

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

NÁZEV ZADÁVAJÍCÍ KATEDRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh větrné elektrárny

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2015/2016**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ludmila MAŘÍKOVÁ, DiS.**
Osobní číslo: **E15B0294P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Návrh větrné elektrárny**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte teoretické základy využití energie větru.
2. Popište a zhodnoťte jednotlivé typy větrných elektráren.
3. Uveďte kritéria pro výběr lokality větrné elektrárny.
4. Zpracujte návrh větrné elektrárny pro zvolenou lokalitu a výkon.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Rychetník, V. a kol.: Větrné motory a elektrárny, Praha, 1997, ISBN 80-01-01563-7**
2. **Hallenga, U.: Malá větrná elektrárna - návod ke stavbě, Ostrava, 1998, ISBN 80-86167-00-3**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Holý

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh větrné elektrárny a její podmínky pro stavbu. V první části je zmíněna historie o využití energie větru v minulosti a dále pak popis co je energie větru a její využití v dnešní době. V druhé části se zmíníme o typech motorů větrné elektrárny. Třetí část je zaměřená na podmínky pro stavbu větrné elektrárny v České republice. Poslední část je věnována samotnému návrhu pro zvolenou lokalitu.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje, Větrné elektrárny, Vítr, Větrná energie, rotor, výkon.

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the design of wind turbines and the conditions for the construction. The first part is mentioned the history of wind energy, and then the description of what is wind energy and how can we use it today. In the second part we will explain the types of wind turbines. The third part is focused on the conditions for the construction of wind power plants in the Czech Republic. And the last part of the thesis is the wind power design.

Key words

Renewable resource, wind power, wind, wind energy, rotor, power.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

.....
podpis

V Plzni dne 1.6.2016

Ludmila Maříková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavi Holému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 ENERGIE VĚTRU.....	11
1.1 HISTORIE VYUŽITÍ VĚTRU	11
1.2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....	13
1.3 VĚTRNÁ ENERGIE	14
1.4 PARAMETRY VĚTRU.....	15
2 TYPY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	17
2.1 VĚTRNÝ MOTOR ODPOROVÝ	17
2.2 VĚTRNÝ MOTOR VZTLAKOVÝ	18
2.3 NETRADIČNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	18
3 KRITÉRIA PRO VÝBĚR LOKALITY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	22
3.1 VÝBĚR PŘÍSLUŠNÉ LOKALITY.....	22
3.2 ÚZEMNÍ PLÁN, STAVEBNÍ POVOLENÍ A STAVBA.....	24
3.3 KOLAUDAČNÍ ŘÍZENÍ A ZKUŠEBNÍ PROVOZ	25
3.4 NEGATIVNÍ VLIV VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY NA OKOLÍ.....	26
3.4.1 <i>Hlučnost</i>	26
3.4.2 <i>Vzhled větrné elektrárny v krajině</i>	27
3.4.3 <i>Větrné elektrárny plaší zvěř a zabíjí ptáky</i>	28
3.4.4 <i>Stroboskopický efekt</i>	29
4 NÁVRH VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	30
4.1 TECHNICKÉ VYBAVENÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	30
4.1.1 <i>Stožár</i>	31
4.1.2 <i>Gondola</i>	32
4.1.3 <i>Rotor</i>	32
4.2 PARAMETRY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	33
4.3 NÁVRH VĚTRNÉHO MOTORU	33
5 ZÁVĚR.....	41
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	42
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

Seznam symbolů a zkratek

VtE	... Větrná elektrárna
EU	... Evropská Unie
OZE	... Obnovitelné zdroje energie
EIA	... Proces posouzení vlivu na životní prostředí
P_T	... Vzdušný výkon ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
ρ	... Hustota vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
v	... Rychlost větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
E	... Celková energie ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
E_{TR}	... Teoretická energie vzdušného proudu ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$)
C_P	... Výkonový součinitel
A	... Plocha (m^2)
π	... Ludolfovo číslo 3,14 (-)
P	... Jmenovitý výkon (W)
n_j	... Jmenovité otáčky (min^{-1})
λ_{OPT}	... Rychloběžnost (-)
u_r	... Obvodová rychlost ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Úvod

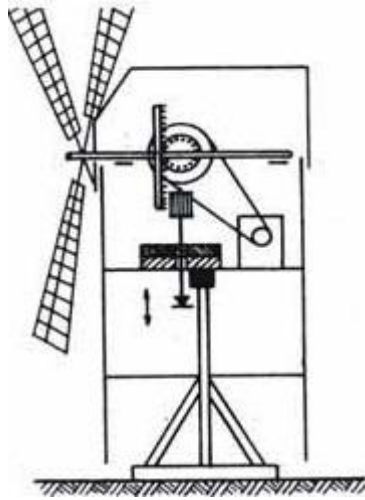
Tato práce se zabývá návrhem větrné elektrárny. Je rozdělena do čtyř částí, každá část má své opodstatnění a je důležité o ní něco vědět, než se pustíme do stavby větrné elektrárny. Už z minulosti víme, že se energie větru využívala pro různé účely, které se postupem času vyvíjely, a poptávka na trhu stále stoupá. Také víme, že energie větru patří mezi obnovitelné zdroje, které je třeba více využívat, abychom naši Zemi tolik nezatěžovali. Velice důležitou podmínkou pro využívání této energie jsou, povětrnostní podmínky v dané lokalitě. V České republice jsme trochu omezeni povětrnostními podmínkami a tak se větrné elektrárny nacházejí převážně v horských lokalitách, kde jsou povětrnostní podmínky lepší. V České republice máme kolem 175 větrných elektráren a ta největší, která má 21 turbín se nachází v Ústeckém kraji, její celkový instalovaný výkon je 42 MW.

1 Energie větru

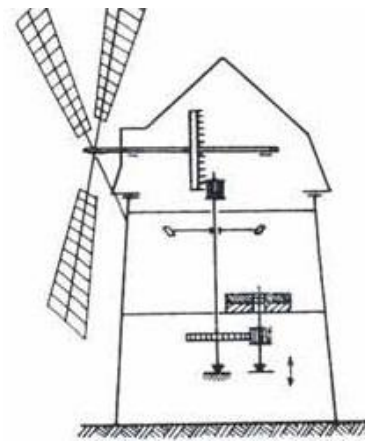
1.1 Historie využití větru

Lidstvo používá energii větru už od dávnověku. Staré kresby, které znázorňují plavidla, která se plavila po Nilu s plachtou. Také dokonce 1. babylonský král v 17. století př. n. l. uvažoval nad myšlenkou zavodňovat úrodu Mezopotámie pomocí větrné energie. Takže víme, že větrná energie se používala jako pohon plachetnic na moři, ve větrných mlýnech k mletí mouky a k čerpání vody. V Evropě je první zmínka o větrných mlýnech roku 1180. U nás jsou historicky první zmínky o postaveném větrném mlýnu v České Republice a to od neznámého pokračovatele Kosmovy kroniky. Mlýn se nacházel v Praze na nádvoří Strahovského kláštera v roce 1277.

Dále také víme, že větrné mlýny se dělily na dva druhy a to německý a holandský. Rozdíl mezi nimi je, jak v konstrukci, tak i ve využití. Německý typ, většinou dřevěný, byl konstruován tak, že se v případě potřeby, natáčelo celé tělo mlýna proti větru. Méně používaný holandský typ je zdění, ve tvaru seříznutého kužele nebo válce, na kterém se vlivem větru otáčí pouze střecha s perutěmi. Nejvíce větrných mlýnu bylo postaveno na území severovýchodní a střední Moravy a to z důvodu, že tam byl dostatek příznivých podmínek pro jejich stavbu, jako jsou třeba povětrnostní podmínky. V ČR je historicky potvrzeno 879 větrných mlýnu. Také víme, že je na území ČR dochováno pouze 16 částečně stojících německých typů větrných mlýnů a 56 holandských, ano je to trochu matoucí, ale dříve bylo opravdu německých typů mlýnů tak třikrát více než holandských, ale bohužel vlivem doby a podmínek je jich už jen tolik. V této době se, ale ještě nepoužívali pro výrobu elektrické energie, ale využívali se pro přeměnu síly větru na mechanickou práci. Za zmínku stojí i takzvaná větrná čerpadla, které používají právě sílu větru k mechanické práci. I tyto stroje měli určitý podíl, na vývoj, který směřoval ke konstrukci větrných elektráren. [1] [4]



Obr. 1.1 Německý typ větrného mlýna [4]



Obr. 1.2. Holandský typ větrného mlýna [4]

První větrná elektrárna byla postavena Američanem Charlesem F. Brushem v Clevelendu v Ohio, na přelomu roku 1887 a 1888, tato turbína byla první větrná turbína napojena na generátor elektrického proudu. O tři roky později Poulo la Courov v dánské obci Askov sestrojil první větrnou elektrárnu, která měla čtyři až šest křídel, které byly tvořeny plachtami napnutými na rámové konstrukci, pro tento model si vynálezce vyrobil větrný tunel s kompresorem, který byl poháněn parním strojem. Elektrárna se svým vzhledem podobala dřívějším větrným mlýnům. Tento model, ale nebyl tak dokonalý jako elektrárna Američana Brushe, která byla technologicky a výkonově lepší.

Nejvíce se o vývoj větrných elektráren zajímalo Dánsko a v roce 1919 dánský inženýr Povl Vindig získal jako první patent na výrobu moderní větrné elektrárny, jejíž rotor pracoval na aerodynamickém principu a dostal název Agricco.

U nás byl začátek výroby novodobých větrných elektráren kolem konce 80. let minulého století a to nejvíce kolem roku 1990 až 1995, ale bohužel řada z nich byla špatná. Nevyhovovaly z hlediska poruchovosti, a nebo byly postaveny v lokalitách, kde nebyly účinné.

V dnešní době se využívají moderní větrné elektrárny na mnoha místech ČR, jejichž celkový výkon se zvýšil až na 150MW. Zásadním výrobcem větrných elektráren v EU je Německo, ale i ČR se podílí na výrobě některých komponentů. Německo má také své prvenství mezi státy Evropské Unie, které má největší přírůstky ve velikostech

instalovaného výkonu dále pak také Španělsko a Dánsko. V Německu je největším vůdcem pro výrobu větrných turbín firma Enercon. [5]

1.2 Obnovitelné zdroje energie

Jsou to takové zdroje, které se mohou částečně nebo úplně obnovit. Jako hlavní mezi ně patří sluneční, větrná, vodní energie, biomasa nebo také energie přílivu a energie geotermální. V současné době se využívání obnovitelných zdrojů energie zvyhodňuje nad tradiční zdroje energie jako je třeba uhlí a ropa. Hlavně kvůli snížení skleníkových plynů, které mají vliv na globální oteplování, se zvětšuje podpora používání energie z obnovitelných zdrojů k ochraně klimatu naší planety.

Obnovitelné zdroje v České Republice

U nás nejvíce využíváme energii z fosilních paliv. Největší podíl proto má na výrobu elektrické energie tepelná energie, která v roce 2010 tvořila až 58% za ní je jaderná energie a poté vodní. V ČR je využití obnovitelných zdrojů poměrně malý, vnímáme je pouze zatím jen jako doplněk. Důvodem je hlavně obtížná regulovatelnost výroby těchto zdrojů a s tím i riziko přetěžování distribučních sítí. Při vstupních jednání pro ČR do EU byl odsouhlasen cíl, že z OZE v roce 2010 bude podíl výroby 8%.

Pravděpodobná výše a struktura výroby elektřiny zakotvená ve státní energetické koncepci

TWh	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Elektřina celkem	73,73	78,20	82,37	80,85	84,95	87,49	89,17
• z toho obnovitelné zdroje	1,71	4,16	8,17	9,84	11,58	14,20	15,06
Biomasa	0,01	1,60	4,86	6,32	7,81	10,25	10,96
MVE	0,52	0,80	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Vitr	0,01	0,57	0,93	1,01	1,25	1,44	1,44
Fotovoltaika	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Bioplyn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,16

Plnění indikativních cílů státní energetické koncepce							
% z bto spotřeby elektřiny	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Obnovitelné zdroje	2,7	6,2	11,3	12,1	12,9	15,4	16,8

Obr 1.3 Výše a struktura elektřiny [6]

V prosinci roku 2015 byla v Paříži přijata Globální klimatická dohoda, která se pokusí zastavit změnu klimatu na hranici oteplení o 1,5 stupně Celsia, tím že se ukončí závislost na fosilních palivech. Pro Českou republiku je to velká výzva. [3][6]

1.3 Větrná energie

Je to jedna z forem sluneční energie, která vzniká při nerovnoměrném ohřívání Země. Povrchy, které jsou suché, se ohřívají mnohem rychleji, než povrchy které jsou mokré. Jak se povrch ohřívá, tak se pak ohřívá i vrstva vzduchu, která je k němu přilehlá a tím dochází k tomu, že teplý vzduch vstoupá vzhůru, protože je lehčí než studený. Vznikem tohoto děje se ovlivňuje rotace Země a střídání dne a noci, protože v zemské atmosféře vznikají tlakové rozdíly, kterým se říká tlaková níže a výše. Jejich vyrovnáváním vzniká vítr, který vane od tlakové výše k tlakové níži. Vlivem pohybu Země se vítr pohybuje spirálově. Na severní polokouli jde tlaková níže proti směru hodinových ručiček, kdežto tlaková výše jde v jejich směru, na jižní polokouli je tomu naopak. Vítr se tedy neomezuje jen na malé výšky, ale zasahuje do všech výšek, konkrétně v našich zeměpisných šířkách je to asi deset kilometrů.

Protože je zemský povrch nerovnoměrný tak, v blízkosti povrchu země vznikají víry, které způsobují, že vítr nad pevninou je nestálý. A to hlavně z hlediska jeho směru, intenzity a rychlosti.

Pro výrobu energie z větrné elektrárny často nepanují příznivé podmínky, ale i tak je větrná energie výborná ekologická alternativa z hlediska plynulosti zásobování oproti srovnání s klasickou tepelnou, uhelnou či plynovou elektrárnou nejlépe. Je to z důvodu toho, že když nastane výpadek jedné větrné elektrárny, sníží se celkový výkon sítě jen o něco málo procent, ale pokud dojde k výpadku na vysoce výkonném generátoru v některé z výše uvedených elektráren, sníží se celkový výkon o stovky ne-li tisíce megawattů. Tím samozřejmě nechci tvrdit, že v budoucnosti větrné elektrárny nahradí tyto jiné zdroje, ale mohlo by se jejich použitím snížit nebo zabránit mnoha problémům, které nastávají a vznikají v důsledku těžby a užití fosilních zdrojů energie. Větrnou energii využíváme v dnešní době hlavně k výrobě elektřiny. [1] [2]

1.4 Parametry větru

Rychlost

Směr

Závislost na výšce a povrchu

Pro využití větrné energie je rychlost větru nejdůležitějším údajem, protože má vliv jak na celkový tak i využitelný výkon větru. Měření rychlosti a směru větru se provádí na Meteorologických stanicích, přibližně 10 metrů nad zemským povrchem, aby se omezil vliv okolních budov a stromů. Důležité je, že rychlost větru se neustále mění a to musíme vzít v úvahu. Měření se provádí přístrojem, který se nazývá Anemometr, existuje spousta různých druhů, které se liší vzhledem, ale i cenou. Na měření rychlosti se používá nejčastěji miskový anemometr, který je složen ze tří polokulových misek, a ty se otáčejí kolem svislé osy.[1]



Obr. 1.4 Měřicí přístroj (Anemometr) [7]

Pro měření rychlosti větru je i dohodnutá doba kdy se měření provádí po celém světě současně a u nás je to v 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 a 22h v zimním období, v letním období se čas posune o hodinu dozadu. Jednotky pro rychlost větru jsou $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Někdy také rychlost můžeme odhadovat pomocí Beaufortovy stupnice podle účinku větru na různé objekty, kterou nalezneme v příloze 1.

Pro měření směru větru používáme větrnou směrovku, která je součástí rychloměru, dále také můžeme směr určit pomocí větrného pytle, který je viditelný i na velkou vzdálenost. Směr se udává, odkud vane vítr, ale přesněji ho můžeme změřit pomocí azimutu od 0 až do 360°, v meteorologii se používají světové strany.

Pro sestavení větrné elektrárny se musí dbát na to, že může být ovlivněna zemským povrchem a to hlavně v blízkosti povrchu země kdy nám rychlost větru neustále kolísá, především klesá. Pokud jsme v místech, kde máme rovný terén, tak je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivněna pouze drsností povrchu a tak pro výpočet můžeme použít vzorec.

$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (1.1)$$

jednotlivé veličiny ve vzorci jsou: v^* průměrná rychlost větru ve výšce h nad povrchem země, v_0^* - průměrná rychlost větru v referenční výšce h_0 a n - exponent korekčního vztahu

Exponent n nám charakterizuje závislost na drsnosti povrchu, jehož hodnoty máme v tabulce níže.[1]

Tab 1. Závislost na drsnosti povrchu

Povrch	n
hladký povrch (vodní hladina, písek)	0,14
louka s nízkým travnatým porostem	0,16
vysoká tráva, nízké obilné porosty	0,18
porosty vysokých kulturních plodin	0,21
lesy	0,28
vesnice a malá města	0,48

2 Typy větrných elektráren

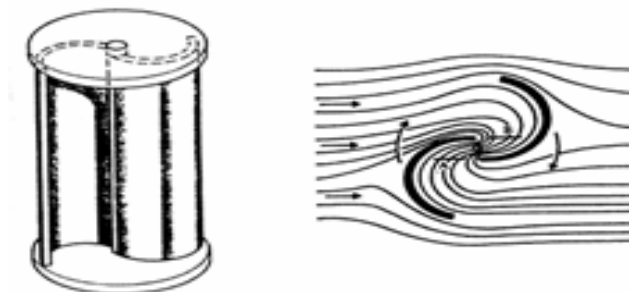
Princip větrných turbín je takový, že převádí sílu proudícího vzduchu, který působí na lopatky rotoru a ta se mění na rotační mechanickou energii, kterou pomocí generátoru měníme na energii elektrickou.

Větrné elektrárny můžeme rozdělit podle různých hledisek, ale nejzákladnější je provedeno podle aerodynamického principu motoru na vztlakový a odporový.

2.1 Větrný motor odporový

Tento typ motoru patří mezi nejstarší a může mít svislou i vodorovnou osu otáčení. *„Jejich podstatou však je, že plocha nastavená proti větru mu klade aerodynamický odpor, proud vzduchu zpomaluje a je na ni vyvozována síla, která je mechanicky přeměňována obvykle na rotační pohyb. Plocha nastavená proudu vzduchu se pohybuje přibližně v jeho směru, menší rychlostí než je rychlost větru, vzniká však problém, jak jí dostat na výchozí místo.“* Můžeme to provést několika způsoby.[1]

1) Jako první si můžeme uvést miskový anemometr, který pokud má polokouli orientovanou dutinou proti směru větru tak klade odpor přibližně 3,5krát větší než když má polokouli orientovanou vypuklou částí proti směru větru. Síla, která působí na polokouli je tak při stejné rychlosti větru přímo úměrná odporu. Na tomto principu je založen rotor typu Savonius, kde jsou válcové plochy s kruhovou základnou.



Obr. 2.1 Větrný motor Savonius [8]

2) „Část rotoru, která je se pohybuje proti větru, je kryta štítem, který se musí podle směru větru natáčet.“ [1]

3) Další možnost je měnit velikost plochy rotoru vystavené větru podle toho, pokud se pohybuje v jeho směru nebo opačném. Tento princip však vyžaduje zvláštní mechanismus navíc, který umožňuje samočinné natáčení lopatek rotoru nebo natáčení ovládá. Toto provedení už je zastaralé a neprovádí se. [1]

2.2 Větrný motor vztlakový

Princip vztlakové síly je závislý na fyzikální podstatě proudění. Pokud máme trubici, která je zúžená, tak v místě užším, je rychlost proudění větší, ale tlak naopak menší. Proto tam kde je větší rychlost proudění, tam je nižší tlak. Motory, které pracují na vztlakovém principu, patří hlavně vrtule a větrná kola. Většina velkých větrných elektráren využívá tohoto principu s vodorovnou osou otáčení, protože má vyšší účinnost než ostatní typy motorů. Aerodynamické síly, které působí na list vrtule, převádí kinetickou energii na rotační mechanickou energii. Většinou jsou vrtule konstruovány ve dvoulistém nebo třílistém provedení, ale existuje i provedení jednolisté vrtule, které musí mít protizávaží. Na vztlakovém principu pracuje větrný motor Darrieus, který v roce 1931 vymyslel a nechal patentovat francouzský inženýr Georges J.M. Darrieus. [1]

2.3 Netradiční větrné elektrárny

Neustále se vyvíjí nová, dost často velmi neobvyklá zařízení, které slouží k výrobě elektřiny z větru, ale bohužel zatím žádné z těchto zařízení se nedočkalo širšího využití, ale stojí za to se o nich alespoň zmínit.

Větrná turbína od tuniské společnosti Energy Shapon, představuje radikální inovaci, protože pracuje bez nutnosti rotujících lopatek, což znamená, že turbína je mnohem tišší než ostatní modely a prý má i mnohem vyšší účinnost. Její tvar trochu připomíná velkou mísu a tím má redukovat ztráty energie, které vznikají u vrtulových elektráren vlivem spojení mnoha konstrukčních prvků a občas špatné aerodynamiky. Absence lopatek u tohoto typu nepředstavuje takové riziko pro volně žijící ptactvo. A výrobní cena je až o polovinu levnější než je u běžných typů větrných elektráren.



Obr. 2.2 Větrná turbína Energy Shapon [9]

Dále pak máme alternativu klasických vrtulových turbín od japonských výrobců, kteří přišli s projektem větrných čoček. Tento typ je charakterizován kruhovou obručí kolem rotoru vrtule, která napomáhá turbíně zvyšovat výkon 2 - 5 krát. Zároveň byly speciálně vyvinuté pro japonské pobřeží, kde větrné čočky měly být umístěné na speciálních plovoucích pontonech.



Obr. 2.3. Větrné čočky [9]

Další zajímavý experiment představuje koncept tzv. Stéblové větrné elektrárny, který byl navržen pro město ve Spojených arabských emirátech. Pro vznik tohoto nápadu byla inspirace z pozorování přírody, hlavně vlnění stébla trávy ve větru. Funkce je taková, že umělá stébla, která mají výšku 55 m a průměr 10 - 20 cm by se měla ve větru přirozeně vlnit, prostřednictvím tření speciálních disků, která nachází uvnitř stébla a vyrábí elektrickou energii. V betonovém základu, pod kterým se nachází generátor, jsou

stébla zapařena a díky jejich kývavému pohybu by měla vyrábět další energii. Dalším krokem je plánované LED osvětlení každého stébla, které by po setmění nabízely velmi neobvyklou podívanou.



Obr. 2.4. Stéblková větrná elektrárna [9]

Mezi další typ patří Letící větrná turbína. Turbína se vznáší na vlečných lanech a nemá pevnou konstrukci. Jestliže se turbína pohybuje ve výšce kolem 4km tak je toto zařízení z hlediska výroby elektrické energie poměrně efektivní, ale její použití je limitované silou větru, protože když vítr vane slabě tak turbína není schopná udržet si potřebnou výšku. A je nutné podotknout, že tyto turbíny se můžou umístit jen v bezletových zónách. Ale tento typ turbíny stejně patří spíše ke kuriozitám větrné energetiky.



Obr. 2.5. Letící větrná turbína [9]

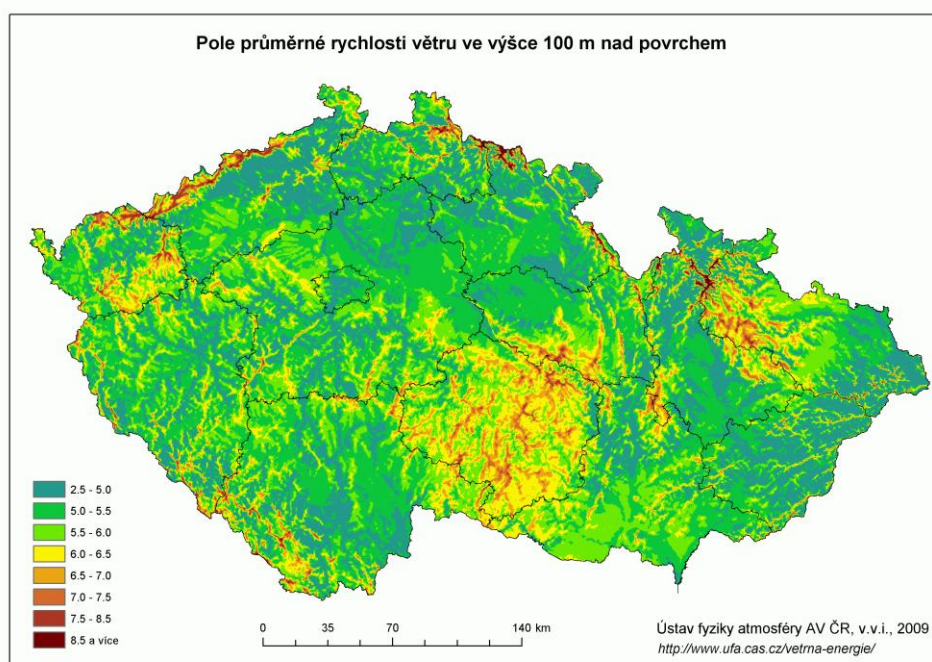
V současné době se teď větrná energetika hlavně zaměřuje na zvětšování turbín a přesun větrných parků na moře. Moře totiž poskytuje větrným elektrárnám ideální podmínky jak z hlediska intenzity, tak z hlediska stability větru. Dále se pak také začala více věnovat pozornost vývoji nových typů větrných elektráren, které mají větrnou turbínu se svislou osou otáčením a to hlavně z důvodu jejich možnosti využití v zastavěných oblastech, což umožňuje obecně jejich nižší hlučnost.[9]

3 Kritéria pro výběr lokality větrné elektrárny

Jak správně postavit větrnou elektrárnu si žádá spoustu kritérií. Je to velice náročný proces, který trvá poměrně dlouhou dobu a to zhruba 3 až 5 let. Spousta laiků si myslí, že je to lehká věc, ale projít úspěšně přípravou celého projektu si vyžaduje velké množství financí, času a také spousty problémů a prodlev na úřadech, že některé projekty ani nejsou dokončeny. Ale i tak se některým firmám podaří v České republice postavit větrné parky, které dodávají ekologickou energii a tím napomáhají zpomalit globální oteplování a vytvářejí určitý zisk, který je smyslem jejich existence.

3.1 Výběr příslušné lokality

Je to jeden z nejdůležitějších kritérií pro samotnou stavbu, protože stavět elektrárnu někde kde nefouká, nemá vůbec žádný smysl. Jen vítr nám, ale nestačí. Musíme se zaměřit na terén dané lokality, jestli je v dané lokalitě údolí nebo jsou tam kopce. Díky Větrné mapě z Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd v ČR, můžeme zjistit, jestli v dané lokalitě fouká dostatečný vítr, a nebo se můžeme podívat na data z Českého hydrometeorologického ústavu.



Obr. 3.1. Mapa rychlosti větru [10]

Když už máme vyřešené povětrnostní podmínky, tak bychom se měli zaměřit přímo na danou lokalitu, ve které chceme stavbu provést. Musíme si totiž zjistit, zda se naše lokalita nenachází v území, které je chráněno zákonem, protože nemůžeme stavět v chráněné krajinné oblasti. Dále také musíme zajistit dostatečnou vzdálenost od obydlí a silnic. Z toho, ale vyplívá, že musíme zajistit dostatečný přístup do oblasti, abychom tam mohli dopravit výbavu pro stavbu větrné elektrárny.

Velice důležitá je také půda, na které budeme stavět, protože každá stavba větší větrné elektrárny má betonový základ, který je jeden z nejdůležitějších a zároveň nejtěžších částí stavby VtE, i když ho vlastně vůbec nevidíme, může mít až přes tisíc tun, to záleží hlavně podle typu elektrárny. Musí být dostatečně těžký, protože na něm stojí celá elektrárna, která může mít až stovky tun a jeho hlavním úkolem je zajištění bezpečného upevnění celé stavby. Takže než vůbec začneme stavbu betonového základu, musíme provést geologický průzkum, abychom zjistili stabilitu podloží. Jelikož kdyby byla zemina spraš, muselo by se podloží upravit, protože spraš se změnou vlhkostí mění. V tomto případě by se pak přistoupilo ještě k dodatečnému zhutnění základové spáry. [11]

Dále si pak také musíme zjistit možnost připojení k síti, protože u některých projektů se následně ukáže, že nejbližší možnost připojení je velmi vzdálená a bylo by tedy velice neekonomické stavbu stavět a projekt by tím skončil.

Za další máme životní prostředí a jeho dopad na něj. Stavby, které mohou mít negativní vliv na životní prostředí, musí před získáním povolením projít procesem posouzení vlivů na životní prostředí neboli EIA (Environmental Impact Assessment). EIA posoudí vlivy stavby na veřejné zdraví a na životní prostředí což jsou vlivy na živočichy a rostliny dále pak na ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima, krajinu a přírodní zdroje. Tento proces je veden krajským úřadem, a nebo Ministerstvem životního prostředí, to je závislé na tom, jak velké území by mohlo být plánovaným záměrem dotčeno. Poté se zašle příslušnému úřadu oznámení o záměru a tím je proces EIA zahájen. V tomto posuzování je velice důležitý rozdíl mezi přípravou parku větrných elektráren, a nebo stavba jedné větrné elektrárny, protože většinou bývá výstavba jedné větrné elektrárny schválena již v prvním kole studie EIA.

Pokud se zaměřím na určité lokality, tak já osobně bych si vybrala takovou lokalitu, kde nejvíce fouká vítr. Vítr nejvíce fouká na hřebenech hor. A to se podle Větrné mapy nachází v Krušných horách, které budí nejvíce zájmu u investorů, dále pak také Jizerské hory a Krkonoše. Jenže větrnou elektrárnu nemůžeme na horských hřebenech stavět moc vysoko, a to z několika důvodů. Samotná instalace je složitější, dále by mohla narušovat síť pro dopravní letadla, čím víš, tím nižší teplota a to vede ke zničení lopatek. Problém s teplotou však můžeme řešit, že lopatky budeme vyhřívat, ale je to poměrně drahá záležitost. Samozřejmě vše záleží na investorovi. Dále pak také provoz může ohrozit to, že vítr fouká vysokou rychlostí a může poškodit elektrárnu, tím můžeme zabránit pozastavením provozu elektrárny. Většina elektráren se zastavuje při rychlosti větru 25 m/s, protože by mohlo dojít k jejímu poškození.[11][12]

3.2 Územní plán, stavební povolení a stavba

Stavba větrné elektrárny musí být v souladu s územním plánem dotčené obce, a pokud není, musí obec plán změnit. Tento proces je možné zahájit již ve fázi, kdy probíhá EIA nebo předtím pokud to kraj dovolí, protože v některých krajích tato varianta nelze a změna územního plánu může začít až po pozitivním výsledku EIA. Takže když to kraj dovolí a investor je ochoten riskovat finance, může pak za to mít odměnu zisku až několika měsíců, ale pokud ne tak to prodlužuje dobu přípravy projektu. A z toho plyne, že když není změna územního plánu, nemůže být vydáno územní rozhodnutí.

Samotné územní řízení zkoumá již umístění stavby, který souvisí se stavbou větrné elektrárny. Doba řízení trvá minimálně tři měsíce, ale většinou je to déle a to díky rychlosti jakou je dokončena změna územního plánu, která je často zahájena také až po pozitivním výsledku EIA. Proto je lepší počítat s dobou šesti měsíců až dva roky, což nezní moc pozitivně.

Pokud vše dopadne dobře, můžeme přistoupit k poslední fázi, a to je stavební řízení. Toto řízení může trvat tři měsíce, ale většinou to je okolo šesti měsíců, v tomto řízení se řeší technická stránka stavby a její provedení. Jsou-li všechny dokumenty v pořádku, tak stavební úřad vydá stavební povolení a stavba může začít. Když se investor dostane do této fáze, tak už je to proces poměrně rychlý a trvá několik týdnů. Protože cesta ke stavebnímu povolení je poměrně dlouhá a trvá 3 až 5 let. Délka stavební fáze závisí

v na velikosti projektu, typu technologie, vzdálenosti budovaného podzemního připojení, následná montáž větrné elektrárny trvá tak 3-5 dní v závislosti na povětrnostních podmínkách.

Investor po získání stavebního povolení si může zažádat o úvěr, který mu pomůže s financováním projektu. Poté si objedná větrnou elektrárnu, její součástky a dopravu elektrárny na místo stavby. Životnost větrné elektrárny odhadují až na 20 let, pokud vše bude pracovat v pořádku, ale když se něco pokazí a nepůjde to opravit tak se elektrárna musí vyřadit z provozu.[13]

3.3 Kolaudační řízení a zkušební provoz

Po dokončení stavby větrné elektrárny nám začíná doba zkušebního provozu, která může trvat několika dnů, nebo několik měsíců. Tento proces nám prověří funkčnost větrné elektrárny. Při této zkoušce je provozovatel v kontaktu jak s výrobcem, tak s provozovatelem sítě. Doladují se nastavení a její vlivy. Pokud je vše v pořádku a během zkušebního provozu se opravily funkční nedostatky větrné elektrárny, můžeme přistoupit ke kolaudačnímu řízení. Toto řízení ověří, zda je stavba v pořádku podle předložené dokumentace. Pokud není tak se stanoví ještě nutné podmínky pro provoz. Poté je stavba nebo celý park zkolaudován.

Po skončení zkušebního provozu ještě stavební úřad v kolaudačním řízení ověří, že stavba byla provedena řádně dle předložené dokumentace, případně stanoví nutné podmínky pro provoz a povolí řádné užívání stavby a ostrý provoz.

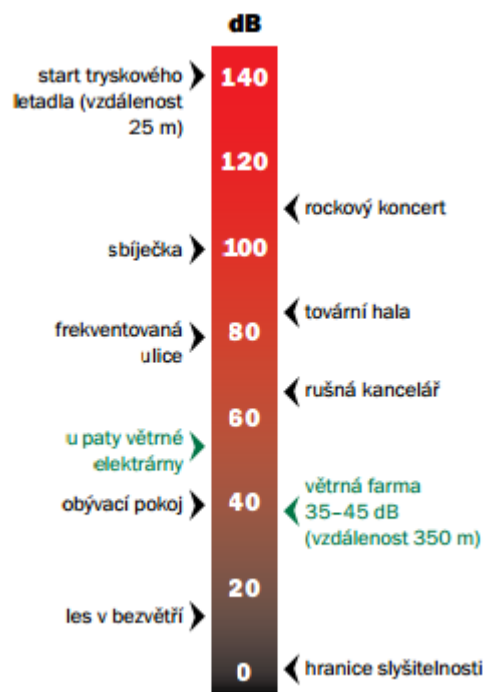
Takže i když celý tento proces trvá až několik let a nejspíš se toto období bude jen prodlužovat, tak odměna pokud jde vše v pořádku, stojí za to. Sice bude investor několik let splácet úvěr, ale pokud vítr bude foukat, tak pro něj nastane po splacení úvěru doba zisku. Dále pak také investor musí počítat s tím, že po určité době provozu budou potřeba různé opravy, údržba elektrárny a také její generální prohlídka. Po skončení období životnosti větrné elektrárny se zařízení demontuje a prodá se do šrotu. [13]

3.4 Negativní vliv větrné elektrárny na okolí

S provozem větrné elektrárny se řeší její pozitivní a hlavně negativní vliv, jak na prostředí a jeho okolí, tak na lidskou populaci. Vždycky se najdou jedinci, kterým na stavbě něco vadí, ať už to dělá hluk nebo to vypadá ošklivě, ale co je důležité na podstatě těchto zdrojů lidé zapomínají a neuvědomují si, že nám pomáhají. V dnešní době se provozovatelé VtE snaží co nejvíc minimalizovat tyto negativní vlivy.

3.4.1 Hlučnost

Většinou jsou obce proti výstavě VtE kvůli její hlučnosti, který vydávají otáčivé mechanické prvky ve strojovně a proudění vzduchu kolem listu vrtule. Tyto důvody jsou, ale spojeny s prvními typy VtE, ale dnešní moderní typy, kde se konstruktéři zaměřili na snížení hlučnosti a tyto mechanické zvuky minimalizovali. Dále pak také úprava tvaru a povrchu listu rotoru omezila aerodynamický hluk.



Obr. 3.2. Úroveň hluku [14]

Dnešní moderní větrné elektrárny, které mají výkon 1 MW, vytváří zvuk 100 až 106 decibelů, záleží to na typu turbíny a rychlosti větru, při kterém je zvuk měřen. Elektrárna, která je 100 metrů vysoká, tak hluk u její paty bývá 50 až 60 decibelů. Obrázek nám znázorňuje různé úrovně hluku, které se nachází kolem nás. Jestli má být větrné elektrárny v blízkosti lidských obydlí musí být dodrženy určité hygienické normy, které se musí dodržovat. Musí si nechat vypracovat odborný posudek pro akustickou studii. Tato studie přepočte hodnoty od výrobce na hladinu slyšitelného zvuku v konkrétním místě. Tento výsledek musí dodržovat platné hygienické limity hluku. Ve venkovním prostoru u obytných budov jsou tyto hodnoty 50 dB, ve dne což je od 6 až 22 hodin a 40 dB v noci. Dále je pak také úroveň hluku závislá na terénu a jeho povrchu, to ale až od určité rychlosti větru. To bývá obvykle 7–8 m/s. Takže díky laboratorním měřením se zjistilo, že emisní limity hluku u moderních elektráren jsou podlimitní, můžeme tedy říct, že obava z jejich hlučnosti už nemusí být tak veliká, samozřejmě se může vyskytnout ojediněle, a to třeba z důvodu poruchy některé ze součástí. [14]

3.4.2 Vzhled větrné elektrárny v krajině

Pokud vidíme větrné elektrárny v krajině, tak tam tvoří určitou dominantu, kterou nelze přehlédnout. Jak už jsme si uvedli v kapitole o výběru lokality pro stavbu větrné elektrárny, tak víme, že musí být postaveny většinou na kopcích, a nebo pláních kde je větrno, ale tento detail ještě nemusí nutně znamenat, že elektrárny hyzdí krajinu. Toto hodnocení vzniklo z pohledu člověka a je velice subjektivní, protože jsou tací, kterým se tento moderní prvek líbí, dokonce krajinu obohacuje a hlavně je to symbol čisté energie. Když to třeba srovnám s těžbou uhlí, která zásadně změnila krajinu v severních Čechách. Dále pak také vinou kyselých dešťů ze spalování uhlí má za vznik odlesnění celých pohoří, který má razantnější dopad na krajinu než větrné rotory.

Větrné elektrárny můžeme po skončení jejich životnosti zničit a odvést. Také kladou menší nároky na přenosovou síť, nemusí mít mezi sebou natažené dlouhé kabely s vedením, protože mají elektrické vedení pod zemí. Větrná elektrárna, která má výkonu 1,5 MW tak za 20 let svého provozu vyrobí kolem 80 MWh elektrické energie, tím se dá říct, že nahradí skoro 90 tisíc tun hnědé uhlí, což je dost velká hromada uhlí. Také musíme zdůraznit to, že po spálení uhlí zůstává odpad v podobě popílku a jiných látek a

to až několik tun, které mají hlavní podíl na vzniku globální změny klimatu. Když to porovnáme s větrnou elektrárnou, která využívá k tvorbě energie vítr a žádné odpadní látky nevytváří je to jeden z jejích velkých plus. [14]

3.4.3 Větrné elektrárny plaší zvěř a zabíjí ptáky

Jako jeden z dalších negativních vlivů, o kterých se můžeme dozvědět je vliv na zvěř a ptactvo. Jestliže jsou větrné elektrárny správně naplánované a postavené, tak pro ptáky a zvířata nepředstavují žádné vážné nebezpečí. Jako jedna ze známých britských organizací Královská společnost pro ochranu ptáku, a nebo také Světový fond pro ochranu přírody podporují větrnou energetiku, protože ví, že neznámá žádné závažné ohrožení pro zvířata. Jako jedna z velkých hrozeb a to je již zmiňovaná globální změna klimatu, která je pro zvířata mnohem horší, protože díky tomu dochází ke ztrátě přirozených biotopů. Větrné elektrárny toto riziko snižují. O větrných elektrárnách se často mluví jako o zabijácích ptáku a to ve spojení s otáčejícími se lopatkami. Velké turbíny jsou, ale dost viditelná překážka i pro ptactvo, které jsou schopni obletět, samozřejmě při zhoršených podmínkách jako je mlha, a nebo v noci může být riziko větší, ale i tak ohrožení není tak velké. Navíc jsou stožáry umístěné dost vysoko, kde se ptáci nepohybují. Již výše zmíněná britská společnost uskutečnila studii na větrné farmě ve Walesu, kde na deset tisíc ptáku, kteří proletí přes farmu, tak dojde jen jedné smrtelné nehodě. Ale víme, že docházelo i k větším nehodám, ale bylo to hlavně z důvodu špatného umístění. Tak bylo zavedeno opatření pro zákaz výstavby VtE v blízkosti přírodních rezervací, parcích a místech s vysokým výskytem ptáků, aby se to už neopakovalo. Jako jeden z dalších negativních vlivů, který může ovlivnit ptactvo a to je turbulence v atmosféře, která vzniká otáčejícím se rotorem. Tato turbulence může rozhodit formaci ptáku a to zejména ty, kteří při letu plachtí. Také obavy, že VtE vyhánějí lesní zvěř, jako jsou zajáci, lišky, srnčí a další jiná zvířata nemusíme brát tak vážně. K tomu závěru pomohl tříletý výzkum v Hannoveru, tento výzkum sledoval divoce žijící zvířata, která žila v místě, kde byla větrná farma s 36 turbínami a také místo pro srovnání, kde žádné nejsou. Výsledek tohoto výzkumu ukázal, že hustota zvěře nepoklesla, naopak se dokonce zvyšovala, a to ještě během výzkumu probíhali další stavby turbín. Takže větrné elektrárny zvířata nenutí místo opustit a ani se mu vyhýbat, oni si na místo a provoz VtE zvyknou a nejsou tím rušeny. [14]

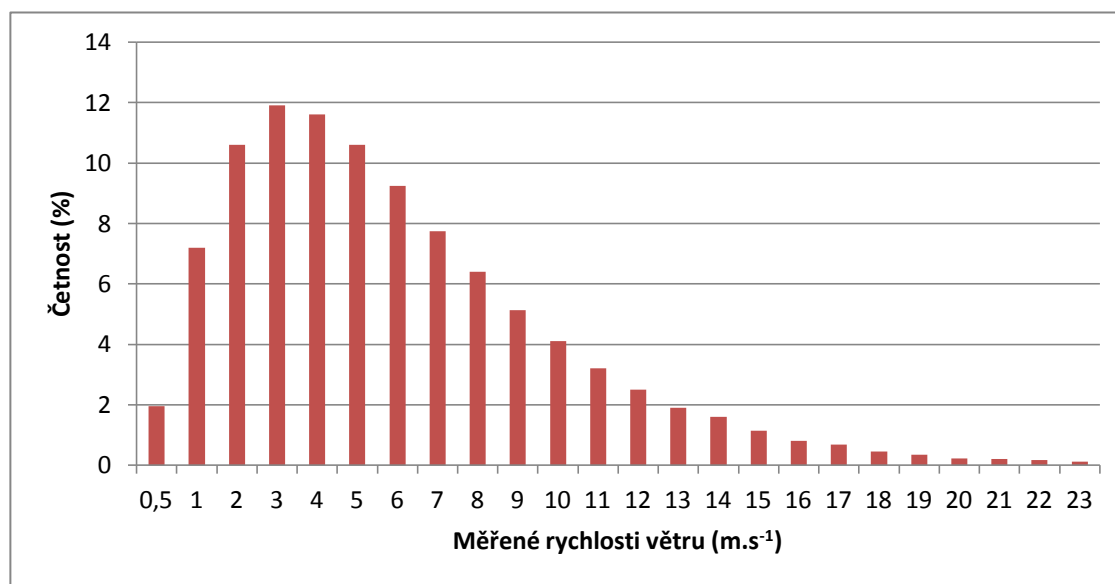
3.4.4 Stroboskopický efekt

U přípravy projektu by si měl dát projektant pozor i na takzvaný stroboskopický efekt, který vzniká mezi námi, větrnou elektrárnou a nízko položeným sluncem na obloze. Tento efekt je nepříjemné kmitání světla a stínu, u VtE ale není tento efekt tak intenzivní, protože se lopatky otáčejí pomaleji. Tomuto efektu se hlavně zabraňuje tím, že se větrné elektrárny staví přibližně 0,6 km od obydlí. Dále tomuto efektu můžeme předejít tím, že se při přípravě projektu musí počítat nejvyšší doba, kdy v daném místě vlivem tohoto jevu hrozí (stále svítící slunce, nikdy se nevyskytující mraky a rotor byl kolmo k pozorovateli, tím by vrhal ten největší stín), dále pak skutečná doba působení a to je taková doba, kterou zjistíme reálných meteorologických podmínek. Když do výpočtu zahrneme oblačnost, svit slunce a směr větru tak zjistíme, že jde celkově zhruba o pět až šest hodin za rok. V programu na ovládání větrných elektráren máme nastavení, které nám umožňuje pozastavit provoz elektrárny na několik minut, po dobu kdy stíny vrhají stíny na domy. Také se pak u starších typů větrných elektráren stávalo, že svitem slunce na otáčející se lopatku vznikaly záblesky, a to velice obtěžovalo obyvatele, tomuto jevu se zabránilo použitím matné barvy na listy rotoru.[14]

Ráda bych zmínila ještě jeden velký omyl, který vznikl v roce 2012, že VtE způsobují oteplování planety. S tímto faktem přišel vědec Liming Zhou z University v Albany, který napsal ve své studii, kde vzal data z družice pro západní Texas, kde se nacházejí čtyři největší větrné farmy na světě. A ze své studie zjistil, že vlivem působení větrných elektráren se zvýšila teplota, zejména v nočních hodinách, kdy větrné turbíny přesunuly teplejší vzduch z atmosféry blíže k zemi. Protože článek byl kromě špatné interpretace, dále také přibarven o informace, které se týkaly neefektivnosti a ekonomické náročnosti větrné energie se Česká společnost pro větrnou energetiku rozhodla uvést informace na pravou míru že *„Především, oteplování zmíněné v této studii, je místního významu a je velmi malé v porovnání se silnými změnami teploty zemského povrchu v jednotlivých letech. Je velmi pravděpodobné, že větrné turbíny nevytvářejí čisté oteplení vzduchu, ale pouze přemísťují teplý vzduch na povrchu (turbína sama nevytváří žádné teplo), toto se zásadně liší od velkých oteplení způsobených tím, že se zvyšuje atmosférická koncentrace skleníkových plynů v důsledku spalování fosilních paliv.“*[15]

4 Návrh větrné elektrárny

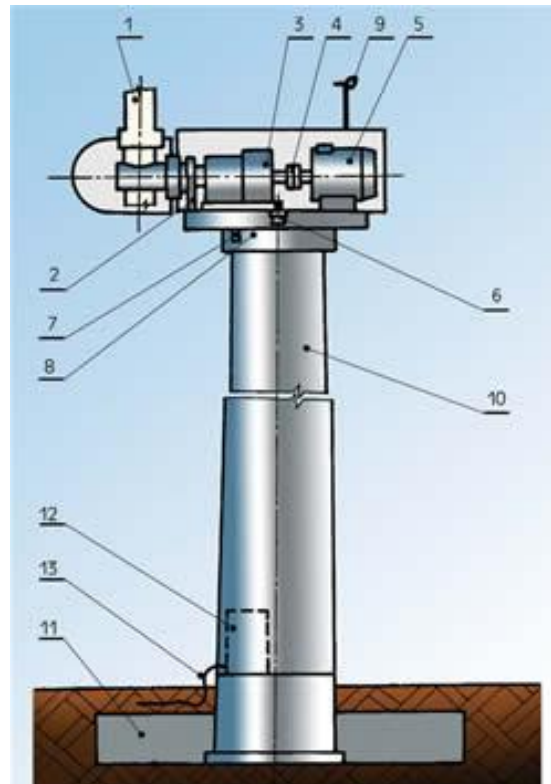
Pokud bychom si chtěli, postavit svojí vlastní elektrárnu, tak bychom zjistili, že je to proces velice náročný, ale není nemožný. Velice důležitá věc na tomto procesu už byla zmíněna v podmínkách pro stavbu větrné elektrárny, protože všude nejsou optimální podmínky. Pro svůj návrh jsem si vybrala lokalitu Karlovarského kraje v blízkosti obce Vrbiče, kde jsou povětrnostní podmínky podle Větrné mapy daleko lepší než v Plzni. Pro stavbu a následující zásobu energií rodinného domu, nám postačí malá větrná elektrárna. V dané lokalitě bychom museli provést celoroční měření rychlosti větru a poté sestrojít graf četnosti větru. Pro můj návrh postačí informace dle tabulky z knihy V. Rychetníka, která je v příloze 2, pro zvolenou průměrnou rychlost $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z této tabulky jsem sestrojila graf četnosti rychlosti větru pro zvolenou hodnotu v dané lokalitě.



Obr. 4.1 Četnosti rychlosti větru pro průměrnou hodnotu $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

4.1 Technické vybavení větrné elektrárny

Nejvíce používanějším typem větrných elektráren jsou s vodorovnou osou otáčení, které pracují na vztlakovém principu. Tento princip jsme si vysvětlili v druhé kapitole. Jednotlivé části VtE jsou znázorněny a popsány níže.



Obr. 4.2. Vybavení větrné elektrárny [16]

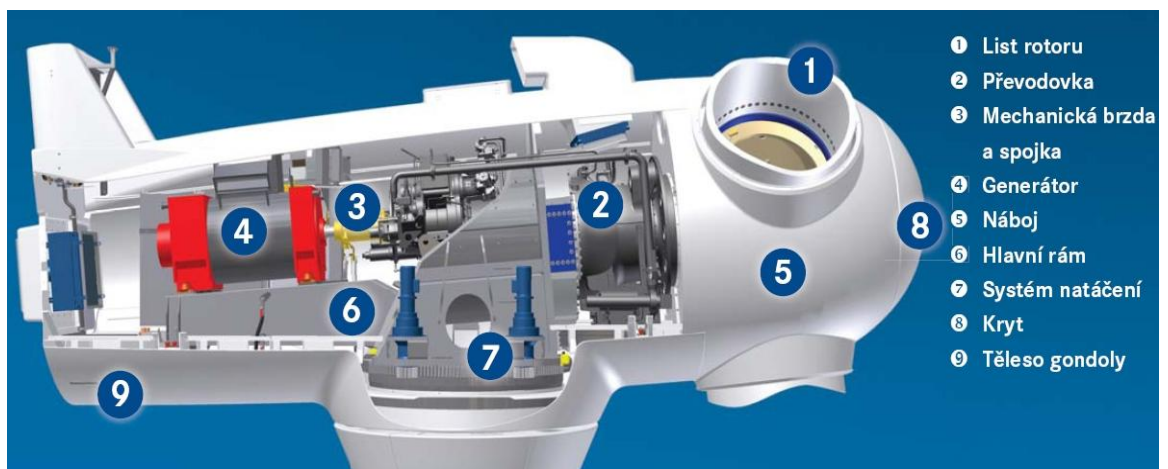
1 - rotor s rotorovou hlavicí a list, 2 - brzda rotoru, 3 - převodovka, 4 - spojka, 5 - generátor, 6 - pohon k natáčení strojovny, 7 - brzda strojovny, 8 - ložiska, 9 - čidla rychlosti a směru větru (anemometr), 10 - stožár, 11 - betonový základ, 12 - elektrorozvaděč, 13 - elektrická přípojka

4.1.1 Stožár

Můžeme se setkat se třemi druhy stožárů a to jsou ocelový tubusový, který je jeden z nejpoužívanějších, dále se používá příhradový stožár, který se používá při velkých výškách a je výhodnější z hlediska ekonomických nákladů oproti tubusovému. Jako poslední se používá prefabrikovaný betonový stožár, tento stožár má dlouhou životnost, je velice odolný ke korozi. Stožáry mají velkou rozmanitost, co se týče výšky, nejvíce se používají v rozmezích 30 - 115 m. [17]

4.1.2 Gondola

Gondola je umístěna na samotném vrcholu VtE a jejím hlavním úkolem je ochrana strojovny a jejích součástí, je to takzvané srdce větrné elektrárny. Soustrojí gondoly může být různé, protože každý výrobce používá svůj princip a tím se liší i vybavení strojovny. "Nejčastěji je rotor umístěn na hřídeli, která výkon od rotoru přenáší do převodovky. Ta zvyšuje otáčky pro generátor, který pohání. Na hřídeli mezi převodovkou a generátorem je umístěna brzda, která dokáže v případě potřeby během několika sekund zastavit rotor. K rámu strojovny jsou připevněny elektropohony, které natáčí celou strojovnou. Některé systémy, jako například brzda, natáčení lopatek, či aretace natáčení strojovny mohou být ovládány hydraulicky. V gondole se tedy skrývá hydraulický okruh (olejová nádrž, čerpadlo, tlakové rozvody)." [17]



Obr. 4.3 Gondola [17]

4.1.3 Rotor

V dnešní době se nejčastěji používá rotor se třemi lopatkami. Ten se skládá z rotorového listu a náboje, které jsou spojeny s hřídelí. Náboj musí mít vysokou odolnost, a proto jsou na něj kladeny vysoké nároky a používají se na jeho výrobu materiály ze speciálních litin. Lopatky a náboj jsou mezi sebou spojeny šrouby, tyto jsou zapuštěny do listu. [17]

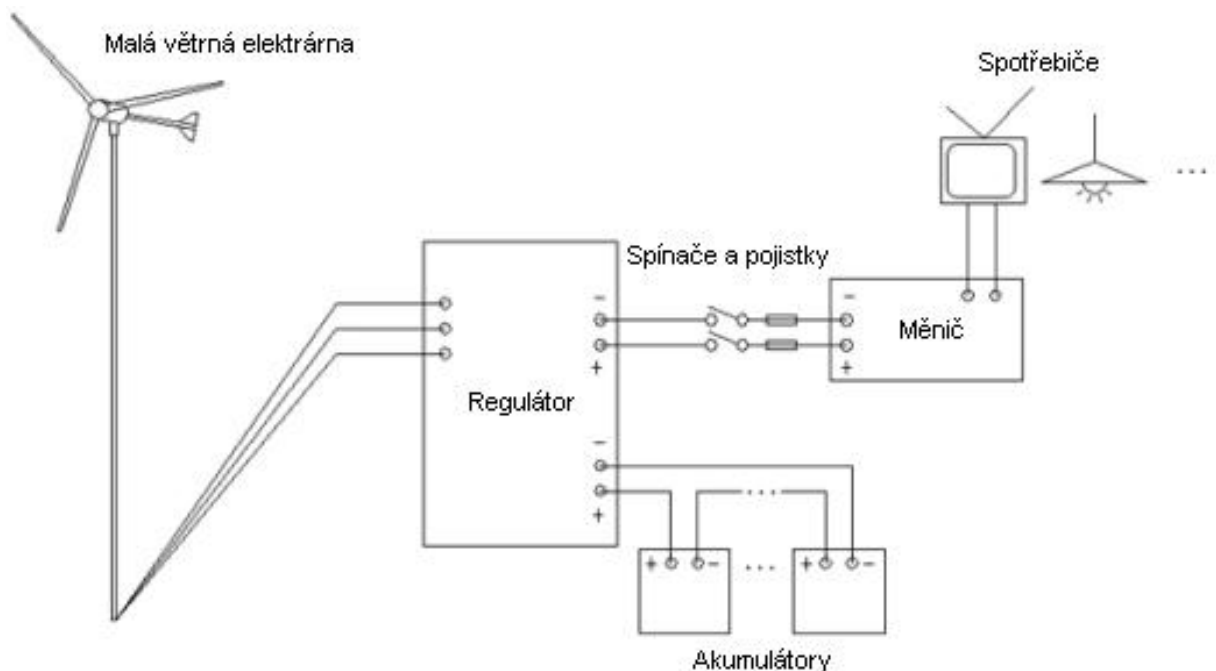
4.1.4 Energetické ztráty

Elektrickou energii, která vyplývá z četnosti rychlosti větru a z obecné výkonové křivky bereme jako teoretickou. Jelikož reálná výroba bývá nižší a to hned z několika důvodů.

Jako první je, že vyrobená energie, je ovlivněna negativními vlastnostmi proudění (turbulence nebo stříh větru). Za další musíme počítat se ztrátami třením a odporem listu rotoru, dále to jsou převodové ztráty, ztráty v generátoru a měniči. [22]

4.2 Parametry větrné elektrárny

K převodu energie je důležitá elektrická síť. Nejdůležitější součástí návrhu je permanentní generátor, který nám indukuje AC napětí, toto napětí je připojeno na usměrňovač a usměrněno na DC. Pomocí regulátoru se nastaví konstantní hodnota napětí, které můžeme pomocí měniče různě volit pro různé spotřebiče. Akumulátory slouží pro uschování energie při nepříznivých povětrnostních podmínkách.



Obr. 4.4 Schéma elektrického připojení [18]

4.3 Návrh větrného motoru

Pro návrh větrného motoru a jeho výpočet, je důležité určit, jak velký bude jeho teoretický výkon vzdušného proudu P_T , který bude působit na 1m^2 plochy kolmé ke směru větru. Musíme vědět, že většina větrných elektráren se rozbíhá až při rychlosti $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a výš, hodnoty nižší jsou zanedbány.

Vztah pro výpočet vzdušného výkonu P_T :

$$P_T = \frac{\rho}{2} v^3 (W \cdot m^{-2}) \quad (4.1)$$

veličina v , určuje rychlost větru a ρ je hustota vzduchu, která je konstantní ($1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Dále pak můžeme vypočítat celkovou energii, která je dána vztahem:

$$E = P_T \cdot t_p (W \cdot m^{-2}) \quad (4.2)$$

Kde E je celková energie, P_T je vzdušný výkon a t_p je doba trvání tohoto výkonu

Jako další krok máme sečtení všech energií při jednotlivých rychlostech proudění větru a její přepočítání na celkovou teoretickou energii vzdušného proudu za rok ze vztahu:

$$E_{TR} = \frac{\sum E \cdot 8760}{100} (kWh \cdot m^{-2}) \quad (4.3)$$

Počet hodin za 1 rok je 8760. Výsledky výpočtů jsou shrnuty v tabulce, která je v příloze 2. Z těchto výsledků jsme zjistili, kolik lze teoreticky získat v námi uvažované lokalitě 3132,39 kWh elektrické energie za jeden rok. Dále si vypočteme, kolik je přibližně spotřeba rodinného domu za jeden rok, abychom mohli určit vhodný typ větrné turbíny. To se stanoví výpočtem výkonového součinitele C_p , který vyjadřuje účinnost přeměny větru na elektrickou energii.

$$C_p = \frac{E_{spot}}{E_{TE}} = \frac{1523}{3132,39} = 0,48 \quad (4.4)$$

Mnou navrhovaná elektrárna tedy bude pokrývat energii spotřebičů a elektrické energie jednoho rodinného domu. Tyto hodnoty jsou shrnuty v tabulce a jsou pouze orientační.

Tab 2. Spotřebiče a jejich roční spotřeba [19]

Spotřebič	Spotřeba [kWh]	rok
Lednice	175	
Rychlovarná, konvice, sporák, mikrovlnná trouba	584	
TV	241	
Pračka	213	
Světelné zdroje 12 kusů (úsporné)	60	
Ostatní(fén, nabíječka na mobil)	100	
notebook	150	
součet	1523	

Z tabulky nám vyšlo, že roční spotřeba činí 1523 kWh za rok.

Podle výkonového součinitele, který vyjadřuje účinnost přeměny energie z větru, nám výsledek podělením energie spotřebované a energie teoretické vyšel 0,48. Takže pro pokrytí energií námi požadovaný objekt bude potřeba rotor o ploše $A = 1\text{m}^2$ s výkonovým součinitelem 0,48, který je bezrozměrný. Jelikož nám výkonový součinitel vyšel 0,48, můžeme vybírat mezi dvoulistý a třílistým rotorem. Pro návrh jsem si zvolila třílistý rotor, jelikož jeho rozběhové vlastnosti jsou oproti dvoulistému lepší.

Tab 3. Jednotlivé hodnoty výkonových součinitelů pro typy rotorů [1]

Typ	C_P	λ_{OPT}	λ_{MAX}
Mnoholopatkový rotor (americký)	0,35	1,1	2
Třílistý rotor	0,18 až 0,39	2,5 až 6	
Dvoulistý rotor	0,20 až 0,48	6 až 10	
Savonius, dělený	0,23	0,85	1,8
Rotor Darrieus třílistý	0,362	4,66	6,76
Rotor Darrieus jednolistý	0,236	6,1	10
Miskový kříž	0,0195	0,14	0,31

Dále se musíme zaměřit na průměr motoru, protože čím větší je průměr rotoru, tím vyšší je jeho výkon. Pro nás je důležité, aby námi zvolený rotor výrazně nepřekročil vyrobenou energii od spotřebované. Velikost rotoru si zvolíme 2 m, výkonový součinitel třílistého

rotoru je od 0,18 a 0,39. Zvolíme si hodnotu C_P pro výpočet 0,34 a hustota vzduchu ρ je $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vztah pro výpočet výkonu:

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot C_P \cdot A \cdot v^3 \text{ (W)} \quad (4.5)$$

Jelikož neznáme přesnou plochu rotoru A , tak dosadíme za $A = \pi r^2 [\text{m}^2]$. Dostáváme tedy vzorec:

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot C_P \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \text{ (W)} \quad (4.6)$$

Víme, že roční výroba energie je 3252,71 kWh. Mnou navrhovaná orientační spotřeba rodinného domu vyšla 1523 kWh. Z toho vyplývá, že vyrobená elektrická energie je o polovinu vyšší než co potřebujeme. Tento rozdíl postačí na krytí různých ztrát třeba při akumulaci energie do akumulátorů, dále pak můžeme přebytečnou energii ekonomicky využít a prodat jí do sítě. Další je možnost, že se zmenší průměr rotoru a tím klesne výroba energie.

Jako další parametr, který je důležitý pro celkovou koncepci větrného motoru, jsou otáčky při jmenovitém výkonu a ten odpovídá rychlosti větru pro náš návrh. Dále pak musíme vypočítat obvodové rychlosti konců lopatek. Do vzorce budeme dosazovat pro třílístý motor λ_0 v rozmezích 2,5 až 6. Pro náš výpočet jsme si zvolili $\lambda_0=4$. Toto číslo volíme i z důvodu, že menší rotory mají vyšší rychloběžnost.

Výpočet jmenovitých otáček:

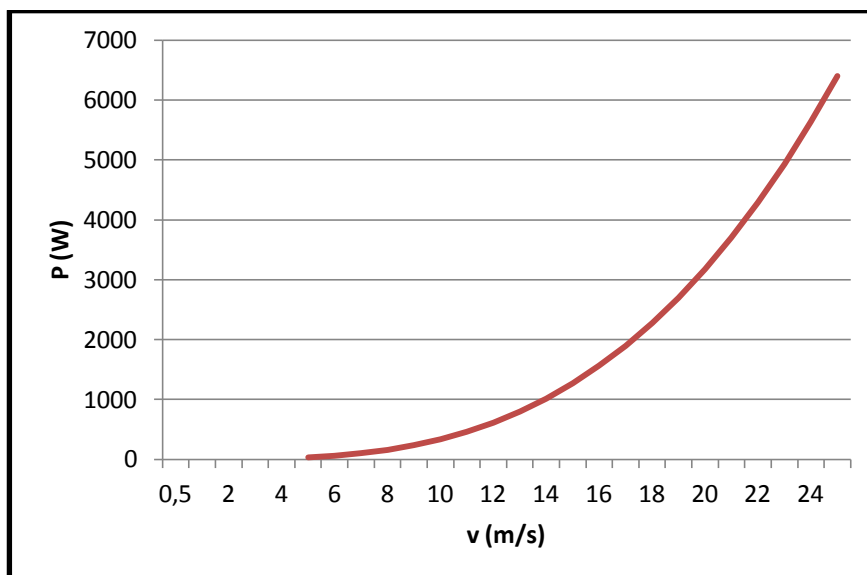
$$n_j = \frac{60 \cdot \lambda_0 \cdot v_j}{2\pi R} = \frac{60 \cdot 4 \cdot 6}{2\pi \cdot 1} = 229,18 (\text{m}^{-1}) \quad (4.7)$$

Výpočet obvodové rychlosti konců lopatek:

$$\lambda_{OPT} = \frac{u_r}{v} \rightarrow u_r = \lambda_{OPT} \cdot v = 4 \cdot 6 = 24 (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (4.8)$$

Z výsledků, ze kterých jsme vypočítali výkon a energii námi navrhované VtE, které jsou

v tabulce v příloze (Příloha 3), lze sestavit graf závislosti výkonu na rychlosti větru. Tento graf je pouze obecný a znázorňuje, že rychlost větu s třetí mocninou zvyšuje výkon.



Obr. 4.5 Závislost výkonu na rychlosti větru

Parametry, které byly vypočítány pro námi navrhovanou elektrárnu, shrneme do tabulky 4. Tato elektrárna by nám stačila na pokrytí námi navrhované spotřeby rodinného domu, pokud budou příznivé podmínky. Návrh porovnáme s nabídkami firem a vybereme nejvhodnější a nejvýhodnější typ pro náš návrh.

Tab. 4. Parametry navrhované VtE

Parametry VtE	
Jmenovitý výkon (W)	130
Rychlost větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	6
Rozběhová rychlost větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	4
Průměr rotoru (cm)	200
Otáčky rotoru (m^{-1})	229,18
Počet listů	3
Výkonový součinitel	0,34
Obvodová rychlost lopatek ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	24
Rychloběžnost	4

Vybrala jsem na porovnání dvě větrné turbíny, které jsou vhodné pro náš návrh a níže v tabulkách jsou uvedeny jejich parametry a grafy, které zobrazují jednotlivé turbíny a jejich výkon v závislosti na rychlosti větru. Jedná se o turbíny Rutland 1803-2 Furlmatic a Aeolos 500W Streetlight.



Obr. 4.6 Větrná turbína Rutland 1803-2 Furlmatic [20]

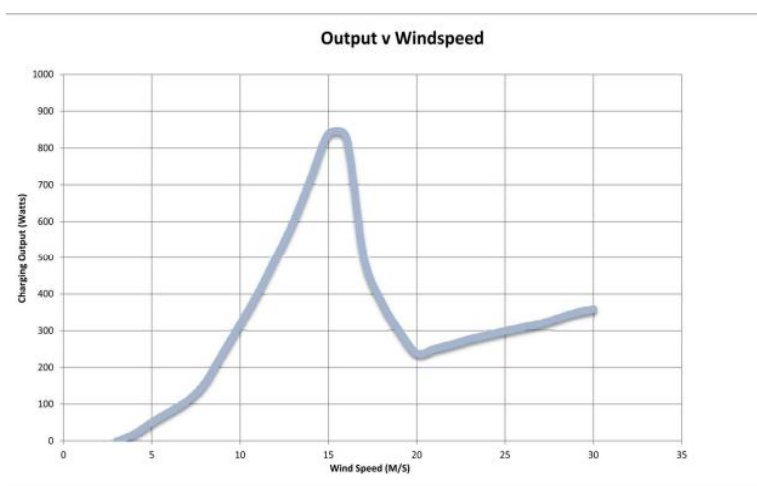


Obr. 4.7 Větrná turbína Aeolos 500W Streetlight [21]

Větrná turbína Rutland 1803-2 Furlmatic je vhodná pro napájení domů, budov, kamerové systémy, přístřešky pro drůbež a mnoho dalších využití. S připojeným měničem, můžeme dodávat energii do spotřebičů v domě. Obě dvě turbíny mají možnost připojení k solárním panelům.

Tab. 5. Parametry Rutland 1803-2 Furlmatic [20]

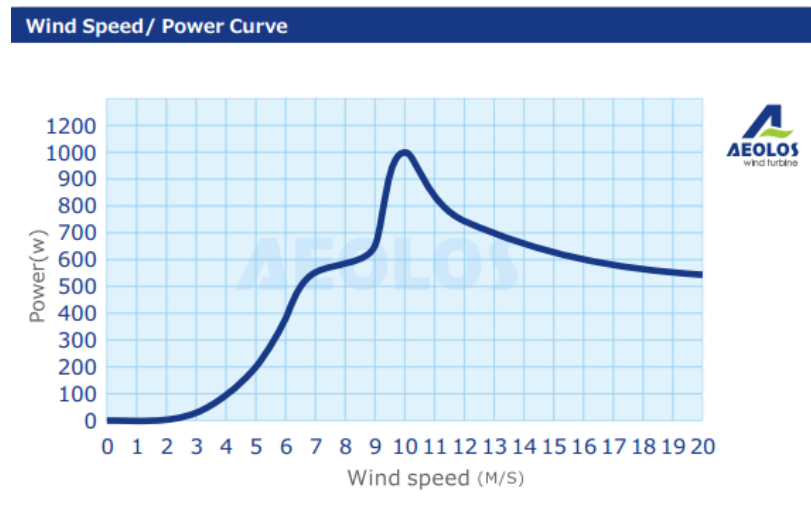
Technická data turbíny	Rutland 1803-2 Furlmatic
počet listů	3
napětí (V)	12 nebo 24
průměr rotoru (m)	1,8
nominální výkon (W)	404 (při 11 m.s ⁻¹)
síla větru pro start (m.s ⁻¹)	3
Cena (s 21% DPH)	72599 Kč



Obr. 4.8 Závislost rychlosti větru a výkonu pro větrnou turbínu Rutland 1803-2 Furlmatic [20]

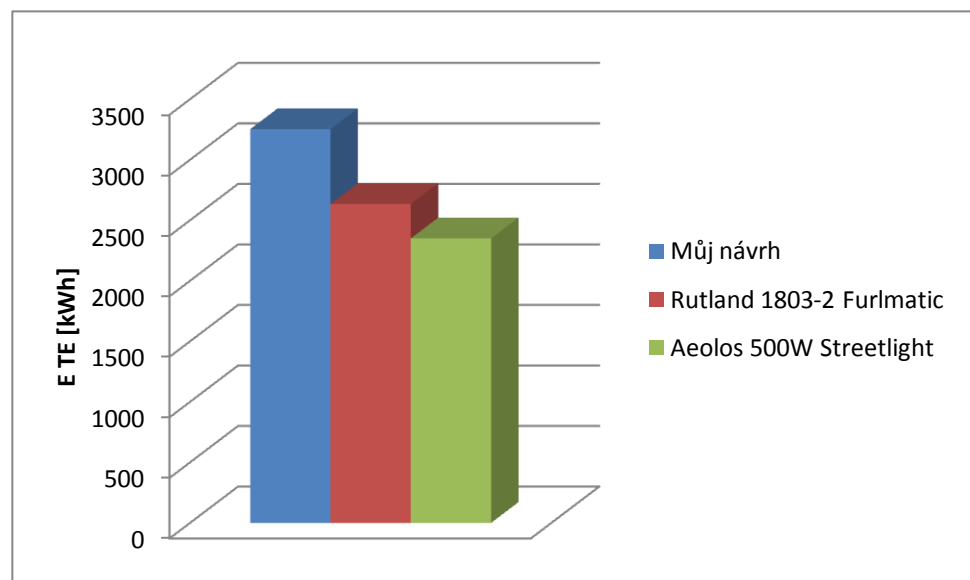
Tab.6. Parametry Aeolos 500W Streerlight [21]

Technická data turbíny	Aeolos 500W Streetlight
počet listů	3
napětí (V)	24
průměr rotoru (m)	1,7
nominální výkon (W)	500
síla větru pro start (m.s ⁻¹)	2,2
Cena (s 21% DPH)	26136 Kč



Obr. 4.9 Závislost rychlosti a větru pro větrnou turbínu Aeolos 500W Streetlight [21]

Vypočítala jsem celkovou teoretickou energii pro obě navrhované turbíny v příloze 4 a 5. Námí navržená větrná elektrárna má roční výrobu energie 3252,71 kWh. Výpočet E_{TR} u turbíny Rutland 1803-2 Furlmatic byl 2634,7 kWh a u turbíny Aeolos 500W Streetlight byl 2350,083 kWh. Spotřeba rodinného domu je 1523 kWh. Takže obě dvě turbíny stačí pro zásobu energie do spotřebičů. V grafu můžeme vidět porovnání teoretické výroby energie všech třech větrných elektráren.



Obr. 4.10 Roční teoretická energie u tří typů větrných elektráren

5 Závěr

Ve své práci jsem se nejdříve zmínila o historii větrných elektrárnách a poté jsem vysvětlila podstatu energie větru. Dále jsem se v první kapitole zmínila o důležitosti použití obnovitelných zdrojů, které šetří naší Zemi. Poté jsem v 2 kapitole vysvětlila princip motorů větrných elektráren a různé typy elektráren, které se v moderní době vymýšlí, ale zatím nemají ještě široké uplatnění.

Ve třetí kapitole jsem se zaměřila na důležité podmínky při stavbě větrné elektrárny. Co všechno se musí splnit, pro to abychom vůbec větrnou elektrárnu mohli postavit a hlavně aby správně fungovala. Což znamená výběr vhodného místa, šetření EIA, následné povolení a samozřejmě finance. V této kapitole jsem se také zaměřila na možné negativní vlivy způsobené větrnou elektrárnou, které jsem vysvětlila a zhodnotila, do jaké míry jsou tyto negativní vlivy pravdivé.

V poslední kapitole je samotný návrh větrné elektrárny, kde jsem jako první zvolila vhodné místo pro stavbu podle Větrné mapy České republiky. Dále jsem pak popsala jednotlivé součásti VtE. Chtěla jsem docílit toho, aby můj návrh pokryl spotřebu energie spotřebičů v rodinném domě. Roční spotřeba mnou navržených spotřebičů byla 1523 kWh. Poté jsme provedla výpočty a zvolila vhodný typ rotoru. Pro porovnání jsem si vybrala dvě různé turbíny, které by se pro můj návrh mohly použít. Z celkových výsledků vyšlo, že je možné rodinný dům zásobovat energií po celý rok, ale hodnoty teoretické energie se u vybraných turbín lišily. Jako jeden z hlavních důvodů poklesu od mnou navržené elektrárny, může být ten, že obě navrhované turbíny mají menší rotor a to způsobí nižší výrobu energie. Dále pak také všechny tři turbíny měly výrobu teoretické energie vyšší, než potřebujeme pro zásobu rodinného domu. Proto bych navrhovala jako jednu z možností, že můžeme přebytečnou energii vyrobenou větrnou elektrárnou uskladnit, pomocí akumulátorových článků, které se v průběhu provozu nabíjí. Tímto způsobem můžeme zajistit náhradní zdroj, který bude dodávat energii do objektu v případě bezvětří či poklesu rychlosti větru, protože jak je známo, vítr je přírodní živel, který je nestálý. Dále můžeme navrhnout, že k větrné elektrárně připojíme solární panely, které v případě výpadku mohou nahradit zdroj energie, což se dá využít i v opačném případě. Jako další možnost můžeme přebytečnou energii prodat do elektrické sítě.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] RYCHETNÍL, V., JANOUŠEK, J., PAVELKA, J. *Větrné motory a elektrárny*. 1. vyd., Vydavatelství ČVUT, PRAHA 1997, 199 stran, ISBN 80-01-01563-7
- [2] CROME, H. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. 1. české vyd., Nakladatelství HEL, 2002, 144 stran, ISBN 80-86167-19-4
- [3] CENK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. opr.a dopl. vyd., Nakladatelství FCC PUBLIC, Praha 2001, 208 stran ISBN 80-901985-8-9
- [4] *Povětrník*. [online]. [cit. 2016-05-24] Dostupné z: <http://povetnik-cz.svethostingu-tmp.cz/rs/view.php?cislocianku=200805120>
- [5] *Časopis Elektro*. [online]. [cit. 2016-05-24] Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrunych-elektren--13364>
- [6] *Skupina ČEZ*. [online]. [cit. 2016-05-24] Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [7] *Miskový anemometr*. [online]. [cit. 2016-05-24] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Anemometr>
- [8] *Větrný motor savonius*. [online] [cit. 2016-05-24] Dostupné z: <http://www.reuk.co.uk/Savonius-Wind-Turbines.htm>
- [9] *EkoBonus: Větrné elektrárny*. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/vetrne-elektarny-nejcastejsi-typy-experimentalni-projekty-a-zajimavosti>
- [10] *Ústav fyziky a atmosféry: Větrná mapa*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/vetrna-mapa.html>
- [11] *Czech RE Agency*. [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vetrna-energie/ve-v-cr>
- [12] *Frank Blod poradna*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://frankbold.org/poradna/kategorie/eia-a-ippc/rada/co-je-eia>
- [13] *Česká společnost pro větrnou energii*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/CSVE-brozura-v08-preview-timeline.pdf>
- [14] *Hnutí duha*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: http://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/vitr_2006.pdf
- [15] *CSVE*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vetrne-elektarny-zpusobuji-zmenu-klimatu-omyl-/471>
- [16] *Vybavení větrné elektrárny*. [online.] [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.wodasound.com/jaknato/wind/wdsvitr.htm>
- [17] *CSVE*. [online]. [cit. 2016-05-26] Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/detail-kategorie/z-ceho-se-sklada-vetrna-elektarna/82>
- [18] *EcoShop*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.ecoshop.cz/vyrobek/438/>
- [19] *Energetika*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://energetika.cz/?id=71&c1=356.html>
- [20] *Solar economic*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.solareconomic.cz/solarec/eshop/18-1-Vetrne-elektarny/0/5/521-Mala-vetrna-elektarna-Rutland-1803-2-Furlmatic>
- [21] *Energy ForEver*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://www.energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektarny/mikro-vetrne-elektarny/>
- [22] *Větrná energie*. [online]. [cit. 2016-05-25] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektarny>

Seznam příloh

- Příloha 1 Beaufortova stupnice síly větru
- Příloha 2 Četnosti rychlosti větru pro průměrnou rychlost $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ od Rychetníka
- Příloha 3 Výroba elektrické energie za 1 rok (teoretická)
- Příloha 4 Výsledné hodnoty výkonu a energie naší navrhované elektrárny za rok
- Příloha 5 Výpočet hodnot pro Rutland 1803-2 Furlmatic
- Příloha 6 Výpočet hodnot pro Aeolos 500W Streetligh

Přílohy

Příloha 1 – Beaufortova stupnice síly větru

Beaufortova stupnice síly větru

Stupeň	Rychlost větru km/h mph	Rychlost větru kn	m/s	Slovní označení	Výška vln m ft	Stav moře	Znaky na souši
0	<1	<1	<0.3	Bezvětří	0	0	Zrcadlově hladké. Kouř stoupá kolmo vzhůru.
1	1-5	1-3	0.3-1.5	Vánek	0.1	0.33	Malé šupinovitě zčeřené vlnky bez pěnových vrcholků. Kouř nestoupá úplně kolmo, ale korouhev ještě nereaguje.
2	6-11	3-7	1.5-3.3	Větrík Slabý vítr	0.2	0.66	Výraznější malé a krátké vlny se světlejšími hřebeny, které se nelámou. Vítir je cítit ve tváři, listí šelestí, korouhev se pohybuje.
3	12-19	8-12	3.3-5.5	Slabý vítr Mírný vítr	0.6	2	Hřebeny vln se začínají lámat, pěna převážně sklelná. Ojedinelý výskyt malých pěnových vrcholků. Listy a větvičky v trvalém pohybu, vítr napíná praporečky.
4	20-28	13-17	5.5-8.0	Mírný vítr Dostí čerstvý vítr	1	3.3	Malé vlny, ale prodlužují se. Hojný výskyt pěnových vrcholků. Vítir zvedá prach a papíry, pohybuje větvičkami a slabšími větvelemi.
5	29-38	18-24	8.0-10.8	Čerstvý vítr	2	6.6	Větší a výrazně prodloužené vlny. Všude bílé pěnové vrcholy, ojedinelý výskyt vodní tříště. Listnaté keře se hýbou, malé stromky se ohýbají.
6	39-49	25-30	10.8-13.9	Silný vítr	3	9.9	Velké vlny, hřebeny se lámou a vzniká bílá pěna. Trochu vodní tříště. Pohybuje silnějšími větvelemi, telegrafní dráty svíští, manipulace s dřevníkem je obtížná.
7	50-61	31-38	13.9-17.2	Mírný víchř Prudký vítr	4	13.1	Može se zvedat. Bílá pěna vzniká lámáním hřebenů vytváří pruhy po větru. Celé stromy se pohybují, chůze proti větru je obtížná.
8	62-74	39-46	17.2-20.7	Čerstvý víchř Bojovný vítr	5.5	18	Dostí vysoké vlny s dlouhými hřebeny výrazné délky. Od okrajů se začíná odtrhávat vodní tříšť, pásy pěny po větru. Větve se lámou, vzpřímená chůze proti větru je nemožná.
9	75-88	47-54	20.7-24.5	Silný víchř Vichřice	7	23	Vysoké vlny s hustou pěnou. Vlny se začínají valit, vodní tříšť snižuje viditelnost. Větší větve a malé stromy se lámou. Menší škody na stavbách (strhané komíny a tašky ze sítěch).
10	89-102	55-63	24.5-28.4	Plný víchř Silná vichřice	9	29.5	Velmi vysoké vlny s překlápěcími a lámajícími se hřebeny, moře bílé od pěny. Těžké nárazovité valení moře. Viditelnost značně omezena vodní tříští. Vyvrací stromy a mčí domy.
11	103-117	64-72	28.4-32.6	Vichřice Mohutná vichřice	11.5	37.7	Mimořádně vysoké vlny. Kusy pěny, která pokrývá skoro celou hladinu, odnášeny větrem. Viditelnost snižena vodní tříští. Rozsáhlé škody na vegetaci a obydlích.
12	≥118	≥73	≥26.6	Orkán	≥14	≥46	Obrovské vlny a vlnobítí. Vzduch plný pěny a vodní tříště. Moře zcela bílé. Viditelnost velmi snižena pěnou a vodní tříští. Ničivé účinky. Odnáší sítěchy, hýbe těžkými hmotami.

Příloha 2 – Četnosti rychlosti větru pro průměrnou rychlost 6 m.s⁻¹ od Rychetníka

Měřené rychlosti větru (m.s ⁻¹)	Průměrná rychlost větru (m.s ⁻¹)
	6
do 0,5	1,96
1	7,2
2	10,6
3	11,9
4	11,6
5	10,6
6	9,25
7	7,75
8	6,4
9	5,13
10	4,1
11	3,2
12	2,5
13	1,9
14	1,6
15	1,14
16	0,8
17	0,68
18	0,45
19	0,34
20	0,23
21	0,2
22	0,17
23	0,11
24	0,05

Příloha 3 – Výroba elektrické energie za 1 rok (teoretická)

Měřené rychlosti větru (m.s ⁻¹)	Průměrná rychlost větru [m.s ⁻¹]	P (W)	E (W)
	6		
do 0,5	1,96		
1	7,2		
2	10,6		
3	11,9		
4	11,6	38,4	445,44
5	10,6	75	795
6	9,25	129,6	1198,8
7	7,75	205,8	1594,95
8	6,4	307,2	1966,08
9	5,13	437,4	2243,862
10	4,1	600	2460
11	3,2	798,6	2555,52
12	2,5	1036,8	2592
13	1,9	1318,2	2504,58
14	1,6	1646,4	2634,24
15	1,14	2025	2308,5
16	0,8	2457,6	1966,08
17	0,68	2947,8	2004,504
18	0,45	3499,2	1574,64
19	0,34	4115,4	1399,236
20	0,23	4800	1104
21	0,2	5556,6	1111,32
22	0,17	6388,8	1086,096
23	0,11	7300,2	803,022
24	0,05	8294,4	1410,048
		Σ E (W.m⁻²)	35757,918
		E_{TR} (kWh.m⁻²)	3132,39

Příloha 4 - Výsledné hodnoty výkonu a energie naší navrhované elektrárny za rok

Měřené rychlosti větru (m.s ⁻¹)	Průměrná rychlost větru (m.s ⁻¹)	P (W)	E (W)
	6		
do 0,5	1,96		
1	7,2		
2	10,6		
3	11,9		
4	11,6	41,02	475,832
5	10,6	80,11	849,166
6	9,25	138,43	1280,4775
7	7,75	219,82	1703,605
8	6,4	328,13	2100,032
9	5,13	467,21	2396,7873
10	4,1	640,9	2627,69
11	3,2	853,02	2729,664
12	2,5	1107,45	2768,625
13	1,9	1408,02	2675,238
14	1,6	1758,6	2813,76
15	1,14	2162,98	2465,7972
16	0,8	2625,06	2100,048
17	0,68	3148,67	2141,0956
18	0,45	3737,64	1681,938
19	0,34	4395,83	1494,5822
20	0,23	5127,08	1179,2284
21	0,2	5935,24	1187,048
22	0,17	6824,14	1160,1038
23	0,11	7797,65	857,7415
24	0,05	8859,59	442,9795
		Σ E (W)	37131,439
		E_{TR} (kWh)	3252,71

Příloha 5 - Výpočet hodnot pro Rutland 1803-2 Furlmatic

Měřené rychlosti větru (m.s^{-1})	Průměrná rychlost větru (m.s^{-1})	P (W)	E (W)
	6		
0,5	1,96		
1	7,2		
2	10,6		
3	11,9		
4	11,6	33,22	385,352
5	10,6	64,88	687,728
6	9,25	112,13	1037,2025
7	7,75	178,06	1379,965
8	6,4	265,79	1701,056
9	5,13	378,43	1941,3459
10	4,1	519,12	2128,392
11	3,2	690,94	2211,008
12	2,5	897,03	2242,575
13	1,9	1140,5	2166,95
14	1,6	1424,46	2279,136
15	1,14	1752,02	1997,3028
16	0,8	2126,3	1701,04
17	0,68	2550,42	1734,2856
18	0,45	3027,49	1362,3705
19	0,34	3560,62	1210,6108
20	0,23	4152,93	955,1739
21	0,2	4807,54	961,508
22	0,17	5527,55	939,6835
23	0,11	6316,09	694,7699
24	0,05	7176,3	358,815
		Σ E (W)	30076,2704
		E_{TR} (kWh)	2634,7

Příloha 6 - Výpočet hodnot pro Aeolos 500W Streetlight

Měřené rychlosti větru (m.s ⁻¹)	Průměrná rychlost větru (m.s ⁻¹)	P (W)	E (W)
	6		
0,5	1,96		
1	7,2		
2	10,6		
3	11,9		
4	11,6	29,63	343,708
5	10,6	57,88	613,528
6	9,25	100,02	925,185
7	7,75	158,82	1230,855
8	6,4	237,08	1517,312
9	5,13	337,55	1731,6315
10	4,1	463,04	1898,464
11	3,2	616,31	1972,192
12	2,5	800,13	2000,325
13	1,9	1017,3	1932,87
14	1,6	1270,58	2032,928
15	1,14	1562,8	1781,592
16	0,8	1896,61	1517,288
17	0,68	2274,91	1546,9388
18	0,45	2700,45	1215,2025
19	0,34	3175,98	1079,8332
20	0,23	3704,31	851,9913
21	0,2	4288,21	857,642
22	0,17	4930,44	838,1748
23	0,11	5633,8	619,718
24	0,05	6401,1	320,055
		∑ E (W)	26827,4341
		E_{TR} (kWh)	2350,083