

Větrné mikroelektrárny a možnost jejich využití

Bc. Tomáš Hronek

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hronek**
Osobní číslo: **A16457**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Větrné mikroelektrárny a možnosti jejich využití**
Téma práce anglicky: **Micro Wind Power Plants and their Potential Use**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte problematiku větrných mikroelektráren včetně principu jejich činnosti.
2. Definujte minimální povětrnostní podmínky pro stavbu větrných mikroelektráren a s tím související výběr typu větrné mikroelektrárny.
3. Prostudujte základní fyzikální a matematické vztahy související s výrobou elektrické energie z větrné elektrárny.
4. Proveďte průzkum trhu související s uvedenou problematikou.
5. Navrhněte typ větrné mikroelektrárny vhodný pro lokalitu se špatnými povětrnostními podmínkami a vypočítejte přibližné množství získané energie pro vybranou modelovou oblast.
6. Nastudujte administrativu související s mikroelektrárnami a proveďte ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

1. HALLENGA, Uwe a Marta MYŠKOVÁ. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2., přeprac. a rozš. vyd. Ostrava: HEL, 2006. ISBN 80-861-6727-5.
2. QUASCHNING, Volker a Václav BARTOŠ. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
3. BALÁK, Rudolf a Karel PROKEŠ. Nové zdroje energie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Polytechnická knihnice (SNTL).
4. BRŮŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. Alternativní zdroje energie. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2802-X.
5. KRĚNEK, Vladimír. Člověk a energie. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006. ISBN 80-704-3489-9.
6. CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: 7. prosince 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020

L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 03.08.2020

v.r. Tomáš Hronek
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem větrných mikroelektráren a možnostmi jejich využití. V teoretické části je popsáno dělení větrných mikroelektráren a jejich jednotlivé typy. Dále jsou zde rozebrány faktory ovlivňující výběr větrné mikroelektrárny a v poslední kapitole jsou popsány fyzikální a matematické vztahy u větrných mikroelektráren. Praktická část je zaměřená na průzkum domácího i zahraničního trhu s větrnými mikroelektrárnami a možnostmi využití větrné mikroelektrárny. V závěru této práce je popsán návrh větrné mikroelektrárny pro oblast s nepříznivými větrnými podmínkami a finanční zhodnocení.

Klíčová slova:

Větrné mikroelektrárny, typy větrných mikroelektráren, BTPS 6500, finanční náklady, ekonomická návratnost

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of wind micro power plants and the possibilities of their use. The theoretical part describes the division of wind micro power plants and their individual types. Furthermore, the factors influencing the choice of wind microelectric power plant are discussed and in the last chapter the physical and mathematical relationships of wind microelectric power plants are described. The practical part is focused on the research of domestic and foreign markets with wind micro power plants and the possibilities of using wind micro power plants. At the end of this work is described the design of a wind micro power plant for an area with unfavorable wind conditions and financial evaluation.

Keywords:

Wind micro power plants, types of wind micro power plants, BTPS 6500, financial costs, economic return.

Rád bych poděkovali rodině za podporu při studiu. Také bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za připomínky k práci a za trpělivost.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 PROBLEMATIKA A PRINCIP ČINNOSTI VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN.....	11
1.1 HISTORIE.....	11
1.2 ENERGIE VĚTRU.....	12
1.3 PRINCIP ČINNOSTI A ÚČINNOST.....	13
1.4 DĚLENÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN.....	15
1.4.1 Dělení podle výkonu.....	15
1.4.2 Dělení podle osy otáčení rotoru.....	15
1.4.3 Větrné elektrárny využívající odporový princip.....	16
1.4.3.1 Větrná elektrárna Savonius.....	16
1.4.4 Větrné elektrárny využívající vztlakový princip.....	18
1.4.4.1 Lopatkové kolo.....	18
1.4.4.2 Větrná elektrárna Darrieus.....	19
1.4.4.3 Vrtulová větrná elektrárna.....	20
1.4.5 Další možnosti výstavby VtE.....	21
2 MINIMÁLNÍ POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY A VÝBĚR VHODNÉHO TYPU VĚTRNÉ MIKROELEKTRÁRNY.....	22
2.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR VĚTRNÉ MIKROELEKTRÁRNY.....	22
2.1.1 Síla větru.....	22
2.1.2 Laminární a turbulentní proudění vzduchu.....	23
2.1.3 Kolísání větru podle ročních období.....	24
2.1.4 Krajina.....	25
2.1.5 Zástavba.....	26
2.2 VÝBĚR VHODNÉ MIKROELEKTRÁRNY.....	27
2.2.1 Měření větru v bodě.....	27
2.2.2 Distanční metody měření větru.....	28
3 FYZIKÁLNÍ A MATEMATICKÉ VZTAHY U VĚTRNÝCH MIKROELEKTRÁREN.....	29
3.1 VÝKON VĚTRU.....	29
3.2 ÚČINNOST LOPATEK.....	30
3.3 ÚČINNOST PŘEVODU A GENERÁTORU.....	31
3.4 EFEKTIVNĚ VYUŽITELNÝ VÝKON.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
4 PRŮZKUM TRHU S VĚTRNÝMI MIKROELEKTRÁRNAMI.....	34
4.1 TRH V ČESKÉ REPUBLICE.....	34
4.1.1 AERPLAST s.r.o.....	34
4.1.2 Energy ForEver, s.r.o.....	34
4.1.3 Solar Economic.....	35
4.1.4 DAVID LACINA STV.....	36
4.1.5 Spirit s.r.o.....	36

4.2	ZAHRANIČNÍ TRH.....	36
4.2.1	iSTA BREEZE.....	36
4.2.2	Windside	37
4.2.3	Koupě na Ebay	37
5	NÁVRH TYPU VTME	38
5.1	MOŽNOST VYUŽITÍ ENERGIE.....	38
5.1.1	Přímé využívání vyrobeného střídavého proudu bez skladování.....	38
5.1.2	Výroba elektrického proudu pro napájení izolovaných sítí	39
5.1.3	Výroba elektřiny pro napájení sítě	40
5.2	VÝBĚR LOKALITY.....	40
5.2.1	Výběr typu větrné mikroelektrárny	41
5.2.1.1	Výpočet energie a výkonu větru	42
5.2.1.2	Výpočet výkonu větrného motoru	42
6	ADMINISTRATIVA SOUVISEJÍCÍ S VĚTRNÝMI EKTRÁRNAMI A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ.....	46
6.1	LEGISLATIVA SOUVISEJÍCÍ S PROVOZEM VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	46
6.1.1	Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů	46
6.1.2	Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.....	46
6.1.3	Výroba energie bez licence	46
6.1.4	Pokuty za přetoky u mikrozdrojů.....	47
6.1.5	Přehled možných variant provozu VtME.....	47
6.1.5.1	Výroba elektřiny jako ostrovní systém	47
6.1.5.2	Výroba elektřiny za účelem zisku.....	48
6.1.5.3	Mikrozdroj	48
6.1.5.4	Výroba pro vlastní spotřebu.....	48
6.2	LEGISLATIVA SOUVISEJÍCÍ S VÝSTAVBOU VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	48
6.3	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	49
6.3.1	Spotřeba elektrické energie v rodinném domě.....	49
6.3.2	Větrná mikroelektrárna	50
6.3.3	Stožár a ukotvení.....	50
6.3.4	Baterie	51
6.3.5	Ostatní výdaje.....	51
6.4	VSTUPNÍ ÚDAJE PRO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	51
6.4.1	Doba návratnosti	52
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

V posledních letech se stále více probírá energetická a klimatická problematika. Zásoby fosilních paliv jako ropa, uhlí, zemní plyn nejsou nekonečné a stále více se začíná svět zabírat obnovitelnými zdroji. Mezi ně patří využívání sluneční energie, vodní energie, energie biomasy a větrné energie. Větrnou energií se bude zabývat i tato práce.

Spousty lidí napadne při využití energie větru obrovské několika desítek až stovek metrů vysoké větrné elektrárny, které se seskupují do tzv. větrných parků, které v mnohých z nás vzbuzují velké emoce (narušení krajinného rázu, nadměrný hluk atd.). Tato práce se bude zabývat mikro elektrárnami, které sice svým dodávaným výkonem mnohonásobně zůstávají za svými „obřími“ kolegy, ale svojí cenou, rozměry (maximálně několik metrů vysoké) nejsou trnem v oku tolika lidem.

Využití těchto mikroelektráren je velmi široké od napájení osamocených srubů, chatek, které jsou příliš vzdálené od nejbližšího místa napojení na elektrickou síť, ale mohou se podílet na chodu rodinného domu, napájení monitorovacích zařízení či dopravních signalizací.

Cílem této práce je seznámit veřejnost s problematikou větrných mikroelektráren. A to od výběru místa vhodných pro větrné mikroelektrárny, přes výpočty možného dodávaného výkonu, legislativu až po finanční stránku výstavby větrné mikroelektrárny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PROBLEMATIKA A PRINCIP ČINNOSTI VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN

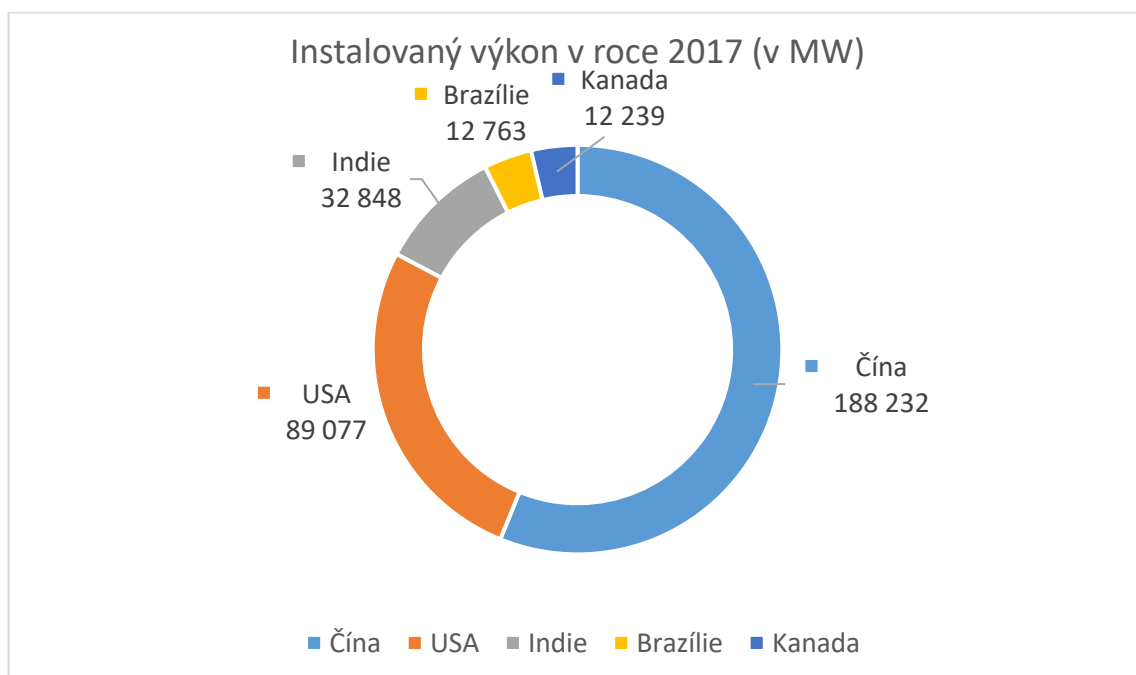
Tato kapitola bude popisovat historický vývoj větrných elektráren, a to jak ve světě, tak i v České republice. Dále se bude zabývat problematikou principu činnosti větrných elektráren a kde berou větrné elektrárny energii pro výrobu elektrické energie.

1.1 Historie

Využívání energie větru se datuje již do období před Kristem. V Orientu se využívala větrná kola k zavlažování polí. Zhruba ve 12. století pronikli do Evropy sloupové větrné mlýny, které se používaly k mletí obilí [1]. V Čechách byl největší rozvoj větrných mlýnů v 19. století, kdy na území Čech, Moravy a Slezska bylo přes 850 mlýnů.

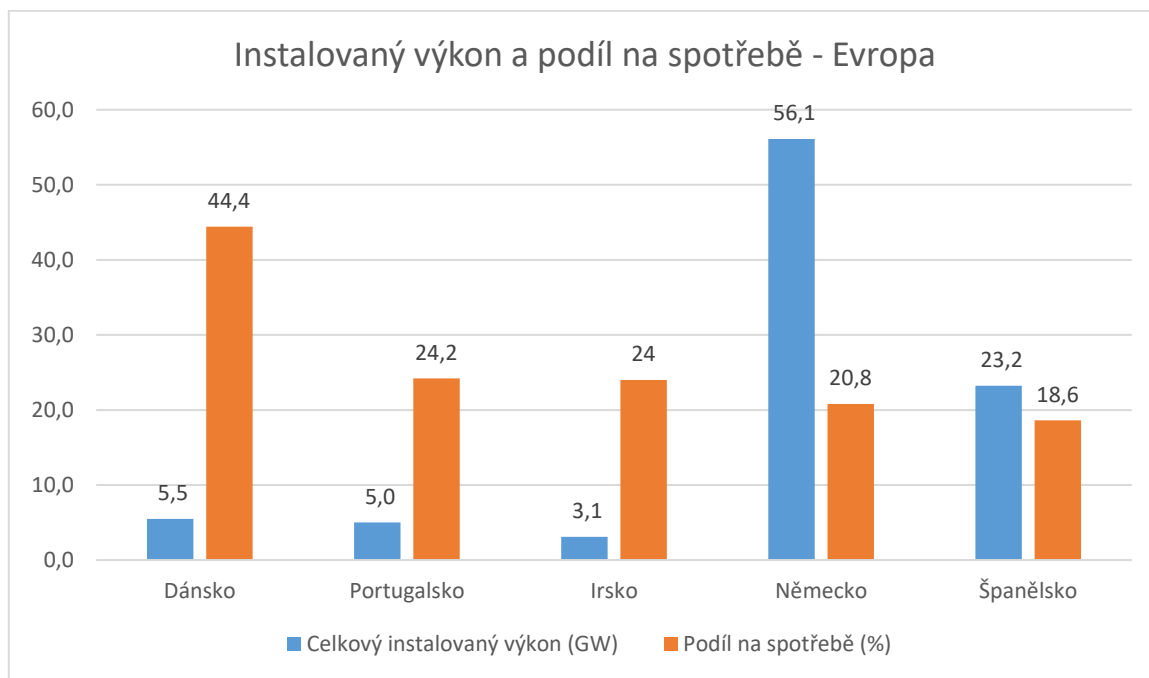
„Největší rozvoj využití větrné energie datujeme do druhé poloviny 70. let, kdy tehdejší ropné šoky důrazně připomněly limity klasických energetických zdrojů a vedly k hledání alternativ.“ [Cetkovský, s.16, 2]

Na grafu č. 1 je vidět top 5 zemí, které mají největší instalovaný výkon. První zemí je Čína, která se stala v roce 2017 první zemí ve světě, a to jak v celkovém, tak i v instalovaném výkonu za rok 2017.



Graf 1 Celkový instalovaný výkon v roce 2017 [3, upravil T. Hronek]

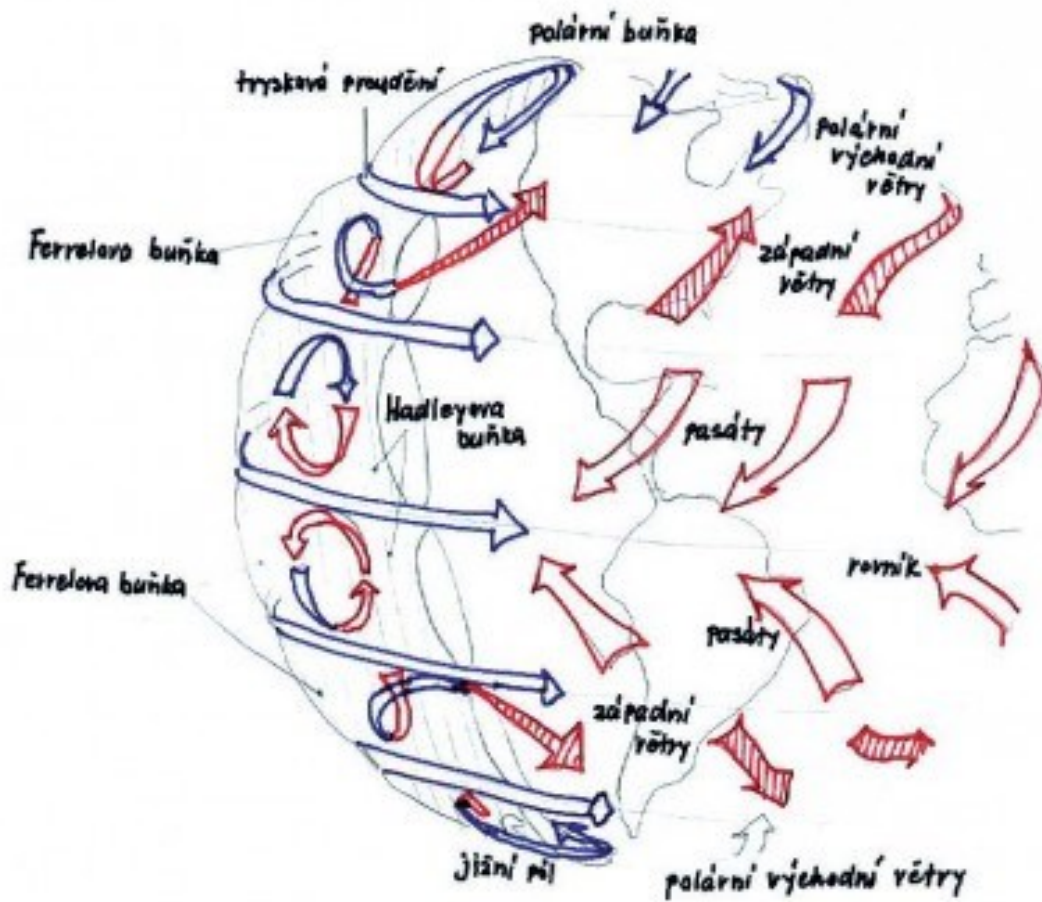
Na grafu č. 2 je vidět, že mezi Evropské země, které větrnou energií pokryjí nejvíce spotřeby je Dánsko a Německo. Obě tyto země můžeme řadit k průkopníkům využití větrné energie v Evropě. Na přelomu tisíciletí se postupně přidávali země jako Španělsko, Portugalsko, Irsko. Česká republika se svými 308 MW instalovaného výkonu a podílem na spotřebě, která činí necelé 1% řadí do spodní poloviny zemí Evropy, které využívají větrnou energii [3].



Graf 2 Instalovaný výkon a podíl na spotřebě v Evropě [3, upravil T. Hronek]

1.2 Energie větru

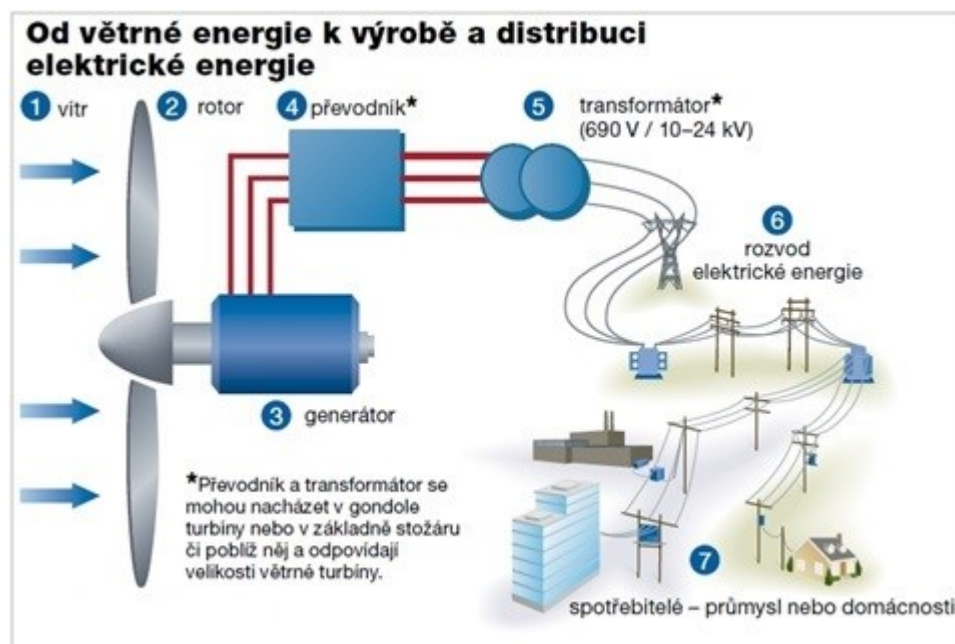
Na Zemi dopadá v každém okamžiku obrovské množství sluneční energie. Část energie se odrazí zpět do vesmíru a část se přijme do zemského povrchu. Na rovníku dopadá více energie, než se odrazí zpět do vesmíru, opačně je tomu na pólech. Výsledkem těchto rozdílů je přenos tepla, kdy teplý vzduch od rovníku je přesouván na póly a naopak jak je znázorněno na obr. č. 1 [3, 4].



Obr. 1 Schéma všeobecné cirkulace atmosféry [5]

1.3 Princip činnosti a účinnost

„Větrná turbína převádí sílu proudícího vzduchu působící na listy rotoru na rotační mechanickou energii. Ta je prostřednictvím generátoru převedena na energii elektrickou, která je následně distribuována viz obr. č. 2.“ [VOBOŘIL, 6]



Obr. 2 Větrná elektrárna – schéma principu činnosti [7]

Mezi největší problematiku využívání větrné energie je kolísání výkonu větru. Výkon větru vypočítáme pomocí vztahu:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

kde ρ = hustota vzduchu = 1,225kg/m³

A = plocha stojící kolmo proti větru, jíž vítr prochází [m²]

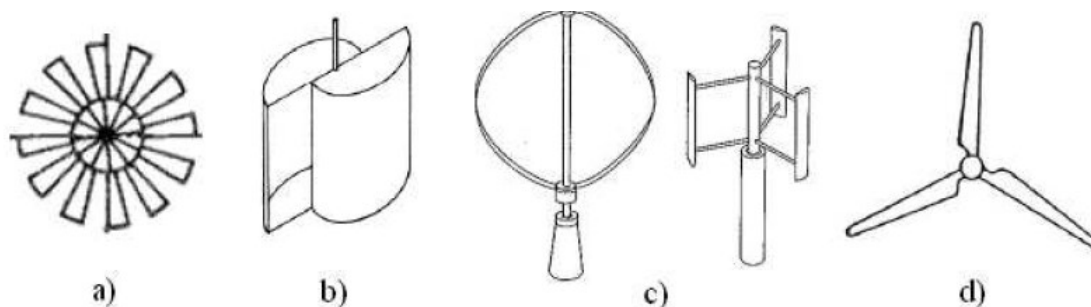
v = rychlost větru [m/s]

Ani dnešní nejmodernější technologie nedokáží využít veškerou energii větru. Z celkové kinetické energie vzduchu dokážou systémy využít pouze část, přitom rychlost větru zpomalují. Podle německého fyzika Karla Betzovova a podle něj nazvaného výkonostního koeficientu můžeme využít maximálně 59,3% výkonu větru. Z tohoto maximálního využitelného výkonu nejmodernější větrné elektrárny při ideálních klimatických podmínkách dokáží využít 40-48% energie větru k přeměně na elektrickou energii, u mikroelektráren je pak toto číslo podstatně menší [1].

Při využití větrné energie se využívá dvou principů: principu odporového a vzlakového. Oba tyto principy budou popsány v následujících kapitolách.

1.4 Dělení větrných elektráren

Větrné elektrárny můžeme dělit podle několika kritérií. Jedním z nich je princip fungování, kdy se větrné elektrárny dělí na odporové a vztlakové, dále podle osy otáčení rotoru (s vertikální nebo horizontální osou otáčení), podle výkonu nebo podle typu větrného rotoru. Na obr. č. 3 je dělení větrných elektráren podle typu větrných rotorů.



Obr. 3 Typy větrných rotorů [8]

a) Lopatkové kolo, b) Savoniův rotor, c) Darrieův rotor, d) Vrtule

1.4.1 Dělení podle výkonu

Dalším z možných dělení větrných elektráren je podle výkonu na:

- větrné mikroelektrárny – výkon do jednotek kW
- malé větrné elektrárny – výkon 10 – 30 kW
- střední větrné elektrárny – výkon 100 – 450 kW
- velké větrné elektrárny – výkon nad 450 kW

1.4.2 Dělení podle osy otáčení rotoru

Jak již bylo výše zmíněno větrné elektrárny (dále již VtE) můžeme dělit podle osy otáčení rotoru na horizontální a vertikální.

U VtE s horizontální osou otáčení musí turbína směřovat proti směru větru. U menších VtE této podmínky docílíme pomocí směrové lopatky, u větších VtE se využívají větrné senzory a servo pohon. VtE s horizontální osou otáčení dosahují oproti VtE s vertikální osou vyšší účinnosti, která se pohybuje kolem 48% [6].

VtE s vertikální osou otáčení se využívá v oblastech s častou změnou směru větru. Tento typ VtE totiž nepotřebuje natačení proti směru větru. Oproti VtE s horizontální zabere

také méně místa a jsou méně hlučné. Nevýhodou těchto VtE je vyšší cena a nižší účinnost, která se pohybuje kolem 38% [6].

1.4.3 Větrné elektrárny využívající odporový princip

VtE využívající odporového principu jsou historicky starší. Již staří Vikingové využívali odporového principu při svých plavbách lodí, kdy plachta kladla větru odpor a tlak vyvíjený větrem na plachtu popoháněl loď.

1.4.3.1 Větrná elektrárna Savonius

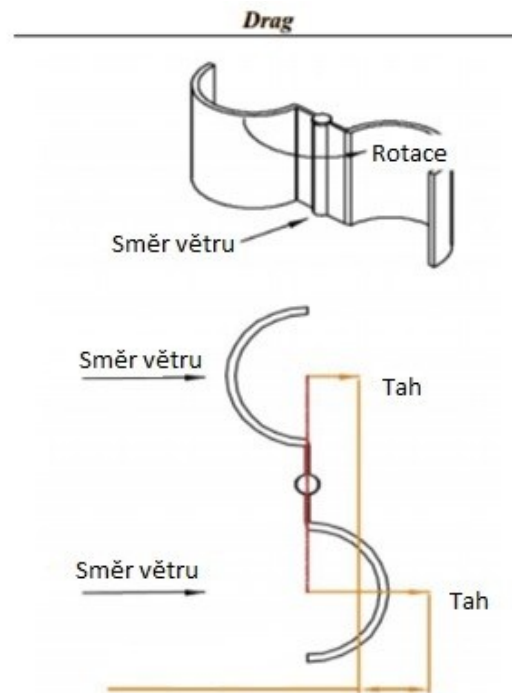
VtE Savonius byla vynalezena v roce 1925 finským lodním důstojníkem J. Savoniu-sem. Jak je vidět na obr. č. 4. VtE je složena ze dvou opačně přesazených půl-válcových lopatek a osy [9].



Obr. 4 Rotor typu Savonius [10]

„Tyto VtE Využívá se principu rozdílu sil působících na lopatky, v důsledku jejich různého odporu vůči proudícímu vzduchu, které docílíme buď různým tvarem lopatek, kdy v důsledku opačného směru působení větru, v tomto případě má lopatka různý aerodynamický

odpor v závislosti na směru proudícího větru (viz obr. č. 5) nebo natočením lopatek, kdy plocha lopatek je natáčena v závislosti na pozici rotoru a směru větru.“ [Vobořil, 6]



Obr. 5 Princip funkce odporové turbíny [6]

Výhody VtE typu Savonius:

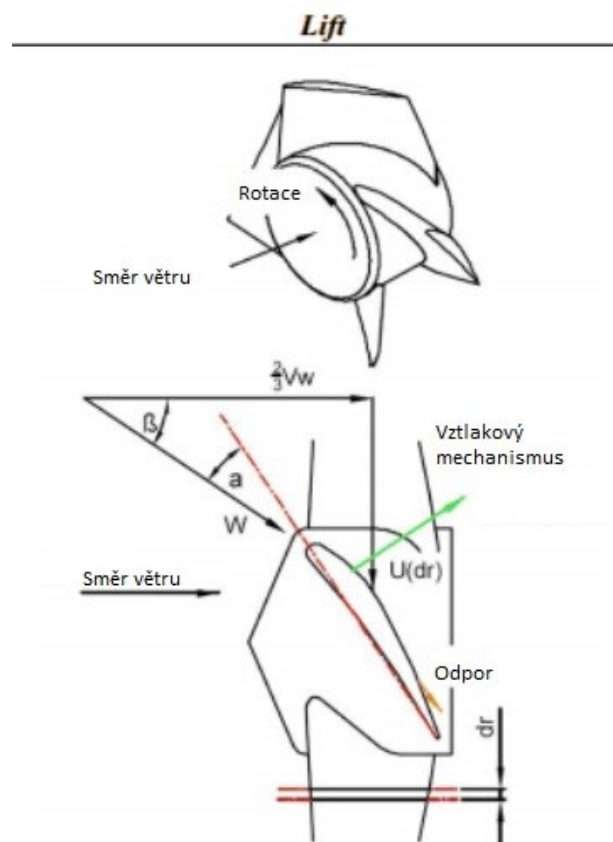
- Jednoduchá konstrukce (postačí dva 200litrové barely) [9]
- Nezávislost na směru větru (není třeba natáčení rotoru) [9]
- Tichý provoz
- Vysoká odolnost proti bouřím, snížená citlivost vůči výrům a turbulencím [9]
- Využitelnost v širokých pásmech síly větru (od nízkých 2-3m/s až po vysoké 15-25m/s) [9]

Nevýhody VtE typu Savonius:

- Vysoká hmotnost rotoru (při konstrukci z barelů – nutnost správného vyvážení) [9]
- Malá účinnost, která činí asi 21% Betzova výkonnostního koeficientu [9]
- Méně vhodné pro výrobu el. energie z důvodu nízkých otáček [9]

1.4.4 Větrné elektrárny využívající vztlakový princip

Tyto VtE využívají síly vznikající na rotorovém listu při obtékání vzduchem. Na speciálně tvarované listy rotoru působí aerodynamické vztlakové síly. Tyto vztlakové síly vznikají, když jsou listy rotoru obtékány větrem podobně jako na křídlech letadla. Při provozu VtE působí na rotor vztlaková síla, která zapříčiňuje pohyb turbíny (vrtule) a síla odporová, která působí naopak proti tomuto směru a je tedy nežádoucí. Tyto síly a princip funkce je znázorněn na obr. č. 6 [6].



Obr. 6 Princip funkce vztlakové turbíny [6]

1.4.4.1 Lopatkové kolo

Prvním zástupce VtE, které pracují na vztlakovém principu je lopatkové kolo. Lopatkové kolo je pomaloběžný větrný motor. Běžný počet lopatek se pohybuje mezi 12cti až několika desítkami, jak je vidět níže na obr. č. 7. Velkou výhodou je velmi nízká rozběhová rychlost, která začíná již kolem 0,16 m/s. Účinnost lopatkového kola se pohybuje okolo 30%. [11].



Obr. 7 Lopatkové kolo [12].

1.4.4.2 Větrná elektrárna Darrieus

Dalším zástupce VtE pracující na vztlakovém principu je VtE typu Darrieus. Tento typ turbíny si patentoval francouzský inženýr Georges J. M. Darrieus v roce 1931. Tento typ VtE je obvykle složen ze 2 až 4 vertikálních lopatek, jak je možné vidět na obr. č. 8.



Obr. 8 Rotor typu Darrieus [10]

Výhody VtE typu Darrieus:

- Vyšší účinnost, která činí asi 38% Betzova výkonnostního koeficientu [12]
- Nezávislost na směru větru (není třeba natáčení rotoru)
- Tichý provoz

Nevýhody VtE typu Darrieus:

- Horší regulovatelnost [13]
- Vyžaduje vyšší rozběhovou rychlost větru (možnost roztáčet Savoniovou turbínou) [12]
- Kratší životnost (vysoké otáčky rychleji opotřebují ložiska a další materiál)

1.4.4.3 Vrtulová větrná elektrárna

Dalším zástupce VtE, pracující na vztlakovém principu, jsou vrtulové VtE. Nejčastější konstrukcí těchto VtE je ve 2-3 listém provedení. Existují však i jednolísté vrtule (s protizávažím) a čtyřlísté konstrukce. Výhodou vrtulových VtE je jejich účinnost, která dosahuje až 45% a možnost samovolné otáčení VtE. VtE mající rovinu rotace lopatek za osou otáčení po směru větru dosahují optimální pozice vůči větru samovolně. U menších VtE (viz obr. č. 9), kdy je rovina otáčení lopatek před osou otáčení je nutno vybavit VtE pomocným kormidlem [13].



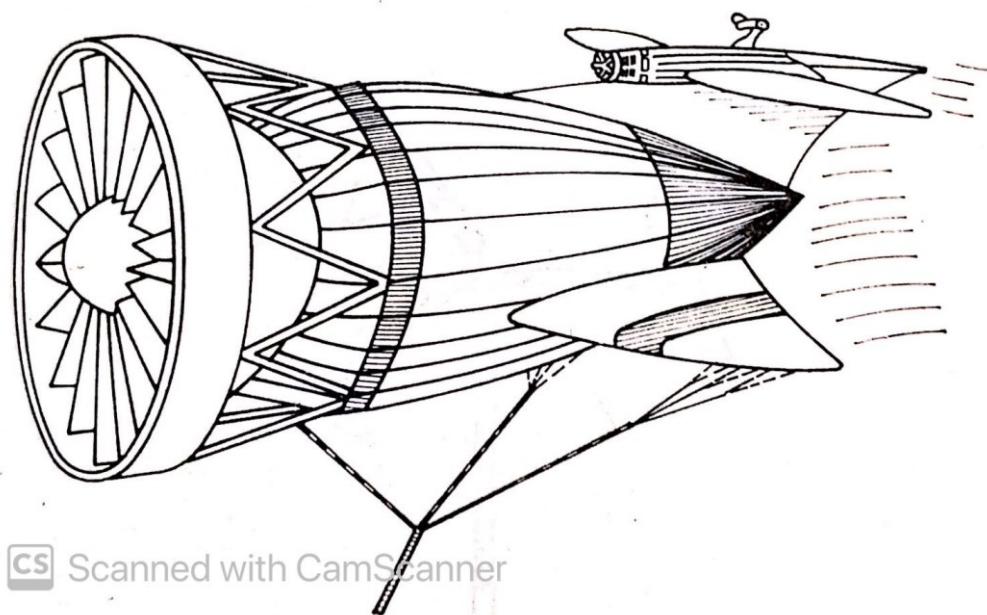
Obr. 9 Vrtulová větrná elektrárna s pomocným kormidlem [14]

1.4.5 Další možnosti výstavby VtE

Drtivá většina níže uvedených VtE nikdy nebyla zrealizována a zůstala buď na papíře, nebo v rámci jednotek kusů, avšak je zajímavé, kam až se fantazie výroby elektrické energie pomocí větru může dostat.

Mezi prvním zástupcem je VtE na vzdušném balonu. Vědci z bývalého Sovětského svazu chtěli vyrobit větrné kolo obrovských rozměrů a upevnit ho na nosný balón viz obr. 10. Balón měl být dlouhý 120m a široký 40m a měl se vznést do výšky 10-12 cti kilometrů. Zde je potenciaální el. energie z větru asi 25x větší než u povrchu země. [15].

Další nápad připevnit VtE na balon vznikl v Rakousku, kde měl balon nebo vzducholod' vystoupat do výšky 10km (kde vítr dosahuje až 600 km/h). Dvěma kabely připevněnými k zemi se měla dostávat el. energie zpět na zem a zároveň do vzducholodi měl být vháněn plyn (helium nebo vodík) [15].



Obr. 10 Větrná elektrárna na vzdušném balónu (SSSR) [15]

2 MINIMÁLNÍ POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY A VÝBĚR VHDNÉHO TYPU VĚTRNÉ MIKROELEKTRÁRNY

Tato kapitola se bude zabývat minimálními povětrnostními podmínkami pro stavbu větrných mikroelektráren (dále již VtME) a s tím i související výběr typu VtME.

2.1 Faktory ovlivňující výběr větrné mikroelektrárny

Důležitým krokem pro stavbu VtME je správný výběr místa, ten je ovlivňován několika faktory, které budou v následujících kapitolách blíže popsány. Dnešní technologie umožňují výstavbu VtME i pro nepříznivé oblasti co se týče větrného potenciálu. Rozběhové rychlosti některých VtME začínají již na 0,2 m/s.

2.1.1 Síla větru

„Síla větru je mírou rychlosti větru, která má rozhodující vliv na výkonnost větru.“ [Blažek, 12] Nejpoužívanější stupnicí, která hodnotí sílu větru je Beaufortova stupnice síle větru (viz Tab. č. 1).

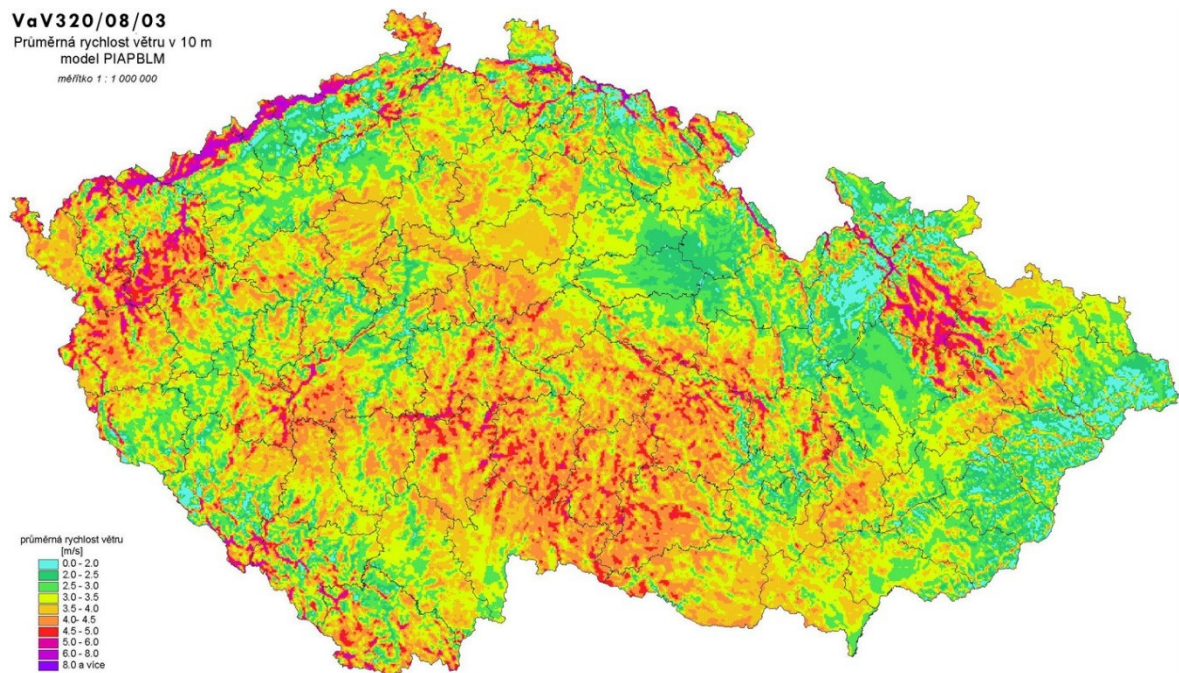
Tab. 1 Beaufortova stupnice síle větru [1]

stupeň	vítr	rychlost		účinky na souši
		m/s	km/h	
0	bezvětrí	<0,5	< 1,0	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	≈ 1,25	1-5	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	≈ 3	6-11	listí stromů šelestí
3	slabý vítr	≈ 5	12-19	listí stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	≈ 7	20-28	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	≈ 9,5	39-39	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	≈ 12	40-49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný víchř	≈ 14,5	50-61	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý víchř	≈ 17,5	62-74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný víchř	≈ 21	75-88	vítr strhává komíny, tašky a břidlice střeh
10	plný víchř	≈ 24,5	89-102	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	≈ 29	103-114	působí rozsáhlá pustošení
12-17	orkán	> 30	> 117	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

Sílu větru v dané oblasti můžeme určit několika způsoby. Mezi nejzákladnější a nejrychlejší způsob patří mapa větrného potenciálu České republiky, která je zdarma k nahlédnutí na internetu. Mapy s větrným potenciálem jsou ve většině případů pro výšky 100 m

a 10 m nad zemským povrchem (viz obr. č. 11). Tento způsob je nejrychlejší, ale pro rozhodnutí umístění VtME mohou data zkreslovat, a to z těchto důvodů:

- hodnota, která je naměřená je ve výšce 10 (100) m nad zemí
- hodnota je vypočítána z nejbližší meteorologické stanice či letiště



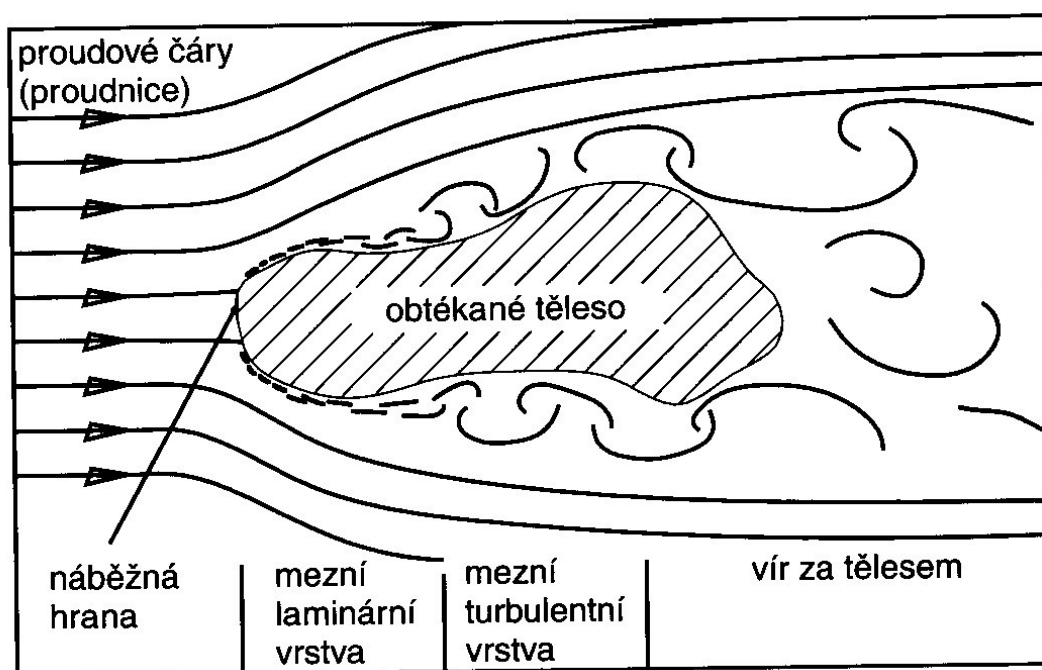
Obr. 11 Povětrnostní mapa ČR [16]

Dalším přesnějším způsobem je zadání zeměpisné polohy místa pro eventuální výstavbu VtME na webových stránkách Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. Tyto mapy byly vytvořeny s podporou programu Strategie AV21. V tomto modelu je možnost zadat průměr rotoru, maximální výkon a zeměpisnou polohu. Následně je vypočtena relativní četnost směru a rychlosti větru, přibližnou roční výrobu energie. Tento model může napovědět o vhodnosti umístění VtME, nicméně se stále musí počítat s tím, že naměřená data jsou zprůměrována z nejbližších meteorologických stanic a matematických modelů.

2.1.2 Laminární a turbulentní proudění vzduchu

Existují dva základní typy proudění vzduchu a to laminární a turbulentní. „U laminárního proudění vzduchu se vrstvy s rozdílnou rychlostí proudění vzájemně paralelně posouvají bez tvoření vírů. Na laminární proudění má vliv hustota vzduchu, charakter povrchu země, rychlost větru.“ [Rychetník, str.13, 14]

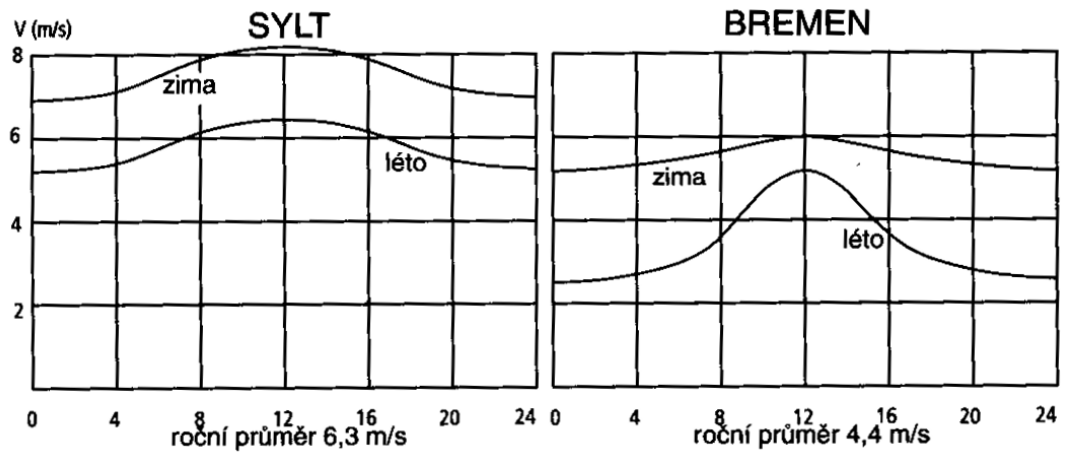
Turbulentní proudění je pro VtE nežádoucí proudění. Vzniká tak, že k hlavnímu proudění se přidává tzv. víření, jak je znázorněno na obr. č. 12. Jakákoliv překážka, ať už se jedná o strom, nebo budovu může dramaticky snížit výnos VtE, proto je vhodné situovat VtE na volné prostranství nebo na stožár. Velikost turbulentního proudění směrem od zemského povrchu klesá. Pro umístění VtME platí hrubé pravidlo: „V hlavním směru větru musí stát větrné kolo od překážky ve vzdálenosti, která je dvacetinásobkem výšky překážky, a musí být s tímto odstupem nejvyšší stavbou, má-li být proudění kolem něho do jisté míry bez turbulencí.“ [Rychetník, s.13, 14]



Obr. 12 Formy proudění vzduchu při obtékání libovolného tělesa [14]

2.1.3 Kolísání větru podle ročních období

Roční období má poměrně velký vliv na výkon VtME. I změna rychlosti větru o 1 m/s dělá veliký rozdíl v možném dosaženém výkonu. Při rychlosti 4 m/s je teoreticky dosažitelný výkon 33W na m² plochy, při rychlosti 5 m/s dělá tento výkon 75W/m². Což je dvojnásobek teoretického výkonu. V zimních měsících bývá průměrná rychlost větru vyšší, což je výhodou, neboť spotřeba energie bývá v zimě vyšší (více se svítí, topí apod.). Na obrázku č. 13 je zobrazeno, jak průměrná rychlost větru v zimních stoupá oproti letním měsícům.



Obr. 13 Rozložení rychlosti větru podle denní doby v letním a zimním dnu v Syletu a na brémnském letišti [14]

2.1.4 Krajina

Dalším faktorem, který má vliv na rychlost větru a tudíž výběr V_{tME} je krajina respektive struktura povrchu krajiny. Povrch země totiž působí na vítr poměrně velkým odporem. Směrem od zemského povrchu prudce roste rychlost proudění vzduchu. Pro rovný terén, kde je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivňována pouze drsností povrchu, lze použít následující závislost mezi rychlostí větru a výškou: [14]

$$v_2 = v_1 * (h_2/h_1)^a \quad (2)$$

kde: v_2 = střední rychlost větru ve výšce h_1 [m/s]

v_1 = vypočítaná rychlost větru [m/s]

h_1 = výška, ve které se provádí měření [m]

h_2 = výška umístění osy rotoru [m]

a = exponent závislé na drsnosti povrchu, vertikálním profilu teplot a výšce nad zemským povrchem

Tab. 2 Charakter krajiny popsané třídou drsnosti, délkou nerovností a exponentem při výšce 50m [14]

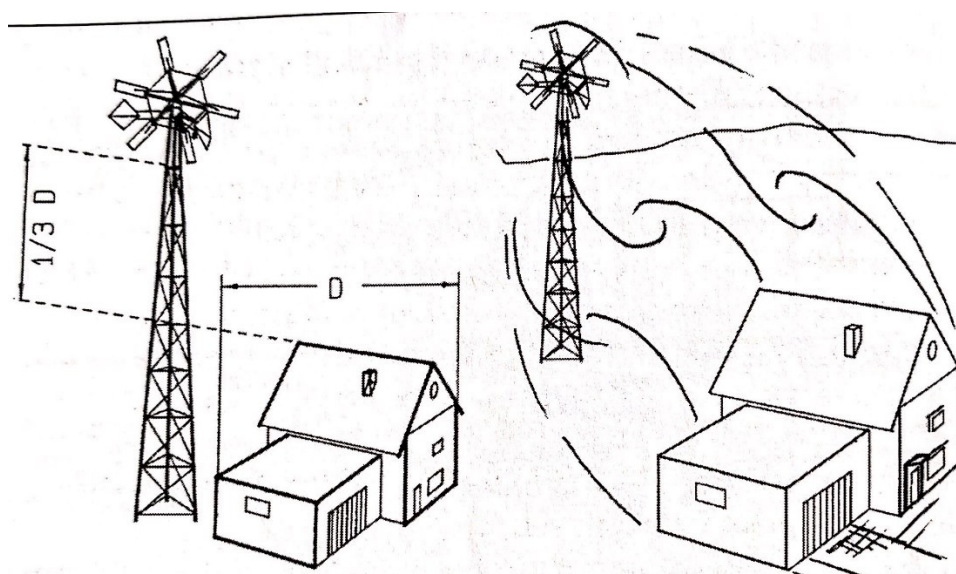
Třída drsnosti	Charakter krajiny	délka nerovností	Exponent a
0	Otevřené pobřeží bez jakýchkoliv překážek s větrem směřujícím na pobřeží	0,001m	0,12
1	Otevřená krajina s ojedinělými volně stojícími keři a stromy	0,01m	0,15
2	Zemědělská krajina s rozptýlenými budovami a křovinami	0,05m	0,18
3	Uzavřená krajina s porostem stromů, mnoha křovinami a sousedícími budovami	0,3m	0,24

2.1.5 Zástavba

Zástavba může výrazně ovlivnit výkon VtME. Jak je popsáno v kapitole č. 2.1.2. při obtékání tělesa větrem vznikají turbulentní větrné proudy, které jsou pro VtME nežádoucí. V zásadě lze říci, že jakákoliv anomálie oproti zrcadlově hladké ledové plochy působí rušivě a snižuje využití energie větru [14].

Jedním z řešení je výstavba stožáru pro VtME na budově. VtME bude logicky nejvyšším místem a turbulentní proudy nebudou tolik ovlivňovat VtME. Toto řešení má své nevýhody, a to jak zajištění dostatečné pevnosti a odolnosti střechy, tak i vyšší hluk.

Další možností je výstavba VtME vedle budovy na stožár, jak je znázorněno na obr. č.14. Obrázek v pravo reprezentuje špatné umístění VtME z důvodu turbulentních proudů větru, obrázek vlevo reprezentuje vzdálenost mezi spodní hradnou rotoru a střechou, která má být minimálně jednu třetinu nejdělsí vodorovné úhlopříčky budovy [14,19].



Obr. 144 Výstavba VtMe v blízkosti budovy [14]

2.2 Výběr vhodné mikroelektrárny

V předešlých kapitolách byly popsány faktory, které ovlivňují výkon a s tím související výběr vhodné VtME. V první řadě bychom měli zjistit jakým větrným potenciálem disponuje oblast, kde má být VtME instalována. Nejpřesnějším určením větrného potenciálu je vlastní měření, které by mělo být dlouhodobě (prodejci uvádějí minimálně 6ti měsíční měření). V následující kapitole si popíšeme některé typy měření.

Tato práce se bude zabývat oblastmi s nízkým potenciálem větru. V těchto případech se jeví jako nejvhodnější VtME typu lopatkového kola, Savionův rotor či vrtule. Všechny tyto typy VtME mají tu výhodu, že jejich rozběhová rychlost je nízká. U lopatkového kola je tato rychlost stanovena 0,2 m/s. Savionův rotor má rozběhovou rychlost kolem 2,5 m/s a vrtulové VtME mají rozběhovou rychlost kolem 2 m/s. Rozběhové rychlosti i maximální výkon se liší od daného typu VtME, značkou a cenou. Podrobnější rozbor jednotlivých typů bude podrobněji zmíněn v kapitole č. 4.

2.2.1 Měření větru v bodě

Nejběžnější přístrojem pro měření větru v bodě je miskový anemometr, který je na obrázku č. 14. „Tento senzor pracuje na principu rozdílu mezi dynamickou silou větru působící na vypouklou a vydutou stranu misek. Vítr pak uvádí soustavu misek do rotačního pohybu, jehož rychlost je úměrná rychlosti větru.“ [Cetkovský, s. 41, 2]

Miskový anemometr neboli Robinsonův kříž měří pouze rychlost větru, proto bývá doplněn tzv. větrnou směrůvkou, která nám udává i směr větru. Robinsonův kříž a směrůvku lze koupit samostatně nebo jako jeden celek, ten je zobrazený obrázku č. 15.



Obr. 15 Miskový anemometr [17]

2.2.2 Distanční metody měření větru

Zástupcem přístroje pro distanční měření větru je dopplerovský sodar, ten se skládá ze systému vysílačů a přijímačů (mikrofonů), ty vyhodnocují odražený signál ve formě směru a rychlosti větru. „*Tento systém pracuje na principu šíření a odrazu zvukových vln od různě hustých vrstev atmosféry.*“ [Cetkovský, s. 42, 2]

3 FYZIKÁLNÍ A MATEMATICKÉ VZTAHY U VĚTRNÝCH MIKROELEKTRÁREN

Tato kapitola se bude zabývat vztahy sloužící ke zjištění účinnosti V_{tME} , účinnosti lopatky a turbíny.

3.1 Výkon větru

Je známo, že pohybová energie ve větru roste se třetí mocninou rychlosti proudění větru dle rovnice:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (3)$$

kde P = výkon obsažený ve větru [W]

ρ = hustota vzduchu (1,225kg/m³- na hladině moře)

A = plocha stojící kolmo proti větru, jíž vítr prochází [m²]

Pro lepší porovnání je v následujícím vzorci výkon vztahován na 1m² plochy. Z tohoto vzorce dostaneme teoretický výkon obsažený ve větru na 1m²:

$$P_t/m^2 = \frac{1}{2} * \rho * v^3 \quad (4)$$

Při hustotě vzduchu 1,25kg/m³ se dosadí do rovnice č. 4 místo $\frac{1}{2} * \rho$ konstanta 0,62kn/m³ a následně se získá rovnice:

$$P_t/m^2 = 0,62 \frac{kg}{m^3} * v^3 \quad (5)$$

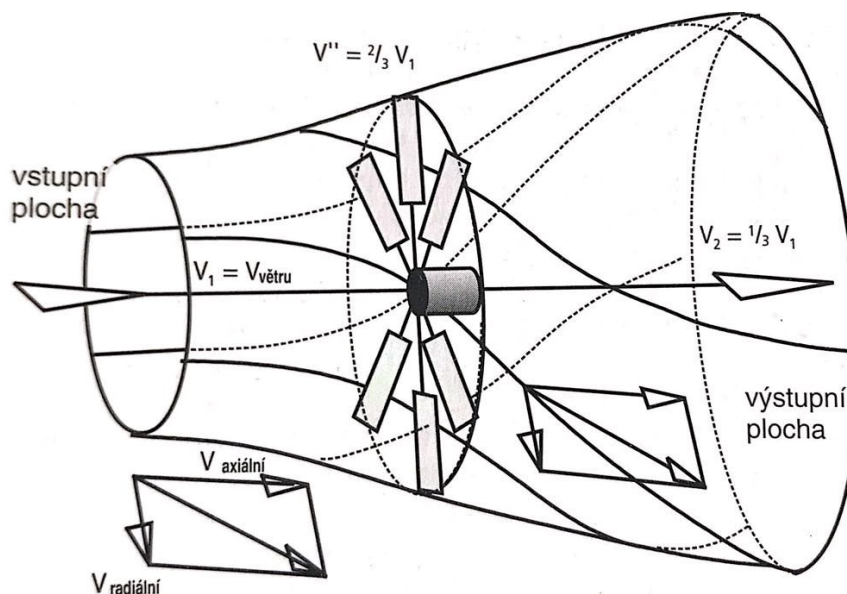
Podle rovnice č. 5 je v tab. č. 3 vypočten teoretický výkon (sloupec č. 3), ve sloupci č. 4 je el. výkon generátoru dosažený při účinnosti 29%, v této účinnosti je zahrnuta účinnost rotoru, převodovky a generátoru.

Tab. 3 Rychlost větru a výkon [18]

Rychlost větru	Síla větru dle Beaufortovy stupnice	Teoretický výkon	Efektivní Výkon
[m/s]		P_t/m^2 [W/m^2]	P_{ef}/m^2 [W/m^2]
3	2	16	5
4	3	40	12
5	3-4	78	22
6	4	134	39
7	4	213	62
8	5	317	92
10	5-6	620	180
12	6	1071	311
14	7	1674	477
16	7	2499	713
18	8	3558	1015
20	8-9	4880	1392

3.2 Účinnost lopatek

Jak je v první kapitole zmíněno ani nejpokročilejší VtE nedokážou využít teoretický výkon (dále již P) na 100 %. Je to dáno tím, že nelze vítr zcela zbrzdit, tudíž část energie je předána lopatkám a část je zachována. Podle matematických vzorců je zjištěno teoretické optimum. Je to poměr rychlosti vzduchu před a za lopatkami VtE. Teoretické optimum nastává, když se rychlost proudícího vzduchu v rovině lopatek VtE sníží o 2/3 tzn., že za lopatkami VtE zůstane 1/3 původní rychlosti, jak je ukázáno na obr. č. 16. Energetický výtěžek se potom rovná 59,3 %. Energetický výtěžek 59,3 % bychom získali v případě „ideálních lopatek“ tohoto stavu, ale ve skutečnosti nedosáhneme. V praxi se uvádí, že lopatky dokáží využít kolem 40 % celkové energie obsažené ve větru [18].



Obr. 16 Poměry proudění vzduchu před a za rotorem [18]

3.3 Účinnost převodu a generátoru

Převodovka VtME by měla být dimenzována na trojnásobek obvyklého výkonu a zároveň by měla být schopna přenést dvojnásobek výkonu generátoru. K lepšímu pochopení účinnosti převodu jsou použity názorné příklady. Je-li VtME dimenzována na výstupní výkon 600W, neměl by být převod (př. Řemenový) při otáčkách, které připadají v úvahu, vyšší než výkon jmenovitý- 1200W. Účinnost převodu je brána ke jmenovitému výkonu. Má-li řemenový převod o jmenovitém výkonu 10kW přenášet 100W (1% jmenovitého výkonu), velká část výstupního výkonu je potřeba k překonání odporu řemenu, proto se u menších VtE hojně využívá řemenového převodu v poměru 1:3 – 1:5, který nám zaručí účinnost přes 90% [18].

Pro výběr generátoru platí podobné zákonitosti jako pro převodovku. Při naddimenzování (příliš velký jmenovitý výkon) se dramaticky snižuje účinnost při převodu energie. Pro rotor o průměru 3m je vhodné použít generátor se jmenovitým výkonem 300-750W a pro průměr 4m 500-1000W. Vhodný a kvalitní generátor dosahuje účinnosti kolem 80% [18].

3.4 Efektivně využitelný výkon

Při shrnutí předchozích dvou kapitol (3.2 a 3.3) vyplívá:

- účinnost větrného kola (lopatek) se pohybuje kolem 40%

- řemenový převod přenese 90% výkonu na hřídeli rotoru přizpůsobené otáčkám generátoru
- generátor převede 80% výkonu na hřídeli na elektrickou energii

Z těchto 3 poznatků je sestaven vzorec pro celkovou účinnost:

$$\eta_{celk.} = c_p * \eta_m * \eta_g = 0,29 \quad (6)$$

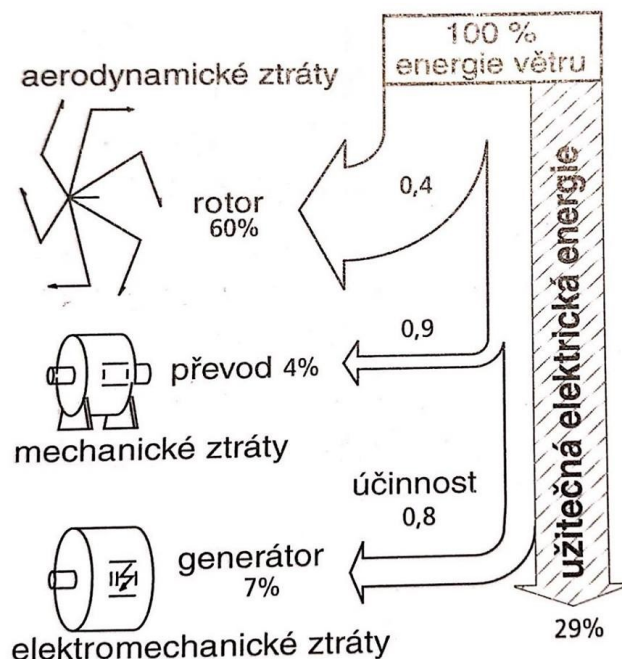
kde $\eta_{celk.}$ = celková účinnost [1]

c_p = účinnost rotoru (0,4) [1]

η_m = účinnost řemenového převodu (0,9) [1]

η_g = účinnost generátoru (0,8) [1]

Účinnost generátoru a převodu bývají reálně vyšší, takže i přes poměrně malou účinnost rotoru (kolem 40%) dosáhneme celkově vyšší účinnosti. Ztráty jednotlivých komponentů jsou zobrazeny na obr. č. 17. Při nutnosti skladování elektrické energie do elektrických akumulátorů je nutné k obr. č. 17 zařadit i ztráty při ukládání této energie. Ukládání elektrické energie se využívá pro nezávislý provoz oddělený od veřejné sítě jako například svícení, rozhlas atd.



Obr. 17 Celková účinnost větrného konvektoru [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PRŮZKUM TRHU S VĚTRNÝMI MIKROELEKTRÁRNAMI

Tato kapitola bude věnována možnosti koupě větrných mikroelektráren, bude rozebírat hlavně český trh s větrnými elektrárnami.

4.1 Trh v České republice

Český trh s větrnými mikroelektrárnami není nikterak velký. Pro většinu firem nejsou VtME primárním zaměřením podnikání, ale pouze dílčí částí. Nejčastěji doporučují VtME kombinovat s jinými alternativními zdroji jako jsou tepelná čerpadla, sluneční elektrárny či kolektory apod.

4.1.1 AERPLAST s.r.o.

Tato firma se více než dvacet let zabývá vývojem a výrobou malých větrných a ostrovních elektráren. Dále působí v oblasti hybridních ostrovních zdrojů a zdrojů pro ohřev vody. Mají VtE po celém světě např. dodávka VtE pro českou vědeckou stanici v Antarktidě, Německu, Švýcarsku, Kanadě, Japonsku, Zambii atd.

Tato společnost poskytuje kompletní servis od prvotní studie, přes návrh, realizaci až po následný servis zařízení. Nabízejí poměrně široké spektrum VtME řad AP300, AP400, AP1200, AP2500, AP7, AP12, AP22 (od 300W-22kW). Číslo za písmeny AP udávají jmenovitý výkon VtME. Všechny VtME mají rozběhovou rychlost 3 m/s [20].

4.1.2 Energy ForEver, s.r.o.

Další firmou, která působí na trhu s VtME je společnost Energy ForEver. Tato společnost působí na trhu, bez mála, deset let. Podle internetových stránek jsou hlavním zaměřením solární systémy, zde nabízejí od poradenství, přes montáž až po údržbu (např. odklizení a čištění solárních panelů) [21].

Z nabídky VtME vyčnívá VtME typu BTPS 6500 od společnosti WindTronics (viz obr. č. 18), která má rozběhovou rychlost 0,2m/s a jmenovitý výkon 1,5kW. Další vlastností této VtME je nízká hlučnost, který činí asi 35 dB. Další VtME dosahují jmenovitého výkonu pouze do 500W, ale jejich rozběhová rychlost se pohybuje kolem 2m/s, což je oproti jiným VtME menší [21].



Obr. 18 Větrná mikroelektrárna typu BTPS 6500 [22]

4.1.3 Solar Economic

Vznik této firmy se datuje do roku 2009, kdy hlavním zaměřením byly fotovoltaické elektrárny. V roce 2011 došlo k rozšíření služeb i na větrné mikroelektrárny. Můžeme zde najít nejen celé VtME, ale i jednotlivé komponenty jako jsou brzdící moduly, montážní sady, regulátory, tlumiče, akumulátory. Od roku 2016 se specializuje pouze na obchodní činnost [23].

Nabídka VtME je poměrně široká. Na internetových stránkách je možné naleznout VtME s výkonem od desítek W až po tisíce W. Na obr. č. 19 můžeme vidět axiální VtME DS se jmenovitým výkonem 3kW a rozběhovou rychlostí 3m/s [23].



Obr. 19 Větrná axiální elektrárna DS 3000 W [24]

4.1.4 DAVID LACINA STV

Firma působící na českém trhu od roku 1997 se zprvu specializovala na vodu, plyn a topení. Postupem času se tato společnost vyprofilovala nejen na původní specializaci, ale i na využití obnovitelných zdrojů.

Firma nabízí dodávku, montáž a servis VtE. Na svých internetových stránkách nabízejí VtME od amerického výrobce Southwest Windpower. Preferují spíše výběr VtME na míru, tudíž mají ve svém katalogu pouze 4 VtME se jmenovitými výkony 400, 900, 1000 a 3000W.

4.1.5 Spirit s.r.o.

Společnost Spirit, s.r.o. se specializuje na výrobu elektrické energie z VtME. Společnost je dodavatelem VtME. Nabízejí vypracování návrhu systému s VtME od posouzení vhodné lokality pro výstavbu VtME až po vyřízení všech potřebných administrativních úkonů. Na webových stránkách se lze dočíst, že montáž a zprovoznění VtME si provádí koncový uživatel sám [25].

Firma nabízí dodávku VtME a příslušenství z USA. Konkrétně VtME WCW 1600W, které mohou mít různá výstupní napětí od 12V až po 48V stejnosměrných. Společnost nabízí na svých internetových stránkách samostatné VtME nebo kompletní sety (VtME, regulátor nabíjení, usměrňovač a měnič napětí). V příslušenství je možno zakoupit samostatně akumulátory, usměrňovače, měniče napětí a regulátory nabíjení [25].

4.2 Zahraniční trh

Zahraniční trh s VtME je oproti českému širší, avšak spousta společností nemá v České republice zastoupení, což může být při montáži, servisu a případné reklamaci problémem. Zde jsou uvedeny některé zahraniční společnosti, které se zabývají VtME.

4.2.1 iSTA BREEZE

Tato společnost je od roku 2011 oficiální zástupcem větrných elektráren IstaBreeze, které se vyrábí v Turecku. Nabídka větrných elektráren je od jmenovitých výkonů od 500W až 4kW. V jejich nabídce najdeme i součásti k VtME jako listy rotoru, regulátory apod. Společnost má na svých webových stránkách certifikáty pro vývoz a provoz VtME do USA, Evropské unie atd [26].

4.2.2 Windside

Tato společnost byla založena v roce 1982 ve Finsku. Jejich VtE vycházejí z principu Savoniovy VtE s některými úpravami a vylepšeními. Na jejich webových stránkách je uvedena spolehlivost, kvalita a životnost, která je udávána přes 30 let. VtME, které tato společnost nabízí je od jmenovitého výkonu desítek W až desítek kW s rozběhovou rychlostí od 2 m/s [27].

4.2.3 Koupě na Ebay

Další možností je koupě VtME na internetových stránkách ebay.com. Můžeme zde najít široký výběr VtME od několika W až po desítky kW, jednotlivé díly k VtME jako stožár, lopatky, generátory, baterie, apod. Drtivá většina těchto výrobků pochází z Číny a oproti výrobkům z oficiálních stránek prodejců a výrobců bývají levnější o 10-30%, otázkou je jaká bude kvalita řešení reklamace či servis u těchto výrobků.

5 NÁVRH TYPU VTME

Tato kapitola se bude zabývat možnostmi využití elektrické energie, výběrem vhodného typu VtME pro oblasti s nepříznivými větrnými podmínky.

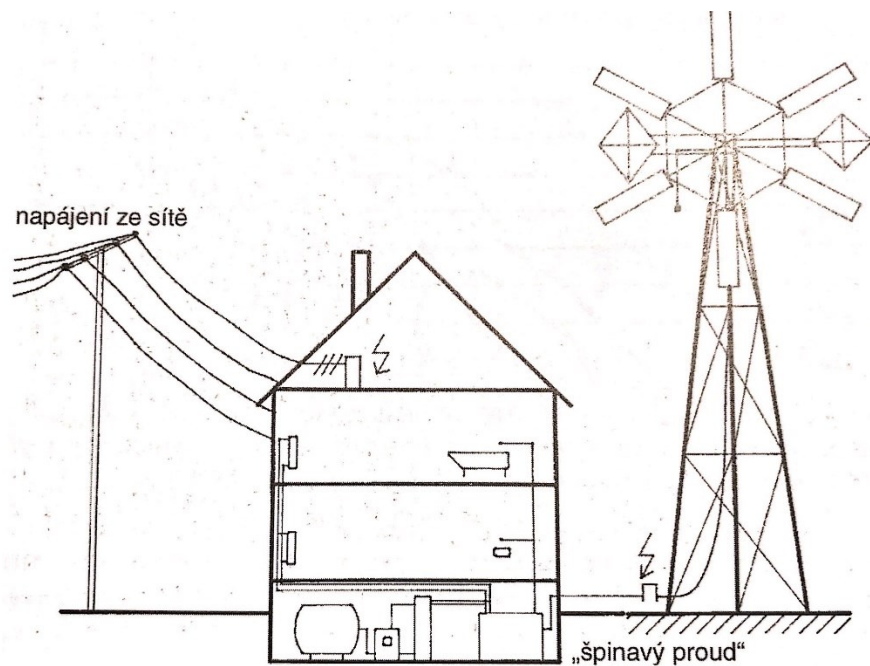
5.1 Možnost využití energie

Pro využití elektrické energie existuje několik způsobů. Každý z níže popsaných způsobů využití elektrické energie má svá určitá specifika, která budou popsána.

5.1.1 Přímé využívání vyrobeného střídavého proudu bez skladování

Jednou z možností, jak využít elektrický proud z VtME, je přímým kabelovým propojením na 1 fázový nebo 3 fázový motor pohánějící např. čerpadlo, které bude zásobovat vodou objekt, zahradu, akumulární nádrž ze studny či potoku. K tomuto způsobu jsou nejvhodnější generátory s permanentními magnety [18].

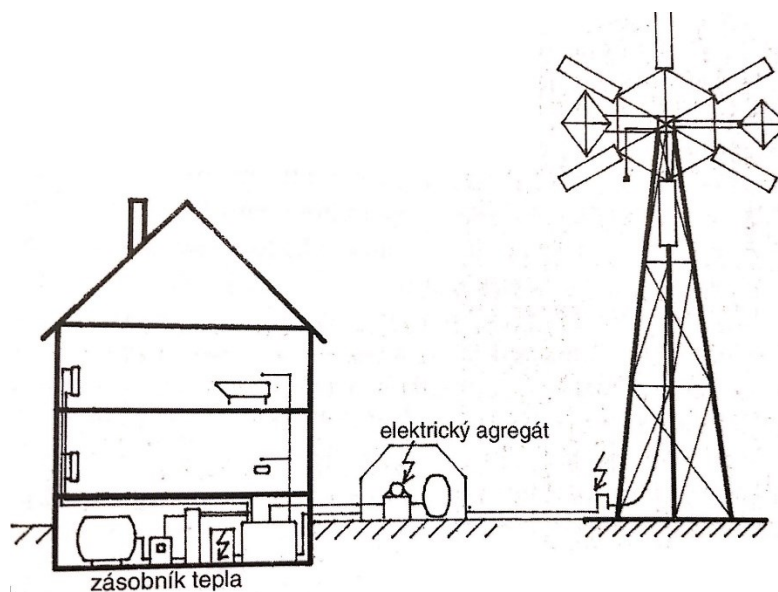
Další možností využití elektrické energie z VtME bez skladování je přímé využití elektrické energie k přípravě teplé užitkové vody či vytápění. Tato možnost bývá využívána majiteli VtME s výkonem v rozmezí 1kW - 10kW. Výhodou tohoto využití je nenáročnost na kvalitu elektrické energie, kdy jedna z mála podmínek je, aby elektrický odpor zátěže byl přizpůsoben na napětí a jmenovitý výkon. Jako generátor je možno využít asynchronního generátoru, který je levnější. Na obr. č. 20 je zobrazena varianta využití el. proudu pro vytápění rodinného domu (dále již RD) [18].



Obr. 20 Využití elektrického proudu pro vytápění [18]

5.1.2 Výroba elektrického proudu pro napájení izolovaných sítí

V tomto případě se musí střídavý elektrický proud převést na stejnosměrný, abychom ho mohli skladovat v akumulátorech. Zbytky el. proudu můžeme využít k topení či napájení osvětlení (viz obr. č.21). K tomuto způsobu je nejvhodnější využít generátory s permanentními magnety s následně připojeným usměrňovačem a nabíjecím regulátorem nebo samobudící asynchronní generátory s usměrňovačem. Tento systém se často kombinuje se solárními články [18].

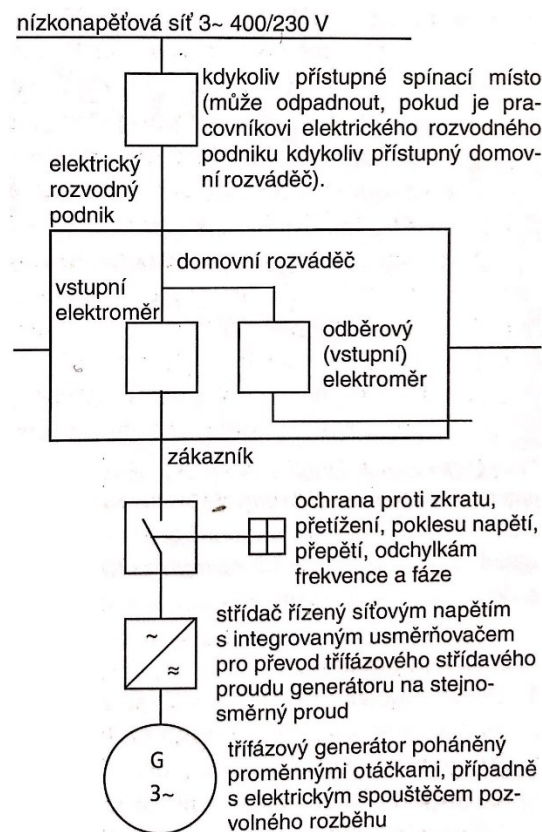


Obr. 21 Autonomní izolovaný provoz (ostrovni provoz) [18]

5.1.3 Výroba elektřiny pro napájení sítě

Pro dodávání el. energie do sítě musejí být splněny podmínky provozovatele sítě. Mezi ty nejzákladnější patří napětí 230 V a frekvence 50 Hz. V tomto případě je možné využít asynchronní generátory buzené ze sítě pracující při jmenovitých otázkách nebo synchronní generátory. U výkonů do 5kW je nejvhodnější generátor se střídačem pro napájení sítě (viz obr. 22). Pro výkony od 100W do 10kW jsou nejvhodnější tyto generátory: [18]

- Generátory s permanentními magnety do el. výkonu 3kW (vhodné pro nabíjení akumulátorů) [18]
- Asynchronní generátory [18]
- Synchronní generátory [18]



Obr. 22 Elektrické uspořádání pro napájení veřejné sítě [18]

5.2 Výběr lokality

Lokalita, která byla vybraná pro eventuální výstavbu VtME se nachází ve Zlínském kraji, v okrese Zlín a obci Mysločovice. Nadmořská výška této obce činí 212m n.m. V tab. č. 4 jsou znázorněny povětrnostní podmínky pro danou oblast. Tyto údaje nejsou úplně

přesné, ale pro posouzení výběru vhodné VtME a následné ekonomické zhodnocení, to bude dostačující.

Tab. 4 Větrné podmínky pro obec Mysločovice [28, upravil Tomáš Hronek]

směr větru [°]	relativní četnost				průměrná rychlost [m/s]
	vše	0-4 m/s	4-8 m/s	> 8 m/s	
0	10,90%	7,09%	3,62%	0,18%	3,46
30	8,60%	6,32%	2,27%	0,00%	3,21
60	5,20%	4,63%	0,55%	0,03%	1,97
90	8,10%	7,82%	0,28%	0,00%	1,72
120	7,30%	6,87%	0,43%	0,00%	2,11
150	17,90%	9,93%	7,67%	0,30%	3,88
180	15,40%	10,50%	4,74%	0,15%	3,31
210	4,10%	3,40%	0,59%	0,01%	2,47
240	2,20%	1,79%	0,37%	0,04%	2,47
270	3,60%	2,33%	1,22%	0,05%	3,47
300	8,60%	6,24%	2,10%	0,27%	3,04
330	8,10%	7,27%	0,83%	0,00%	2,28
celkem	100,00%	74,19%	24,67%	1,03%	2,98

5.2.1 Výběr typu větrné mikroelektrárny

Z dostupných údajů, které jsme získali z tab. č. 4 jsme zjistili, že místo pro instalaci VtME je z hlediska větrných podmínek značně nepříznivé. Z tohoto důvodu musíme vybrat vhodný typ VtME. Nejdůležitějšími parametry je rozběhová rychlost, která při daných podmínkách musí být menší než 3 m/s. Jako nejvhodnější typ VtME se jeví VtME BTPS 6500 a WCW 1600/24.

VtME BTPS 6500 nevyužívá převodovku ani samostatný generátor. Rotorem generátoru je samotná vrtule, která není uchycena ve středu, jak to bývá u většiny VtE, ale po obvodu. Státorem generátoru je „obal“ vrtule. Místo převodů má v koncích lopatek magnety, díky kterým vyrábí elektřinu při nižším odporu [29].

Tab. 5 Technické parametry VtME BTPS 6500 [30]

Technické parametry BTPS 6500	
Výška:	1,8 m
Váha:	84 kg
Rozběhová rychlost:	0,2 m/s
Maximální rychlost:	17 m/s
Napětí:	12V/24V/48V DC
Maximální výkon:	1500 W (při 13,8m/s)
Cena:	165 000,-Kč

VtME WCW 1600 je výrobkem z USA, přičemž vrtule se skládá z 9 listů. Tyto listy samy regulují rychlost při extrémním větru a jejich aerodynamický tvar zabezpečuje maximální výkon. Tato VtME je vhodná pro výrobu elektrické energie pro ostrovní systémy. Může generovat napětí od 12-48V stejnosměrných [25].

Tab. 6 Technické parametry VtME WCW 1600/24 [25]

WCW 1600	
Výška:	2,7m
Váha:	21 kg
Rozběhová rychlost:	1,8 m/s
Maximální rychlost:	40,0 m/s
Napětí:	12V/24/48V DC
Maximální výkon:	1 600W (při 10 m/s)
Cena:	45 480,- Kč

5.2.1.1 Výpočet energie a výkonu větru

Vztah, který vyjadřuje energii E pohybující se hmoty vzduchu (7).

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * V * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * A * s * v^2 \quad (7)$$

Kde: m = hmota [m/s]

V = objem [m/s]

v = rychlost větru [m/s]

ρ = hustota vzduchu je 1,225 [kg/m³]

A = plocha, kterou daný objem protéká [m/s]

s = dráha, kterou urazí pohybující se vzduch

5.2.1.2 Výpočet výkonu větrného motoru

V první řadě je nutné vypočítat přibližný výkon P působící na proudu vzduchu plochu rotorových lopatek 1 m² podle vztahu (8).

$$P = \frac{1}{2} * \rho * v^3 = \frac{1}{2} * 1,225 * v^3 [W] \quad (8)$$

Kde

ρ hustota vzduchu je 1,225 [kg*m⁻³]

v rychlost větru [m/s]

Dalším krokem je výpočet předpokládané vyrobené energie dle vzorce 8, kdy výkon proudícího vzduchu P vynásobíme dobou vanutí větru t_{vi} . Většinou se udává četnost výskytu průměrné rychlosti v procentech.

$$E_{vi} = t_{vi} * P \quad (9)$$

Kde E_{vi} = předpokládaná vyrobená energie [W*h]

t_{vi} = doba, kterou daná rychlost větru vane [h]

P = výkon proudu vzduchu na 1 m² [W]

Pro výpočet předpokládané energie vyrobené za rok použijeme rovnici č. 10, kdy sečteme všechny energie E_{vi} a vynásobíme počtem hodin v roce, které vydělíme 100

$$E_{pr} = \sum_y^x E_{vi} * \frac{365*24}{100} \quad (10)$$

Kde x = nejnižší měřená rychlost větru [m/s]

Y = nejvyšší měřená rychlost větru [m/s]

Z časových a finančních důvodů nebylo provedeno dlouhodobé měření rychlosti větru v dané lokalitě. Pro názornost využijeme data z jiné oblasti a v tab. č. 6 budou znázorněna aplikace výše zmíněných vzorců.

Tab. 7 Výpočet získané elektrické energie z VtME

Předpokládaná výroba elektrické energie za 1 rok			
Měřené rychlosti větru v_i [m/s]	četnost výskytu rychlosti větru t_{vi} [%]	Přibližný výkon produ vzduchu P_{vi} [W/m]	E_{vi} [W/m ²]
3	8,4	16,2	136,08
4	8,85	38,4	339,84
5	8,8	75	660
6	8,45	129,6	1095,12
7	7,7	205,8	1584,66
8	6,85	307,2	2104,32
9	6,05	437,4	2646,27
10	5,4	600	3240
11	4,7	798,6	3753,42
12	3,9	1036,8	4043,52
13	3,3	1318,2	4350,06
14	2,7	1645,4	4445,28
15	2,3	2025	4657,5
16	1,9	2457,6	4669,44
17	1,4	2947,8	4716,48
$E_v = \int_{29}^3 E_{vi} [W/m^2]$			42441,99
$E_{pr} [kWh]$			3717,9

Pro naši oblast jsme využili webovou aplikaci vytvořenou v rámci Strategie AV 21 v roce 2016, která po zadání souřadnic, popřípadě ručního vybrání místa na mapě, dokáže spočítat přibližnou výnosnost elektrické energie z VtME. Tato data jsou zobrazena v tab. č. 7 a vycházejí z výpočtu předpovědního modelu WRF s přibližným rozlišením 3km, ten je Ústavem informatiky AV ČR používán pod jménem MEDARD. Data z této webové aplikace jsou korigována tak, abych výsledné hodnoty odpovídaly skutečným, větrným poměrům [31].

Tab. 8 Výpočet elektrické energie získané z VtME BTSM 6500

směr větru [°]	parametry Weibull		výroba energie	
	A [m/s]	k	roční [kWh]	relativně
0	3,90	1,96	34,2	15,34%
30	3,61	2,76	11,7	5,24%
60	2,11	1,24	7,7	3,43%
90	1,92	1,66	2,2	1,00%
120	2,38	2,00	3,2	1,42%
150	4,38	2,34	53,5	24,02%
180	3,74	2,01	39,2	17,58%
210	2,77	1,74	5	2,23%
240	2,68	1,30	6,9	3,09%
270	3,92	2,04	10,3	4,62%
300	3,34	1,42	43	19,32%
330	2,56	1,85	6	2,71%
celkem	3,34	1,68	222,9	100,00%

Tab. 9 Výpočet elektrické energie získané z VtME WCW 1600

směr větru [°]	parametry Weibull		výroba energie	
	A [m/s]	k	roční [kWh]	relativně
0	3,90	1,96	23,9	15,26%
30	3,61	2,76	8,3	5,29%
60	2,11	1,24	5,3	3,39%
90	1,92	1,66	1,6	1,00%
120	2,38	2,00	2,2	1,43%
150	4,38	2,34	37,8	24,19%
180	3,74	2,01	27,4	17,52%
210	2,77	1,74	3,5	2,22%
240	2,68	1,30	4,8	3,07%
270	3,92	2,04	7,2	4,62%
300	3,34	1,42	30,1	19,27%
330	2,56	1,85	4,3	2,74%
celkem	3,34	1,68	156,4	100,00%

6 ADMINISTRATIVA SOUVISEJÍCÍ S VĚTRNÝMI EKTRÁRNAMI A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Tato kapitola se bude zabývat administrativou související s výstavbou a provozem VtME z pohledu zákonů, vyhlášek, dotací, podpory ze strany státu.

6.1 Legislativa související s provozem větrných elektráren

6.1.1 Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů

Tomu to zákonu se také přezdívá „energetický zákon“. Tento zákon mimo jiné upravuje podmínky pro výrobu, přenos a distribuci elektřiny a plynu, dále obchodování s těmito druhy energie. Dále definuje podmínky trhu s elektřinou, plynem a práva a povinnosti jejich účastníků. Mezi ně patří výrobci, provozovatelé přenosové, přepravní a distribuční soustavy a zákazníků [32].

6.1.2 Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

„Zákon stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, dále pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, Územní energetické koncepce a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie a požadavky na ekodesign energetických spotřebičů“ [LEGISLATIVA, 32].

Mezi další cíle tohoto zákona patří ochrana klimatu a životního prostředí. Toho se má docílit podporou využití obnovitelných zdrojů energie druhotných zdrojů, vysokoúčinné KVET, biometanu a decentrální výroby elektřiny, dále k šetrnému využívání přírodních zdrojů [32].

6.1.3 Výroba energie bez licence

V roce 2016 proběhla novela energetického zákona, která rozšířila možnosti provozování malých výroben elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (dále již OZE). Tato novela § 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb., energetického zákona stanovuje, že pro provoz výrobní elektřiny pro vlastní spotřebu s instalovaným výkonem do 10kW není zapotřebí licence energetického regulačního úřadu, pod podmínkou, že v daném odběrném místě se nenachází jiná licencovaná výrobní [33].

Dále také platí nová vyhláška o zjednodušeném připojení. „Od 1. února 2016 pak platí nová vyhláška o připojování č. 16/2016 Sb. Tato vyhláška definuje zcela novou kategorii výroben, a sice tzv. mikrozdroje. Jedná se o instalaci s maximální výkonem do 10 kW včetně, se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi a připojenou k distribuční soustavě. Mikrozdroj musí být rovněž vybaven zařízením, které zamezuje dodávce elektřiny do distribuční soustavy v místě připojení, s výjimkou krátkodobých přetoků elektřiny do distribuční soustavy, které slouží pro reakci omezujícího zařízení, ale které nezvýší hodnotu napětí v místě připojení. Pro tyto tzv. mikrozdroje pak vyhláška stanovuje zjednodušený proces připojení. Pokud žadatel prokáže, že maximální hodnota impedance proudové smyčky v místě připojení je pro zdroje do 16 A na fázi $0,47 \Omega$ a pro zdroje do 10 A na fázi $0,75 \Omega$, pak mu na připojení vzniká nárok. Provozovatel distribuční soustavy ho v takovém případě musí připojit a připravit novou smlouvu nebo dodatek ke stávající smlouvě o připojení vlastníka mikrozdroje jako zákazníka (odběratele)“ [Doucha, 33].

6.1.4 Pokuty za přetoky u mikrozdrojů

Podle rozhodnutí ERÚ č. 7/2015, které stanovuje ceny za služby v elektroenergetice a další regulované ceny, v bodu 3.28. písm. d) říká, výši pokut při dodání elektrické energie do soustavy v rozporu s vyhláškou. (viz tabulka č.10)

Tab. 10 Výše pokut při dodání el. energie do soustavy nad rezervovaný výkon
[34, upravil Tomáš Hronek]

Hodnota překročení rezervovaného výkonu	Kč/kW/měsíc
do 2,5% včetně z instalovaného výkonu vyroben v odběrném místě	36
od 2,5% do 5% včetně z instalovaného výkonu vyroben v odběrném místě	72
od 5% do 10% včetně z instalovaného výkonu vyroben v odběrném místě	145
od 10% včetně z instalovaného výkonu vyroben v odběrném místě	1449

6.1.5 Přehled možných variant provozu VtME

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé možnosti provozu VtME a s tím i spojená administrativa.

6.1.5.1 Výroba elektřiny jako ostrovní systém

Pro výrobu elektřiny, jako ostrovní systém, nepotřebuje provozovatel licenci ERÚ, smlouvu s provozovatelem distribuční soustavy. Podmínkou je, že veškerá vyrobená

elektřina bude zcela spotřebována majitelem systému a výroba nebude připojena k elektrizační soustavě. V tomto případě se nejedná o podnikání. Tato podmínka platí pro všechny ostrovní systémy neohledně na výkon [33].

6.1.5.2 Výroba elektřiny za účelem zisku

Při elektrickém zdroji do 10kW se tato varianta nejeví jako příliš reálná. (Veškerá vyrobená elektrická energie by musela být dodána do distribuční soustavy). Vlastník výroby musí mít licenci, dále musí absolvovat plný proces žádosti o připojení. Dále je nutné mít smlouvu s provozovatelem distribuční soustavy o připojení a smlouvu s obchodníkem o dodávkách vyrobené elektřiny [33].

6.1.5.3 Mikrozdroj

V tomto případě je nutné, aby měl vlastník výroby zařízení, které brání přetokům vyrobené elektřiny do distribuční sítě. Dále musí počítat s tím, že pokud dojde k přetoku elektřiny do sítě, bude mu uložena pokuta viz tab. 10. K zahájení provozu mikrozdroje je nutný pouze dodatek ke stávající smlouvě o připojení odběrného místa k soustavě. Není potřeba žádná licence a může se využít zjednodušený proces připojení k distribuční soustavě [33].

6.1.5.4 Výroba pro vlastní spotřebu

Jedná se o variantu, kdy provozovateli výroby umožní distribuční společnost plné připojení instalovaného výkonu k distribuční soustavě. Provozovatel není nucen k instalaci zařízení, které brání přetokům elektrické energie do distribuční soustavy. Za případné přetoky bude provozovatel inkasovat tržní cenu, kterou si domluví s obchodníkem. Provozovatel potřebuje smlouvu o připojení s provozovatelem distribuční soustavy, dohodu s obchodníkem s elektřinou, který převezme odpovědnost za odchylku vytvořenou neplánovanými dodávkami přetoků do soustavy [33].

6.2 Legislativa související s výstavbou větrných elektráren

Stavba malé větrné elektrárny (VtE) se řídí stavebním zákonem č. 183/2006 Sb. Podle §79 nespadá malá VtE mezi stavby, které nevyžadují rozhodnutí o umístění stavby. Postup bude následující:

- vypracovat projektovou dokumentaci v rozsahu pro územní řízení

- podat žádost na stavební úřad o vydání územního rozhodnutí případně současně o vydání stavební povolení

Příslušný stavební úřad si může vyžádat další dokumenty (např. hluková studie).

6.3 Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola se bude zabývat ekonomickým zhodnocením námi vybraného modelu.

6.3.1 Spotřeba elektrické energie v rodinném domě

V Tab. č. 11 je znázorněna reálná roční spotřeba elektrické energie v období let 2014-2018 v rodinném domě v obci Chomutov. Elektřina se využívá k napájení spotřebičů jako je lednice, trouba, pračka, svícení apod. K vaření a vytápění se využívá plyn. Od roku 2017 se roční spotřeba elektrické energie zvýšila díky zakoupení nové sauny. Průměrná roční spotřeba za období 2014-2018 činí 3698 kWh.

Tab. 11 Roční spotřeba elektrické energie v období 2014-2018

[vypracoval Tomáš Hronek]

mě- síc/rok	2014	2015	2016	2017	2018
leden	380	410	450	350	490
únor	320	350	400	395	500
březen	290	295	305	245	365
duben	230	290	340	299	350
květen	250	245	235	400	228
červen	210	180	250	200	205
červenec	245	265	210	280	235
srpen	250	200	210	215	280
září	225	260	230	285	245
říjen	305	350	290	380	405
listopad	270	300	360	390	400
prosinec	315	320	385	480	450
celkem	3 290	3 465	3 665	3 919	4 153

V tabulce č. 12 jsou vypsány spotřebiče (osvětlení), které budou napájeny energií z VtME. Jsou zde vidět příkony jednotlivých spotřebičů a průměrná doba provozu, spotřeba elektrické energie za den a za rok. V tomto návrhu se uvažuje, že VtME se bude využívat po celý rok.

Tab. 12 Seznam spotřebičů a jejich spotřeby napájených z VtME

[vypracoval Tomáš Hronek]

Spotřebič	Příkon [W]	Doba provozu denně [h]	Spotřeba energie [kWh/24 hodin]	Spotřeba energie [kWh/1rok]
Osvětlení předsíň	150	0,18	0,027	9,86
Osvětlení chodba	95	0,35	0,03325	12,14
Osvětlení pokoj č.1	280	1,25	0,35	127,75
Osvětlení ložnice	210	0,45	0,0945	34,49
Osvětlení technická místnost	50	0,15	0,0075	2,74
Celková spotřeba [kWh]			0,51225	186,97

Z tab. č. 12 lze vidět, že celková roční spotřeba elektrické energie spotřebičů, které je v plánu napájet z VtME typu BTSM 6500 je 186,97 kWh. Kvůli použití akumulátorů a regulátorů nabíjení je nutné k celkové spotřebě přičíst ztráty při přeměně energií v těchto přístrojích. Účinnost těchto zařízení byla stanovena kolem 85%. Na vstup musíme dodat o 15% více energie, než je celková spotřeba. Celková roční spotřeba bude 219 kWh. U VtME typu WCW 1600 je při stejné účinnosti všech zařízení možnost napájet pouze osvětlení pokoje č. 1.

Při porovnání celkové spotřeby z tab. č. 11 je evidentní, že VtME pokryjí asi 5% respektive 3,45% průměrné roční spotřeby elektrické energie, což v celkové spotřebě nehraje příliš významnou roli. V kapitole 6.5.1. bude blíže popsána celková návratnost investice.

6.3.2 Větrná mikroelektrárna

Pro naši oblast jsme vybrali dva typy VtME BTPS 6500 a WCW 1600/48. U VtME typu BTPS 6500 bylo poměrně obtížné zjistit cenu, ale po emailové komunikaci se zástupcem společnosti Energy ForEver jsme dosáhli kompletní cenové nabídky za VtME, regulátory za 165 000 Kč včetně DPH.

Celková cena u VtME WCW 1600/48 se všemi komponenty (baterie, regulátor nabíjení, usměrňovač) činí 90 720 Kč včetně DPH. Tato VtME je k dostání u společnosti Spirit, s.r.o.

6.3.3 Stožár a ukotvení

Jak již bylo řečeno, tak výška umístění VtME má značný vliv na výkon. V tomto modelovém příkladu budou obě VtME umístěna na stožáru o výšce 10 m. Poměrně častou

varianto je umístit VtME na příhradový stožár, který je ukotven jistícími lany. Cena příhradového stožáru i s dopravou je 22 490 Kč [35]. Pro ukotvení byly vybrány jistící lana od společnosti Mastrnant. Bylo vybráno lano Mastrant – P 6mm o délce 20m. Cena byla stanovena na 757 Kč včetně dopravy. Dále bude nutné upevnit lana svorkami a očnicemi. Náklady se zvýší o 257 Kč [36].

6.3.4 Baterie

Pro ukládání elektrické energie u VtME typu BTPS 6500 nám byl doporučen akumulátor (baterie) pro ukládání přebytečné elektrické energie CSB EVX123000 o kapacitě 30Ah. Baterie bude využívána hlavně v letních měsících, kdy doba provozu spotřebičů (žárovek) je kratší. Cena této baterie po slevě činí 2.365 Kč včetně dopravy [37].

U VtME typu WCW je cena baterie již započítána. Dodavatelem byla doporučena baterie Vatra profesional deep cycle se 180Ah [25].

6.3.5 Ostatní výdaje

Jelikož stavba VtME se řídí stavebním zákonem č. 183/2006 Sb. bude nutné vypracovat projektovou dokumentaci pro stavební řízení (dále již DÚR). Byla stanovena cena pro vypracování DÚR a získání stavebního povolení na 15 000Kč. Roční variabilní náklady byly stanoveny na 1% z pořizovací ceny jednotlivých VtME. Mezi tyto náklady řadíme drobné opravy, servis apod.

6.4 Vstupní údaje pro ekonomické hodnocení

V následujících řádcích budou popsány ekonomické veličiny, které ovlivňují ekonomickou výhodnost a efektivnost obnovitelných zdrojů energie. Jsou to:

-Investiční náklady – veškeré jednorázové výdaje (příprava stavby, projekt, technologické zařízení, montáž, el. přípojku, náklady na výkup pozemků apod.)

-Doba životnosti zařízení – doba, kterou je možno využít produkce obnovitelných zdrojů energie bez nutných investičních výdajů na obnovu zařízení

-Provozní náklady – na obsluhu zařízení, pravidelnou údržbu, předpokládané opravy, reže, pojištění majetku, nákup paliv apod.

-Velikost úspor – energie, roční produkce elektřiny a tepla

-Financování stavby – velikost, doba splácení a úroková sazba na poskytnutý úvěr

6.4.1 Doba návratnosti

Prostá doba návratnosti (rovnice č. 11) patří k nejjednodušším ekonomickým zhodnocením. Nevýhodou tohoto kritéria je, že zanedbává efekty po době návratnosti T_s a zanedbává fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí.

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{IN}{V - N_p} \quad (11)$$

Kde IN = investiční, jednorázové náklady na realizaci úspor

CF = roční úspory v peněžní podobě

V = výnosy z realizace (př. roční hodnota úspor energie)

N_p = roční provozní náklady

Tab. 13 Náklady, provozní náklady a úspora energie z VtME BTPS 6500

[vypracoval Tomáš Hronek]

Jednorázové náklady	
Pořizovací cena VtME	165 000,00 Kč
Stožár a ukotvení	23 504,00 Kč
Baterie	2 365,00 Kč
DUR + stavební povolení	15 000,00 Kč
celkem	205 869,00 Kč
Roční provozní náklady	
celkem	1 650,00 Kč
Výnosy z realizace (roční úspora energie)	
Celková vyrobená elektřina	222,90 kWh
Celková uspořená energie	186,97 kWh
cena za 1 kWh	4,55 Kč
celkem	849,97 Kč

Tab. 14 Náklady, provozní náklady a úspora energie z VtME WCW 1600

[vypracoval Tomáš Hronek]

Jednorázové náklady	
Pořizovací cena VtME	90 720,00 Kč
Stožár a ukotvení	23 504,00 Kč
Baterie	0,00 Kč
DUR + stavební povolení	15 000,00 Kč
celkem	129 224,00 Kč
Roční provozní náklady	
celkem	907,20 Kč
Výnosy z realizace (roční úspora energie)	
Celková vyrobená elektřina	156,40 kWh
Celková uspořená energie	150,29 kWh
cena za 1 kWh	4,55 Kč
celkem	683,22 Kč

V tabulce č. 13 a 14 jsou zaznamenány všechny údaje potřebné k výpočtu doby návratnosti. Cena za 1kWh (4,55 Kč) byla určena z ceníku dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s. pro zákazníky kategorie D – Domácnost, zvolená distribuční sazba byla D01d. Dále podle vyhlášky ERÚ č. 296/2015 Sb. je doba životnosti VT 20 let. Všechny tyto údaje jsou následně dosazeny do rovnice č. 13 a 14 [38,39].

V prvním případě je vypočtena doba návratnosti u VtME typu BTPS 6500, po dosazení do vzorce dostáváme rovnici:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{205869}{(849,97)} = 242,21 \text{ let} \quad (13)$$

Ve druhém případě je vypočtena doba návratnosti u VtME typu WCW 1600, po dosazení do vzorce dostáváme rovnici:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{129244}{(683,22)} = 189,17 \text{ let} \quad (14)$$

Jak je z obou výsledků patrné, tak doba návratnosti investice přesahuje u obou případů několikanásobně jeho životnost, a to do výpočtu nebyly započítány peníze na údržbu a renovaci komponentů. Kdyby byly tyto částky započítány, musel by majitel VtME každý

rok dotovat provoz těchto VtME. Z tohoto výpočtu vyplývá, že výstavba VtME v oblastech s nepříznivými větrnými podmínkami se ekonomicky nevyplatí.

Pro ilustraci, aby investice do VtME byla splacená do konce její životnosti (20 let), musela by v případě VtME BTPS 6500 ročně ušetřit přibližně 10293,- Kč, což znamená vyrobit přes 2260kWh za rok. To odpovídá oblasti s průměrnou rychlostí větru okolo 6,9 m/s. U VtME typu WCW 1600 by musela ušetřit ročně přibližně 6462,-Kč. Této hodnoty by dosáhla při roční výrobě elektrické energie okolo 1420kWh, což opět odpovídá oblasti s průměrnou rychlostí větru 6,9 m/s.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit čtenáře s problematikou větrných mikroelektráren v České republice, s jejich využitím, účinností. Pozornost zde byla zaměřena na zařízení použitelné pro oblasti s nepříznivými povětrnostními podmínkami a na výběr vhodného typu větrné mikroelektrárny pro tyto podmínky. Dále se práce zabývala problematikou návrhu větrné mikroelektrárny a s finančními náklady, které jsou spojené se samotnou stavbou elektrárny.

Teoretická část práce je zaměřená na problematiku a princip činnosti větrných elektráren, kde je rozebrána historie větrných elektráren, princip činnosti a dělení větrných elektráren. V další části jsou probrány minimální povětrnostní podmínky a výběr vhodného typu větrné mikroelektrárny. Tato část se zabývá faktory, které ovlivňují účinnost a výběr větrné elektrárny.

V praktické části byl proveden průzkum českého a zahraničního trhu, kde bylo zjištěno, že český trh s větrnými mikroelektrárnami není nikterak velký. Jen ojediněle narazíme na společnost, která se zabývá pouze výrobou elektrické energie z větru. Většina společností funguje na principu dodavatele větrných elektráren ze zahraničí. V další části práce byla navržena větrná mikroelektrárna v obci Mysločovice, kde větrný potenciál pro výstavbu a provoz větrné mikroelektrárny není příznivý. Průměrná rychlost větru dosahuje 2,98 m/s. Z tohoto důvodu byl omezen výběr větrných mikroelektráren, neboť většina větrných mikroelektráren potřebuje ke svému rozběhu rychlost 3 m/s. Z možností trhu byly vybrány dvě větrné elektrárny, a to větrná mikroelektrárna BTPS 6500, kde rozběhová rychlost začíná na 0,2 m/s a větrná mikroelektrárna WCW 1600, kde její rozběhová rychlost činí 1,8m/s. V poslední části byla probrána potřebná administrativa pro výstavbu a provoz větrné mikroelektrárny a finanční zhodnocení vybraného návrhu větrných mikroelektráren. Z Tab. č. 13 a 14 je zřejmé, že výstavba větrné mikroelektrárny není levnou záležitostí. Pro oblasti s nepříznivými větrnými podmínkami je investice do větrné mikroelektrárny ekonomicky nerentabilní záležitostí, neboť návratnost celé investice několikanásobně překračuje životnost větrných elektráren. Z tohoto důvodu by si měl každý předem rozmyslet a důkladně prověřit, jestli hodlá do takové stavby investovat svůj čas a peníze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5.
- [3] KOČ, Břetislav. Inventura větrné energetiky v Evropě a ve světě v roce 2017 [online]. 2018 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/17248-inventura-vetrne-energetiky-v-evrope-a-ve-svete-v-roce-2017>
- [4] RUDA, Aleš. Všeobecná cirkulace atmosféry. KLIMATOLOGIE A HYDROLOGIE pro učitele [online]. [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html
- [5] ROŠLAPIL, Ladislav. Všeobecná cirkulace atmosféry. MetAmater.cz [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://www.metamater.cz/vysvetleni-pojmu/vseobecna-cirkulace-atmosfery/>
- [6] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. O ENERGETICE [online]. 2015, 28. únor 2015 [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [7] Energie větru. Elektronická učebnice [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2072>
- [8] Technická problematika větrných motorů. ENERGIE VĚTRU, VODY, BIOMASY [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/07.html>
- [9] SCHULZ, Heinz. Savoniův rotor: návod na stavbu. Ostrava: HEL, 2005. ISBN 80-861-6726-7.
- [10] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny V. – Malé větrné elektrárny v ČR. Tzbinfo [online]. 2016, 9.5.2016 [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>

- [11] LOPATKOVÉ KOLO [online]. 1999 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/lopat_kolo.html
- [12] BLAŽEK, Tomáš. Symbol obce ožil. Kolo větrníku nad Chlumem se po letech opět točí Zdroj: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/v-chlumu-se-uz-zase-toci-vetrnik.A150915_2191798_jihlava-zpravy_evs?. IDNES.cz [online]. 15.9.2015 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/v-chlumu-se-uz-zase-toci-vetrnik.A150915_2191798_jihlava-zpravy_evs?
- [13] KRÁLOVÁ, Magda. VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY. Techmania Science Center/EDU-PORTÁL [online]. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/tekutiny/proudeni-realne-tekutiny/vetrne-elektrarny>
- [14] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1563-7.
- [15] BALÁK, Rudolf a Karel PROKEŠ. Nové zdroje energie. Praha: Nakladatelství technické literatury, n.p., 1984.
- [16] Jak vytvořit větrnou turbínu s rukama: Pokyny k montáži a instalaci. FROSTPATTAYA.COM [online]. 2018 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://mikroklimat.pro/wp-content/uploads/2016/01/lopasti-vetrogeneratora-svoimi-rukami.jpg>
- [17] TX20ETH. Papouch.com [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: https://www.papouch.com/cz/_file/web/5824/tx20-senzor-na-tyci.jpg
- [18] CROME, Horst a Václav LOSÍK. Technika využití energie větru: Svépomocná stavba větrných zařízení. Ostrava-Plesná: HEL, 2002. ISBN 80-86167-19-4.
- [19] HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: návod ke stavbě. Ostrava: HEL, 1998. ISBN 80-861-6700-3.
- [20] AERPLAST s.r.o. [online]. [cit. 2019-03-05].
- [21] Energy ForEver - energie pro Vás [online]. 2010 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.energyforever.cz/cz/>
- [22] [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://f.allegroimg.com/original/0c8a61/0f02aebe424e860be2af2dc4517f>
- [23] Solar Economic [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.solareconomic.cz/>

- [24] Větrná axiální elektrárna DS 3000 W. Solar Economic [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.solareconomic.cz/solarec/eshop/18-1-Vetrne-elektrarny/47-2-Vetrne-turbiny/5/122-Vetrna-axialni-elektrarna-DS-3000-W>
- [25] Větrná turbína 1600 W. Větrné elektrárny [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://vetrnik.shop1.cz/vetrne-elektrarny/vetrna-elektrarna/vetrne-elektrarny-samotne/wcw-1600-24>
- [26] ISTA BREEZE WIND TURBINES. ISTA BREEZE WIND TURBINES [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.istabreeze.com/online/index.php?route=information/contact>
- [27] Windside [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.windside.com/>
- [28] Interaktivní mapa větru ve výšce 10 m a podmínek pro malé větrné elektrárny. Ústav fyziky atmosféry [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [29] AUGUSTOVÁ, Andrea. DESIGN KRYTU STŘEŠNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://www.ustavkonstruovani.cz/File-Download/getFile/712/BP_Augustova.pdf. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce JOSEF SLÁDEK.
- [30] Windtronics. Energy ForEver - energie pro Vás [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/windtronics/>
- [31] Mapa všeobecných větrných podmínek či výroby energie malou větrnou elektrárnou ve výšce 10 m nad povrchem. ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY AV ČR [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/#>
- [32] LEGISLATIVA. EFEKT energie efektivně [online]. <https://www.mpo-efekt.cz/cz/>, 2008 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/legislativa/zakony-a-vyhlasky/zakon-165-2012>
- [33] DOUCHA, Pavel. Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016. Tzbinfo [online]. 16.3.2016 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-domaci-elektrarny-v-roce-2016>
- [34] VESELÁ, Adriana. Energetický regulační VĚSTNÍK [online]. 2015, 27.11.2015, 15(08/2015), 86 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_8_2015.pdf/afe1400e-2277-4835-8228-15c27aaa8d9a
- [35] Sada 4 PROFI stožárů pr. 60 + nástavec + spojovací materiál. WF metal [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.drzakanteny.cz/product.php?id_product=340&id_lang=1

- [36] [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.mastrant.com/cz/>
- [37] Akumulátor (baterie) CSB EVX12300, 12V, 30Ah, zapuštěný závit M5. TOP battery s.r.o. [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.topbattery.cz/zalozni-stanicni-baterie-ups/akumulator-baterie-csb-evx12300-12v-30ah-zapusteny-zavit-m5.html>
- [38] Ceník Elekřina. E.ON [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a164675---WAJC-cEA/cenik-elektrina-k-1-1-2019-distribucni-uzemi-e-on-pdf>
- [39] Vyhláška č. 296/2015 Sb. Zákony pro lidi.cz [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-296>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MW	Megawatt
VtE	Větrné elektrárny
P	Výkon větru [W]
A	Hustota vzduchu [kg/m^3]
v	Plocha stojící kolmo proti větru, již vítr prochází [m^2]
kW	Kilowatt
VtME	Větrná mikroelektrárna
v_2	Střední rychlost větru ve výšce h_1 [m/s]
v_1	Vypočítaná rychlost větru [m/s]
h_1	Výška, ve které se provádí měření [m]
h_2	Výška umístění osy rotoru [m]
a	Exponent závisící na drsnosti povrchu[1]
$\eta_{\text{celk.}}$	celková účinnost [1]
c_p	účinnost rotoru [1]
η_m	účinnost řemenového převodu [1]
η_g	účinnost generátoru [1]
RD	rodinný dům
E	Energie pohybující se hmoty vzduchu
m	hmota [m/s]
V	objem [m/s]
s	dráha, kterou urazí pohybující se vzduch
E_{vi}	předpokládaná vyrobená energie [Wh]
t_{vi}	doba, kterou daná rychlost větru vane [h]
kWh	kilowatthodina

T_s	prostá doba návratnosti
IN	investiční (jednorázové) náklady
CF	roční úspory v peněžní době
N_p	roční provozní náklady

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma všeobecné cirkulace atmosféry [5].....	13
Obr. 2 Větrná elektrárna – schéma principu činnosti [7].....	14
Obr. 3 Typy větrných rotorů [8]	15
Obr. 4 Rotor typu Savonius [10].....	16
Obr. 5 Princip funkce odporové turbíny [6]	17
Obr. 6 Princip funkce vztlakové turbíny [6]	18
Obr. 7 Lopatkové kolo [12].	19
Obr. 8 Rotor typu Darrieus [10].....	19
Obr. 9 Vrtulová větrná elektrárna s pomocným kormidlem [14]	20
Obr. 10 Větrná elektrárna na vzdušném balónu (SSSR) [15].....	21
Obr. 11 Povětrnostní mapa ČR [16]	23
Obr. 12 Formy proudění vzduchu při obtékání libovolného tělesa [14].....	24
Obr. 13 Rozložení rychlosti větru podle denní doby v letním a zimním dnu v Syletu a na brémském letišti [14]	25
Obr. 14 Výstavba VtMe v blízkosti budovy [14]	27
Obr. 15 Miskový anemometr [17]	28
Obr. 16 Poměry proudění vzduchu před a za rotorem [18]	31
Obr. 17 Celková účinnost větrného konvektoru [18]	32
Obr. 18 Větrná mikroelektrárna typu BTPS 6500 [22]	35
Obr. 19 Větrná axiální elektrárna DS 3000 W [24].....	35
Obr. 20 Využití elektrického proudu pro vytápění [18]	39
Obr. 21 Autonomní izolovaný provoz (ostrovní provoz) [18].....	39
Obr. 22 Elektrické uspořádání pro napájení veřejné sítě [18]	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Beaufortova stupnice síli větru [1]	22
Tab. 2 Charakter krajiny popsané třídou drsnosti, délkou nerovnosti a exponentem při výšce 50m [14].....	26
Tab. 3 Rychlost větru a výkon [18]	30
Tab. 4 Větrné podmínky pro obec Mysločovice [28, upravil Tomáš Hronek].....	41
Tab. 5 Technické parametry VtME BTPS 6500 [30]	41
Tab. 6 Technické parametry VtME WCW 1600/24 [25]	42
Tab. 7 Výpočet získané elektrické energie z VtME	44
Tab. 8 Výpočet elektrické energie získané z VtME BTSM 6500	45
Tab. 9 Výpočet elektrické energie získané z VtME WCW 1600	45
Tab. 10 Výše pokut při dodání el. energie do soustavy nad rezervovaný výkon [34, upravil Tomáš Hronek]	47
Tab. 11 Roční spotřeba elektrické energie v období 2014-2018	49
Tab. 12 Seznam spotřebičů a jejich spotřeby napájených z VtME	50
Tab. 13 Náklady, provozní náklady a úspora energie z VtME BTPS 6500	52
Tab. 14 Náklady, provozní náklady a úspora energie z VtME WCW 1600.....	53

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Celkový instalovaný výkon v roce 2017 [3, vytvořil T. Hronek]	11
Graf 2 Instalovaný výkon a podíl na spotřebě v Evropě [3, vytvořil T. Hronek].....	12