



Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem

Bakalářská práce

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Ondřej Mitrenga

Vedoucí práce:

Ing. Petr Novotný, CSc.

Katedra energetických zařízení





Zadání bakalářské práce

Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem

Jméno a příjmení: **Ondřej Mitrenga**
Osobní číslo: S19000394
Studijní program: B0715A270008 Strojírenství
Zadávací katedra: Katedra energetických zařízení
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše větrných elektráren vhodných svou konstrukcí pro pevninu
- 2) Projekt realizovaný v Jindřichovicích pod Smrkem
- 3) Zkušenosti z provozu, návratnost investice
- 4) Návrh projektu nové větrné elektrárny

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

35
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, Zikova 4, 166 35 Praha 6: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7
- [2] 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-elektrarny-a-jeji-vyvoj/110>
- [3] 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.

Vedoucí práce:

Ing. Petr Novotný, CSc.
Katedra energetických zařízení

Datum zadání práce:

1. listopadu 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Petra Dančová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

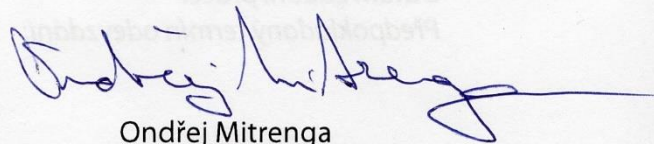
Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

4. května 2020



Ondřej Mitrenga

Poděkování

Vážím si veškeré pomoci a podpory, která mi byla projevována během psaní mé bakalářské práce nesoucí název *Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem*. Rád bych touto cestou projevil svůj vděk a vyzdvihl hlavně lidi z katedry Energetických zařízení působících na Technické Univerzitě v Liberci, kteří mi dali kvalitní technické i vědomostní zázemí pro napsání této práce. Jmenovitě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, jímž byl pan Ing. Petr Novotný, CSc. za jeho odborné poznatky při tvorbě mé závěrečné práce.

Anotační list

| | |
|-------------------------|--|
| <i>Jméno autora</i> | Ondřej Mitrenga |
| <i>Název BP</i> | Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem |
| <i>Anglický název</i> | Wind power plant in Jindřichovice pod Smrkem |
| <i>Rok</i> | 2020 |
| <i>Studijní program</i> | B0715A270008, Strojírenství |
| <i>Katedra</i> | Katedra energetických zařízení |
| <i>Vedoucí práce</i> | Ing. Petr Novotný, CSc. |
| <i>Bibliografie</i> | počet stran 51 |
| | počet grafů 8 |
| | počet obrázků 11 |
| | počet tabulek 5 |

Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem

Anotace

Cílem této závěrečné práce je shrnout dosavadní poznatky o vzniku a provozu první větrné elektrárny na území České republiky, která je ve vlastnictví, a tedy ve správě obecní samosprávy. Na základě naměřených dat dále zhodnotit a analyzovat, jaké možné řešení větrné elektrárny se na území obce Jindřichovice pod Smrkem nabízí. Cílem je tedy podat ucelený náhled na problematiku výstavby, provozu a finanční stránky celého projektu. Práce se rovněž zabývá konceptem energeticky udržitelného mikroregionu.

Klíčová slova

Větrná elektrárna, obecní samospráva, vítr, energeticky udržitelný mikroregion, obnovitelné zdroje, výkon, ekonomika projektu, návratnost, rentabilita projektu

Wind power plant in Jindřichovice pod Smrkem

Abstract

A goal of this bachelor work is to sum up the ideas of a creation and a working of the first czech wind power plant owned and managed by the local municipality. Based on the measured data I will analyse, what possible solution can be offered to the village Jindřichovice pod Smrkem. The work is also giving a detailed overview to the construction, the working procedure and a financial part of the project. The work is also dealing with the concept of energy sustainable microregion.

Key words

Wind power plant, local municipality, wind, energy sustainable microregion, renewable sources, power, project economics, economical return, project rentability.

• Obsah

| | |
|--|----|
| Poděkování | 5 |
| Anotační list | 6 |
| Anotace | 7 |
| Klíčová slova | 7 |
| Abstract | 8 |
| Key words | 8 |
| Seznam zkratk | 12 |
| 1. Úvod | 13 |
| 2. Obnovitelné zdroje | 14 |
| 2.1. Větr zdrojem energie | 16 |
| 2.2. Větrná energie v České republice | 19 |
| 3. Schéma větrné elektrárny | 20 |
| 3.1. Větrná elektrárna na pevnině | 21 |
| 3.1.1. Regulace Pitch | 22 |
| 3.1.2. Regulace Stall | 22 |
| 3.1.3. Aktivní regulace Stall | 22 |
| 4. Větrná elektrárna v obecní správě | 24 |
| 4.1. Obec Jindřichovice pod Smrkem | 24 |
| 4.2. Projekt větrné elektrárny | 25 |
| 4.3. Technická specifikace ENERCON E-40 | 27 |
| 4.4. Životní prostředí a okolní vlivy | 29 |
| 4.4.1. Uhlíková stopa | 29 |
| 4.4.2. Vliv na faunu | 29 |
| 4.4.3. Hlukové hodnoty | 30 |
| 4.4.4. Televizní a radiový signál | 30 |
| 4.4.5. Sociální smír | 30 |
| 5. Provozem obecní větrné elektrárny | 31 |
| 5.1. Poskytnutá data | 31 |
| 6. Predikce do roku 2023 | 37 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|----|
| 6.1. | Budoucí provoz větrné elektrárny..... | 39 |
| 6.1.1. | Aukční systém podpory..... | 39 |
| 6.1.2. | Akumulace energie | 43 |
| 7. | Závěr | 44 |
| 8. | Seznam citací..... | 46 |

• Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1: Výkonostní křivka ENERCON E-40..... | 28 |
| Graf 2: Roční produkce elektrické energie | 32 |
| Graf 3: Měsíční produkce elektrické energie..... | 33 |
| Graf 4: Návratnost projektu | 35 |
| Graf 5: Roční tržby projektu | 36 |
| Graf 6: Celková ziskovost projektu predikce do roku 2023 | 38 |
| Graf 7: Celková ziskovost projektu predikce do roku 2034 | 41 |
| Graf 8: Čistý zisk + predikce do budoucna..... | 42 |

• Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Potenciál konečné spotřeby OZE [24] | 15 |
| Obrázek 2: Světová energo spotřeba dle typu paliva (quadrillion btu*) [19]..... | 15 |
| Obrázek 3: Výhled větrné energetiky do budoucna [18]..... | 16 |
| Obrázek 4: Větrná instalace na zemi, tzv onshore [16]..... | 18 |
| Obrázek 5: Větrná mapa UFA AV ČR pro výšku 100 m nad povrchem [17, 26] . | 19 |
| Obrázek 6: Schéma horizontální VtE se vztlakovou turbínou [10, 17] | 20 |
| Obrázek 7: Princip fungování odporové a vztlakové turbíny [12, 17] | 21 |
| Obrázek 8: Lokace obce Jindřichovice pod Smrkem | 24 |
| Obrázek 9: 2x 600 kW Enercon E-40 [29]..... | 26 |
| Obrázek 10: Jindřichovice pod Smrkem větrné elektrárny [2]..... | 26 |
| Obrázek 11: Bateriové úložiště, Prisma Energy Capital [30]..... | 43 |

• Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Technická specifikace Enercon E-40 [29] | 27 |
| Tabulka 2: Finanční model podpory [6]..... | 34 |
| Tabulka 3: Srovnání predikce a reality provozu | 36 |
| Tabulka 4: Finanční model podpory predikce do budoucna..... | 37 |
| Tabulka 5: Predikce podpory formou aukcí na roky 2024- 2034 | 40 |

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 |
| SF ŽP | Státní Fond životního prostředí |

1. Úvod

Energie má nesmírný význam v dnešní společnosti, bez zdrojů energie a energie jako takové si život v dnešní době nedokážeme představit. Jedná se o základní stavební prvek fungování civilizace. V budoucnosti obnovitelných zdrojů lze spatřovat významný potenciál, hlavně vzhledem k tendenci ubírat se směrem nulové uhlíkové stopy a maximální ochrany životního prostředí. Stále častěji lze slyšet hlasy, které volají po omezování nežádoucích vlivů tzv. starých zdrojů. I přes faktor životního prostředí je nicméně potřeba hledět na obnovitelné zdroje jako na zdroje těžko předvídatelné a jistou měrou také nestabilní, což dělá odvětví obnovitelných zdrojů energie poněkud rizikovým zdrojem hlavně z pohledu rentability. Z těchto důvodů se Evropská Unie jako celek ubírá cestou podpory těchto zdrojů, a to různými formami, ať se již jedná o různé formy dotací, tzv. zelené bonusy, výkupní ceny, případně daňové úlevy apod. [5]

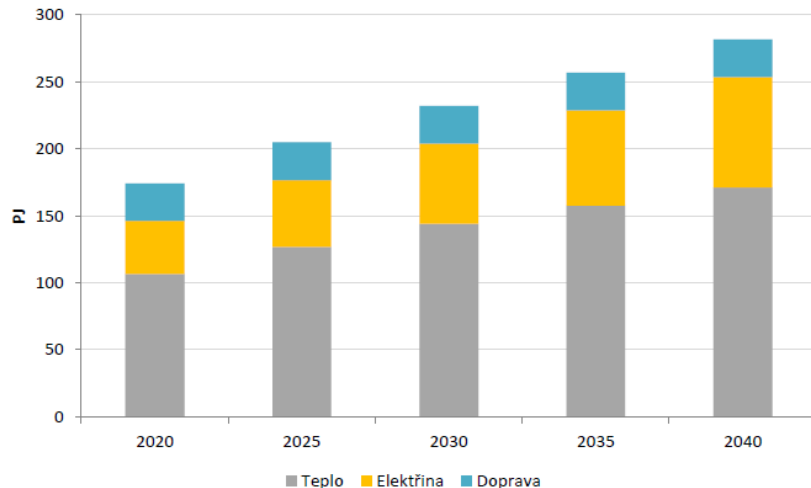
Tato bakalářská práce se zabývá tématem obnovitelných zdrojů, konkrétně větrné energetiky. Autor si danou problematiku zvolil za účelem rozšíření si povědomí o novodobých možnostech využití energie větru a jejich světlé a stinné stránky. Tato práce si dává za cíl zhodnotit konkrétní projekt, a to projekt prvních větrných elektráren financovaných ze zdrojů obecní samosprávy, respektive ze Státního fondu životního prostředí (SF ŽP) formou nevratné dotace, v obci Jindřichovice pod Smrkem, ležící na severu Čech v okrese Liberec. Autor v této práci hodnotí její dosavadní výrobu elektrické energie a analyzuje jednotlivé roky s ohledem na další směřování a možné budoucí využití této větrné instalace.

Vzhledem k aktuální situaci, v níž je tato závěrečná práce psána, a sice v době tzv. koronavirové pandemie, se nabízí otázka, jakým směrem se vydá odvětví energetiky, neboť již nyní je evidentní, že se řada odvětví razantním způsobem proměňuje. Na druhou stranu lze v dnešní době vidět také pozitivní efekt této krize, a sice zlepšení životního prostředí a snížení celosvětového množství emisí. Jaké dopady tato krize tedy v konečném důsledku bude na celý světový mechanismus mít se tedy lze jen těžko domnívat.

2. Obnovitelné zdroje

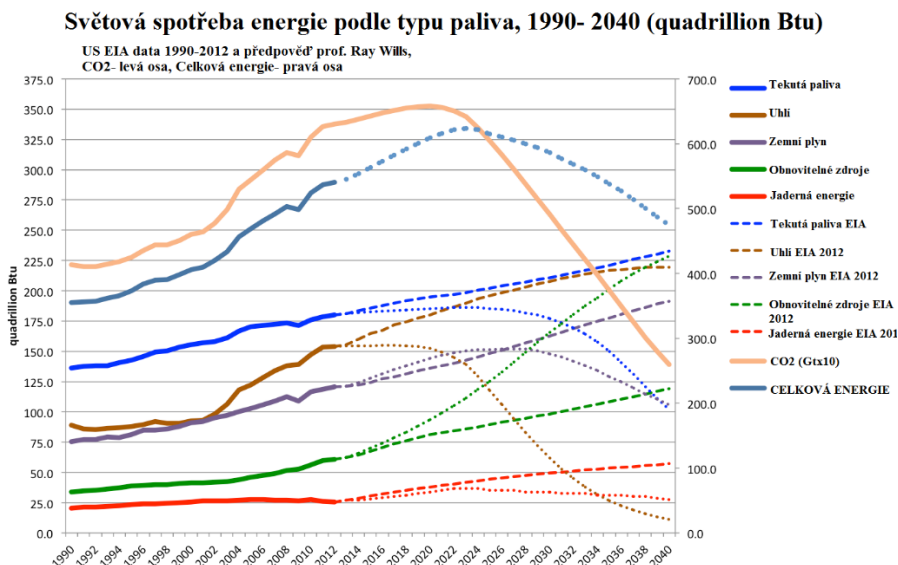
Obnovitelné zdroje jsou zákonem definovány jako zdroje energie, které jsou svou podstatou nevyčerpatelné, tedy, že i v případě jejího dočasného vyčerpání, dojde přírodou k samovolnému obnovení. Mezi tyto obnovitelné zdroje řadíme sluneční energii, vodní energii, také geotermální a přílivovou, energii z biomasy a také větrnou energii. Naopak mezi obnovitelné zdroje neřadíme fosilní paliva, jako jsou uhlí, černé a hnědé, ropa, zemní plyn a ani palivo jaderných elektráren. Obnovitelné zdroje jsou ze své podstaty přírodními zdroji, které jsou považovány za tzv. green energy, tedy čisté zdroje, které výrobou elektrické energie negativně neovlivňují životní prostředí a neprodukují špinavé emise. [25, 31]

Český vládní poradní orgán se zaměřením na energetiku, který se setkává a zpracovává důležitý dokument, nesoucí jméno Státní energetická koncepce ČR (SEK ČR), jehož členy jsou odborníci z Ministerstva průmyslu a obchodu a z komerční sféry, tvoří tento dokument s cílem předpovědět neoptimálnější směřování Českého státu na poli energetiky a její pokud možno maximální soběstačnosti s ohledem na životní prostředí, bezpečnost, přírodní zdroje a efektivitu. Státní energetická koncepce předpovídá do budoucna významný podíl výroby elektrické energie právě ze zdrojů obnovitelných, jejichž podíl se na celkovém energetickém mixu bude i nadále zvyšovat, a to výhledově až na úroveň 20 %. Na obrázku níže Státní energetické koncepce predikuje potenciál konečné spotřeby obnovitelných zdrojů energie v závislosti na jednotlivém odvětví. Stále rostoucí měrou se očekává tento podíl na výrobě tepla a elektřiny. V dopravě se rapidní změna do budoucna neočekává. [7, 24, 27]



Obrázek 1: Potenciál konečné spotřeby OZE [24]

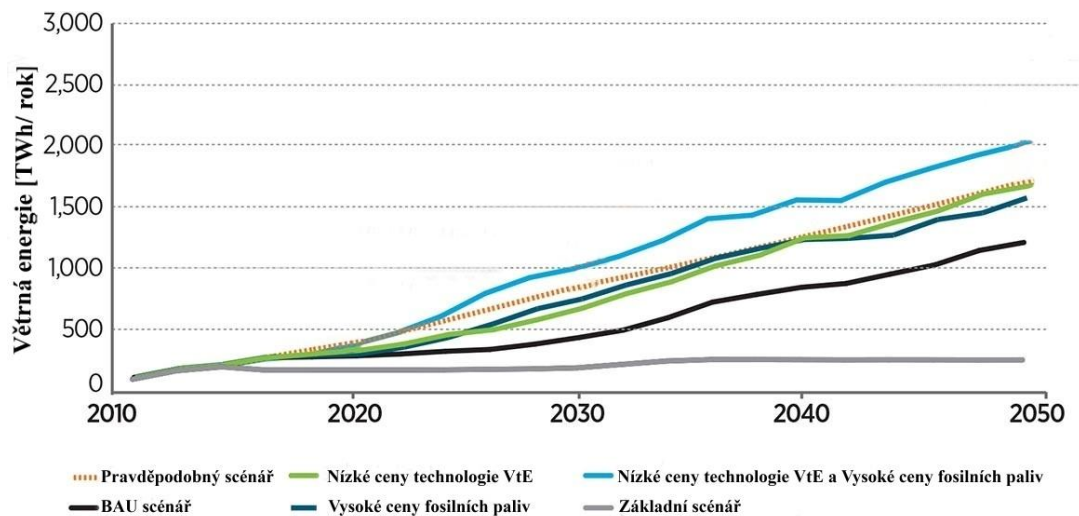
Obrázek podává ucelenou predikci světové spotřeby energie v závislosti na typu paliva. Tento model predikce je vypracován na období let 1990– 2040, přičemž lze vnímat stále snižující se podíl fosilních paliv a naopak vzrůstající sílící podíl obnovitelných zdrojů. Predikce nicméně podává i pohled na různé typy scénářů, které se navzájem liší a o to více v dnešní době lze jen těžko předvídat další vývoj na poli energetiky.



Obrázek 2: Světová energo spotřeba dle typu paliva (quadrillion btu*) [19]

* quadrillion btu = $1,05505585 \times 10^{18} J$

Výhled větrné energetiky lze predikovat v závislosti na vývoji cen elektrické energie, která je hlavní proměnnou. Významnou měrou se na vývoji podílí rovněž cena fosilních paliv a také cena technologie větrné elektrárny jako takové.



Obrázek 3: Výhled větrné energetiky do budoucna [18]

2.1. Vítr zdrojem energie

Vítr je pohyb vzduchu, který je způsoben vlivem rozdílných atmosférických tlaků, jenž jsou důsledkem různých teplot. Vítr ve formě vzduchu se pohybuje z oblasti vyššího tlaku do oblasti s nižším tlakem. Vítr zároveň funguje na principu cykličnosti a zároveň nepravidelnosti, což se týká směru a intenzity.

Větrná energetika tedy využívá tohoto proudění ve smyslu vztahového působení na lopatky větrných turbín, které způsobí roztočení rotoru, jenž je pomocí hřídele převodově napojen na elektrický generátor a odtud elektrická energie plyne do přenosové soustavy. Je nutno zmínit, že oproti jiným zdrojům energie vítr nemá tu vlastnost dodávky také tepelné energie, jedná se tedy pouze o výrobu elektrické energie. [14]

Vyjádření kinetické energie větru vychází ze vzorce, který v sobě skrývá mocninou funkci, a tedy definuje energii větru jako vysoce proměnnou v návaznosti na malých odchylkách. Tato proměnná je třetího stupně a v praxi to znamená, že v případě nárůstu rychlosti větru 4x, kinetická energie na neměnném plošném průřezu se zvětší 64x, a naopak. Tento fakt dodává větrné energetice významnou složitost reálné predikce výroby, neboť i sebemenší odchylka rychlosti má v konečném důsledku nedozírné následky a může tedy naprosto zásadně pozměnit teorii oproti realitě. [1, 4]

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

A – plocha působící na objekt [m^2]

ρ - hustota vzduchu [kg/ m^3]

v - rychlost proudění vzduchu [m/ s]

Z vzorce rovněž vyplývá, že pro oblasti s nízkými rychlostmi větrného proudění nikdy nedojde k maximálnímu využití tohoto potenciálu, a zároveň, pokud je proudění větru významného rázu, může dojít k nemalému poškození větrné turbíny, respektive nadměrné produkci elektrické energie a v nejzazších případech i k tzv. blackoutu, tedy kolapsu přenosové sítě.

Moderní větrné elektrárny jsou dimenzovány na nejefektivnější míru výroby elektrické energie 10–20 m/ s, přičemž aby nedošlo k poškození větrné turbíny, software je vesměs nastaven na maximální hodnotu rychlosti větru 25 m/ s. Tzv. nahazovací (startovní) rychlost větru, při které již rotace rotoru dává smysl, se pohybuje vesměs kolem 3,6 m/ s. [8, 11, 12]

Nicméně i fyzikální zákony nám stanovují maximální možné hodnoty. Větrná energetika vychází z významných objevů německého fyzika Alberta Betze, který říká, že v praxi nelze využít více než 16/27 kinetické energie větru, což odpovídá 59,3 %. Zákon tedy pojednává o maximálním teoreticky možném procentu využití větrného proudění. Nutno podotknout, že se stále jedná o poměrně idealizovaný

stav, reálně tohoto stavu nemůžeme nikdy dosáhnout. Účinnost větrné turbíny je rovněž ovlivňována různými formami tření, ať se již jedná o vnitřní tření mechanismů, tření vzduchu o lopatky, ale rovněž i víry a již zmiňována míra nestability a nepravidelnosti větrného proudění. Po uvážení všech vyjmenovaných forem ztrát se tedy u velkých větrných turbín účinnost dostává k rozmezí 40–50 % a u menších větrných turbín s výkonem do 100 kW je účinnost 20–40 %. [9, 13, 21]

Betzův zákon je tedy definován na základě kinetické energie následovně:

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

A – plocha působící na objekt [m^2]

ρ - hustota vzduchu [kg/m^3]

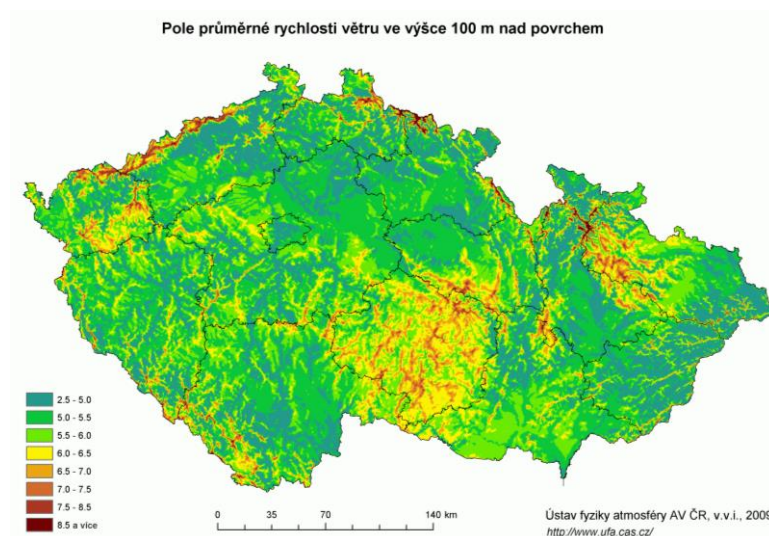
v - rychlost proudění vzduchu [m/s]



Obrázek 4: Větrná instalace na zemi, tzv onshore [16]

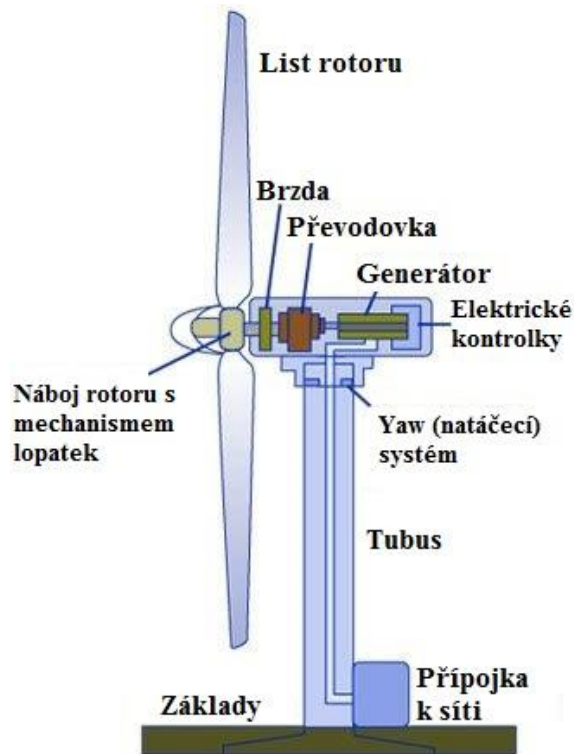
2.2. Větrná energie v České republice

Potenciál výstavby větrných elektráren v České republice ovlivňován krajinou, na kterou navazují zastavěná území, chráněné oblasti jako jsou národních parky, CHKO a další významně chráněná a střežená území. Česká republika se vyznačuje nestálou přírodní krajinou, nejednotvárností, vyskytuje se zde častý odlišný ráz, kde se střídají různé druhy krajinného reliéfu. Rovněž perspektiva nížinatých oblastí je blížící se nule. Česká republika nemá moře, a tedy ani zde, kde je obecně vyšší větrné proudění s notnou dávkou stability se nenabízí k dispozici. Vzhledem k zmíněnému se může zdát, že Česká republika je obecně zemí ne příliš vhodnou pro výstavbu větrných elektráren, neboť jediné, co se nabízí jsou oblasti u hor a vrchovin. Samotné vrcholky hor rovněž nejsou ideální vzhledem k častým až příliš vysokým větrným proudům, které by mohly instalaci poškodit. Také je potřeba vzít v potaz a předcházet ovlivnění proudění větru překážkami, resp. turbulentními větry vznikajícími od těchto okolních překážek a následného poklesu rychlosti větru. Hledáme tedy pokud možno tzv. návětrné strany ideálně v určité vzdálenosti pod vrcholem kopce, kde dochází k maximálnímu urychlení větru. V České republice se problematikou výskytu větrného proudění zabývá Ústav fyziky atmosféry České republiky (UFA ČR), jehož odborníci sestavili tzv. interaktivní větrnou mapu, demonstrující větrný potenciál České republiky. [8, 9, 26]



Obrázek 5: Větrná mapa UFA AV ČR pro výšku 100 m nad povrchem [17, 26]

3. Schéma větrné elektrárny

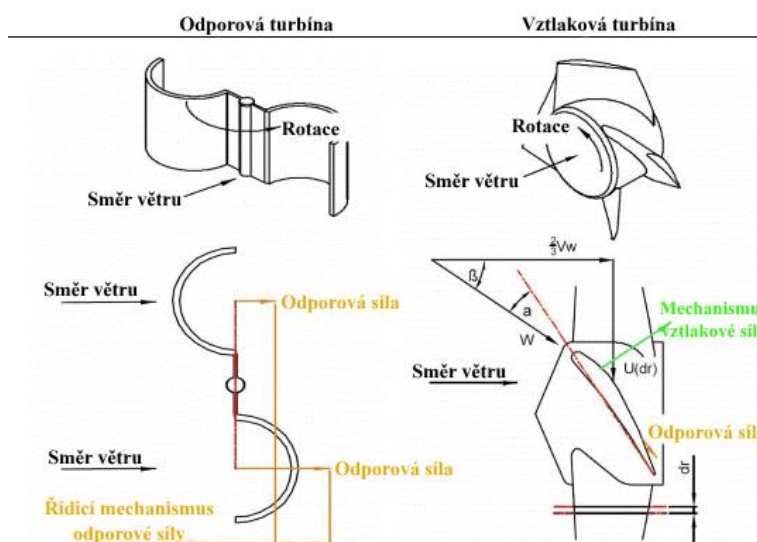


Obrázek 6: Schéma horizontální VtE se vztlakovou turbínou [10, 17]

Mimo významné množství jednak softwarové techniky, technologie adaptivního natáčení listů rotoru, mechanických pohonů a částí optimalizujících výrobu elektrické energie z větru je princip fungování větrné elektrárny přímočarý. Jak již název napovídá, větrná elektrárna přeměňuje sílu větru na elektrickou energii. Vítr naráží dopadá lopatky rotoru, kde dochází k přeměně kinetické energie větru na mechanickou energii. Dojde k roztočení hřídele a pomocí mechanického převodu i generátoru, tomto případě se jedná o koncepci s generátorem střídavého proudu. U moderních větrných elektráren se v dnešní době běžně instalují i převodovky, za účelem optimalizace převodového poměru, a tedy i zvýšení účinnosti a efektivity práce větrné elektrárny. V generátoru se mechanická energie transformuje na elektrickou energii, odkud tubusem dochází k přenosu trojfázového střídavého proudu do přenosné sítě. [4, 10]

3.1. Větrná elektrárna na pevnině

Větrné elektrárny se dělí jednak podle principu fungování a zároveň podle osy otáčení rotoru. Jednoznačně nejvyužívanější větrnou turbínou v dnešní době je tzv. vztlaková turbína s horizontální osou.



Obrázek 7: Princip fungování odporové a vztlakové turbíny [12, 17]

Princip fungování je založen na lopátkách různého tvaru, které vykonávají rotační pohyb okolo svislé osy. Vítr působí na větrnou turbínu, kde vzniká aerodynamické obtékání větru kolem speciálně tvarované turbíny. Síly působící na profil dělíme na vztlakové a odporové, přičemž vztlaková síla je tou dominantní, která má za účinek postupné roztočení rotoru. Odporové turbíny jsou v dnešní době považovány za turbíny s nižší efektivitou, tj. zhruba 25 %, kdežto u vztlakových se bavíme 40– 50 %. [3, 12]

Vztlaková turbína funguje na principu, kdy je požadována tzv. startovací rychlost proudění větru, aby vůbec došlo k roztočení rotoru. Zároveň v rámci dopomoci k tomuto roztočení slouží elektrické motory, které mají za cíl přivést větrnou turbínu k požadované rychlosti, kdy již větrné proudění začíná aktivně působit a generovat energii. Vztlaková větrná turbína je rovněž dimenzována na

maximální možné rychlosti proudění vzduchu. Tyto rychlosti jsou běžně stanovovány na hodnotu 25 m/ s, což jsou rovněž rychlosti tzv. vypínací. Nad tuto rychlost by mohlo dojít k poničení větrné turbíny a jsou tedy regulovány za využití tzv. regulace pitch (regulace natáčením listů) a stall (regulace odtržení proudu vzduchu), případně rovněž aktivní regulace stall. [13, 15]

3.1.1. Regulace Pitch

Jedná se o tzv. regulaci natáčením listů. Elektronický regulátor permanentně měří výkon zařízení a digitální anemometr vyhodnocuje větrné proudění. V případě významných hodnot rychlostí se listy rotoru natočí lehce z větru, případně naopak nízkých rychlostí dojde k natočení do větru. Tento systém je za účelem jednak maximalizace výroby elektrické energie a rovněž slouží jako ochrana proti poškození turbíny.

3.1.2. Regulace Stall

Regulace stall je tzv. regulace odtržením proudu. Jedná se o pasivní formu regulace, kde jsou listy rotoru pevně našroubované k hlavě s pevně daným úhlem. Během příliš silného větrného proudění dochází na straně listů odvrácené od větru k turbulenci. Toto odtržení proudu má za následek snížení vztlakové síly pohánějící rotor. Tato pasivní regulace má svou výhodu v tom, že se jedná o daleko méně komplikovaný systém, kde se můžeme vyhnout pohyblivosti dílu u rotoru. Nevýhodou je stránka vibrací, které vyvolává odtržený proud.

3.1.3. Aktivní regulace Stall

Aktivní regulace Stall je přechod mezi regulací Pitch a Stall. Listy rotoru jsou flexibilní podobně jako u regulace Pitch. Oproti Pitch se u aktivní regulace Stall při dosažení definovaného výkonu listy rotoru otočí do protilehlého směru, dojde k zvýšení úhlu nastavení a v návaznosti na tom se zesílí odtržení proudu. Tímto způsobem dojde k odčerpání přebytečné energie větru. Vzhledem k přesnější

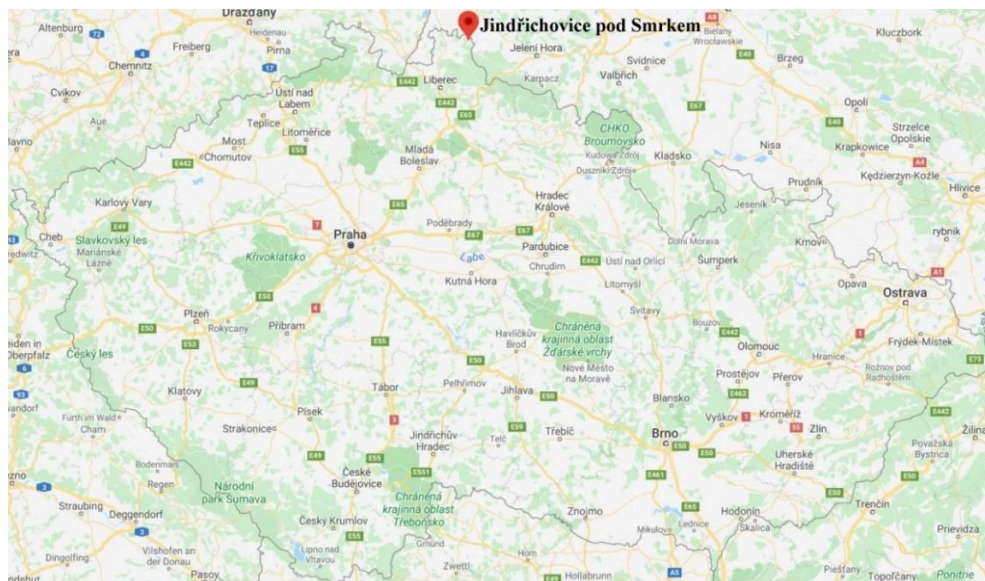
regulaci výkonu nedochází k přetížení generátoru při poryvech větru. Zařízení s touto formou regulace lze provozovat při vysokých rychlostech větru, což u pasivní regulace Stall není možné, protože vyšší odtržení proudu má za následek také silnější pokles výkonu, je tedy řádově citlivější, a ne tolik přesný jako aktivní regulace Stall. Tato forma regulace nachází své využití u velkých větrných elektráren, s instalovaným výkonem větším než 1 MW. Naproti tomu tzv. offshore větrné elektrárny jsou dimenzovány na větší poryvy větru, neboť na moři, kde k jejich vystavění dochází, jsou rychlosti větrného proudění významnější s vyšší koncentrací nadprůměrných hodnot ve srovnání s pevninskou výstavbou větrných elektráren. [12, 28]

4. Větrná elektrárna v obecní správě

Na obec Jindřichovice pod Smrkem se ve své bakalářské práci zaměřuji z důvodu, že se nejvíce proslavila zejména díky aktivitám svého bývalého starosty Ing. Petra Pávka, který během svého úřadování nechal v obci postavit historicky první dvojici větrných elektráren, financovanou ze Státního fondu životního prostředí formou nevratné dotace. Jedná se tedy o první vystavenou větrnou instalaci na území České republiky, kterou má na starosti místní komunální samospráva. Obec Jindřichovice pod Smrkem vyjma své instalace větrných elektráren spravuje také další zdroj energie, kotelnu na biomasu. Obec razí cestu Koncepce energeticky soběstačného mikroregionu. V této bakalářské práci se budu detailněji zabývat analýzou tohoto projektu větrných elektráren. [2, 22]

4.1. Obec Jindřichovice pod Smrkem

Obec Jindřichovice pod Smrkem se nachází na území dnešního Frýdlantského výběžku, na severu Čech, v Libereckém kraji, okrese Liberec. Obec je vzdálená asi 15 km od města Frýdlant a 35 km od města Liberec. V obci žije zhruba 655 obyvatel. Nachází se v nadmořské výšce 376 m. n. m. a rozprostírá se na katastrální výměře 19,13 km².



Obrázek 8: Lokace obce Jindřichovice pod Smrkem

4.2. Projekt větrné elektrárny

V Jindřichovicích pod Smrkem byla v květnu 2003 uvedena do provozu větrná instalace ENERCON E-40 se dvěma větrnými věžemi, instalovaného výkonu 600 kW každá.

Základní údaje týkající se ekonomické stránky projektu:

- celková investice projektu: 62 mil. Kč (51 650 Kč/ kW_{instal.})
- nevratná dotace Státního fondu ŽP ČR: 27,9 mil. Kč (tj. 45 %)
- půjčka Státního fondu ŽP ČR (12 let, 1,5 % p. a.): 24,8 mil. Kč (tj. 40 %)
- z rozpočtu obce Jindřichovice pod Smrkem: 9,3 mil. Kč (tj. 15 %)
- průměrné roční očekávané příjmy: 6 mil. Kč
- maximální roční náklady včetně splácení půjčky: 3 mil. Kč
- očekávaný roční průměrný zisk: 3 milióny korun

Větrná instalace využívá formu podpory, která se vztahuje na obnovitelné zdroje energie. V cenovém rozhodnutí pro tyto zdroje, které vydává Energetický regulační úřad (ERÚ) a konkrétním subjektům poté vyplácí Operátor trhu s elektřinou (OTE) je každoročně zveřejněna hodnota podpory. Na větrné elektrárny se vztahuje podpora tzv. výkupní ceny, případně zelených bonusů. Tato garance nejnižší státem určené hodnoty podpory je podepisována se subjektem vlastníci instalaci na dobu 20 let, ode dne kolaudace stavby, vztahující se k roku uvedení do provozu, kterým je rok 2003. Ve zvolené lokalitě panují "velmi příznivé" větrné podmínky, přičemž roční výroba obou generátorů se odhadovala na 2 200 MWh, při ročním využití plného výkonu 1 833 hod. [2, 20, 22]



Obrázek 9: 2x 600 kW Enercon E-40 [29]



Obrázek 10: Jindřichovice pod Smrkem větrné elektrárny [2]

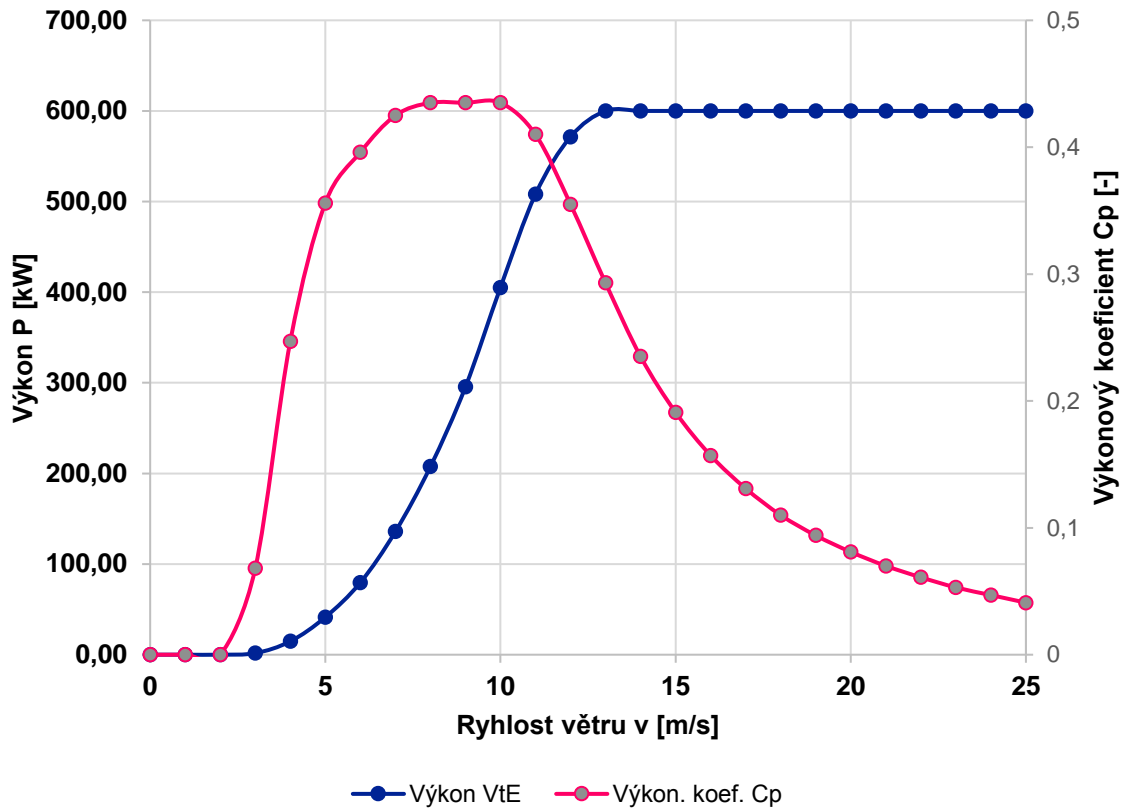
4.3. Technická specifikace ENERCON E-40

Větrná instalace ENERCON E-40 patřila v době výstavby v roce 2003 mezi nejvýkonnější větrné elektrárny jaké trh nabízel. Od té doby jsou na území České republiky stabilně zdroje řádově 2 MW a více. Níže je přiložena technická specifikace jednotky E-40 od firmy ENERCON. [29]

| Obecně | |
|--------------------------|-------------------------|
| Instalovaný výkon | 600 kW |
| Spouštěcí rychlost větru | 2,5 m/ s |
| Jmenovitá rychlost větru | 12,0 m/ s |
| Vypínací rychlost větru | 28,0 m/ s |
| Výška větrné elektrárny | 65 m |
| Rotor | |
| Průměr | 43,7 m |
| Aktivní plocha | 1 521,0 m ² |
| Počet listů | 3 |
| Maximální rychlost | 34,0 U/ min |
| Rychlost ve špičce | 78 m/ s |
| Typ | AERO E-40 |
| Materiál | GFK |
| Výrobce | Enercon |
| Hustota výkonu | 394,5 W/ m ² |
| Hustota výkonu | 2,5 m ² / kW |
| Generátor | |
| Typ | synchronní |
| Počet | 1 |
| Maximální rychlost | 34,0 U/ min |
| Napětí | 440,0 V |
| Síťové připojení | WR |
| Frekvence v síti | 50 Hz |
| Bezpřevodková VtE | |
| Hmotnost | |
| Rotor | 8,7 t |
| Gondola | 20,5 t |
| Tubus | 99,0 t |

Tabulka 1: Technická specifikace Enercon E-40 [29]

Výkonostní křivka



Graf 1: Výkonostní křivka ENERCON E-40

Samotné větrné elektrárny se nacházejí na katastrálním území obce Jindřichovice pod Smrkem, pod číslem katastrálního pozemku 1292 o výměře 948 m², respektive číslo 1295 o výměře 1901 m². Oba pozemky jsou vlastněné obcí Jindřichovice pod Smrkem, č. p. 245, 46365 Jindřichovice pod Smrkem a druh pozemku je definován jako ostatní plocha.

GPS souřadnice dané lokality: Zeměpisná šířka: 50.965450
Zeměpisná délka: 15.241750

4.4. Životní prostředí a okolní vlivy

Výstavbě větrných elektráren předchází proces posuzování vlivu na životní prostředí, řídící se č. 100/2001 Sb., Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí, v platném znění, tzv. EIA. Investor musí poskytnout veškeré zákonem požadované dokumenty na úřední posouzení těchto vlivů. Samotný proces probíhá v kompetenci Ministerstva životního prostředí.

4.4.1. Uhlíková stopa

Větrná energetika je považována za odvětví s bezuhlíkovými dopady. Toto ovšem není tak úplně pravda, samotná produkce elektrické energie sice neprodukuje žádné emise a splodiny, je potřeba nicméně přihlídnout k samotnému faktu, z čeho se větrné turbíny skládají a jakým způsobem se jednotlivé materiály vyrábějí. Zde tedy docházíme k tomu, že větrná energetika je taktéž odvětví s významným vlivem na životní prostředí. Samotná větrná elektrárna se skládá z materiálů v následujícím zastoupení: beton 60–65 %, ocel 30–35 %, kompozitní materiál 2–3 %, elektro komponenty 1 %, měď 1 %, hliník 1 %, PVC 1 % a provozní tekutiny 1 %. Toto jsou materiály, které nezdědka mají v rámci své výroby enormní vliv na právě uhlíkovou stopu.

4.4.2. Vliv na faunu

Podle odborníků a z četných studií vyplývá, že větrné elektrárny nemají významný vliv na okolní prostředí. Zcela sporadicky může dojít ke střetu ptactva s lopatkami rotoru, toto procento je zanedbatelné v porovnání se střety ptactva s letadly. Některé studie se zabývají vlivem vibrací, které se skrze tubus dostávají do zemské půdy. Tyto vibrace mohou narušovat malé podzemní savce, výsledky studií jsou ovšem nepodložené konkrétními případy.

4.4.3. Hlukové hodnoty

V rámci posuzování vlivů na životní prostředí se rovněž hledí na hlukové hodnoty. Tyto hlukové hodnoty se v dnešní době pohybují zhruba na hodnotách 100–110 dB při patě stožáru a 50–70 dB v okolí větrné elektrárny. K měření hlukových hodnot dochází v rámci akreditovaných center a jsou poskytovány v oficiálních technických charakteristikách větrné turbíny jejím výrobcem. Tyto hodnoty musí splňovat zákonem stanovené přísné normy.

4.4.4. Televizní a radiový signál

U projektu větrné elektrárny v Jindřichovicích se dospělo k závěrům, že větrné turbíny žádným způsobem neovlivňují televizní a radiový signál. [19]

4.4.5. Sociální smír

Na příkladu větrné elektrárny v Jindřichovicích pod Smrkem lze demonstrovat, že výstavba a provoz elektrárny může být vnímána kladně, viz průzkum veřejného mínění ze dne 14.2.2017. Ze zmíněného průzkumu vyplývá, že skoro polovina obyvatel obce stavbu větrných elektráren podporuje. Pouze zhruba třetina dotázaných se zapojením obce do takových projektů nesouhlasí a třetina dotázaných si navíc myslí, že možnost zapojení se do takových projektů by vedle obcí měli dostat i občané žijící v okolí plánovaných elektráren.

Navíc je z průzkumu patrné, že v případě, kdy občané získají možnost z daného projektu profitovat, úměrně tomu odpovídá procento zastoupení lidí, podporujících projekt. V Jindřichovicích pod Smrkem projekt rovněž plní edukační činnost, neboť v naprosté blízkosti od větrných instalací obec nechala vystavit centrum pro osvětu v rámci projektu Energeticky soběstačný mikroregion. [23]

5. Provozem obecní větrné elektrárny

5.1. Poskytnutá data

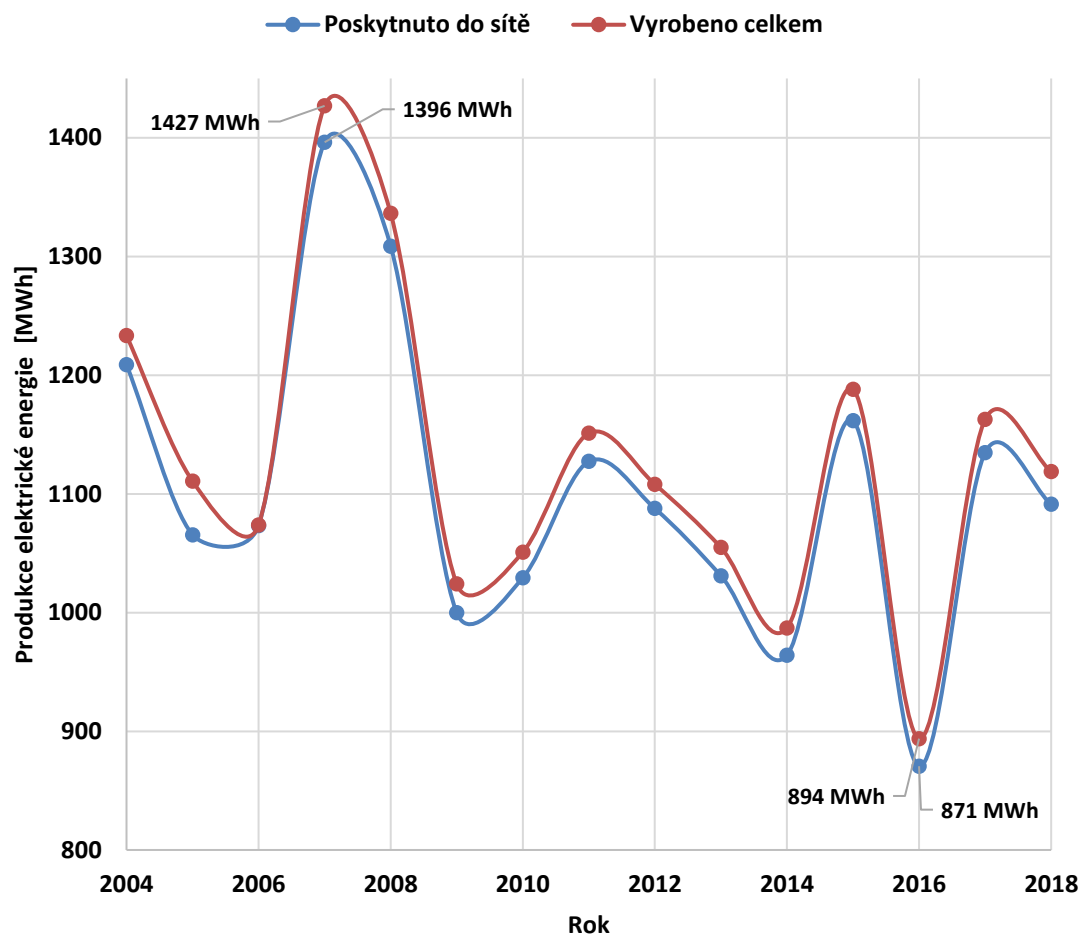
Data pro analýzu provozu větrných elektráren v Jindřichovicích pod Smrkem byla poskytnuta společností Renewable Energy Systems Engineering Company RESEC, s.r.o., která je ve vlastnictví obce a sloužila jako dceřinná společnost za účelem výstavby energetického zdroje.

Vzhledem k povaze projektu, kdy se v roce 2003 jednalo vlastně o pilotní projekt a danému odvětví nebyla v České republice dostatečně nastavena ani legislativa, respektive ani bankovní instituce nevěděly, jak a na základě čeho poskytovat úvěry na podobné projekty, proto počátky byly velice obtížné. Pod dohledem Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i proběhlo v Jindřichovicích pod Smrkem měření, které mělo za cíl určit větrný potenciál této lokality.

Po 16–ti letech provozu větrné instalace můžeme s jistotou říct, že měření, respektive simulace a predikce větrného potenciálu se oproti reálným hodnotám a hodnotám vyrobené elektrické energie významně liší.

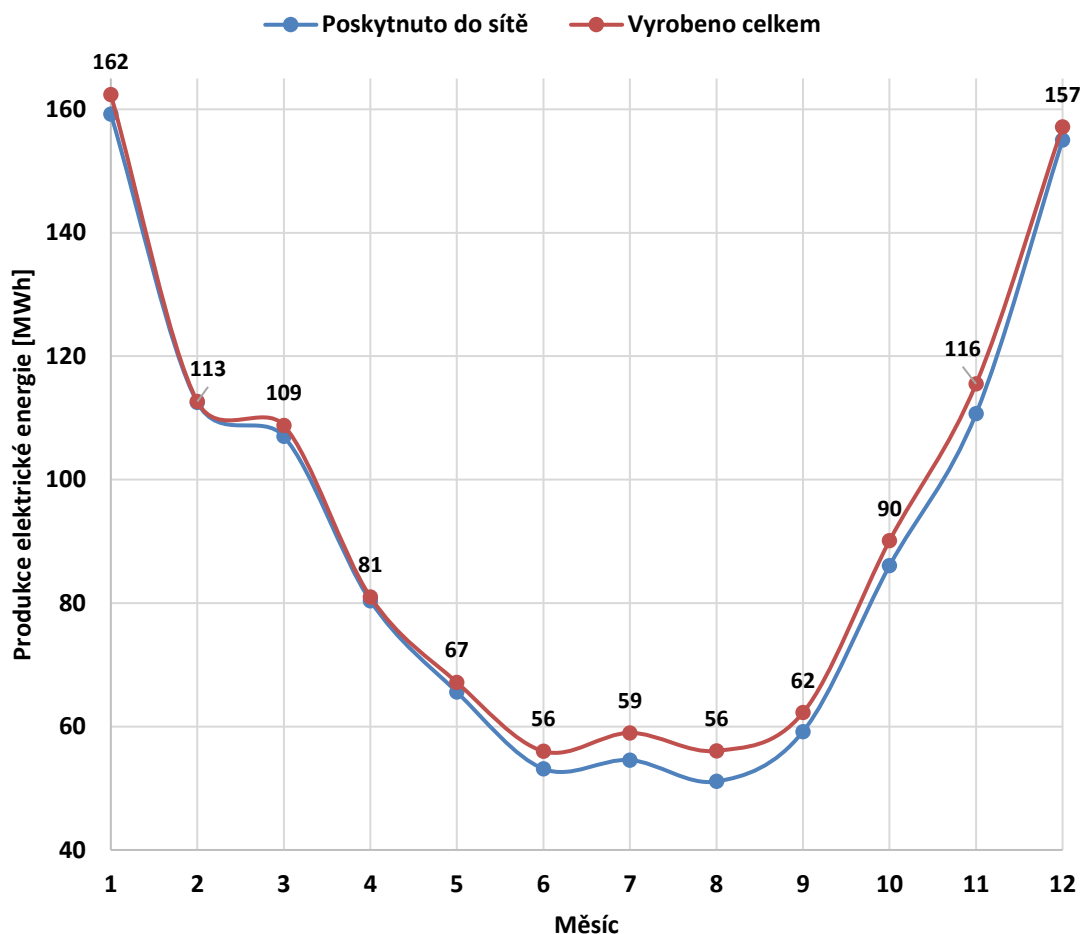
Roční produkce elektrické energie vyrobené a dále poskytnuté do sítě se liší o v průměru o 2,25 %, což je průměrná výše tzv. vlastní spotřeby větrné instalace, která zahrnuje tzv. udržovací provoz, respektive provoz veškerého softwaru připojeného k elektrárnám. Tato hodnota je proměnlivá a záleží na faktorech každé jedné větrné sezony, a sice na teplotě (větrné elektrárny v Jindřichovicích pod Smrkem mají funkci “rozmrazování“ listů větrných turbín), na intenzitě větrného proudění, tedy na množství hodin nízkých rychlostí a na proměnlivosti směru. V grafu lze vidět srovnání těchto hodnot v rámci jednotlivých let.

Roční produkce elektrické energie



Graf 2: Roční produkce elektrické energie

Měsíční produkce elektrické energie



Graf 3: Měsíční produkce elektrické energie

Větrné elektrárny v Jindřichovicích pod Smrkem, vzhledem ke své podstatě financování mají nespornou výhodu, a tou je, že významnou částku na svou výstavbu obdržely formou nevratné dotace ze Státního fondu Životního Prostředí České republiky (SF ŽP ČR), a sice 27,9 mil. Kč, dále půjčku od SF ŽP ČR v celkové hodnotě 24,8 mil. Kč, se splatností 12 let a úročením 1,5 % p.a. a zbylých 9,3 mil. Kč šlo z obecního rozpočtu.

Do nákladů, které snižují celkovou ziskovost projektu je nutno započíst splátku úvěru, která činila po dobu 12–ti let 2 259 528 Kč/ ročně. Další významná položka je údržba, která je v průměru 750 tis. Kč ročně. Přihlédneme-li navíc k faktu, že i přesto,

že větrné elektrárny byly uvedeny do provozu v roce 2003, své kalkulace orientují až se začátkem v roce 2004, neboť v roce uvedení do provozu se jednalo o provoz, který jako takový negeneroval významnější množství elektrické energie, a sice vzhledem k potřebné době věnované testovacího provozu a k samotnému ostrému spuštění došlo až v říjnu 2003, proto tedy neoperují s rokem 2003, jako s rokem vypovídajícím.

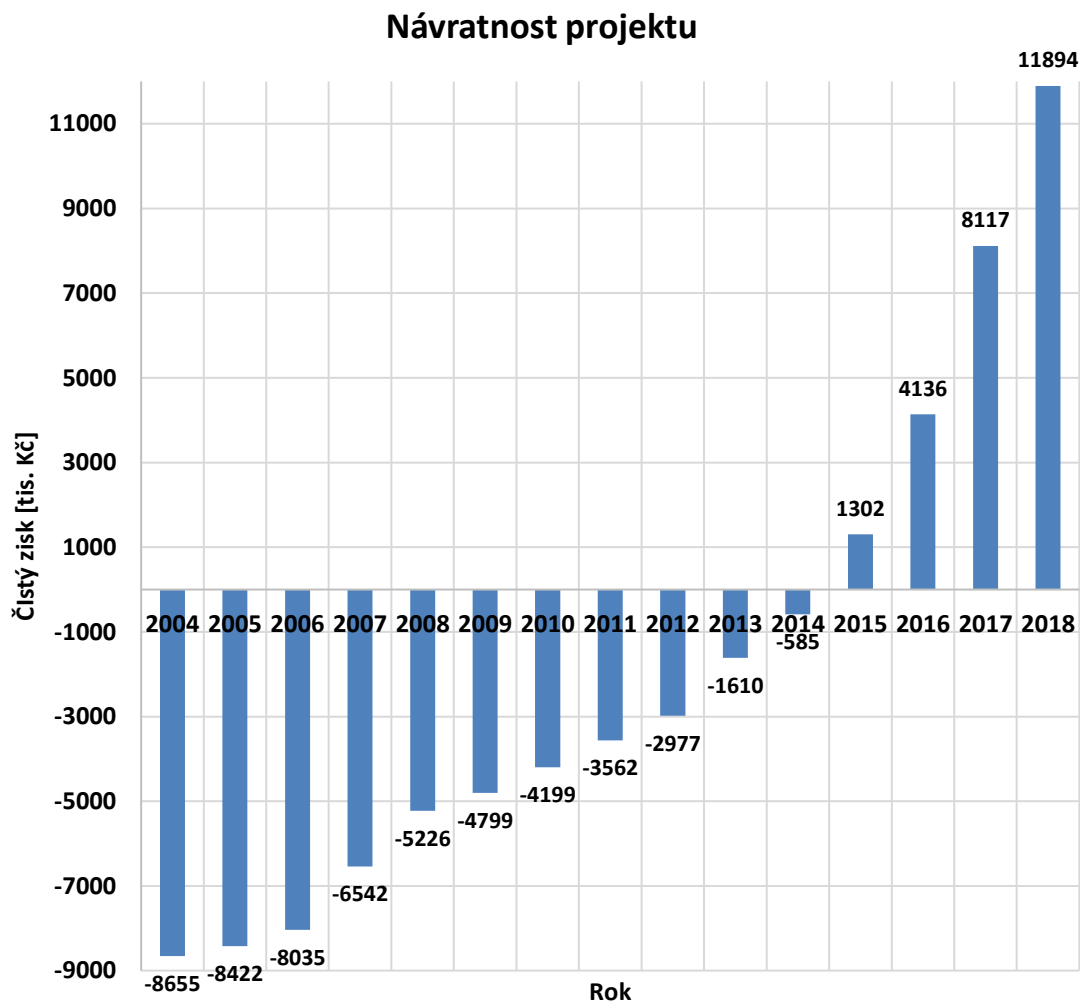
Své tržní propočty směřují pouze do roviny orientační a nejsou to tedy data poskytnutá společností RESEC, s.r.o. V této kalkulaci operují s důležitou informací, že počínaje rokem 2013 došlo ke změně formy podpory, a sice z podpory formou výkupní ceny na kombinaci tzv. zelený bonus + soukromý prodej elektrické energie do sítě.

| | Výkupní cena Kč/ kWh | Prodej Kč/ kWh | Zelený bonus Kč/ kWh | Decentr. výroba Kč/ kWh | Celkem Kč/ kWh |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 2004 | 3,000 | | | 0,023 | 3,023 |
| 2005 | 3,020 | | | 0,023 | 3,043 |
| 2006 | 3,140 | | | 0,024 | 3,164 |
| 2007 | 3,200 | | | 0,025 | 3,225 |
| 2008 | 3,280 | | | 0,025 | 3,305 |
| 2009 | 3,410 | | | 0,026 | 3,436 |
| 2010 | 3,480 | | | 0,027 | 3,507 |
| 2011 | 3,210 | | | 0,025 | 3,235 |
| 2012 | 3,280 | | | 0,024 | 3,304 |
| 2013 | | 1,081 | 3,153 | 0,011 | 4,245 |
| 2014 | | 0,886 | 3,297 | 0,002 | 4,185 |
| 2015 | | 0,891 | 3,323 | 0,000 | 4,214 |
| 2016 | | 0,687 | 3,430 | 0,000 | 4,117 |
| 2017 | | 0,660 | 3,509 | 0,000 | 4,169 |
| 2018 | | 0,650 | 3,499 | 0,000 | 4,149 |

Tabulka 2: Finanční model podpory [6]

Výkupní ceny a zelené bonusy vycházejí z cenových rozhodnutí, které vydává ERÚ. Decentralizovaná výroba je forma podpory, kterou po jistou dobu vyplácel stát skrze společnost, v níž má vlastnickou nadpoloviční většinu, ČEZ a.s. Tato podpora je

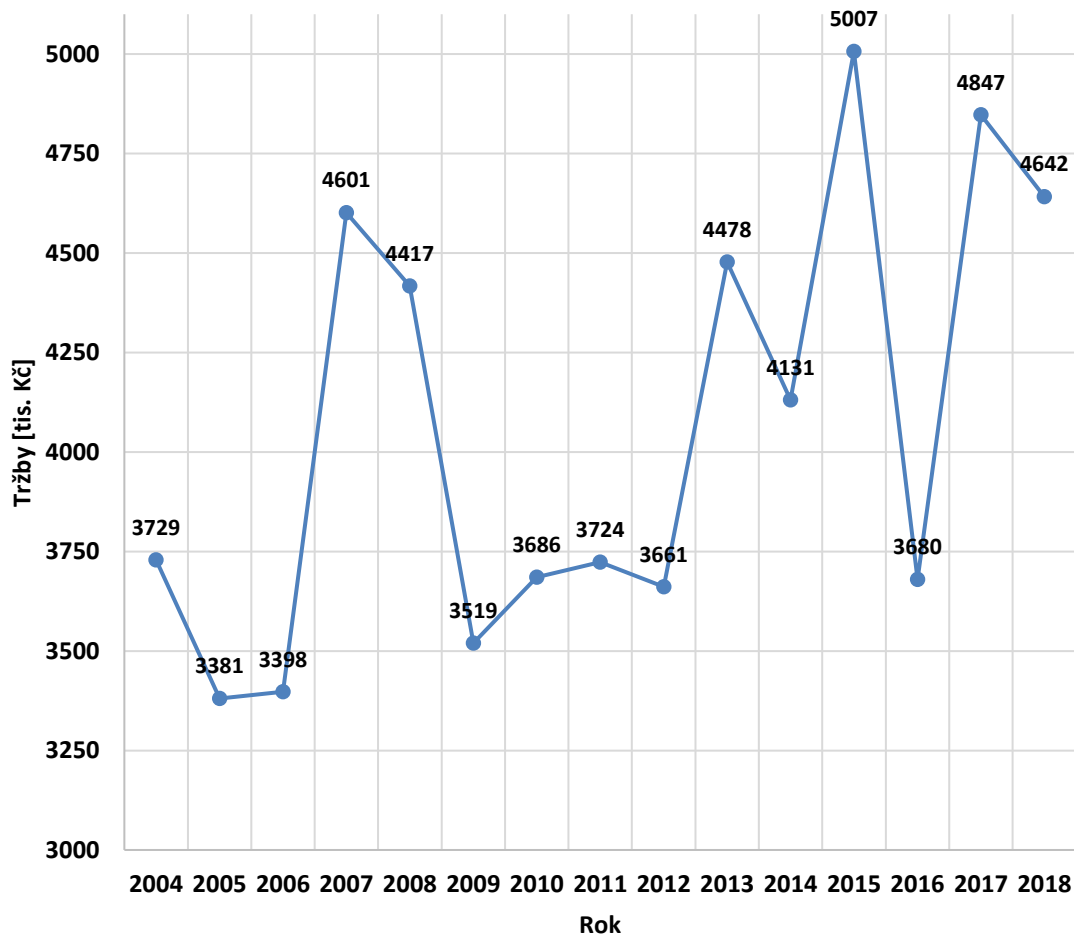
poměrně složitě dohledatelná, tudíž jsem vycházel z informací, které mi byly poskytnuty provozovatelem. Zbylé hodnoty, jenž jsem neměl k dispozici jsem si dopočítal pomocí procentuálního modelu v závislosti na tvorbě výkupních cen a zelených bonusů. Sloupec prodej vychází z analýzy cen elektřiny na burze pro každý předchozí rok. Z této Tabulky jsem byl schopen vytvořit ziskovost projektu, vztáženou k období let 2004– 2018.



Graf 4: Návratnost projektu

Z Grafu je evidentní doba návratnosti, kdy se projekt překloupil do kladných čísel, můžeme tuto dobu určit jako 12 let od uvedení elektrárny do provozu.

Roční tržby



Graf 5: Roční tržby projektu

Z uvedených dat lze vyčíst, že reálné hodnoty se oproti původním úvahám významně liší, viz srovnání:

| | Výroba MWh/ rok | Tržby Kč/ rok | Čistý zisk Kč/ rok |
|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|
| Predikce ~ Ø | 2200 | 6 000 000 | 3 000 000 |
| Realita ~ Ø | 1 128 | 3 970 577 | 1 412 955 |
| Rozdíl ~ Ø | 1 072 | 2 029 423 | 1 587 045 |
| Odchylka ~ Ø | 51% | 66% | 47% |

Tabulka 3: Srovnání predikce a reality provozu

6. Predikce do roku 2023

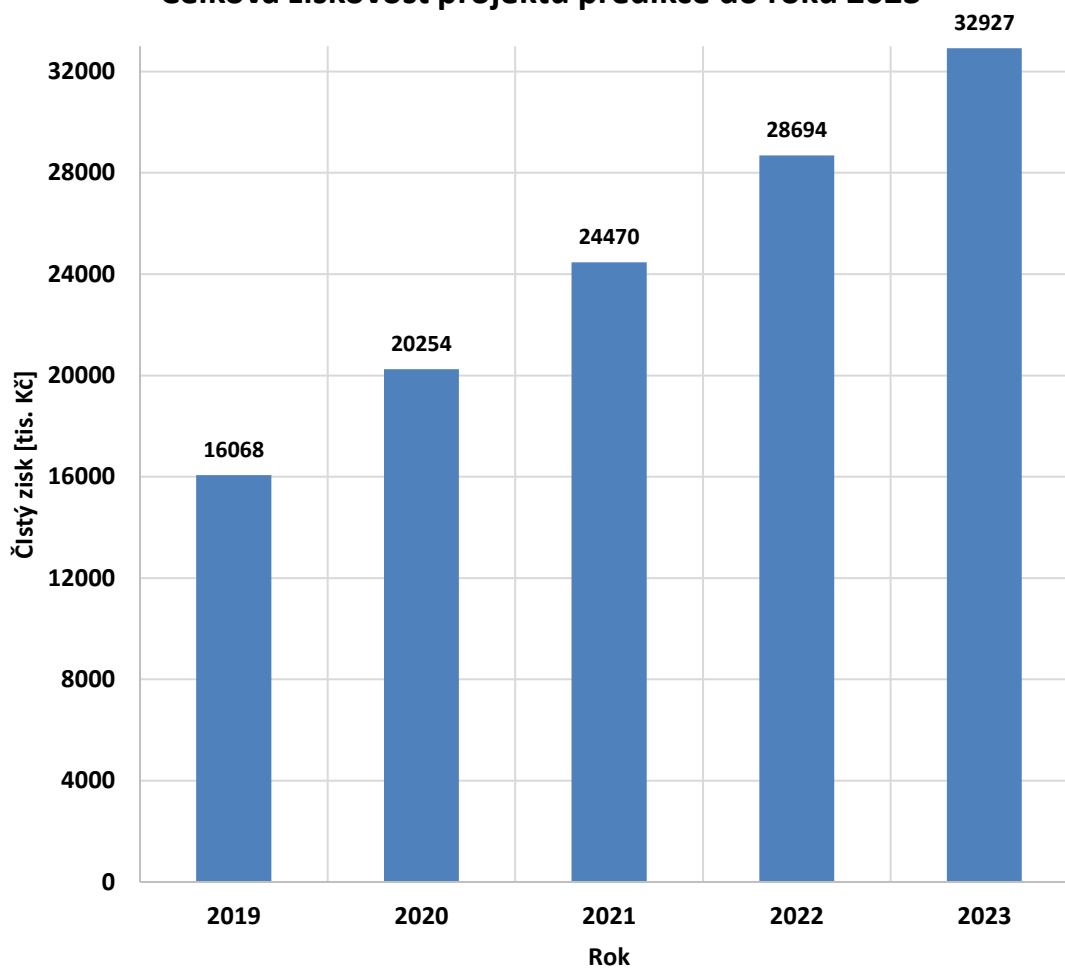
Na základě poskytnutých dat o provozu větrných elektráren po dobu 16 let jsem vytvořil predikční model očekávaných zisků, respektive množství vyrobené elektrické energie. Tento model lze s jistou mírou nepřesnosti odhadnout až k roku 2023, což je rok, kdy projektu končí státní dotace.

| | Výkupní cena Kč/ kWh | Prodej Kč/ kWh | Zelený bonus Kč/ kWh | Decentr. výroba Kč/ kWh | Celkem Kč/ kWh |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 2019 | | 1,141 | 3,321 | 0,000 | 4,462 |
| 2020 | | 1,144 | 3,330 | 0,000 | 4,474 |
| 2021 | | 1,151 | 3,350 | 0,000 | 4,501 |
| 2022 | | 1,153 | 3,356 | 0,000 | 4,509 |
| 2023 | | 1,155 | 3,361 | 0,000 | 4,516 |

Tabulka 4: Finanční model podpory predikce do budoucna

Budeme-li vycházet z dosavadní tendence vyrobené elektrické energie, můžu počítat s průměrem zhruba 1 103 MWh/ rok. Z těchto hodnot a hodnot analýzy vývoje cen k roku 2023, docházím k následující celkové ziskovosti projektu.

Celková ziskovost projektu predikce do roku 2023



Graf 6: Celková ziskovost projektu predikce do roku 2023

Graf Ziskovosti projektu, predikce do roku 2023 navazuje na Graf návratnosti projektu a rozšiřuje tak očekávané odhady celkové ziskovosti projektu. Na základě analýzy docházím k hodnotě necelých 33 mil. Kč, které větrné elektrárny přinesou do obecného rozpočtu za dobu svého fungování 20–ti let. [18]

6.1. Budoucí provoz větrné elektrárny

Běžné fungování větrné elektrárny se i navzdory státem garantované výkupní ceně, ručené na dobu dvaceti let, pohybuje okolo třiceti let. Rád bych se zde zamyslel rovněž nad budoucností provozu VtE v Jindřichovicích pod Smrkem, respektive zda-li vůbec bude tento provoz rentabilní a za jakých podmínek vzhledem k platné legislativě. Pro tuto analýzu jsem si vytvořil dva různé scénáře.

6.1.1. Aukční systém podpory

Nutno rovněž podotknout, že nová legislativa podpory na odvětví větrných elektráren není doposud zpracována a aktivně se na ni pracuje. Budu tedy vycházet z predikce, která bude navazovat na trendy v okolních státech, hlavně z modelu podpory, která funguje v Německu. Německý model probíhá formou aukcí. Německý síťový regulátor Bundesnetzagentur (BNetzA) poptává na trhu kapacitu a tu soutěží skrze aukční systém. Na rok 2020 je tato poptávaná kapacita stanovena na 4 100 MW výkonu a očekává se, že bude poptávána v celkem sedmi aukcích. Účastníci nabízejí, za jakou podporu (v eurech / kWh) jsou ochotni po 20 let vyrábět energii. Nicméně vzhledem k obavám z nedostatečné konkurence se německý regulátor rozhodl ponechat stávající cenový strop pro účast v aukci na výši 62 EUR/ MWh. [16]

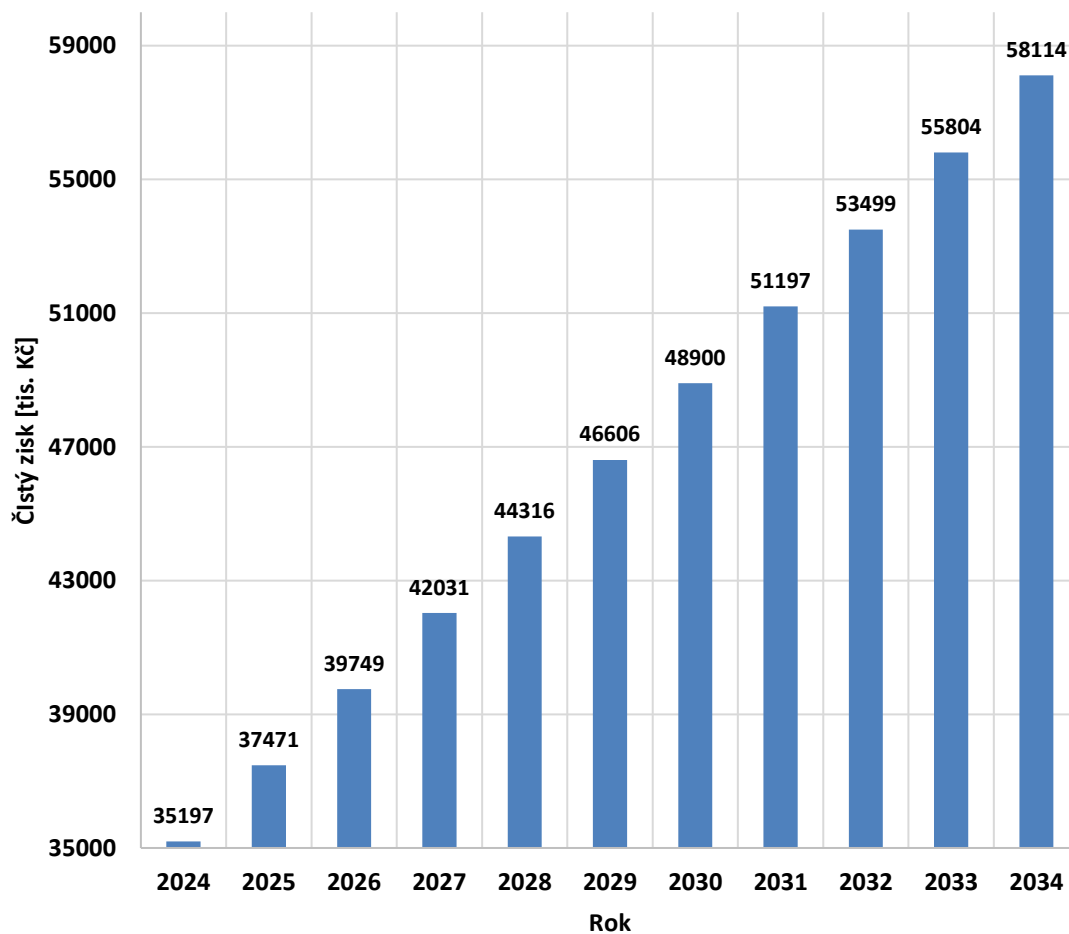
Přistoupíme-li na predikci modelu podobného tomu, který funguje v Německu, můžeme uvažovat nad danými hodnotami. Aukční podporu na další roky jsem uvažoval jako nejvyšší aktuálně soutěženou hodnotu v rámci německých aukcí, která je na úrovni 62 EUR/ MWh. Rovněž očekávám, že cena elektrické energie poroste i nadále, a tudíž má predikce může být poněkud střídmá a to také vzhledem k predikované výkupní ceně za kWh, k níž jsem přistupoval s lehkým každoročním růstem. Zelené bonusy se vzhledem k uvažované legislativě podle všeho již nebudou využívat, a proto nejsou v tabulce zahrnuty.

| | Aukce podpora Kč/ kWh | Prodej Kč/ kWh | Celkem Kč/ kWh |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2024 | 1,579 | 1,159 | 2,737 |
| 2025 | 1,579 | 1,162 | 2,741 |
| 2026 | 1,579 | 1,166 | 2,744 |
| 2027 | 1,579 | 1,169 | 2,748 |
| 2028 | 1,579 | 1,173 | 2,751 |
| 2029 | 1,579 | 1,176 | 2,755 |
| 2030 | 1,579 | 1,180 | 2,758 |
| 2031 | 1,579 | 1,184 | 2,762 |
| 2032 | 1,579 | 1,187 | 2,766 |
| 2033 | 1,579 | 1,191 | 2,769 |
| 2034 | 1,579 | 1,194 | 2,773 |

Tabulka 5: Predikce podpory formou aukcí na roky 2024- 2034

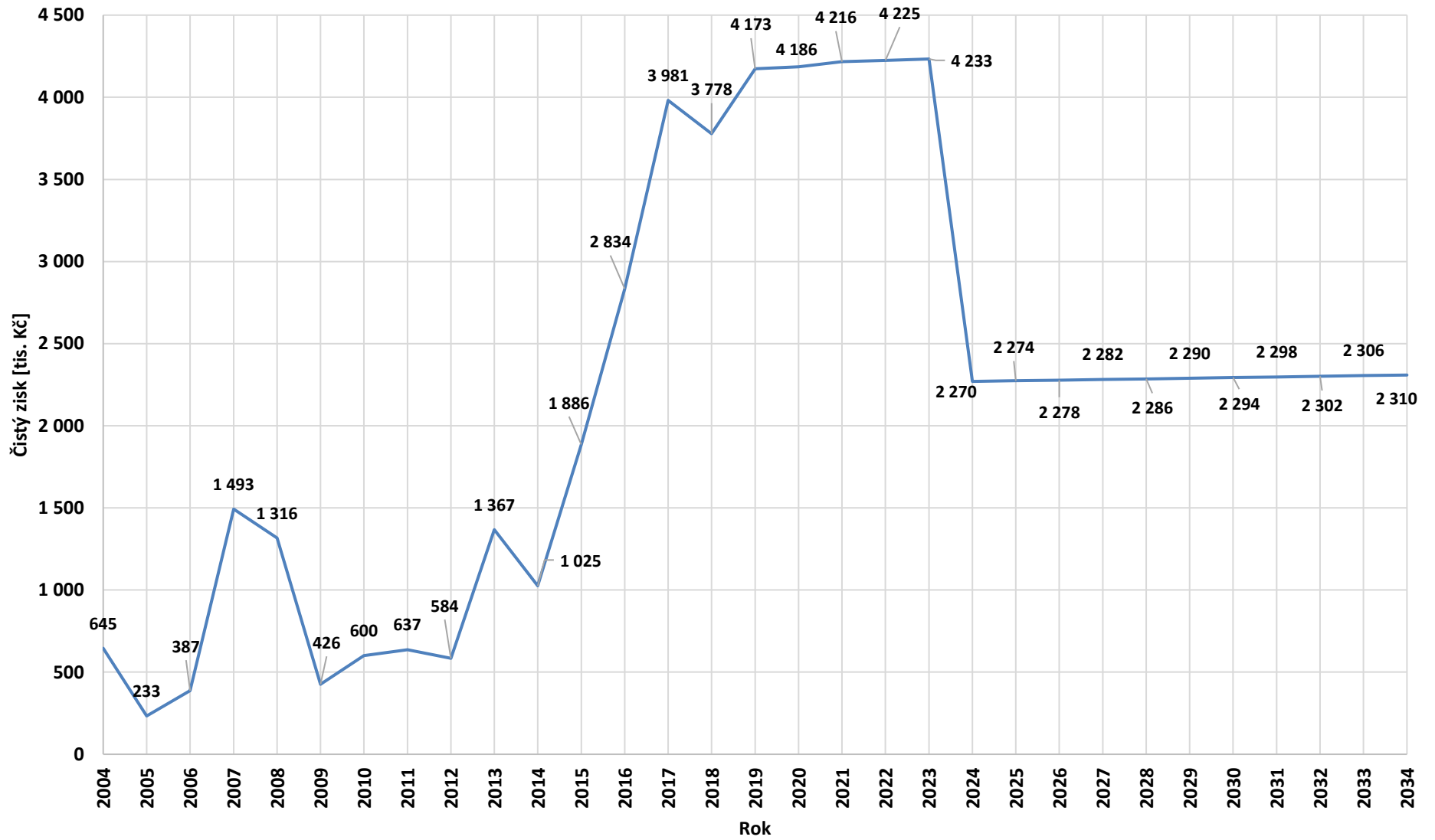
Tabulka predikce se věnuje pouze rokům 2024– 2034, a to z důvodu technického stavu větrné elektrárny, který je výrobcem garantovaný na dobu 30 let.

Ziskovost projektu predikce do roku 2034



Graf 7: Celková ziskovost projektu predikce do roku 2034

Čistý zisk tis. Kč/ rok



Graf 8: Čistý zisk + predikce do budoucna

6.1.2. Akumulace energie

Druhým možným scénářem, který by mohl být pro obec zajímavý je využití bateriového úložiště. Formát výroby elektrické energie a její akumulace za účelem dodávek do sítě pouze v případě jejího nedostatku se rovněž může jevit poměrně výhodným. Opět jako u aukční podpory tohoto zdroje zde ještě není vytvořena náležitá legislativa, která by se zabývala touto kombinací.

Výroba elektrické energie a následná akumulace je varianta nicméně poněkud složitá k definování ekonomické stránky, neboť hodnota výkupní ceny elektrické energie v případě potřeby trhu záleží na aktuálních potřebách provozovatele elektroenergetické přenosové soustavy ČEPS. Akumulace energie a v souvislosti s ní rovněž míra decentralizace je koncept, který je v energetických kruzích stále více diskutován. Dohromady s dalšími zdroji se taktéž nabízí model tzv. virtuálních elektráren.



Obrázek 11: Bateriové úložiště, Prisma Energy Capital [30]

7. Závěr

Větrná energetika jakožto zdroj obnovitelný je považován za odvětví budoucnosti a je mu věnována významná pozornost. V rámci této bakalářské práce jsem měl možnost zhodnotit první komerční projekt větrné elektrárny vystavěný v České republice, ve stoprocentní gesci obce. Mohl jsem nahlédnout do fungování problematiky větrných elektráren a podívat se na reálná čísla co se týče výroby energie z větru. V Jindřichovicích pod Smrkem se nachází 2 zdroje o výkonu 600 kW a každým rokem přinášejí do rozpočtu obce významné prostředky, které jsou dále investovány do energetické soběstačnosti, respektive snižování energetické spotřeby domů místního obyvatelstva. Již v roce 2003 se tedy tento projekt stal ne pouze první větrnou elektrárnou v České republice, ale rovněž poukázal na budoucnost tzv. decentralizace výroby energií. Kombinace veřejného prospěchu z fungování energetického zdroje a rovněž bez uhlíkový provoz, tedy přetvoření obnovitelného zdroje dává v dnešní době čím dál tím větší smysl a odborná veřejnost se tomuto tématu věnuje více podrobněji. Nutno tedy chápat tuto a další obnovitelné technologie o instalovaných výkonech v řádu jednotek MW jako zdroje budoucnosti, které vytvoří potřebnou míru nezávislosti na centrálních zdrojích a umožní tedy obyvatelstvu aktivněji se podílet na energetické soběstačnosti a rovněž budovat tzv. zelenou energetiku.

Projekt větrné instalace v Jindřichovicích pod Smrkem mi ukázal, že v případě správně zvolené formy státní podpory, lze tuto technologii rentabilně provozovat. S touto stránkou je nepochybně významně spjatý i fakt, že dochází k poklesu ceny technologie větrných turbín, což by do budoucna mohlo významnou měrou dopomoci rozšíření a také snížení nutnosti státní podpory. Jak to i u dalších obnovitelných zdrojů nicméně bývá, je potřeba rovněž hledět na přírodní podmínky, a tedy jestli dostatečně fouká vítr, svítí slunce atd.

Tato bakalářská práce mě ale rovněž obohatila v porozumění větrné energetiky jako celku, kde není radno zapomínat na nepředvídatelnost a nestabilitu výroby elektrické energie. Tyto faktory mají obrovský vliv na samotnou rentabilitu projektu.

Je rovněž nutno zmínit, že se domnívám, že větrná energetika v České republice nikdy nebude tvořit páteř energetické soustavy, ale bude zaujímat své významné postavení v rámci energetické koncepce i v budoucnu. Tuto věc si myslím i přesto, že mezi lidmi se šíří názory odsuzující větrné elektrárny jako zdroje „nevzhledné, hlasité, rušivé elementy“, v případě správného nastavení, kdy z těchto zdrojů bude profitovat širší veřejnost, je reálné, že se tento trend zvrátí.

Zároveň se sluší zmínit, že větrná energetika se může stát významnou měrou zdrojem, který vyrábí elektrickou energii pro její další akumulaci, s cílem vykrývat nestabilitu v síti. Jak jsem již zmínil, tomuto využití brání prozatím nevytvořený legislativní rámec, který by jasně definoval, jak k tomuto fungování přistupovat.

Závěrem je rovněž nezbytné předložit myšlenku, která se vztahuje k aktuální koronavirové situaci, a sice, že je poněkud komplikované předvídat, jaký vliv bude mít tato krize na pole energetiky. Již v dnešní době je zřejmé, že dochází k postupné transformaci některých odvětví. Na druhou stranu karanténní opatření, které vydaly státy napříč zeměkoulí mají pozitivní vliv na životní prostředí a dochází k rapidnímu snížení množství emisí. Kromě více než pravděpodobného postupného přerodu této pandemické krize v krizi ekonomickou lze jen s těžší předvídat další kroky v rámci jednotlivých odvětví a také jakou měrou se to dotkne právě sektoru energetiky. Mohu-li zde na závěr lehce zaspekulovat, domnívám se, že může dojít ke zpomalení odklonu od tradiční zdrojů energie, jako je primárně uhelný sektor a ropné produkty, a to i vzhledem k nadprodukcí ropných produktů a s tím spjatým poklesem cen na burze, čímž se tato energie stane levnější na produkci. Neblahý důsledek na obnovitelné zdroje může mít nadcházející ekonomická krize, při níž si hlavní hráči na trhu nebudou moct dovolit „podporovat“ stále ne ještě stoprocentně samostatně rentabilní projekty, jakou jsou právě ty s využitím větrné energie. Proto se tedy domnívám, že nadcházející vývoj odvětví obnovitelných zdrojů se může na několik let, ne-li dekádu zpomalit a lze stěží říct, kdy se vrátí tam, kde se ještě koncem roku 2019/ začátkem roku 2020 nacházel.

8. Seznam citací

Citační norma ČSN ISO 690

- [1] Beaufertova stupnice síly větru-Inter Flag s.r.o. Inter Flag s.r.o. [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
http://www.vlajky.cz/informace/informace_beaufertova_stupnice.php

- [2] ČERNÝ, PROF., Václav. Elektro časopis pro elektrotechniku: Větrná elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem. *Elektro časopis pro elektrotechniku: FCC Public, Časopis Elektro* [online]. 2005, 01/2005, 2005(1), 1 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vetrna-elektrarna-v-jindrichovicich-pod-smrkem--13806>

- [3] EBEED, 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. 2020-01-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/2-Vertical-axis-and-horizontal-axis-wind-turbines_fig4_308674254

- [4] EFXKITS.COM, GUGMUNDSSON, Charlotte, ed. Cz.pinterest.com: Wind Turbine Generator System Block Diagram. *Cz.pinterest.com* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/6192518216716438/>

- [5] EDENHOFER, Ottmar, Ramón PICHES-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. 2020-01-09]. ISBN 978-92-9169-131-9. Dostupné z:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_FD_SPM_final-1.pdf

- [6] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Energetický regulační VĚSTNÍK: Cenová rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie [online]. Jihlava: ERÚ. 2018, 2018, 15 s. Dostupné také z: <https://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti>
- [7] *Going clean tech: Disruptive technology and technology transitions* [online]. 2017 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://www.raywills.net/rtwtechadopt.html>
- [8] 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. 2020-01-09]. 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.
- [9] CHALUPA, Štěpán a David HANSLIAN. *Analýza větrné energetiky v ČR: Komora obnovitelných zdrojů energie – Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 03.2015, 22 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: http://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2015/03/analyza_vetrne_energetiky.pdf
- [10] 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. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.windpowerengineering.com/mechanical/where-do-motors-and-drives-find-applications-in-wind-turbine-nacelles/>

- [11] 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. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/12418-byznys-budoucnosti-recyklace-vetrnych-elektraren>
- [12] 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. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14893-jak-se-stavi-vetrna-elektrarna>
- [13] KOSTKA, Tomáš. *Docplayer.cz: Větrné elektrárny - Tomáš Kostka* [online], 5 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10263388-Vetrne-elektrarny-tomas-kostka.html>
- [14] KLEPÁRNÍK, Jan - WEB podpora výuky: Větrná energie. *Jan Klepárník - WEB podpora výuky: Větrná energie*[online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/ez/oez_wind.htm
- [15] 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. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>

- [16] MAJLING, Eduard. Poslední letošní aukce pro větrné elektrárny v Německu se jako jediná zaplnila, ceny jsou však stále u maxima: Obnovitelné zdroje. *Oenergetice.cz* [online]. oenergetice.cz, 2019, 23.12.2019, 7:56 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/posledni-letosni-aukce-vetrne-elektrarny-nemecku-se-jako-jedina-zaplnila-ceny-jsou-vsak-stale-u-maxima/>
- [17] MITRENGA, Ondřej. *Návrh větrné elektrárny pro zadanou lokalitu: Design of wind power plant for the specified location*. Třinec, 2019, 83 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10467/83402>. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta Strojní, Ústav Energetiky. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc. Studijní program: B 2342 Teoretický základ strojího inženýrství; Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový.
- [18] 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. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://www.wind-energ-sci.net/3/395/2018/>
- [19] 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.
- [20] PAVLÍČKOVÁ, Jana. Byly první. Teď hrozí, že turbíny větrných elektráren půjdou k zemi. In: *Idnes.cz/ ZPRAVODAJSTVÍ* [online]. idnes.cz, 2018, 2.10.2018, 6:25, s. 1 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: Byly první. Teď hrozí, že turbíny větrných elektráren půjdou k zemi Zdroj: https://www.idnes.cz/liberec/zpravy/vetrnym-elektrarnam-v-jindrichovicich-skonci-statni-podpora.A181001_152533_liberec-zpravy_tm

- [21] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, Zikova 4, 166 35 Praha 6: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [22] SKÁCEL, Dalibor. Tzbinfo: Větrné elektrárny v Jindřichovicích pod Smrkem. *Tzb-info.cz: Alternativní energie 3/2003* [online]. tzb-info.cz, 2003, 26.8.2003, **2003**(3), 1 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1592-vetrne-elektrarny-v-jindrichovicich-pod-smrkem>
- [23] Skoro polovina obyvatel podporuje stavbu obecních větrných elektráren. Jen třetina je proti. *Hnutí DUHA: Friends of the Earth Czech Republic* [online]. Brno: Hnutí DUHA, 2017, 14.2.2017, 11:01 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <http://www.hnutiduha.cz/aktualne/skoro-polovina-obyvatel-podporuje-stavbu-obecnich-vetrnych-elektraren-jen-tretina-je-proti>
- [24] *Státní energetická koncepce* [online]. Praha: Department 32400, 2015 [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [25] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Publi.cz: Energie větru, vody, biomasy* [online]. 2016 [cit. 2020-01-05]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/05.html>
- [26] 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. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrne-mapy.html>

- [27] *Vítejte na Zemi... multimediální ročenka životního prostředí: Obnovitelné zdroje energie* [online]. Česká republika: ISSaR, 2013 [cit. 2020-01-05].
Dostupné z:
http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/?p=obnovitelne_zdroje_energie&site=energie
- [28] WEB Větrná energie s.r.o.: Větrná energie, Systémy regulace. *Vetrna-energie.cz* [online]. Brno: © 2018 W.E.B Větrná, 2018, 2018 [cit. 2019-12-28].
Dostupné z: https://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie_9/systemy-regulace_27
- [29] WIND-TURBINE-MODELS.COM: Enercon E-40/6.44. *WIND-TURBINE-MODELS.COM* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/68-enercon-e-40-6.44>
- [30] Bateriová úložiště by se v USA mohla stát v následujících letech přelomovou technologií: Akumulace energie. *Oenergetice.cz: oenergetice.cz* [online].
oenergetice.cz, 2019, 17.3.2019, 9:40 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z:
<https://oenergetice.cz/akumulace-energie/bateriova-uloziste-by-se-usa-mohla-stat-nasledujicich-letech-prelomovou-technologie>
- [31] *17/1992 Sb. § 7: "O životním prostředí"* [online]. Česká republika: Federální shromáždění České a Slovenské Federativní Republiky, 1992 [cit. 2020-01-05]. 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