloze č. 1 tohoto nařízení. Akční plán se vztahuje k provozování zemědělské výroby ve zranitelných oblastech a používání a skladování hnojiv. BPEJ jsou rozhodující pro stanovení následujícího rozdělení zemědělské půdy:

Období zákazu hnojení (§ 6)

Období zákazu hnojení závisí na začlenění pozemku do klimatického regionu, v návaznosti na pěstovanou plodinu a kategorii hnojiva z hlediska rychlosti uvolňování dusíku z hnojiva. Klimatické regiony 0 až 5 jsou převážně suššího a teplejšího charakteru (= kratší období zákazu hnojení), klimatické regiony 6 až 9 jsou spíše vlhčí a chladnější (= delší období zákazu hnojení).

Vyhledaná BPEJ 9.36.01 spadá do 9. klimatického regionu.

Klimatický region	Minerální dusíkatá hnojiva	Hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem a upravené kaly***
9	1. 11. - 15. 2. (1. 11. - 31. 1.**)	15. 11. - 15. 2. (15. 11. - 31. 1.**)	15. 12. - 15. 2.

Vysvětlivky:

** platí na zemědělských pozemcích s průměrnou sklonitostí nepřevyšující 5 stupňů a s porostem pšenice ozimé nebo řepky.
*** platí i pro upravené kalý; pokud nedojde k následnému pěstování plodin v příslušném kalendářím roce, je zakázáno hnojení také v období od 1. června do 31. července.

Aplikační pásma (§ 7)

Zemědělská půda v ZOD je rozčleněna do tří aplikačních pásem (I., II., III.), a to podle skupin BPEJ a na základě rizika ztrát dusičnanů do vod. Půdy ve III. aplikačním pásmu jsou navíc ještě rozděleny podle rizika průsaku vody na aplikační pásmo III.a a III.b. (viz příloha č. 2 k tomuto zákonu, tabulky č. 2 až 5).

Vyhledané BPEJ 9.36.01 přísluší .

Hospodaření na svažitých zemědělských pozemcích (§ 11)

Na těchto půdách nelze uložit tuhá statková hnojiva. Podmínky uložení jsou v [Nařízení vlády 262/2012 Sb. § 9](#)

Nařízení vlády 79/2007 Sb. o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření

upravuje v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropských společenství agroenvironmentální opatření.

Titul zatravňování orné půdy (§ 10)

Vyhledaná BPEJ 9.36.01 s hlavní půdní jednotkou 36 je nevhodná k zatravňování.
Podrobněji v [Nařízení vlády 79/2007 Sb. § 10](#)

Sazby dotace (§ 13)

Na základě § 13 odst. 5 dochází ke snižování sazeb dotace. Jedním z kritérií pro snížení této sazby je vymezení pozemku dle § 7 odst. 11 věty první NV č. 262/2012 Sb., tedy pokud se jedná o pozemek s vymezenými hlavními půdními jednotkami 65 až 76.

Podrobněji v [Nařízení vlády 79/2007 Sb. § 13](#) a v [Nařízení vlády 262/2012 Sb. § 7](#)

Nařízení vlády 48/2017 Sb. o stanovení požadavků podle aktů a standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu pro oblasti pravidel podmíněnosti a důsledků jejich porušení pro poskytování některých zemědělských podpor

Toto nařízení v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropské unie

a) upravuje některé podmínky pro poskytování přímých podpor, některých podpor v rámci společné organizace trhu s vínem a některých podpor Programu rozvoje venkova Státním zemědělským intervenčním fondem za účelem snížení nebo neposkytnutí dotací z důvodu porušení pravidel podmíněnosti a

b) stanovuje kontrolované požadavky podle aktů pro oblasti pravidel podmíněnosti a standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu pro oblasti pravidel podmíněnosti a důsledky jejich porušení pro poskytování těchto dotací.

Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES)

Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES) zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Jsou definovány v nařízeních jednotlivých dotačních titulů a jejich dodržování je pro zemědělce v České republice povinné od roku 2004. Hospodaření v souladu se standardy DZES je jednou z podmínek poskytnutí plné výše přímých podpor, některých podpor Programu rozvoje venkova a některých podpor společné organizace trhu s vínem.

Standardy DZES individuálně definují členské země Evropské Unie na základě rámce stanoveného v příloze č. II nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1306/2013, jež obsahuje tyto tematické okruhy: voda, půda a zásoby uhlíku, krajina, minimální úroveň péče.

Data BPEJ jsou použita pro vymezení půdy silně erozně ohrožené a mírně erozně ohrožené v rámci Standardu DZES 5.

Cílem tohoto standardu je ochrana půdy před vodní erozí a snaha omezit negativní působení důsledků eroze, jako jsou např. škody na komunikacích a nemovitostech způsobené zaplavením nebo zanesením splavenou půdou.

Standard DZES 5 vymezuje půdy silně erozně ohrožené a mírně erozně ohrožené a současně definuje podmínky pro hospodaření na těchto půdách.

Nařízení vlády 241/2004 Sb. o podmínkách provádění pomoci méně příznivým oblastem a oblastem s ekologickými omezeními

Toto nařízení upravuje v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropských společenství kritéria pro vymezení méně příznivých oblastí a oblastí s ekologickými omezeními a bližší podmínky poskytování dotace na vyrovnání újm vznikajících při zemědělském hospodaření v méně příznivých oblastech a oblastech s ekologickými omezeními.

Pro účely tohoto nařízení se rozumí výnosností zemědělské půdy rozdíl mezi normativní zemědělskou produkcí v Kč a normativními náklady v Kč potřebnými k výrobě této zemědělské produkce na dané bonitované půdně ekologické jednotce. Výnosnost zemědělské půdy se vyjadřuje v bodech a je určena pro každý kód BPEJ.

		Směr proudění [°]											Celkem [hod]	
		(0-30°>	(30-60°>	(60-90°>	(90-120°>	(120-150°>	(150-180°>	(180-210°>	(210-240°>	(240-270°>	(270-300°>	(300-330°>		(330-360°>
Rychlost [m/s]	1	63	10	12	26	14	30	27	12	33	43	74	98	442
	2	55	18	23	27	30	21	14	17	51	121	113	86	576
	3	30	16	38	53	40	46	15	7	24	127	139	16	551
	4	21	26	45	70	43	42	14	6	17	209	125	9	627
	5	4	20	31	100	66	29	12	3	11	182	126	2	586
	6	2	17	59	132	71	19	19	14	21	237	90	0	681
	7	1	14	66	153	55	14	16	4	17	212	76	0	628
	8	0	10	59	162	48	3	12	11	16	229	55	0	605
	9	0	13	41	198	43	2	6	11	30	194	36	0	574
	10	0	7	32	188	57	1	7	15	26	161	18	0	512
	11	0	9	31	195	39	0	4	8	39	100	12	0	437
	12	0	3	27	193	18	0	2	9	23	124	8	0	407
	13	0	1	24	179	15	0	1	11	16	82	9	0	338
	14	0	2	16	158	16	0	1	7	23	79	10	0	312
	15	0	3	15	144	15	0	0	4	21	57	8	0	267
	16	0	1	6	127	11	0	0	3	18	50	6	0	222
	17	0	0	6	94	10	0	0	3	13	58	7	0	191
	18	0	0	3	99	9	0	0	0	12	48	3	0	174
	19	0	0	0	88	1	0	0	2	14	35	2	0	142
	20	0	0	0	54	5	0	0	0	6	28	1	0	94
	21	0	0	2	49	5	0	0	0	9	30	2	0	97
	22	0	0	3	38	6	0	0	0	8	23	0	0	78
	23	0	0	0	17	3	0	0	0	7	16	0	0	43
	24	0	0	0	15	1	0	0	1	5	15	0	0	37
	25	0	0	0	14	1	0	0	0	6	13	0	0	34
	26+	0	0	0	26	2	0	0	0	15	62	0	0	105
Celkem [hod]	176	170	539	2 599	624	207	150	148	481	2 535	920	211	8 760	

Příloha 9: Pravděpodobnostní tabulka závislosti směru proudění na rychlosti

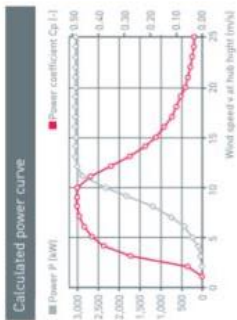
V126-3.45 MW[®]

IEC IIB/IEC IIA

Facts & figures

POWER REGULATION	Pitch regulated with variable speed													
OPERATING DATA														
Rated power	3,450 kW													
Cut-in wind speed	3 m/s													
Cut-out wind speed	22.5 m/s													
Re cut-in wind speed	20 m/s													
Wind class	IEC IIB/IEC IIA													
Standard operating temperature range from -20°C to +45°C with de-rating above 30°C														
*subject to different temperature options														
SOUND POWER														
Maximum	104.4 dB(A)** / 107.3 dB(A)**													
**Sound Optimised Modes dependent on site and country														
ROTOR														
Rotor diameter	126 m													
Swept area	12,469 m ²													
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders													
ELECTRICAL														
Frequency	50/60 Hz													
Converter	full scale													
GEARBOX														
Type	two planetary stages and one helical stage													
TOWER														
Hub heights 87 m (IEC IIB/IEC IIA), 117 m (IEC IIB/IEC IIA/DIBtS), 137 m (IEC IIIA/DIBtS), 147 m (IEC IIIA), 149 m (DIBtS) and 166 m (DIBtS)														
NACELLE DIMENSIONS														
Height for transport	3.4 m													
Height installed (incl. CoolerTop*)	6.9 m													
Length	12.8 m													
Width	4.2 m													
HUB DIMENSIONS														
Max. transport height	3.8 m													
Max. transport width	3.8 m													
Max. transport length	5.5 m													
BLADE DIMENSIONS														
Length	61.7 m													
Max. chord	4 m													
Max. weight per unit for transportation 70 metric tonnes														
TURBINE OPTIONS														
<ul style="list-style-type: none"> • High Wind Operation • Power Optimised Mode up to 3.6 MW (site specific) • Load Optimised Modes down to 3.0 MW • Condition Monitoring System • Service Personnel Lift • Vestas Ice Detection • Vestas De-Icing • Low Temperature Operation to -30°C • Fire Suppression • Shadow detection • Increased Cut-In • Aviation Lights • Aviation Markings on the Blades • Vestas IntelliLight™ 														
ANNUAL ENERGY PRODUCTION														
<table border="1"> <caption>Annual Energy Production Data</caption> <thead> <tr> <th>Yearly average wind speed (m/s)</th> <th>Annual Energy Production (GWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>~90</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>~115</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>~140</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>~155</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>~165</td> </tr> </tbody> </table>			Yearly average wind speed (m/s)	Annual Energy Production (GWh)	60	~90	70	~115	80	~140	90	~155	100	~165
Yearly average wind speed (m/s)	Annual Energy Production (GWh)													
60	~90													
70	~115													
80	~140													
90	~155													
100	~165													
<small>Assumptions: One wind turbine, 100% availability, 0% losses, 4 factor = 2, Standard air density = 1.225, wind speed at hub height</small>														

Příloha 10: Technická specifikace Vestas V126-3,450



Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp (-)
1	0.0	0.00
2	3.0	0.076
3	37.0	0.279
4	118.0	0.376
5	256.0	0.421
6	476.0	0.453
7	790.0	0.469
8	1,200.0	0.478
9	1,710.0	0.477
10	2,340.0	0.477
11	2,867.0	0.479
12	3,050.0	0.358
13	3,050.0	0.293
14	3,050.0	0.227
15	3,050.0	0.184
16	3,050.0	0.152
17	3,050.0	0.127
18	3,050.0	0.107
19	3,050.0	0.091
20	3,050.0	0.078
21	3,050.0	0.067
22	3,050.0	0.058
23	3,050.0	0.051
24	3,050.0	0.045
25	3,050.0	0.040

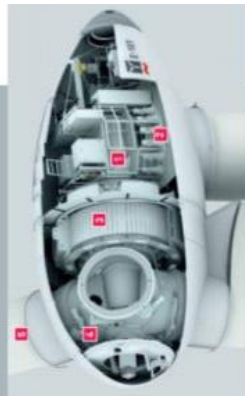
Technical specifications E-101

Rated power: 3,050 kW
Rotor diameter: 101 m
Hub height in meter: 99 / 124 / 135 / 149
Wind zone (DIBt): WZ III
Wind class (IEC): IEC/EN IIIA
WEC concept: Gearless, variable speed, single blade adjustment

Rotor
 Type: Upwind rotor with active pitch control
 Rotational direction: Clockwise
 No. of blades: 3
 Swept area: 8,012 m²
 Blade material: GFR (epoxy resin)
 Built-in lightning protection
 Rotational speed: Variable, 4 - 14.5 rpm
 Pitch control: ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply

Drive train with generator
 Main bearing: Double row tapered/cylindrical roller bearings
 Generator: ENERCON direct-drive annular generator
Grid feed: ENERCON inverter
Brake systems: - 3 independent pitch control systems with emergency power supply
 - Rotor brake

Yaw system: - Rotor lock, latching [10°]
 Active via yaw gear, load-dependent damping
Cut-out wind speed: 28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)
Remote monitoring: ENERCON SCADA



- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Rotor hub
- 5 Rotor blade

* For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.

Příloha 11: Technická specifikace Enercon E-101 3,050