

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra Elektroenergetiky a Ekologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh větrné elektrárny

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DĚLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bohumír VOCHOT
Osobní číslo: E11B0533P
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 pracovní zprávy: 20 - 30 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: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


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




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

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se věnuje problematice větrných elektráren. První část práce se zabývá základními vlastnostmi energie větru a parametry větru. Druhá část vysvětluje výhody a nevýhody konkrétních typů rotorů. Třetí část je zaměřena na výběr lokality. Posledním bodem bakalářské práce je samotný návrh větrné elektrárny pro zvolenou lokalitu.

Klíčová slova

Větrné elektrárny, rotor, elektrická energie, větrné podmínky, vítr

Abstract

The bachelor's thesis is occupied by the wind power. The first part of thesis is applied on the basic attributes of the wind energy and the wind parameters. The second part explains the advantages and disadvantages of specific types of rotors. The third type is focused on the choice of location. The last point of the bachelor thesis is the wind power design.

Key words

Wind power, rotor, electrical energy, wind conditions, wind

Prohlášení

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

.....
podpis

V Plzni dne 9.6.2014

Bohumír Vochot

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Holému za cenné profesionální rady a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	9
1 VYUŽITÍ ENERGIE VĚTRU.....	10
1.1 PODSTATA VĚTRU.....	11
1.2 PARAMETRY VĚTRU – PRŮMĚRNÁ RYCHLOST.....	12
1.3 INTENZITA SMĚRU RYCHLOSTI A VĚTRU.....	13
1.4 ZNÁZORNĚNÍ RYCHLOSTI VĚTRU A VÝŠKA DRSNOSTI POVRCHU.....	14
1.5 VĚTRNÉ PODMÍNKY V ČESKÉ REPUBLICE.....	14
2 TYPY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN.....	15
2.1 VĚTRNÉ MOTORY S PRINCIPEM ODPOROVÝM.....	15
2.2 VĚTRNÉ MOTORY NA PRINCIPU VZTLAKOVÉ SÍLY.....	15
2.3 VĚTRNÉ MOTORY SE SVISLOU OSOU.....	17
2.4 VĚTRNÉ MOTORY S VODOROVNOU OSOU.....	17
2.5 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VĚTRNÉHO MOTORU NA PRINCIPU VZTLAKOVÉM.....	19
3 VHODNÉ LOKALITY A KRITÉRIA PRO VÝBĚR VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	20
3.1 KRITÉRIA PRO VÝBĚR PŘÍSLUŠNÉ LOKALITY.....	20
3.2 VLIV OBČANŮ NA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	21
3.3 STAVEBNÍ ŘÍZENÍ A STAVBA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	22
3.4 KOLAUDAČNÍ ŘÍZENÍ A ZKUŠEBNÍ PROVOZ.....	22
3.5 HLUČNOST VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN.....	23
3.6 STROBOSKOPICKÝ EFEKT.....	24
3.7 VÝVOJ VELIKOSTI VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA STAVBY.....	25
4 NÁVRH VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	26
4.1 TEORETICKÉ ZÁKLADY NÁVRHU.....	26
4.2 URČENÍ PŘÍSLUŠNÉ LOKALITY.....	27
4.3 NÁVRH SPOTŘEBY CELKOVÉ ENERGIE.....	27
4.4 NÁVRH VĚTRNÉHO MOTORU.....	29
5 ZÁVĚR.....	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	38
PŘÍLOHY.....	40

Seznam symbolů a zkratk

VtE	Větrná elektrárna
π	Ludolfovo číslo [-]
n_j	Jmenovité otáčky [min^{-1}]
u_R	Obvodová rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
P_j	Jmenovitý výkon [W]
E_{TR}	Teoretická energie vzdušného proudu [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$]
P_T	Teoretický výkon vzdušného proudu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
C_p	Výkonový součinitel [-]
λ_{opt}	Rychloběžnost [-]
ρ	Hustota vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
A	Plocha [m^2]
EIA	Proces posouzení vlivu na životní prostředí
v	Rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Úvod

Větrné elektrárny jsou známé již od dávné minulosti a postupně se vyvíjejí. Jejich poptávka stále na trhu stoupá. Důležitou podmínkou využívání větrné energie jsou povětrnostní podmínky a vhodné oblasti, kde chceme postavit větrnou elektrárnu. V České republice v současnosti nalezneme přes 100 větrných elektráren s výkonem vyšším než 1 MW. Největřnější lokalitu mají Krušné hory, takže z ekonomického hlediska je tohle místo nejvýhodnější. V rámci ekologie produkuje větrná energetika čistou energii bez emisí. Hlavním zdrojem větrné energie je Slunce. Výhodou větrných elektráren je její cena a tj. nejlevnější ze všech obnovitelných zdrojů energie.

1 Využití energie větru

Využití větru jako zdroje energie je v současné době hodně populární, především v oblastech s velkou účinností větru. Podstatou energie větru je kvalitní roztočení vrtule nebo-li větrné turbíny. K turbíně musí být připojen elektrický generátor.

1.1 Podstata větru

Nejdůležitějším zdrojem větru je slunce, které zahřívá zemský povrch a nad ním ležící vzduchové vrstvy. Vzduch se postupně ohřívá a stoupá vzhůru, ale také pomáhá dělat místo přicházejícímu studenějšímu vzduchu. Vzduch má tendenci se opakovaně vyrovnávat v atmosféře diferencemi tlaku díky slunci. Tímto jevem vzniká požadovaný vítr. Lze tedy podrobněji říct, že teplý vzduch nad rovníkem stoupá vzhůru a ve směru poledníku by naopak přicházel studený vítr, který by se v horních vrstvách atmosféry vracel k pólům. Nutno zdůraznit, že zemkoule neustále rotuje kolem své osy a díky tomuto jevu působí na vzduchovou vrstvu další síly. Obvodová rychlost se pohybuje od $460 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na rovníku, až k nule na pólech. Vliv na rychlosti větru se mění v závislosti na zeměpisné šířce. [1]

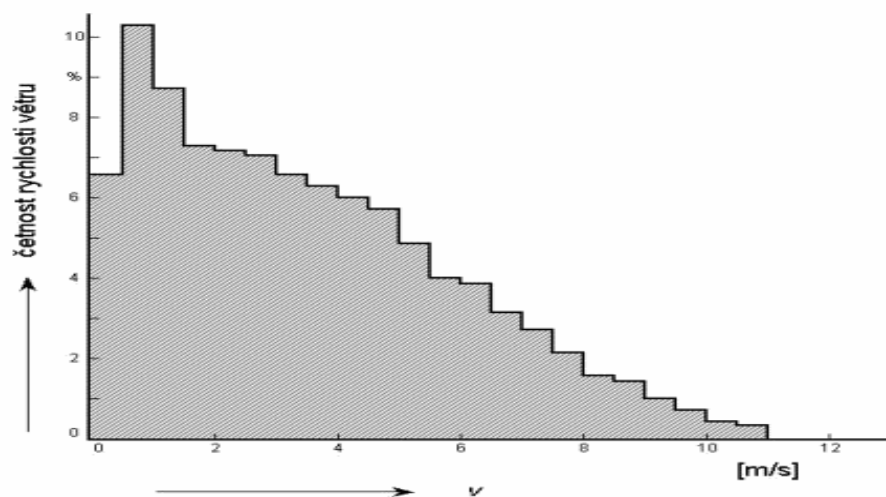
Již od dávné minulosti je zřejmé, že zemská osa je odkloněna o $23,5^\circ$ od roviny a díky tomuto jevu se během roku střídá množství tepla dopadající na určité místo povrchu. Tudiž pochopitelně se bude měnit hustota vzduchu a jeho proudění. Na zemkouli lze rozdělit dvě pásma a tj. vysokého tlaku ležící přímo mezi 30° - 40° severní a jižní šířky a rovníkové pásmo nízkého tlaku. U rovníkového pásma můžeme s jistotou říct, že má vlastnost bezvětří. Je patrné, že z míst vysokého tlaku vzduchu proudí vzduch u zemského povrchu směrem k rovníku a opačně naopak směrem k pólům. Jelikož obvodová rychlost má velký vliv na vzduchovou vrstvu, musí se vzduchová vrstva zpoždovat nebo předbíhat. Je-li obvodová rychlost vyšší vlivem zemské rotace, bude se vzduchová vrstva zpoždovat za otáčejícím povrchem a odchyluje se směrem na západ. Naopak při nižší obvodové rychlosti zemského povrchu rotující prstenec předbíhá pevný povrch, tudíž vítr se musí zákonitě stáčet na východ.

Směr větru je charakterizován podle toho, odkud vítr vane a díky tomu bude převládat různá orientace podle pásem. V tropických oblastech převládá směr větru východním směrem k rovníku. Naopak v pásmech mezi 40° a 60° severní a jižní šířky převládá západním

směrem k pólům. Ve vyšších vrstvách atmosféry je směr proudění inverzní, tudíž do míst vysokého tlaku a proud vzduchu se vlivem rotace zemské osy odchyluje obráceně, než u zemského povrchu. Na obou polokoulích se tak vytvářejí tři samostatně, příčně rotující prstence vzduchu. Z meteorologického hlediska se užívají tlakové výše a tlakové níže, které mají odlišné vlastnosti a jsou také součástí chování větru. Tlaková níže je oblast s nižším tlakem vzduchu a směr větru v téhle tlakové níži směřuje od okrajů do středu. Naopak tlaková výše má v jejím středu tlak vzduchu vyšší než v okolí. Vznik větru je charakteristický pro jeho rychlost, jelikož díky tomu vzniká energie větru. Má nejvyšší vliv na celkový a prakticky i využitelný výkon větru. [2]

1.2 Parametry větru – průměrná rychlost

Hlavním faktorem charakteristiky větru je průměrná hodnota, kterou můžeme brát pouze jako informativní. Díky tomu nám tato hodnota nestačí pro požadovaný výpočet energie. Musíme brát v úvahu, že rychlost větru se stále mění. Touto problematikou se zabývala například meteorologická stanice v Liberci. Graf četností rychlosti větru je rozdělen na vodorovnou a svislou osu. Na vodorovné ose se vynášejí údaje o rychlosti $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo km/h . Na svisle ose je délka časového úseku, která udává jakou uvedenou rychlostí vítr vane. Z uvedeného grafu je patrné, že s přibývajícím rychlostí větru klesá četnost rychlosti větru.



Obr. 1.1 Četnost rychlostí větru na meteorologické stanici v Liberci. [2]

V zemích s rozšířenou podporou a s lepšími povětrnostními podmínkami se samozřejmě věnuje pozornost mnohá léta a také jsou zde lepší a kvalitnější pracoviště. Dokonce se začala vyvíjet počítačová podpora programů pro sestavení map s průměrnými rychlostmi větru a dále z energetického potenciálu pro zvolenou oblast. V ČR zatím není moc kvalitní podpora pro využívání obnovitelných zdrojů energie. Významný posun díky Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR byl rovněž vypracován počítačový program na zhodnocení větrných podmínek pro konkrétní lokality. Tento program stanovuje několik charakteristik větru a tj. pravděpodobná průměrná rychlost s určitou chybou hodnoty, pravděpodobný profil rychlosti ve výšce cca od 10 do 40 m přiřazenou k parametru drsnosti povrchu.

1.3 Intenzita směru rychlosti a větru

Důležitá vlastnost při návrhu větrné elektrárny je měření směru a rychlosti větru. V meteorologických stanicích se provádějí i jiná měření, například: měření barometrického tlaku nebo slunečního záření. Měření se provádí většinou v určitých hodinách a tj. 1,4,7,10,13,16 a ve 22 hodin v zimním období. V letním období se posouvá čas o hodinu. Také předpokládáme středoevropský čas, ve kterém se nacházíme. Rychlost větru se běžně používá v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dalším způsobem je nepřetržité sledování rychlosti větru. K tomu slouží tzv. anemograf, kterým se zaznamenává chod větru pomocí záznamu (běžně za hodinu).

Pro snadnější pochopení značení větru se užívá azimut, kterým se udává po desítkách stupňů. Směr větru se označuje podle toho, odkud vítr vane. Rozlišují se 4 základní směry (výhodní, jižní, západní a severní). Východní směr se značí 09, jižní 18, západní 27 a severní 36. Bezvětrí se označuje jako 00. Je tedy 36 směrů větru.

Nejznámějším přístrojem pro měření rychlosti větru je miskový anemometr. Mezi hlavní částí tohoto přístroje patří permanentní magnet, hřídel a rotor. Poslední jmenovaný rotor se otáčí na svislém hřídeli. Permanentní magnet se používá jako rotor dynama, který je v dolní části. Vzniklý elektrický proud ve statorovém vinutí závisí na rychlosti větru. Jiné anemometry naopak sečítají otáčky kříže s miskami. Také se převádí na napětí. Princip je založen na jevu setrvačnosti rotujících částí a přístroj je ovlivněn s určitým zpožděním na náhlé změny rychlosti. Jelikož vzniká diference zpoždění. [1]

1.4 Znázornění rychlosti větru a výška drsnosti povrchu

Nezbytnou součástí pro sestavení kvalitní větrné elektrárny je rychlost větru, která je ovlivňována zemským povrchem a k němu zcela určitě klesá. V místech, kde je rovný terén, je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivňována pouze drsností povrchu. Pro názornou ukázkou můžeme tedy vypočítat podíl rychlosti k podílu jednotlivých výšek.

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

kde v^* je průměrná rychlost větru ve výšce h nad zemským povrchem a v_0^* udává průměrnou rychlost větru v referenční výšce h_0 , dále h_0 určuje referenční výšku a druhá jmenovaná h je výška nad zemským povrchem, n je exponent korekčního vztahu

Exponent n představuje závislost na drsnosti povrchu a jeho hodnoty pro některé typické povrchy jsou uvedeny v Tab. 1. Pro zjednodušení výpočtu byly exponenty propočteny na poměrné hodnoty rychlostí vyjádřené korekčním součinitelem k_h při odchylce od údaje v referenční výšce 10 m nad povrchem.

Tab. 1 Závislost n korekčního vztahu na druhu povrchu

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

$$v_h^* = k_h \cdot v_{10}^* \quad (1.2)$$

kde k_h je výškový korekční součinitel, následně v_{10}^* určuje rychlost větru ve výšce 10 m nad zemským povrchem a v_h^* udává výslednou rychlost větru na výšce reliéfu povrchu

Hodnoty výškového korekčního součinitele k_h jsou v Tab. 2 pro výšky od 5 do 50 m a pro ty samé charakteristické povrchy označené písmeny v Tab. 1 .

Tab. 2 hodnoty výškového korekčního součinitele k_h

Druh povrchu	Výška h (m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
a	0,91	1,00	1,06	1,10	1,14	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25
b	0,90	1,00	1,07	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,27	1,29
c	0,88	1,00	1,08	1,13	1,18	1,22	1,25	1,28	1,31	1,34
d	0,86	1,00	1,09	1,16	1,21	1,26	1,30	1,34	1,37	1,40
e	0,82	1,00	1,12	1,21	1,29	1,36	1,42	1,47	1,52	1,57
f	0,72	1,00	1,21	1,39	1,55	1,69	1,82	1,95	2,06	2,17

1.5 Větrné podmínky v České republice

V porovnání s ostatními zeměmi naše republika nemá optimální povětrnostní podmínky. I přesto se v ČR nachází pár desítek až stovek větrných elektráren. Za průměrnou rychlost se považuje 6 m/s při požadované výšce 100 m nad zemí, což je z pohledu ekonomiky hranice uspokojení povětrnostních podmínek. Někdo si může klást otázku, proč jsou větrné elektrárny zrovna tak vysoké. Je to v celku pochopitelné, jelikož vzdušné proudění je závislé na chování slunečního záření. Ze slunečního záření vzniká proudění kolmo atmosférou. Bohužel kolem blízkosti země se pohybují určité překážky nebo-li brzdy (stromy, budovy, hřebeny hor...). Tyto překážky mají vliv na zpomalení větru a zvyšují se turbulence kolem povrchu země. Z toho vyplývá, že pro elektrárnu je efektivnější a silnější proudění ve větší výšce. [3]

2 Typy větrných elektráren

Jednotlivé typy větrných elektráren se liší svojí konstrukcí, cenou a hlavně podle osy otáčení. Také je důležité, na jakém principu motory pracují. Rozdělujeme 2 principy a tj. odporový a vztlakový princip. Z hlediska osy otáčení jsou větrné motory s horizontální osou otáčení nebo s vertikální osou otáčení.

2.1 Větrné motory s principem odporovým

Větrné motory s principem odporovým pracují na principu aerodynamického odporu. Jednoznačně patří mezi nejstarší motory a rozdělují se na vodorovné a svislé osy 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“*¹ A to lze konkrétníma metodami.

První variantou může být miskový anemometr, který využívá vlastností příslušné polokoule. Jestliže je polokoule orientovaná dutinou proti směru větru, požadovaný odpor je cca o 3,5 krát větší oproti větru, než vypuklé části miskového anemometru. Ze zákona fyziky je síla působící na polokouli o konstantní rychlosti větru přímo úměrná odporu. Musíme brát v úvahu, že rotor je složen ze 3 nebo 4 dutých polokoulí, jenž jsou uspořádané po obvodu. Cílem této metody je vzniklý moment, který otáčí duté polokoule.

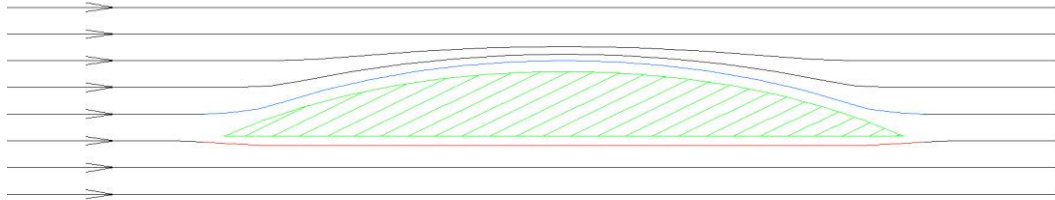
Další možností je rotor s krycím štítem. V podstatě je to jednoduché. Odkrytá část rotoru pohybující se proti větru je kryta štítem. Ten se samozřejmě musí otáčet podle směru větru. Tento způsob lze použít i v uspořádání s vodorovnou osou, ale je překryta spodní polovinou rotoru. Podmínkou u vodorovné osy je fakt, že se větrný motor musí otáčet celý podle směru větru. [1]

2.2 Větrné motory na principu vztlakové síly

Vznik vztlakové síly je závislý na pochopení fyzikální podstaty proudění. Mějme příklad zúžené trubice, kde proudí plyn. Platí rozdílné chování rychlosti a tlaku v užším a širším

¹ Rychetník V., Janoušek J. a kol., Větrné motory a elektrárny, str. 31

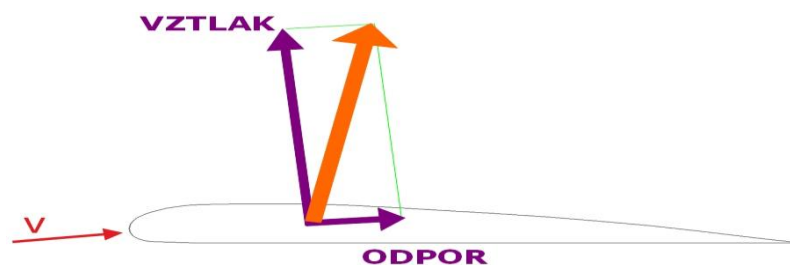
místě. V užším místě je rychlost proudění větší a naopak tlak menší. Naopak v širším místě se to chová inverzně (menší rychlost, vyšší tlak). [5]



Obr. 2.1 Podstata vztlakové síly [5]

Všimněme si červené a modré čáry, které jsou podstatné pro vysvětlení vztlakové síly. Zelenou barvou je myšleno těleso kruhové výseče. Z obrázku je patrné, že červená čára reprezentující proudění vzduchu (pod tělesem) je kratší, než proudění vzduchu nad tělesem (modrá čára). Šipky vlevo znázorňují směr proudění. Před tělesem se ve stejný časový úsek proudy vzduchu rozdělují a za tělesem se opět spojují.

Skutečná vztlaková síla je poměrně citlivá na proud vzduchu. Pokud se změní úhel o nějaký stupeň, výsledná vztlaková síla bude mít jinou velikost. Také odpor se vlivem proudu vzduchu mění. Užitím konkrétního úhlu docílíme maximální výsledné vztlakové síly. Tím je myšleno, že je objekt ofukován pod jedním úhlem.



Obr. 2.2 Výsledná vztlaková síla [5]

Tato teorie vztlakové síly není úplně vysvětlená do detailu, ale svoji podstatou bohatě stačila na vysvětlení.

2.3 Větrné motory se svislou osou

Můžeme je zařadit mezi nejstarší větrné motory a také nejsnazší pro návrh. Velkou výhodou je skutečnost, že vyrábí elektřinu už při rychlosti $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a snadno se dají opravit. Naopak podstatnou nevýhodou je málo produktivní přeměna elektrické energie oproti motoru s horizontální osou otáčení. Tento druh pracuje na dvou principech (odporový, vztlakový). Je uspořádaná tak, že vodorovná osa rotoru je rovnoběžná s osami rotorových listů. Základními typy s vertikální osou jsou Savoniův, Jacksonův, Beatsonův a Darrierův rotor.

Savoniův rotor (turbína) pracuje na odporovém principu. Určitě patří mezi nejnámější turbíny. Rotor se skládá z dvojicí nebo dokonce z trojicí lopatek polokruhovitěho tvaru. Podstatné je, že osa otáčení je kolmá na směr proudění. Savoniova turbína je specifická svojí jednoduchostí. Je vhodná i pro domácí kutily, kteří chtějí například pohánět čerpadlo nebo pumpu. Mezi největší výhody téhle turbíny se mi nejvíce jeví skutečnost, že není třeba osu otáčení natáčet do směru větru.

Dále bych ještě zmínil velký moment od nejnižších rychlostí větru. Samozřejmě jako každá jiná turbína má i své nevýhody. Mezi největší nevýhodu bych zařadil problémovou regulovatelnost a také malou účinnost. V dnešní době se už moc zmíněná turbína prakticky nepoužívá.

Darierrova turbína pracuje na vztakovém principu. Svojí účinností dosahuje o něco vyšších rozměrů, než Savoniova turbína. Osa otáčení je kolmá na směr větru. Zajímavé je, že během vývinu této turbíny byla dodatečně vybavena zařízením pro automatický start a regulaci oproti původní verzi. Opět bych zmínil pár kladných a záporných vlastností. Mezi kladné vlastnosti určitě patří nižší nároky na stožár, dále není nutno turbínu natáčet proti větru. Musím uvést i záporné vlastnosti a tj. horší regulovatelnost a pro rozběh potřebuje vyšší rychlost větru. [6]

2.4 Větrné motory s vodorovnou osou

Využívají vztakového principu a můžeme je zařadit mezi nejnámější používané motory pro větrnou energii. Požadovaný výkon někdy dosahuje až několika MW. Z technologického hlediska se dělí do třech následujících skupin a tj. obecné větrné mlýny,

a pak podle rychlosti se dělí na pomaloběžné a rychloběžné větrné motory. Obecné větrné mlýny se používaly kdysi dávno a momentálně se už nepoužívají. Některé dnes už „vzácné“ větrníky můžeme nalézt taky v ČR. Tento druh se používal i jako pohon vodního čerpadla. Důležitou součástí systému je rotor, který měl 4 lopatky. Aby se natáčel rotor (respektive se natáčí celá střecha), musíme nastavit systém proti větru. Postupně s dokončením techniky se zlepšila konstrukce, takže v dnešní době větrné motory dokážou vygenerovat v podstatě vyšších hodnot využití větrné energie.

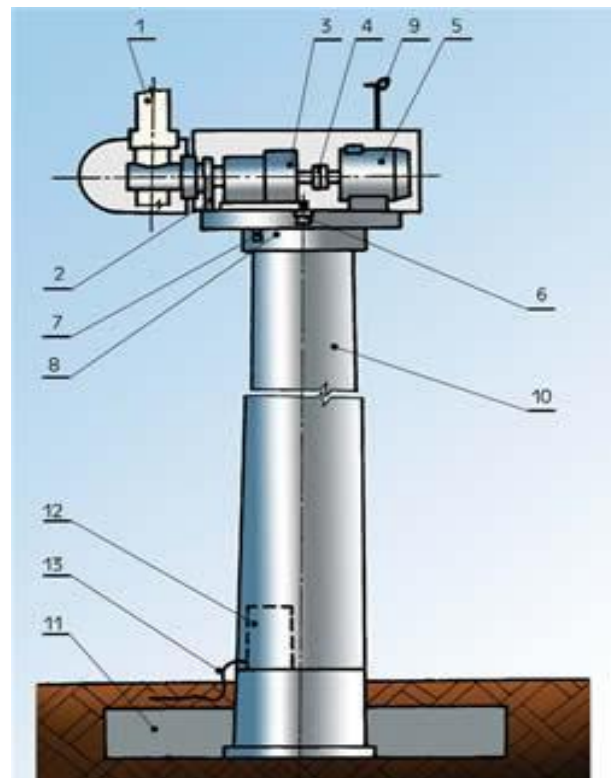
Pomaloběžné větrné motory pocházejí z USA. Rozměr rotoru se obvykle pohybuje kolem 9-15 m. Opět se spíše používali k pohonu vodních čerpadel nebo pro potřebu farem. Mezi nevýhody bych zařadil velkou hmotnost i plochu. Jelikož se rotor postupně zvyšoval, konstrukce by byla namáhavější, tudíž se nedoporučuje průměr nadále zvětšovat. Naopak bych jako výhodu zmínil možnost vlastní cestou celý rotor vytvořit.

Pouze rychloběžné větrné motory se nejvíce používají na výrobu elektrické energie. Obrovskou výhodou je velmi malá hmotnost, která se pohybuje kolem jednotek kilogramů. Podle konstrukce rotor obsahuje vrtuli a ta má odpovídající počet listů (nejčastěji 2 - 3 listová). Účinnost rotoru šplhá až k 40 %. Podstatný je aerodynamický profil listu, ale pouze u větších větrných motorů. Princip spočívá v dosažení vysoké účinnosti, lépe řečeno k dosažení maxima. Profil se různě mění po obvodu listu takovým způsobem, aby byl dosažen co největší rozsah pracovních výkonů.

2.5 Základní části větrného motoru na principu vztlakovém

Hlavní části větrného motoru :

- 1 - rotor s hlavicí a listy
- 2 - brzda rotoru
- 3 - planetová převodovka
- 4 - spojka
- 5 - generátor
- 6 - servo-pohon natáčení strojovny
- 7 - brzda točny strojovny
- 8 - ložisko točny strojovny
- 9 - čidla rychlosti a směru větru
- 10 - několikadílná věž elektrárny
- 11 - betonový základ elektrárny
- 12 - elektrorozvaděče řídicího obvodu
- 13 - elektrická přípojka



Obr. 2.3 Základní části větrného rotoru [7]

Následující části větrného motoru jsou nezbytnou součástí pro správné fungování systému. Hlavními částmi zařízení je bezpochyby rotor a generátor. Rotor je v provozu, je-li na něj působená větrná energie, tudíž musí foukat vítr na lopatky rotoru. Lopatky mají aerodynamický profil. Tudíž účelem rotoru je změna proudění větru na otáčivý pohyb. Pomocí generátoru se tento pohyb přeměňuje dále na elektrickou energii.

Elektrické generátory jsou trojího typu. Nejrozšířenější jsou asynchronní a synchronní. Ještě se používali stejnosměrné, které jsou vhodné pro mikroelektrárny při stejnosměrném napětí 12 V. Asynchronní generátory se otáčejí asynchronními otáčkami. Můžeme říct, že jsou téměř synchronní, ale nikdy se nebudou otáčet synchronní rychlostí. Tenhle typ generátoru připojujeme přímo k distribuční síti. Používají se 4polové nebo 6polové generátory s otáčkami 1500 ot/min a 1000 ot/min. Nejpoužívanější jsou synchronní generátory, které jsou vhodné pro malé, střední i velké elektrárny. Hlavní výhodou je bezpochyby velká účinnost. Naopak pro svoji činnost potřebují synchronní otáčky. Ještě bych doplnil, že pracují s velkým rozsahem rychlosti větru.

3 Vhodné lokality a kritéria pro výběr větrné elektrárny

Někteří si možná myslí, že postavit větrnou elektrárnu je velmi snadné. Jsou tedy na omylu, jelikož se jedná o velice náročný proces. Vhodnou lokalitu musíme nejdříve pořádně prostudovat z hlediska několika kritérií, které jsou nezbytnou součástí tohoto systému. Celý proces i s výstavbou větrné elektrárny trvá obvykle 3 až 5 let.

3.1 Kritéria pro výběr příslušné lokality

Pokud mám vybranou oblast, nejdříve si musím zodpovědět pár otázek a tj. bude v dané lokalitě dost foukat? Řekl bych, že tenhle faktor je ze všech nejdůležitější. Tímto rébusem nám pomůže odhalit Větrná mapa Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd v ČR a pokud to není dostačující, pomůžou i data s Českého hydrometeorologického ústavu. Posuzujeme, jaký je terén a jeho reliéf (kopce, údolí, lesy...).

Jestliže máme vyřešeny povětrnostní podmínky, musíme se zamyslet nad otázkou, jestli daná lokalita není chráněna zákonem. Určitě nemůžeme větrnou elektrárnu postavit v nějaké chráněné oblasti. Tedy ani v lese nebo v bezprostřední blízkosti všech památek. Dalším kritériem je úvaha, jestli jsou v lokalitě podmínky pro možnou výstavbu. Do této kategorie spadá například dostatečná vzdálenost od obydlí, silnic. Dále nesmím opomenout přístup pro dopravu dílů pro větrné elektrárny. Je patrné, že se musíme pohodlně dostat na konkrétní místo s příslušnou výbavou větrné elektrárny. Ještě sem spadá vhodné podloží nebo-li lépe řečeno možnost dobře vypodložit větrnou elektrárnu pro její bezpečnost. Bez myšlenky připojení do rozvodné elektrické sítě nemá smysl větrnou elektrárnu postavit.

Posouzení vlivu na životní prostředí má razantní dopad na vhodnou lokalitu. Environmental Impact Assessment (EIA) nejdříve posoudí možný dopad elektráren na živé i neživé subjekty v blízkém, ale i ve vzdálenějším okolí. Konkrétně zvířata, rostliny, půdu, krajinu a obyvatelé. Výsledkem tohoto řádu vzniknou bohužel další požadavky na projekt, výstavbu a konečný provoz. Dá se říct, že téměř většina projektů musí podstoupit EIA. [8]

Kdybych například osobně prozkoumával jednotlivé lokality, vybral bych si tu část krajiny, kde vítr fouká nejvíce. Největší průměrná rychlost se vyskytuje na hřebenech hor a konkrétně Krušné hory. Je známo, že právě v Krušných horách budí zájem nejvíce investorů.

Musíme počítat s určitými překážkami. Třeba se nesmí větrná elektrárna stavět na hřebenech hor moc vysoko, jelikož by mohla narušovat síť dopravních letadel. Dále díky nízké teplotě, někdy až hluboko pod bodem mrazu, se můžou zničit lopatky. Tenhle problém může vyřešit vyhřívání lopatek, které je ale bohužel finančně náročné na pořízení. Ještě je třeba zmínit fakt, že vítr může foukat vysokou rychlostí. V takovém případě se může pozastavit provoz větrné elektrárny a je to mnohem výhodnější, než případné zničení elektrárny.

3.2 Vliv občanů na větrné elektrárny

Zvláštním kritériem pro výběr lokality jsou také občané. Jestliže se občané postaví proti postavení větrných elektráren, stavba nebude povolena. Naposled se o tom přesvědčila německá firma Otswind, která chtěla postavit až dvousetmetrové stožáry, což je obrovské číslo. Investor připraví konkrétnější plán výstavby a pokusí se s tím oslovit příslušnou obec. Tento projekt představí zastupitelstvu obce a obyvatelům. Obec následně většinou uspořádá anketu v podobě hlasování a na základě procentuálního souhlasu/nesouhlasu vyhodnotí výsledek. V případě zájmu obce se obec stává hlavním partnerem investora při realizaci objektu.

Jestliže obec souhlasí s návrhem, následně se investor pustí do přípravy projektu a povolovacího zařízení. Patří sem například zjištění stavu elektrické sítě a možnosti připojení. Dále pak zajištění právního souhlasu vlastníků konkrétních pozemků. Nedílnou součástí je také vyjádření některých úřadů k projektu a studií pro pokračující řízení a tj. ornitologický průzkum. A také nejdůležitější vlastní měření větru na lokalitě po dobu nejméně 1 roku. Musí se také dbát na územní plán obce. Konkrétní výstavba musí být v souladu s územním plánem obce. Může se stát, že obec s tímto plánem nepočítá, potom by měla obec zajistit jeho změnu.

3.3 Stavební řízení a stavba větrné elektrárny

Stavební řízení se uvažuje pouze tehdy, projde-li investor územním řízením. Tudíž získá pravomocné územní rozhodnutí o umístění stavby. Pak tedy může s přehledem požádat o zpřístupnění stavebního povolení. Toto řízení už by mělo být tzv. formalitou a řeší se už spíše technická stránka stavby a hlavně jejího provedení. Jestliže dojde investor až do fáze stavebního povolení od nápadu, trvá to obvykle 3 - 5 let. Pro někoho je to dlouhá doba, ale ve výsledku se tahle náročná práce může náramně ekonomicky dobře vyplatit. Stavební fáze už nabírá rychlý spád, tudíž je relativně krátká v závislosti na velikosti projektu nebo typu technologie. Stavba probíhá většinou několik týdnů. Záleží totiž na pohyblivosti počasí. Následně montáž větrné elektrárny trvá nejkratší dobu a tj. 3-5 dní. Zde hrají hlavní roli povětrnostní podmínky.

V územním řízení se řeší podmínky umístění stavby a provedení výstavby. Investor nesmí opomenout o požádání speciální orgánů, například EIA. Dalším stanoviskem je souhlas konkrétního úřadu pro zásah do krajinného rázu. Opět je součástí územního řízení účast veřejnosti. Proces územního řízení může trvat až jeden rok.

3.4 Kolaudační řízení a zkušební provoz

Po stavbě větrné elektrárny následuje zkušební provoz, který může trvat několik měsíců nebo v lepší variantě několik dní. Provozovatel spolupracuje s výrobcem větrné elektrárny a s provozovatelem sítě. Tito správci ověřují elektrárnu v provozu, její vlivy a v neposlední řadě doladují nastavení.

Dále se uskutečňuje kolaudační řízení. Pro někoho je to zcela neznámý druh řízení. Hlavním kritériem tohoto řízení je úřad, který ověřuje stavbu, jestli byla provedena podle příslušné dokumentace. Může i stanovit nutné podmínky pro provoz a povolí užívání stavby, také ještě ostrý provoz. Podle časového harmonogramu trvá tento proces několik měsíců.

Nesmím zapomenout na financování projektu. Je to nedílná součást stavebního povolení. Investor musí zajistit financování projektu. Například pomocí bankovního úvěru. Dále má povinnost objednávat větrné elektrárny, jejich výrobu a dopravu. Poté následuje ostrý provoz. Životnost větrných elektráren se nedá časově přesně definovat. Výrobci počítají s provozem

20 roků, ale pokud se pokazí nějaká hlavní část elektrárny a nepůjde nějakým způsobem opravit, musí se větrná elektrárna vyřadit s provozu.

3.5 Hlučnost větrných elektráren

Jelikož je často obec proti výstavbě větrné elektrárny v dané lokalitě také díky hluku, snaží se společnost pro větrnou energii hluk monitorovat a dostatečně nastavit vzdálenost pro bezpečnost a pohodlí občanů. Už během zkušebního provozu elektrárny se uskutečňuje kontrolní měření hluku ve speciální laboratoři. Závislým parametrem s hlukem je spojována otázka infrazvuku. Díky laboratorním měřením se zjistilo, že emise jsou podlimitní a to hlavně u moderních větrných elektráren. Výrazem podlimitní rozumíme tzv. vlastnost nižší frekvence, než je lidské ucho schopné rozeznat. Dokonce i v poměrně krátké vzdálenosti. Tento jev je pouze ojedinělý a pouze tehdy, je-li nějaká mechanická porucha.

Dále bych poukázal na možné kritérium, které je nutné zdůraznit, že větrné elektrárny nemají praktický žádný špatný vliv na ptáky nebo zvěř oproti lidstvu. Existuje organizace pro ochranu ptáků, která je upřednostňována změnou klimatu za podstatnou hrozbu pro ptačí druhy. Dále existují větrné farmy a tyto farmy se neumisťují v území, kde by teoreticky mohly ohrožovat hromadné množství ptactva nebo netopýrů, tedy jako příklad migračních tras.

Samozřejmě je také analyzováno vliv větrné elektrárny na chráněné druhy zvířat a to už v přípravné fázi projektu. Musí se dbát na bezpečnost jakéhokoliv druhu zvířat. Opět pod dozorem společnosti EIA. Zaměřím-li se konkrétně na úmrtnost ptactva vzhledem k její příčině, zjišťují podle níže uvedené tabulky, že připadá úmrtnost jednoho ptáka na jednu větrnou elektrárnu. Je to nesrovnatelné číslo oproti úmrtnosti ptactva v oknech budovy nebo vedení vysokého napětí. [8]

Tab. 3 Úmrtí ptactva na její příčině [9]

Typ překážky	počet kusů
Budovy a okna	19300
Vedení vysokého napětí	4560
Kočky	3510
Kamiony	2810
Pesticidy	2350
Komunikační věže	158
Větrné elektrárny	1

3.6 Stroboskopický efekt

Tento efekt způsobuje pohybující se rotor, který je závislý na energii větru. Je zřejmě, že je to zcela nežádoucí jev a také ho zařazuju do kritérií pro vhodnou lokalitu, jelikož díky tomuto jevu se větrná elektrárna staví nejméně 0,6 km od obydlí. Stroboskopický efekt lze definovat jako míhání stínu už zmiňovaného rotoru. Díky zkušenosti s realizovanými projekty se přesněji vypočítala vzdálenost a tj. 0,6 - 0,7 km, a proto při návrhu se bere výrazněji v potaz již zmiňovaná negativní vlastnost. Pokud umístíme elektrárnu vzdáleněji od obydlí, obrysy stínu jsou rozostřené nebo-li viditelnost a rozeznatelnost by byla malá.

Stroboskopický efekt nastane tehdy, jsou-li splněny 3 následující předpoklady. Větrná elektrárna musí vykonávat energii, sluneční svit není pokrytý oblačností, tudíž je jasno a rotor je nastaven kolmo k pozorovateli. Už při návrhu rozmístění větrných strojů je hledisko efektu zohledňováno. Díky rozvíjející se technologii se pomocí simulačního softwaru může přesně nastavit, v jakých hodinách a dnech může k efektu docházet. Pokud je riziko tak velké, může dojít například k částečnému vyřazení větrné elektrárny z provozu v určitých hodinách.

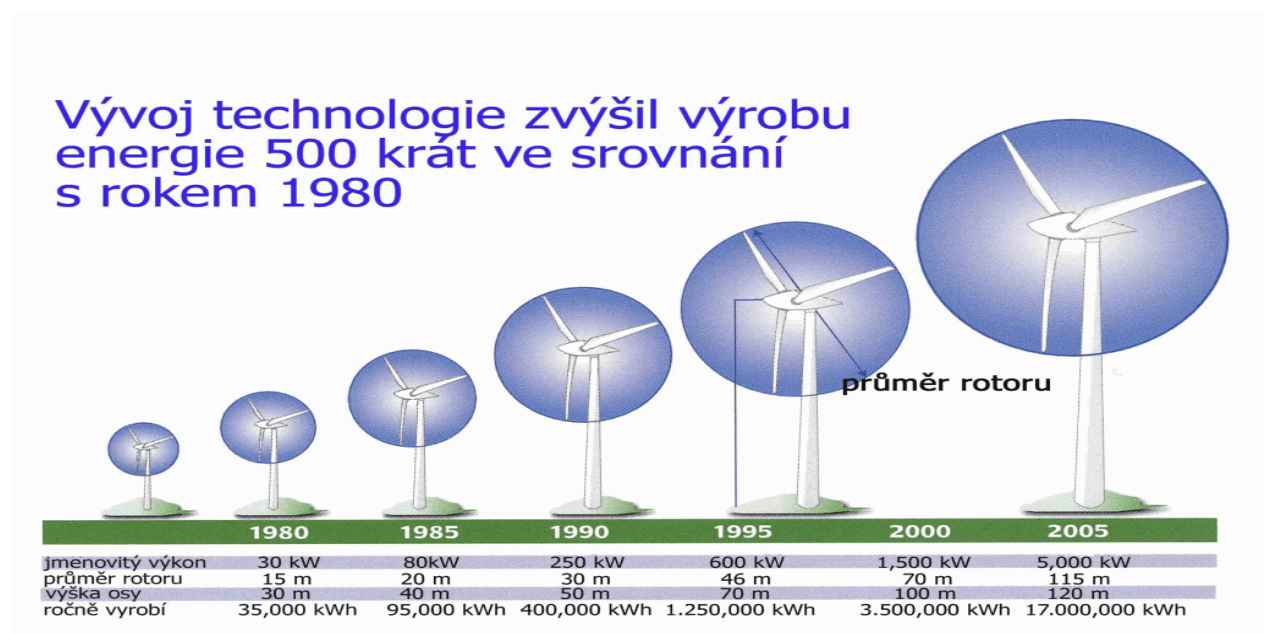
V dnešní době se staví elektrárny od obydlí kolem 1 km. Je to dostatečná a bezpečná vzdálenost a stroboskopický efekt není tak výrazný. Je nutné zdůraznit možné následky tohoto jevu a tj. u citlivých jedinců. Například u osob trpících epilepsií může způsobit epileptický záchvat. [8]

3.7 Vývoj velikosti větrných elektráren z hlediska stavby

Větrné elektrárny můžeme vidět libovolně vysoké, jelikož v jiné lokalitě jsou kladeny různé podmínky pro výšku elektráren. Pokud nahlédneme do historie, každého napadne zvyšující se trend stále větších větrných elektráren. Se zvětšujícími rozměry se zákonitě zvětšuje konkrétně u generátorů jejich výkon. Také větší rotor umožňuje zvýšit energii a v podstatě i větší stožár usnadňuje umožnit klidnější a silnější vzduchové proudění, respektive vítr.

Jestliže se v současnosti staví větrné rotory s osou rotoru až kolem 160 m, musí se daleko víc dbát na bezpečnost stavby, jelikož celý návrh elektrárny je finančně dost nákladný. Pro představu letadlo Airbus má rozpětí křídel pouze 80 m v porovnání s dnešními větrnými motory. Jasným kritériem pro mnohem větší velikost elektrárny je bezpochyby menší turbulentní proudění, tudíž je to jev žádoucí. Instalovaný výkon od roku 2012 je kolem 20 MW.

Samozřejmě je nutné kvalitně vymyslet přenos dodávky energie do příslušných obytných domů. Zvlášť je určena speciální budova pro přístupné obchodní měření. V dolní části stožáru jsou umístěny spínací stanice, odpojovače linky a ochranné linky. Ještě se větrné elektrárny propojují s elektrickou sítí, která je umístěna poblíž lokality.



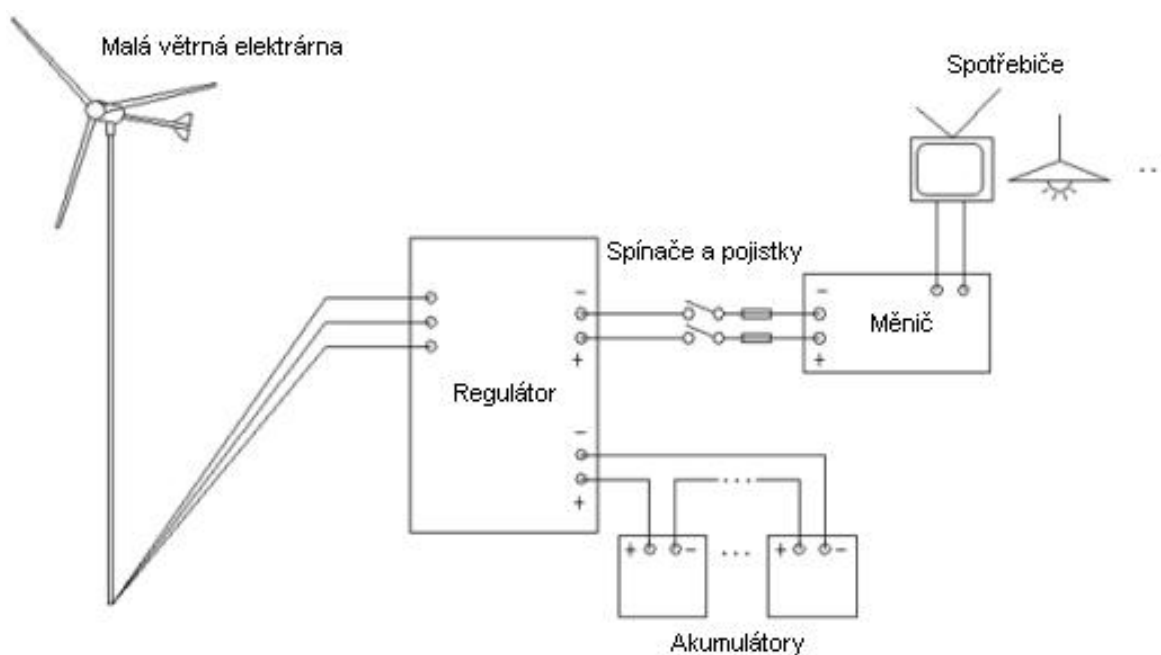
Obr. 3.1 Vývoj technologie průměru rotorů [10]

4 Návrh větrné elektrárny

V dnešní době přibývá domácích kutilů, kteří si staví vlastní větrnou elektrárnu na chatě. Je to ale velice náročný proces, pokud chceme mít co nejefektivnější elektrárnu.

4.1 Teoretické základy návrhu

Tenhle návrh se bude týkat malé větrné elektrárny v blízkosti Krušných hor. K tomu je potřeba samozřejmě elektrická síť. Základem návrhu je permanentní generátor, jelikož vykonává střídavý proud. Ten je následně usměrněn a pomocí regulátoru se nastaví amplituda napětí na konstantní hodnotu. Měnič může poskytnout jiné napětí pro různě volitelné spotřebiče. Akumulátor slouží jako náhrada energie při špatných povětrnostních podmínkách.



Obr. 4.1 Schéma zapojení malé větrné elektrárny [11]

4.2 Určení příslušné lokality

Už v třetí kapitole jsem zmiňoval vhodné lokality pro stavbu větrných elektráren. Široký zájem investorů se snaží postavit elektrárnu právě do Krušných hor, kde jsou ideální podmínky pro stavbu. Samozřejmě můžeme nalézt i v jiné části ČR (Jizerské hory, Orlické hory, Jeseníky), kde jsou akceptovatelné povětrnostní podmínky, ale pro nejefektivnější účinnost bych zvolil právě už zmiňované hřebeny Krušných hor.

Nejdříve bych potřeboval změřit povětrnostní podmínky v rozmezí jednoho roku. Téhle problematice se podrobně věnuje pan Rychetník v knížce a vložil jsem ji do přílohy 1

4.3 Návrh spotřeby celkové energie

Větrná elektrárna bude hlavně dodávat energii do ohřevu teplé vody a domácích spotřebičů, jelikož na vytápění by nám nepokryla naše VtE energii. Chata se skládá se z obývacího pokoje, kuchyně, chodby, koupelny společně s toaletou. V níže uvedené tabulce je vidět, kolik procent právě obsahuje vytápění oproti ohřevu teplé vody za celkový rok, tudíž nemá smysl ještě dodávat energii do vytápění. Domácí spotřebiče nejsou na tom tak špatně, jelikož se v dnešní době vyrábí hlavně úsporné spotřebiče. V chatě budou hodnoty odečtených hodin velmi nízké, jelikož chata je pouze rekreační.

Tab. 4 Rozdíl spotřeby elektrické energie [12]

	Spotřeba energie za rok			
	rodinný dům		byt	
Vytápění	22 200 kWh	71,30%	10 556 kWh	54,20 %
Teplá voda	5 256 kWh	16,90%	5 256 kWh	27,00 %
Domácí spotřebiče	3659 kWh	11,80%	3659 kWh	18,80 %

Dále bude využívána VtE pro osvětlení. Pro ušetření energie jsem si pořídil úsporné žárovky (kompaktní žárovky). Navrhovaná spotřeba může klesnout až na čtvrtinu oproti normálním žárovkám.

Tab. č.5 Spotřeba elektrické energie osvětlením [12]

Místnosti	kompaktní zářivky	
	příkon [W]	spotřeba/rok
WC	15 W	8 kWh
Koupelna	26 W	19 kWh
Chodba	23 W	13 kWh
Kuchyně	23 W	13 kWh
Celkem	87 W	53 kWh

Také bude VtE zásobovat domácí spotřebiče a tj. chladničku, pračku, úspornou televizi.

Chladnička AEG S72700DSX1 nerez spotřebuje roční energii 185 kWh/rok. [13]

Automatická pračka Logixx 8 má spotřebu energie 189 kWh/ rok. [13]

Televize LCD Philips, budeme-li uvažovat denně 4 - 5 h sledování televize, tak roční spotřeba bude činit přibližně 213 kWh/ rok.

Nyní mohu určit celkovou spotřebu energie dodávanou větrnou elektrárnou, kterou uvedu v tabulce.

Tab. 6 Celková spotřeba energie za rok

VtE	Spotřeba za rok [kWh]
Teplá voda	100
Osvětlení	53
Chladnička	185
Automatická pračka	189
LCD televize	213
Celkem	740

4.4 Návrh větrného motoru

Nejdříve je nutné si uvědomit, že většina větrných elektráren se rozbíhá při rychlostech $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a víc. Na začátek si vypočítáme teoretický výkon vzdušného proudu závislý na 1 m^2 plochy, která je kolmá ke směru větru

$$P_t = \frac{\rho}{2} \cdot v^3 \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (4.1)$$

kde ρ je hustota vzduchu s konstantní hodnotou ($1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a v určuje rychlost větru udávanou v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Poté můžeme vypočítat celkovou energii jednoduchým způsobem a tj. součinem teoretického výkonu a dobu trvání výkonu.

$$E = P_t \cdot t_p \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (4.2)$$

kde P_T je teoretický výkon vzdušného proudu a t_p určuje dobu trvání výkonu

Dalším krokem je jednotlivý součet energií při různých rychlostech větru a následně se vypočítá celková teoretická energie vzdušného proudu za rok.

$$E_{\text{tr}} = \frac{\sum E \cdot 8760}{100} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (4.3)$$

Jelikož 8760 je počet hodin v 1 roce. Aby teoretické výsledky byly přehledné, vše shrnu do přílohy 2.

Při nahlédnutí do přílohy 2 je zřejmé, že můžeme teoreticky získat 3045 kWh. Nyní můžeme vypočítat potřebný výkonový součinitel, který si podle součinitele vybereme níže uvedený rotor z tabulek. K tomu je ještě potřeba vědět celkovou roční spotřebu energie, kterou jsem provedl v tabulce 6 a tj. 740 kWh.

Pokud podělíme teoretickou energii a celkovou roční spotřebou, vyjde nám tížený výkonový součinitel. Samozřejmě dosazují veličiny v kWh, tudíž výkonový součinitel nám vyjde bezrozměrný.

$$C_p = \frac{E_{spot.}}{E_{tr}} = \frac{740}{3045} = 0,24 \quad (4.4)$$

kde $E_{spot.}$ je celková roční spotřeba energie a E_{tr} určuje teoretickou energii vzdušného proudu za rok

Jestliže máme vypočítaný příslušný výkonový součinitel, podle typu rotoru vybereme nejvhodnější typ a můžeme vypočítat jeho výkon. Z níže uvedené tabulky vyplývá, že variant pro příslušný výběr je několik. Nejbliže hodnotám výkonového součinitele se blíží Savonius dělený, ale také můžeme použít Třílistý i Dvoulistý rotor.

Tab. 7 Typické hodnoty výkonových součinitelů [15]

Typ	$C_{p\ opt}$	λ_{opt}	λ_{max}
Mnoholopátkový rotor (amer.)	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

Rozhodl jsem se pro **třílistý rotor**, jelikož je mi nejvíce blízký. Ještě musíme řešit úvahu průměru rotoru. Čím větší průměr rotoru, tím vyšší výkon. My chceme, aby nepřekročil

výrazně vyrobenou energii od spotřebované energie. Volím tedy rotor s průměrem 2 m, výkonový součinitel 0,24 a také hustotu vzduchu $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nyní už známe vše potřebné pro výpočet výkonu.

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

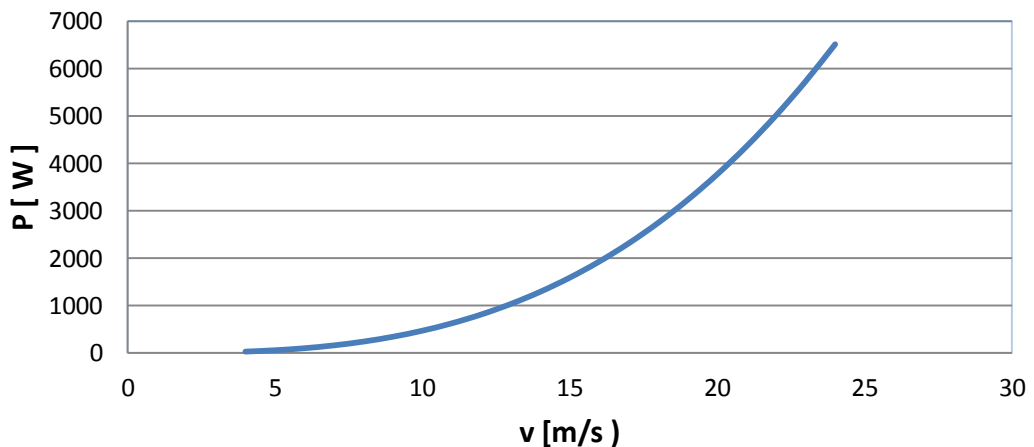
kde ρ je hustota vzduchu s konstantní hodnotou, dále C_p vyjadřuje výkonový součinitel, A udává plochu rotoru a v^3 je rychlost větru úměrná třetí mocnině

Pro přesnější výpočet dosadíme za $A = \pi r^2$ obsah plochy.

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot C_p \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (4.6)$$

Z přílohy 2 vyplývá, že roční výroba elektrické energie činí 2390 kWh. Vyrobená elektrická energie je přibližně 3krát větší, jelikož spotřebovaná energie činí 740 kWh. Nabízí se otázka, co provedeme se zbytkovou energií. Variant je více, nicméně by bylo rozumné zmenšit průměr rotoru a díky tomu se vyrobená energie zákonitě zmenší. Samozřejmě nám vyšší výroba může pokrýt ztráty například při akumulování energie do akumulátorů. Další možností je využití energie ekonomicky, například prodejem do sítě.

Průběh výkonu navrženého rotoru



Obr. 4.2 Graf závislosti výkonu na rychlosti třílístého rotoru

Z grafu je zřetelné, že s třetí mocninou rychlosti větru se zvyšuje výkon rotoru. Opět jsem zanedbal rychlosti větru do 4 m/s.

Dalším parametrem pro návrh VtE je rychloběžnost, kterou udává Tab. 7. Hodnoty této rychlostní konstanty jsou v rozmezí $\lambda = 2,5 - 6$. Volím tedy $\lambda = 5$, jelikož právě menší rotory mají vyšší rychloběžnost. Nyní si stačí zvolit jmenovitou rychlost v příloze 1, kde udává $v = 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a odpovídající výkon $P = 241,15 \text{ W}$.

Pokud máme stanoveny jmenovité hodnoty společně s rychloběžností, můžeme spočítat obvodovou rychlost konců lopatek a také jmenovité otáčky. Nejdříve tedy obvodovou rychlost u_R můžeme vyjádřit následujícím způsobem.

$$\lambda_{opt} = \frac{u_R}{v} \Rightarrow u_R = \lambda_{opt} \cdot v = 5 \cdot 8 = 40 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (4.7)$$

kde u_R je obvodová rychlost, v určuje jmenovitou rychlost a λ_{opt} udává rychloběžnost

Obvodová rychlost konců lopatek je 40 m/s. Poté si vypočítáme jmenovité otáčky, které používají stejný vzorec.

$$\lambda_{\text{opt}} = \frac{u_R}{v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n_j}{60v} \Rightarrow n_j = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \lambda_{\text{opt}} = \frac{60 \cdot 8}{2 \cdot \pi} \cdot 5 = 382 [\text{min}^{-1}] \quad (4.8)$$

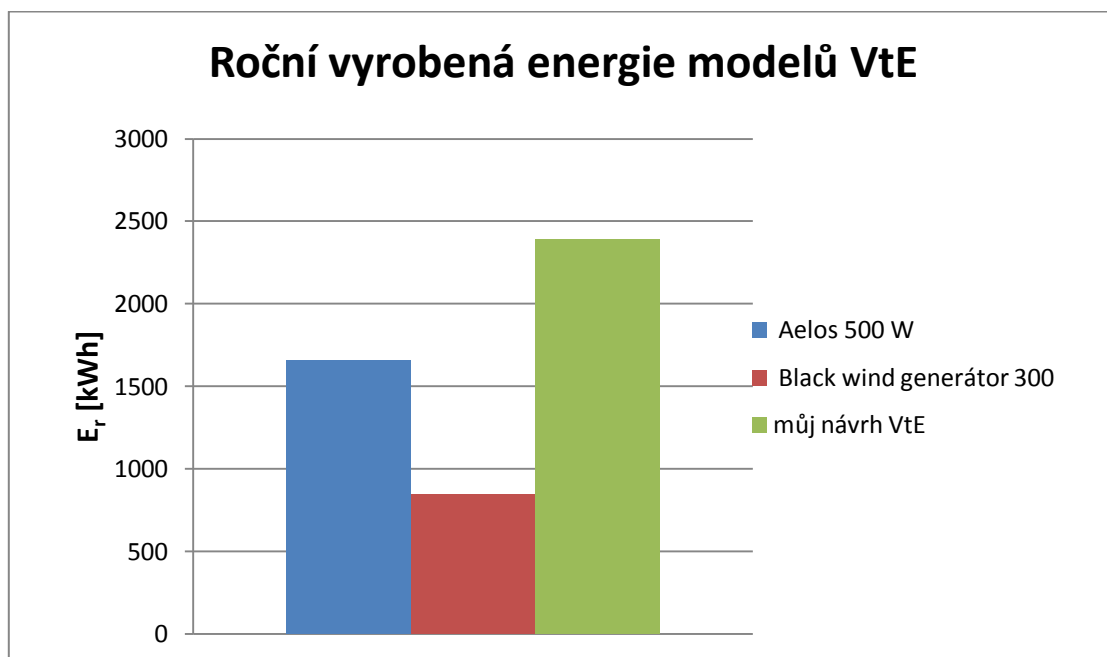
kde n_j jsou jmenovité otáčky, R udává poloměr rotoru, dále v určuje rychlost větru a u_R označuje obvodovou rychlost

Volím $R = 1$ m, tudíž můžeme zanedbat tento poloměr pro jmenovité otáčky. Navržené hodnoty sepíšu do tab. 8. [16]

Tab. 8 Parametry navrženého rotoru

Parametry VtE	Návrh VtE
jmenovitý výkon [W]	241,5
jmenovitá rychlost [m·s ⁻¹]	8
otáčky [min ⁻¹]	382
výkonový součinitel [-]	0,24
průměr rotoru [m]	2
obvodová rychlost [m·s ⁻¹]	40
rychloběžnost [-]	5
rozběhová rychlost [m/s]	4

Pokud máme navrženou větrnou elektrárnu, můžeme ji porovnat s nabídkami firem a poté zhodnotit v grafu vyrobenou energii s naší navrhovanou větrnou elektrárnou. Konkrétně jsem vybral dva modely a tj. **Black wind generátor 300** a **Aeolos 500W Streetlight**.



Obr. 4.3 Teoretická vyrobená energie tří typů větrných elektráren

Tab. 9 Technická data pro Aeolos 500W Streetlight.[16]

Technická data	Aelos 500 W streetlight
nominální výkon [W]	500
nominální rychlost [m*s ⁻¹]	6,5
průměr rotoru [m]	1,7
napětí [V]	24
počet listů [-]	3



Obr. 4.4 model Aeolos 500 W Streetlight [16]

Tab. 10 Technická data pro Black wind generator 300 [17]

Technická data	Black wind generator 300
nominální výkon [W]	343
nominální rychlost [m . s ⁻¹]	6,5
průměr rotoru [m]	1,22
napětí [V]	12 nebo 24
počet listů [-]	3



Obr. 4.5 model VtE Black wind generator 300 [17]

5 Závěr

V bakalářské práci jsem nejdříve popisoval teoretické základy využití energie větru (kapitola 1). Poté následovalo základní rozdělení větrných motorů z hlediska funkce a také z hlediska osy otáčení (kapitola 2). Následně jsem analyzoval kritéria pro výběr lokality a stavbu větrných elektráren (kapitola 3).

Při vlastním návrhu jsem si zvolil podle Větrné mapy České republiky (příloha 5) lokalitu, kde vítr fouká nejvyšší průměrnou rychlostí, konkrétně vrcholy Krušných hor a podle příslušného schématu zapojení (obr. 4.1) sestavil jednotlivé bloky důležité pro funkci větrné elektrárny. V příslušné lokalitě bychom museli provádět min. roční měření, ale pro tento návrh jsem vyšel z rychlosti četností větru z knihy V.Rychetníka (příloha 1) s průměrnou rychlostí 6 m/s. Dalším bodem je napájení spotřebičů, které chceme napájet a tj. osvětlení, automatická pračka, chladnička, LCD televize a také ohřev teplé vody. Dále bylo potřeba stanovit roční spotřebu energie, která činila 740 kWh (tab. 6).

Poté následuje teoretický návrh větrného rotoru. Vypočítal jsem si přibližný teoretický výkon vzdušného proudu na 1 m^2 a uvedl společně s celkovou energií do přílohy (příloha 2). Z přílohy uváděné teoretický výkon větru za rok (příloha 2) vychází, že roční teoretický výkon je $E_{tr} = 3045 \text{ kWh.m}^{-2}$. Pokud máme vypočítanou roční spotřebu energie a zmíněný roční teoretický výkon, lze vypočítat výkonový součinitel, který mi vyšel $C_p = 0,24$. Pomocí výkonového součinitele jsem si mohl vybrat z variant větrných rotorů, avšak kvůli lepší rychloběžné konstantě použil třílistý rotor (tab. 7).

Následoval vlastní návrh VtE s průměrem rotoru 2 m s roční výrobou energie $E_{tr} = 2390 \text{ kWh}$ (příloha 3). Rozhodl jsem se tenhle návrh porovnat s modely Black wind generátor 300 a Aepolos 500 W (příloha 4 - 5). Díky menšímu průměru rotoru těchto modelů vznikla vyrobená energie menší a pro nás postačující pro návrh, jelikož by jsme si museli položit otázku, co provést se zbytkovou vyrobenou energií. Tudíž nejvýhodnější je model Aepolos 500 W, jenž má 2krát větší vyrobenou energii vůči roční spotřebované energii.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HALENGA. U.: *Malá větrná elektrárna, přepracované a druhé rozšířené české vydání*
- [2] RYCHETNÍK. V a kol.: *Větrné motory a elektrárny*.
1. vyd., Vydavatelství ČVUT, Praha 1997, 199 stran, ISBN 80-01-01563-7
- [3] RYCHETNÍK. V a kol.: *Větrné motory a elektrárny, str.16*
- [4] *Brožura "Větr - energie budoucnosti"* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/brozura-vitr-energie-budoucnosti-/405.html>
- [5] *Vznik vztlaku* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clank>
- [6] *Darrieova turbína* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Darrieova_turb%C3%ADna.html
- [7] *Energie větru* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/energie-vetru.html>
- [8] *Povolovací proces pro projekty ViE* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.csve.cz/clanky/povolovaci-proces-pro-projekty-vte/521.html>
- [9] *Brožura "Větr - energie budoucnosti"* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/brozura-vitr-energie-budoucnosti-/405.html> str.26
- [10] *Větrná energie* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.eurosolar.cz/phprs/data/texty/images/vitr-vyvoj-technologie.gif.html>
- [11] *Větrná elektrárna ø3.2m* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.ecoshop.cz/vyrobek/438/.html>
- [12] *Energoblok* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.energetika.cz/?id=71&cl=356.html>
- [13] *Domácí elektrospotřebiče* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: http://www.bosch-home.com/Files/Bosch/Cz/cz/Document/katalogy_podzim13/Bosch_katalog_Solo_podzim13.pdf.html
- [14] RYCHETNÍK. V a kol.: *Větrné motory a elektrárny*. 1. vyd., Vydavatelství ČVUT, Praha 1997, 199 stran, ISBN 80-01-01563-7, str.49
- [15] Edl, O.: *Bakalářská práce, Návrh větrné elektrárny*
- [16] *Aeolos 500W Streetlight* [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné
z: <http://www.energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/mikro-vetrne-elektrarny/.html>
- [17] *Malá větrná elektrárna Black Wind Generator 300* [online]. [cit. 2014-06-04].
Dostupné z: <http://www.solareconomic.cz/solarec/eshop/0/3/5/358-Mala-vetrna-.html>

Seznam příloh

- Příloha 1 Četnost rychlosti větru v % pro zvolenou lokalitu 6 m/s
- Příloha 2 Teoretická výroba elektrické energie za 1 rok
- Příloha 3 Vlastní návrh větrné elektrárny
- Příloha 4 Výsledné hodnoty pro Aelos 500 W
- Příloha 5 Výsledné hodnoty pro Black wind generátor 300
- Příloha 6 Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR

Příloha 1 - Četnost rychlosti větru v % pro zvolenou lokalitu 6 m/s

Měřené rychlosti větru [m/s]	Průměrná rychlost větru [m/s]
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 2 – Teoretická výroba elektrické energie za 1 rok

Měřené rychlosti větru [m/s]	Průměrná rychlost větru pro 6 [m/s]	P [W]	E [W]
do 0,5	1,96	-	-
1	7,2	-	-
2	10,6	-	-
3	11,9	-	-
4	11,6	30,14	349,67
5	10,6	58,87	624,07
6	9,25	101,73	941,05
7	7,75	161,55	1252,03
8	6,4	241,15	1543,37
9	5,13	343,35	1761,43
10	4,1	471	1931,1
11	3,2	626,9	2006,08
12	2,5	813,88	2034,72
13	1,9	1034,78	1966,09
14	1,6	1292,42	2067,87
15	1,14	1589,62	1812,17
16	0,8	1929,21	1543,37
17	0,68	2314,02	1573,53
18	0,45	2746,87	1236,09
19	0,34	3230,58	1098,4
20	0,23	3768	866,64
21	0,2	4361,93	872,38
22	0,17	5015,2	852,58
23	0,11	5730,65	630,37
24	0,05	6511,1	325,55
ΣE [W]	27288		
Celkem E_r [kWh]	2390		

Příloha 3 – Vlastní návrh větrné elektrárny

Měřené rychlosti větru [m/s]	Průměrná rychlost větru pro 6 [m/s]	P [W]	E [W]
do 0,5	1,96	-	-
1	7,2	-	-
2	10,6	-	-
3	11,9	-	-
4	11,6	30,14	349,67
5	10,6	58,87	624,07
6	9,25	101,73	941,05
7	7,75	161,55	1252,03
8	6,4	241,15	1543,37
9	5,13	343,35	1761,43
10	4,1	471	1931,1
11	3,2	626,9	2006,08
12	2,5	813,88	2034,72
13	1,9	1034,78	1966,09
14	1,6	1292,42	2067,87
15	1,14	1589,62	1812,17
16	0,8	1929,21	1543,37
17	0,68	2314,02	1573,53
18	0,45	2746,87	1236,09
19	0,34	3230,58	1098,4
20	0,23	3768	866,64
21	0,2	4361,93	872,38
22	0,17	5015,2	852,58
23	0,11	5730,65	630,37
24	0,05	6511,1	325,55
ΣE [W]	27288		
Celkem E_r [kWh]	2390		

Příloha 4 – Výsledné hodnoty pro Aelos 500 W

Měřené rychlosti větru [m/s]	Průměrná rychlost větru pro 6 [m/s]	P [W]	E [W]
do 0,5	1,96	-	-
1	7,2	-	-
2	10,6	-	-
3	11,9	-	-
4	11,6	20,91	242,53
5	10,6	40,84	432,86
6	9,25	70,56	652,72
7	7,75	112,05	868,41
8	6,4	167,26	1070,48
9	5,13	238,15	1221,73
10	4,1	326,69	1339,41
11	3,2	434,82	1391,42
12	2,5	564,51	1411,28
13	1,9	717,73	1363,68
14	1,6	896,43	1434,28
15	1,14	1102,56	1256,92
16	0,8	1338,10	1070,48
17	0,68	1605,01	1091,40
18	0,45	1905,23	857,35
19	0,34	2240,74	761,85
20	0,23	2613,48	601,10
21	0,2	3025,44	605,09
22	0,17	3478,55	591,35
23	0,11	3974,78	437,23
24	0,05	4516,10	225,81
Σ E [W]	18927,4		
Celkem E_r [kWh]	1658		

Příloha 5 – Výsledné hodnoty pro Black wind generátor 300

Měřené rychlosti větru [m/s]	Průměrná rychlost větru [m/s]	P [W]	E [W]
do 0,5	1,96	-	-
1	7,2	-	-
2	10,6	-	-
3	11,9	-	-
4	11,6	10,71	124,20
5	10,6	20,91	221,67
6	9,25	36,14	334,26
7	7,75	57,38	444,72
8	6,4	85,66	548,21
9	5,13	121,96	625,66
10	4,1	167,30	685,93
11	3,2	222,68	712,56
12	2,5	289,09	722,73
13	1,9	367,56	698,36
14	1,6	459,07	734,51
15	1,14	564,63	643,68
16	0,8	685,26	548,21
17	0,68	821,94	558,92
18	0,45	975,69	439,06
19	0,34	1147,51	390,15
20	0,23	1338,39	307,83
21	0,2	1549,36	309,87
22	0,17	1781,40	302,84
23	0,11	2035,53	223,91
24	0,05	2312,74	115,64
ΣE [W]	9692,92		
Celkem E_r [kWh]	849,01		

Příloha 6- Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR [4]**Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v Kč/kWh**