

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE**

**TECHNICKÁ FAKULTA**

2 118122

**VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE**

**Nitra, 2010**

**Bc. Juraj Tuhoba**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE**

**TECHNICKÁ FAKULTA**

**VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program:	Informačná a automatizačná technika v kvalite produkcie
Študijný odbor:	5. 2. 57 - Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky
Školiteľ:	Ing. Ľudovít Nagy

**Nitra, 2010**

**Bc. Juraj Tuhoba**

## Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem že, som Diplomovú prácu na tému „Využitie veternej energie“ vypracoval samostatne s použitím získanej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre, 26.4.2010

---

podpis

## Pod'akovanie

Ďakujem môjmu vedúcemu práce Ing. Ľudovítovi Nagymu za cenné odborné rady a podnety, ktoré mi poskytoval.

## **ABSTRACT**

Jedným z hlavných smerov, ktorým sa bude musieť odborná spoločnosť v blízkej budúcnosti venovať väčšiu pozornosť je otázka, ako zabezpečiť rastúci dopyt po elektrickej energii vo svete a tiež hľadať pri tom čisté formy jej získavania. Popri súčasných trendoch v orientácii na ekologicky zamerané projekty a s tým súvisiacej stále sa zvyšujúcej potrebe hľadať nové nápady, v posledných rokoch nadobudol spôsob získavania energie z vetra výrazne na dôležitosť. V tejto práci chcem hlavne poukázať na to, že v každom smere technického využitia je možné stále vylepšovať už používané technológie. Tým sa riešia dôležité problémy súčasnosti a zároveň posúvajú hranice našich možností ďalej. V oblasti energetiky sa takto posunula napríklad úloha veterných elektrární ako doplnujúceho zdroja energie značne dopredu a ja som sa pokúsil túto tému viac rozobrať.

### **KLÚČOVÉ SLOVÁ:**

Využitie obnoviteľných zdrojov energie, veterná elektrárňa, možnosti využitia malej veternej elektrárne

## **ABSTRACT**

One of the main directions, which will have a professional company in the near future to give greater attention is how to ensure the growing demand for electricity in the world and look at the pure form of its acquisition. In addition to the current trends in the orientation of environmentally focused projects and associated ever increasing need to find new ideas in recent years came the way of obtaining energy from wind significantly in importance. In this paper I want to especially point out that in every way possible is technically still possible to improve existing technologies. This will address important issues today, and also move the boundaries of our options below. The energy is thus shifted as the role of wind power as an additional source of energy is well advanced and I tried to analyze this issue more.

### **KEYWORDS:**

Renewable energy, wind power, the possibility of using a small wind power

# OBSAH

<b>0. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky .....</b>	<b>13</b>
1.1. Vietor .....	13
1.2. Veterná energia – história .....	13
1.3. Veterná energia vo svete .....	15
1.3.1. Veterná energia v USA .....	16
1.3.2. Veterná energia v EU .....	17
1.4. Veterný potenciál Slovenska .....	20
1.4.1. Nové veterné elektárne v SR .....	21
1.5. Vývoj elektrární .....	23
<b>2. Cieľ práce .....</b>	<b>24</b>
<b>3. Metodika práce .....</b>	<b>25</b>
<b>4. Riešenie úlohy .....</b>	<b>26</b>
4.1. Popis komponentov veternej elektrárne .....	26
4.2. Rozdelenie veterných elektrární .....	27
4.2.1. Horizontálne .....	28
4.2.2. Vertikálne .....	29
4.3. Veterná elektráreň WDW300B .....	31
4.3.1. Princíp a vybavenie .....	31
4.3.2. Vlastnosti .....	32
4.3.3. Použitie .....	32
4.3.4. Technické parametre .....	33
4.3.5. Výroba energie .....	34
4.3.6. Dobíjanie akumulátorov .....	35
4.3.7. Výroba tepla .....	35
4.3.8. Použitie WDW 300B v chatovej oblasti .....	36

4.3.9.	Finančné náklady a návratnosť.....	38
4.4.	<i>Pravidlá pri výstavbe</i> .....	38
4.4.1.	Určenie výkonu turbíny.....	39
4.4.2.	Výška turbíny .....	41
4.4.3.	Umiestňovanie turbín .....	41
4.4.4.	Prekážky a drsnosť terénu .....	42
4.4.5.	Tienenie turbínou .....	43
4.4.6.	Priemerná rýchlosť vetra .....	44
4.4.7.	Meranie rýchlosti vetra.....	44
4.4.8.	Beaufortova stupnica.....	46
4.5.	<i>Vplyv na faunu a flóru</i> .....	48
4.6.	<i>Hluk</i> .....	50
4.7.	<i>Optické emisie veterných elektrární</i> .....	52
4.8.	<i>Infrazvukové emisie</i> .....	53
<b>5.</b>	<b>Výsledky práce .....</b>	<b>54</b>
5.1.	<i>Výhody využívania veternej energie</i> .....	54
5.2.	<i>Nevýhody využívania veternej energie</i> .....	55
5.3.	<i>Využitie elektrárne vo vyučovacom procese</i> .....	56
5.4.	<i>Prečo potrebuje Slovensko veternú energiu?</i> .....	57
<b>6.</b>	<b>Záver .....</b>	<b>58</b>
	<b>Použitá literatúra .....</b>	<b>59</b>



## POUŽITÉ POJMY A SKRATKY

**VE** – veterné elektrárne

**W** – watt

**kW** – kilowatt

**MW** – megawatt

**GW** – gigawatt

**kW.h<sup>-1</sup>** – kilowatthodina

**GWh<sup>-1</sup>** – gigawat hodina

**OZE** - obnoviteľné zdroje energie

**km/h** – kilometre za hodinu

**m/s** – metre za sekundu

**off-grid** - zapojenie bez pripojenia na verejnú sieť

**V** - volt

**Hz** - hertz

**mil** - milión

**USD** – americký dolár

**DKr** – dánska koruna

**km** - kilometer

**a.s.** – akciová spoločnosť

**kg** – kilogram

**m** – meter

**el.** - elektrická

**napr.** - napríklad

**VDC** – výstupné napätie

**Ah** – ampér hodina

**min** - minúta

**dB** - decibel

## 0. ÚVOD

Využitie vetra je jedným z najstarších spôsobov získavania energie. Tradičnými predstaviteľmi veterných energetických zdrojov sú klasické veterné mlyny. Stredne veľké veterné mlyny mali priemer krídel asi 20 m a max výkon 5 až 10 kW. Tie väčšie mali priemer krídel 10-20 m používali sa najmä na čerpanie vody, mletia a šrotovania obilia. Prvým veterným zdrojom dodávajúcim elektrickú energiu bolo veterné „dynamo,, ktoré postavil v r. 1886 v USA G. Brush. Bol to veterné koleso priemerom 17 m, ktoré poháňalo dynamo s max výkonom 12 kW.

Začiatkom 19. storočia bola postavená aj prvá rýchlobežná veterná turbína vo Francúzsku, čím sa začala prvá etapa využívania vetra na výrobu elektrickej energie. Neskôr bol v Dánsku, pred 2. svetovou vojnou, sprevádzkovaný systém veterných elektrární na morskom pobreží. Po druhej svetovej vojne sa však rozvoj veternej energetiky spomalil. Nové impulzy pre rozvoj veterných energetických zdrojov priniesla ropná kríza začiatkom sedemdesiatych rokov. Vo svete sa začali výskumné a vývojové programy za účelom vývoja komerčných strojov. Začali sa vyrábať gigantické stroje.

V tomto energetickom cykle je zahrnutá obrovská energia , a však jej využitie je zložité. Napriek tomu, že existuje viacero spôsobov ako využívať veternú energiu, najrozšírenejšia je výroba elektriny vo veterných elektrárnach . Výhodou tejto výroby je, že tento obnoviteľný zdroj energie nespôsobuje emisie škodlivín do ovzdušia. Nevýhodou sú však vysoké investičné náklady na výstavbu a tiež závislosť na aktuálnej meteorologickej situácii

Globálna civilizácia môže uniknúť život ohrozujúcej pasci fosílnych palív iba razantným prechodom na obnoviteľné a udržateľné zdroje. Je to zmena, ktorá nemá od čias priemyselnej revolúcie obdobu. Zastaví plíživý proces homogenizácie kultúr a ekonomických štruktúr, zvyšovania regionálnych rozdielov, je to jediná cesta ako zabezpečiť diverzifikáciu a udržateľnosť ekonomického rozvoja tak, aby bol prospešný pre jednotlivcov i spoločnosť. Využívanie OZE stabilizuje regionálne ekonomické, sociálne a kultúrne štruktúry, ako aj demokratické inštitúcie, čo je základný predpoklad bezpečnosti ľudskej spoločnosti v budúcnosti.

Ekonomická výhodnosť výroby energie z fosílnych a jadrových palív je mýtus, ktorý stojí na štátom garantovaných privilégiách. Regionálne zdroje OZE možno využívať efektívnejšie, environmentálne citlivejšie, a teda aj ekonomickejšie, pokiaľ fyzikálne zákony budú prevládať nad zákonmi trhu súčasného ekonomického poriadku.

# **1. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY**

## **1.1. VIETOR**

Veterná energia je formou slnečnej energie, ktorá vzniká pri nerovnomernom ohrievaní zemského povrchu. Je to prízemný horizontálny prúd vzduchu prúdiaci z tlakovej výše do tlakovej nízke. Pri jeho popise je podstatný jeho smer, rýchlosť a ochladzovací účinok. Slnko vyžaruje smerom k Zemi energiu  $100^{12}$  kWh. Z tejto sa približne 1 až 2 % menia na veternú energiu.

Keďže je vietor prítomný všade, je človekom využívaný od nepamäti. Táto energia je prítlačivá aj dnes, pretože jej využívanie neprodukuje žiadne odpady, neznečisťuje ovzdušie a nemá negatívny vplyv na zdravie ľudí. Vietor ako primárny zdroj energie je zadarmo a je ho možné využiť takmer v každej časti sveta.

Rýchlosť vetra sa robí buď presným určením jeho rýchlosti (km/h, m/s), alebo v stupňoch, ktoré sa určuje odhadom podľa Beaufortovej stupnice. Rýchlosť vetra sa v čase výrazne mení, preto sa často udáva priemerná rýchlosť vetra (za určité obdobie) a nárazová rýchlosť vetra

Smer vetra sa udáva podľa smeru odkiaľ vietor fúka - buď presnejšie pomocou azimutu (0 až  $360^\circ$ ), alebo v meteorológii pomocou svetových strán. Rýchlosť i smer vetra sa meria anemometrom.

## **1.2. VETERNÁ ENERGIA – HISTÓRIA**

Niekoľko tisíc rokov do minulosti siaha využívanie vetra a je sním spojený počiatok ľudskej civilizácie, kedy sa človek rozhodol využiť túto energiu na pohon plavidiel, jednoduché lode – plachetnice, ktoré sa zachovali do dnešnej doby a sú 5000 rokov staré a pochádzajúce z Egypta.

Najstaršie mlyny poháňané vetrom pochádzajú z dnešného Afganistanu a sú staré 2700 rokov. Tieto zariadenia sa bežne využívali na mletie obilia aj v iných častiach sveta. Okrem toho sa tiež používali na zavlažovanie polí . Na Kréte sú takto využívané dodnes.

Prvé vetrom poháňané vodné čerpadlo sa objavilo v USA v roku 1854. Bola to jednoduchá veterná ružica s viacerými malými plachtami a dreveným chvostom, ktorý natáčal celé zariadenie v smere prúdenia vetra. V roku 1940 pracovalo v USA už 6 milión takýchto veterných čerpadiel. Okrem čerpania vody sa využívali aj na výrobu elektrickej energie.

20. storočie však znamenalo nástup nových energetických zdrojov - elektriny, ropy a zemného plynu, ktoré veterné čerpadlá postupne vytlačili. V 70. rokoch nastala ropná kríza, kedy sa znovu zvýšil záujem o veternú energiu. Štátna podpora vývoja a výskumu dala v mnohých krajinách podnet pre rozvoj nových technológií. Snaha sa sústredila hlavne na výrobu elektriny veternými turbínami, čo súviselo s tým, že vo vyspelých krajinách sa čerpanie vody veternými turbínami spomalilo, takmer zastavilo. Začala sa výroba elektrickej energie. Tieto agregáty majú význam v krajinách 3 sveta.

Na začiatku súčasného rozvoja veternej energetiky vo svete stál vývoj a výroba malých veterných turbín. Tieto malé zariadenia sa využívali pre jednoduché aplikácie avšak po tom, čo ich výkon postupne narastal stratili význam ako zdroj elektrickej energie pre jednotlivé domy. V súčasnosti prakticky všetky väčšie turbíny dodávajú elektrickú energiu do siete. Súvisí to s tým, že výkon jednej turbíny je zvyčajne omnoho väčší ako je spotreba jednej resp. viacerých domácností. Navyše v miestach, kde rýchlosť vetra dosahuje v ročnom priemere viac ako 5 m/s sa začínali už od 80. rokov budovať veterné farmy, ktoré svojou výrobou prevyšovali spotrebu celých obcí. Prvé takéto farmy boli vybudované v Kalifornii. V USA sú tieto farmy vlastnené súkromnými spoločnosťami (nezávislými výrobcami) a nie veľkými elektrárenskými spoločnosťami. Hoci výstavba týchto zdrojov sa nezaobišla bez problémov, rozvoj veternej energetiky sa nedal zastaviť a dnes sa len v Kalifornii nachádza asi 16 tisíc väčších turbín.

Veterné agregáty sú budované po celom svete. Sú tiež ideálnou technológiou pre rozvojové krajiny, kde je momentálne veľký dopyt po nových výrobných kapacitách v oblasti energetiky. Výhodou veterných elektrární je, že v porovnaní s klasickými elektrárnami je ich možné jednoducho, lacno a v relatívne veľmi krátkej dobe postaviť a

pripojiť do verejnej siete. Rozvinuté krajiny dnes prejavujú o veterné turbíny záujem nielen z hľadiska ochrany životného prostredia, ale tiež aj z ekonomických dôvodov. Cena vyrobenej elektriny stále klesá a v niektorých krajinách je porovnateľná s cenou elektriny vyrobenou v klasických elektrárnach.

### **1.3. VETERNÁ ENERGIA VO SVETE**

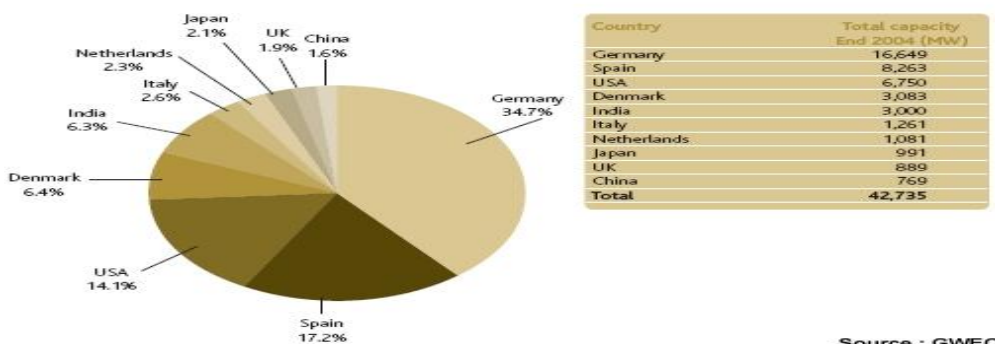
Rozvoj veterných elektrární vo svete je extrémny a dnes predstavuje najrýchlejšie rastúce odvetvie výroby elektriny. Do konca roka 2000 bol celkový celosvetový výkon inštalovaných turbín viac ako 9500 MW a vyrábal dostatok elektriny pre zásobovanie asi 3,5 milión domácností.

V roku 2000 bolo len v Európe inštalovaných viac ako 1600 MW veterných turbín a podľa niektorých analytikov by mal celkový inštalovaný výkon v Európe vzrásť do roku 2010 až na 40000 MW. Veterná energia sa vo svete v posledných rokoch veľmi rozmohla. Celkové nainštalované kapacity veterných turbín rástli rekordným tempom. Začiatkom tohto roka prekročili 100-tisíc MW inštalovaného výkonu. Pri zachovaní dynamiky rastu sa predpokladá, že v roku 2012 to bude až 240-tisíc.

Vzhľadom na narastajúcu produkciu, klesajúcu cenu turbín a tiež lepšie umiestňovanie turbín klesala aj cena vyrobenej elektrickej energie. Kým v roku 1986 bola priemerná cena vetrom vyrobenej elektriny asi 0,14 USD/kWh v roku 2000 to bolo len 0,05 USD/kWh a dnes zhruba na úrovni 0,02 USD kWh. Veterná energia sa tak stala konkurencie schopnou v porovnaní s klasickými palivami na mnohých miestach sveta, čo je hlavný dôvod jej búrlivého rozvoja. V posledných rokoch každoročný prírastok predstavuje takmer 30% . Na druhej strane rozvoj jadrovej energie bol menší ako 1% ročne a rozvoj uhoľného priemyslu sa v 90. rokoch prakticky zastavil. Európa sa stala centrom veterného priemyslu keď až 90% svetových výrobcov stredných a veľkých turbín má svoje sídlo na starom kontinente.

Prudký rozvoj veternej energie zaznamenali v Spojených štátoch amerických, Kanade či Číne. V Európe patrí k lídrom v tejto oblasti Španielsko, Nemecko a Dánsko.

TOP TEN WIND POWER MARKETS 2004: CUMULATIVE MW INSTALLED



Obr.1

### Inštalovaný výkon veternej energie vo svete ( Zdroj: GWEC )

#### 1.3.1. VETERNÁ ENERGIA V USA

V USA bol z hľadiska rozvoja veternej energie rozhodujúci rok 1973 a prudký rast cien energie ako dôsledok začiatku ropnej krízy. Cena ropy sa v tomto období vyšplhala až na 60 USD za barel. V tom čase vyvinul Westinghouse Electric prvú generáciu 200 kW veterných turbín, ktorých výkon postupne vzrastal. Najväčšia turbína tohto výrobcu bola inštalovaná v Oahu na Havaii má výkon 3,2 MW. Vďaka daňovým úľavám (25%) pre investorov a zákonu, ktorý umožňoval nezávislým výrobcom vyrábať a predávať elektrickú energiu bolo v období rokov 1981-1984 len v Kalifornii inštalovaných 6870 turbín. Keďže žiadny z malých výrobcov veterných turbín nebol vlastnený veľkými spoločnosťami, po zrušení ekonomického stimulu a poklese ceny ropy na 10 dolárov za barel, väčšina týchto firiem zanikla. Výrobcovia, ktorí toto "cenové narovnanie" prežili a vyrábajú turbíny dodnes sú tí, ktorí vyrábali najspolahlivejšie zariadenia a mali najlepšiu reputáciu. Na konci 90. rokov však výroba veterných turbín v USA znovu vzrástla a spolu s rastom počtu dovážaných turbín z Európy bol v USA opäť oživený trh s veternou energiou.





**Obr.2**

**Veterné elektrárne v USA (Zdroj:www.inforse.org)**

### **1.3.2. VETERNÁ ENERGIA V EU**

Nemecko , Španielsko a Dánsko patria v krajinách EU na popredné miesta výroby elektrickej energie pomocou veterných elektrární. Česká republika má v súčasnosti v roku 2010 nainštalovaných celkovo 117, Bulharsko 34 MW a Poliaci zvýšili inštalované kapacity až o 60% na 190MW.

**Tab.1**

**Využitie veternej energie v EU (Zdroj: www.inforse.org)**

Krajina	Inštalácie celkom (MW)			Krajina	Inštalácie celkom (MW)		
	jún 2003	dec. 2004	dec. 2005		jún 2003	dec. 2004	dec. 2005
Nemecko	12836	16629	18428	Poľsko	57	63	73
Španielsko	5060	8263	10027	Luxembursko	16	35	35
Dánsko	2916	3118	3122	Estónsko		3	30
Taliansko	800	1265	1717	Lotyšsko	24	27	27
Veľká Británia	586	907	1353	Česko	10	17	26
Holandsko	803	1079	1219	Turecko	19	20	20
Portugalsko	217	522	1022	Maďarsko		3	17
Rakúsko	219	606	819	Švajčiarsko		8.7	11.6
Francúzsko	220	390	757	Litva		7	7
Grácko	354	473	573	Chorvátsko		6	6
Švédsko	364	442	500	Slovensko		5	5
Írsko	137	338.5	495.5	Rumunsko		1	1.4
Nórsko	100	160	267	Bulharsko		1	1
Belgicko	56	96	167				
Fínsko	41	82	86	<b>EÚ25 spolu</b>		<b>34371</b>	<b>40504</b>
Ukrajina	51	72	82	<b>Európa spolu</b>		<b>34640</b>	<b>40893</b>



**Obr.3**

### **Inštalovaný výkon v EU (Zdroj: EWEA)**

#### **DÁNSKO**

Dánsky priemysel výroby veterných turbín je príkladom obrovského obchodného úspechu. Toto odvetvie sa prakticky z nuly v roku 1980 dopracovalo až k obratu 1 miliardy dolárov v roku 1998. Dánske turbíny dnes dominujú na svetových trhoch a ich výrobcovia zamestnávajú 15 tisíc ľudí. Výroba el. energie, hlavne na export dosiahla 1216 MW v roku 1998. V dnešnej dobe viac ako polovica turbín inštalovaných na celom svete pochádza z Dánska. Tento úspešný vývoj je dôsledkom počiatkovej vládnej podpory pre obnoviteľné energetické zdroje, z ktorej bolo hradených až 30% investičných nákladov na výstavbu týchto technológií.

Rozvoj využívania veternej energie v Dánsku je obrovský. Pozoruhodné na tomto vývoji je, že okrem vládnej podpory a angažovanosti malých výrobcov bol založený na komunálnej aktivite ľudí, ktorí sa združovali do družstiev vlastníkov veterných elektrární. Jeden z typických príkladov aktivity ľudí na miestnej úrovni sa odohral v obci Bryrup (Jutland) vzdialenej 110 km od západného a 50 km od východného pobrežia. Obyvatelia tu založili družstvo so 70-timi členmi vlastniacimi tri veterné turbíny (inštalované v rokoch

(1986 až 1989), z ktorých jedna s výkonom 95 kW ročne vyrába 184.000 kWh a ďalšie dve, každá s výkonom 150 kW, produkujú po 275.000 kWh. Celková ročná výroba je asi 734.000 kWh. Cena turbín vrátane inštalácie a pripojenia na sieť dosiahla 2,5 milión DKr (1 DKr = 5,7 Sk),

Ekonomika celého projektu je veľmi dobrá aj po tom, čo z utržených peňazí za predaj elektriny elektrárenskej spoločnosti je odkladaná istá čiastka na údržbu. Čistý zisk za rok činí asi 15% z vloženej sumy, čo je oveľa viac ako poskytuje akákoľvek banka na úrokoch z vkladov. Družstevné spoločenstvá a investovanie peňazí do veterných turbín, na rozdiel od ich ukladania do bánk, sa tak stali hybnou silou rozvoja veternej energie v Dánsku, ktorý priniesol zisk nielen "družstevníkom", ale v konečnom dôsledku aj celej spoločnosti. Podpora dánskej vlády takémuto hospodáreniu znamenala, že v súčasnosti je každá desiatá dánska rodina členom niektorého z mnohých družstiev vlastníacich veterné turbíny alebo je majiteľom vlastnej veternej turbíny.

## **NEMECKO**

Na rozdiel od situácie v USA a Dánsku, kde bol veľký počet turbín inštalovaný začiatkom 80. rokov, bol vývoj v Nemecku oneskorený. Spolková vláda iniciovala podporné programy až v roku 1989. Počas prvých siedmych rokov bolo v tejto krajine inštalovaných len asi 250 MW výkonu vo veterných elektrárňach. Avšak po prijatí zákona, podľa ktorého sú elektrárenské spoločnosti vykupujúce elektrinu od nezávislých výrobcov im povinné platiť až 0,17 DM/kWh (počas prvých 5 rokov, neskôr 0,12 DM/kWh), nastal výrazný obrat.

V súčasnosti je Nemecko na prvom mieste na svete nielen v celkovom inštalovanom výkone veterných elektrární ale aj v ročnom prírastku výkonu. Až polovica výkonu veterných elektrární EÚ sa nachádza v Nemecku. Len v roku 1999 bolo v tejto krajine inštalovaných 1568 MW, čo je dvojnásobok inštalovaného výkonu v predošlom roku.

## 1.4. VETERNÝ POTENCIÁL SLOVENSKA

Na Slovensku je momentálne v prevádzke len deväť veterných turbín v troch veterných parkoch pripojených na elektrickú sieť s inštalovaným výkonom 5 MW. Do roku 2010 by malo pribudnúť ďalších 39 až 43 turbín s výkonom 78 až 113 MW. Susedné krajiny sú vo využívaní veternej energie popredu.

Podľa Pavla Machavu zo Združenia pre veternú energiu môže Slovensko v priebehu najbližších šiestich rokoch reálne počítať s využiteľným potenciálom vetra na úrovni cca 600MW.

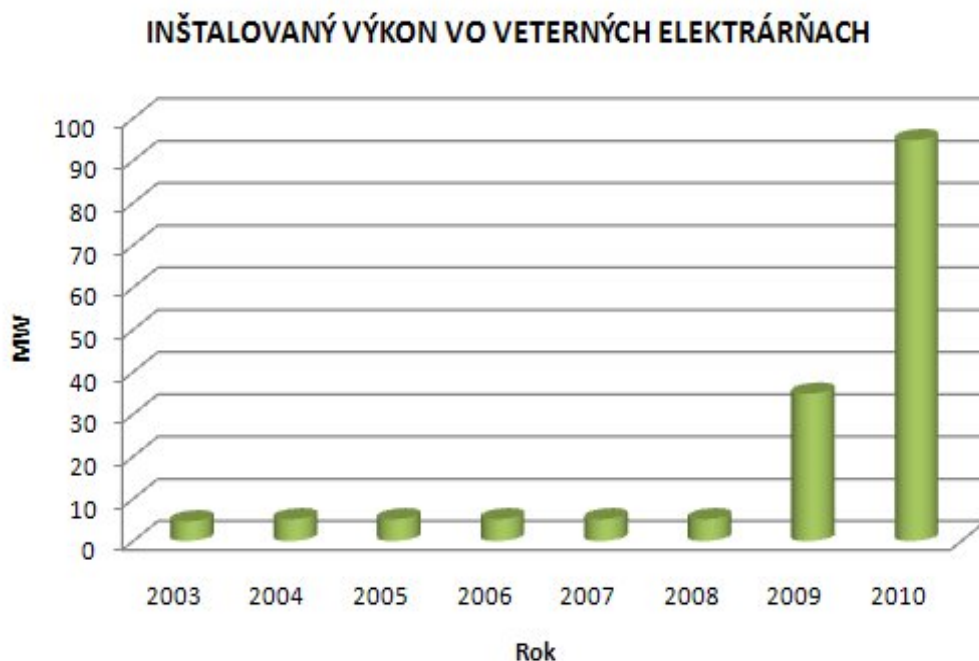
Vo viacerých lokalitách na celom území Slovenska sa realizuje zariadeniami dlhodobé merania rýchlosti a smeru vetra za účelom posúdenia vhodnosti jednotlivých lokalít pre výstavbu veterných elektrární.

Zatiaľ ako jediná firma Greenpower zrealizovala na Slovensku výstavbu týchto veterných parkov ktoré aj prevádzkuje :

- Cerová, lokalita Vápenková skala 4 x 0,66MW
- Myjava, lokalita Ostrý vrch 1 x 0,5 MW
- Skalisté, lokalita Poľana 4 x 0,5 MW

V rôznom stupni rozpracované a pripravované projekty

- Nitra, lokalita Čab 1 x 2,0 MW
- Myjava, lokalita Poľana 2 x 2,0 MW
- Senica, lokalita Vinohrádky 13 x 2,0 MW
- Nitra, lokalita Zbehy 8 x 2,0 MW
- Myjava, lokalita Vesný vrch 4 x 2,0 MW
- Cerová, lokalita Kopánky 2 x 2,0 MW
- Nitra, lokalita Veľké Zálužie 3 x 2,0 MW
- Myjava, lokalita Ostrý vrch II, 1 x 2,0 MW
- Skalité II., lokalita Poľana 2 x 0,850 MW



**Obr.4**

**Predpokladaný výkon v SR (Zdroj: Slovenské Elektrárne, a.s.)**

#### **1.4.1. NOVÉ ELEKTRÁRNE V SR**

Park veterných elektrární by malo v roku 2010 rozšíriť zariadenie v obci Veľký Kýr v okrese Nové Zámky. Výstavba si má vyžiadať investície vo výške 1,3 až 1,9 miliárd korún. Podľa prvého variantu by mal investor postaviť v NR kraji 20 veterných elektrární s inštalovaným výkonom od 40 do 50 MW, podľa druhého 16 elektrární s výkonom od 32 do 44 MW. Výstavbu by mal investor ukončiť v auguste 2010, pričom s prevádzkou veterných elektrární plánuje začať v tomto istom mesiaci..

Ďalšia elektrárňa v hodnote 2,4 miliardy korún by mala vzniknúť do roku 2009 pri Košiciach. Spolu 23 turbín by malo mať výkon od 46 do 63 MW. Slovenská elektrizačná prenosová sústava eviduje žiadosti o pripojenie k elektrizačnej sústave od investorov veterných elektrární v celkovej výške približne 2 100 megawattov inštalovaného výkonu.

Povolenia na pripojenie do sústavy však investorom zatiaľ nevydáva, pretože považuje veterné elektrárne za "nevyspytateľný zdroj elektriny, ktorého výroba sa podľa súčasného poznania dá prognózovať len vo veľmi nedokonalejšej a nedostatočnej miere".

Ministerstvo hospodárstva SR v súčasnosti pre vysoký záujem pripojenia nových veterných elektrární k elektrizačnej sústave začalo so spracovaním štúdie. Na základe jej záverov sa stanoví, koľko inštalovaného výkonu veterných elektrární bude elektrizačná sústava schopná v akom období absorbovať. Štúdia by mala byť známa na jeseň tohto roka. ([www.greenpower.sk](http://www.greenpower.sk))



**Obr.5**

**Veterný park Cerová v SR (Zdroj: Slovenské Elektrárne, a.s.)**

## 1.5. VÝVOJ ELEKTRÁRNÍ

Vývoj smeruje k strojom s výkonom 750 – 1000 kW a priemerom vrtule 50 – 55 m. Vývoj strojov s výkonom 1,5 – 2 MW v podstate stagnuje. Príčinou je že, takéto stroje svojimi rozmermi a hmotnosťou začínajú presahovať možnosti súčasnej infraštruktúry. Moderné veterné turbíny majú vrtule buď s pevnými listami, alebo s listami s nastaviteľným uhlom. Vrtule poháňajú cez prevodovku poväčšine asynchrónny generátor. Najnovšie koncepcie však už zvládli aj mnohopólový synchronný generátor, ktorý je k vrtuli pripojený priamo, bez prevodovky a do siete dodáva energiu cez frekvenčný menič.

Po prekonaní súčasných problémov sa s turbínami jednotkových výkonov 2 – 3 MW počíta až pre obdobie po roku 2020. Vtedy bude potrebné inovovať každé zaradenie. Menšie turbíny s výkonom 10 – 500 kW budú aj v budúcnosti inštalovať drobní investori, ktorí energiu aj spotrebujú. Vzhľadom k výhodnej cenovej pozícii takýchto samo spotrebiteľov sa budú takéto aktivity pri zvyšovaní cien elektrickej energie čoraz viac rozširovať. V súčasnosti je vo svete inštalovaný výkon veterných energetických zdrojov už vyše 13 000 MW. Do roku 2020 – 2030 sa plánuje zvýšiť tento potenciál len v Európe asi na 150 000 MW tak, aby priemerná dodávka z týchto zdrojov bola 10 % spotreby.

## **2. CIEĽ PRÁCE**

Cieľom tejto diplomovej práce je zhodnotenie súčasného stavu využívania veterných elektrární..Cieľom je vypracovanie prehľadu o možnostiach využívania ako doplnkového zdroja energie, ako aj opísanie funkcie vybranej veternej elektrárne.

Na základe prehľadu o možnostiach využitia veternej energie opísať funkciu a uviesť základné technické údaje o vybranej veternej elektrárni.



### 3. METODIKA PRÁCE

- Spracovať prehľad o súčasnom stave využívania veternej energie.

Získanie dostupných informácií pomocou odbornej literatúry , rôznych www zdrojov , ktoré sa zaoberajú touto problematikou

- Opísať funkciu vybranej dostupnej veternej elektrárne pri generovaní elektrickej energie.

Štúdium princípov fungovania veterných elektrární a opísanie funkcie pri generovaní elektrickej energie.

- Posúdiť možnosti využitia vygenerovanej elektrickej energie.

Vytvorenie prehľadu optimálneho využitia vybranej veternej elektrárne. Oboznámenie sa s parametrami daných elektrární.

- Zhodnotiť využiteľnosť vybranej veternej elektrárne vo vyučovacom procese.

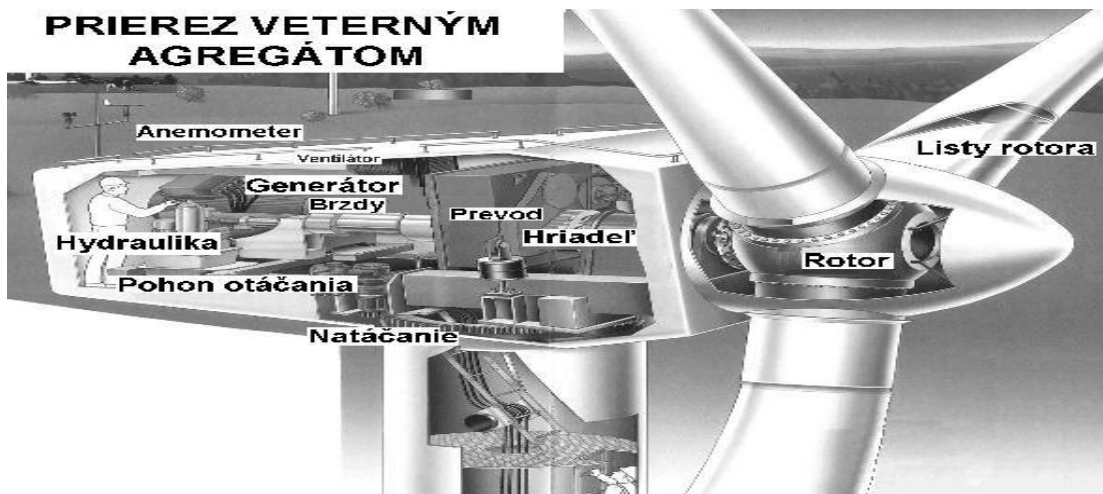
## 4. RIEŠENIE ÚLOHY

### 4.1. POPIS KOMPONENTOV VETERNEJ ELEKTRÁRNE

Veterné turbíny sa zvyčajne skladajú z nasledujúcich komponentov:

- listy rotora,
- rotor,
- prevody,
- generátor,
- elektronika a regulačné zariadenie.

Listy rotora sú časťou turbíny, ktoré zachytávajú energiu vetra. Listy sú vyrábané z laminátov, polyestrov alebo iných plastických materiálov. Niektoré z nich majú drevenú os. Všetky tieto materiály sa vyznačujú kombináciou pevnosti a ohybnosti. Navyše plasty ani drevo nerušia televízny signál v ich okolí. Priemer listov rotora sa pre veľké turbíny pohybuje od 25 m do 50 m (a viac) a každý list môže vážiť až 1 000 kg. Rotor tvoria listy a centrálna os, ku ktorej sú pripevnené. Os je pripojená na hlavný prevod systému. Prevody a ložiská sú dôležité z hľadiska efektívneho prenosu krútiaceho momentu na generátor elektrického prúdu. Generátor má podobnú konštrukciu ako generátor v tradičnej elektrárni na fosílné palivá. V mnohých turbínach je činnosť jednotlivých komponentov regulovaná elektronicky a tiež môže byť riadená diaľkovo. Použitá elektronika má za úlohu udržať rovnaké napätie pri meniacich sa otáčkach generátora.



Obr.6

Zloženie veternej turbíny (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))

## 4.2. ROZDELENIE VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Rozdelenie veterných elektrární v závislosti od výkonu sa nachádza v nasledovnej tabuľke:

Tab.2

Rozdelenie veterných elektrární podľa výkonu (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))

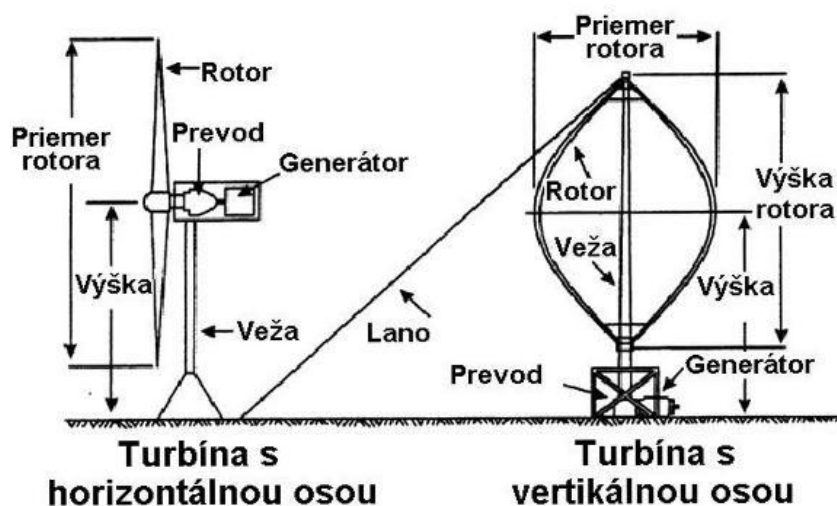
Elektrárne	Výkon [kW]
malé	do 20 kW
stredné	od 20 do 50 kW
veľké	nad 50 kW

Rozdelenie veterných elektrární podľa spracovania vyrobenej energie:

- do 5 kW – prevažne nabíjanie akumulátorov,
- od 5 kW do 20 kW – dodávanie do siete alebo ohrev úžitkovej vody,
- od 20 kW – takmer výhradné dodávanie elektriny do siete.

Rozdelenie veterných elektrární podľa konštrukcie:

- zariadenia s vertikálnou osou rotácie,
- zariadenia s horizontálnou osou rotácie.



Obr.7

Veterné turbíny – rozdelenie (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))

#### 4.2.1. HORIZONTALNE

Turbíny s horizontálnou osou sú najbežnejším typom turbín. Veľké turbíny majú rotor s dvoma alebo troma listami umiestnenými na vrchu stožiaru. Rotor môže mať aj viac listov. Takéto agregáty s viacerými listami najčastejšie využívajú malé agregáty napr. na čerpanie vody. Snaha o zúžitkovanie energie vetra čo najúčinnejšie znamená, že listy rotora musia čo najviac zachytávať prúdiaci vzduch. Rotor s veľkým počtom listov pokrýva celú plochu zabranú rotorom pri veľmi malých otáčkach, kým rotor s menším počtom listov sa musí otáčať rýchlejšie aby pokryl celú plochu. Teoreticky čím viac by mal rotor listov tým by mal byť účinnejší. V skutočnosti sa však listy rotora vzájomne ovplyvňujú a veľký počet listov spomaľuje otáčky. Na druhej strane však väčší počet listov dáva vyšší počiatkový moment krútenia, čo využívajú malé agregáty štartujúce už pri nízkych rýchlostiach vetra.

#### 4.2.2. VERTIKÁLNE

Turbíny s vertikálnou osou majú vertikálne umiestnenú rotujúcu os. Listy rotora sú dlhé, zaoblené a pripevnené k veži na oboch koncoch hore aj dole. Vo svete neexistuje veľa výrobcov takýchto turbín a ich design vychádza z návrhu francúzskeho konštruktéra G. Darrieusa, po ktorom sa takáto konštrukcia tiež nazýva.

Napriek rozdielnej konštrukcii turbín s horizontálnou a vertikálnou osou je ich mechanika prakticky rovnaká. Rýchlosť otáčania listov je prenášaná na generátor pomocou prevodov. Prevody sú potrebné na to, aby bolo možné účinne využiť meniacu sa rýchlosť vetra. V súčasnosti však prebieha vývoj turbín bez prevodov, čo by znamenalo značné zníženie nárokov na ich konštrukciu i cenu.

Niektoré turbíny sú konštruované tak, že sa natáčajú do smeru vetra. Obidva typy (natáčané i nenatáčané) majú však niekoľko výhod i nevýhod. Lepšie využitie sily vetra pri natáčaných turbínach si vyžaduje komplikovanejšie ložiská i ďalšie zariadenia, čo v konečnom dôsledku vedie k nižšej spoľahlivosti. Turbíny s pevne fixovaným rotorom sú jednoduchšie a nevyžadujú až takú údržbu ako natáčacie systémy. Na druhej strane však výroba energie je o niečo nižšia ako v porovnateľnej natáčanej turbíne.

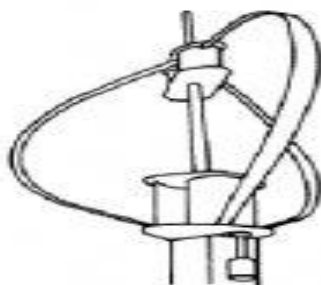


Obr.8

Vertikálna veterná elektrárň (Zdroj: [www.inforse.org](http://www.inforse.org))

## Darrieova turbína

Darrieova turbína funguje na princípe zdvíhania. Má dve alebo tri listy, ktoré sa otáčajú do a z prúdenia vetra. Tento typ turbín poskytuje jednoduchú údržbu, keďže prevodovky a kontrolky sú umiestnené nízko nad zemou. Avšak na spustenie otáčania je potrebný vonkajší zdroj, napr. elektrický motor, alebo iný typ rotora s vertikálnou osou.

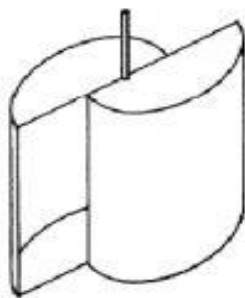


Obr.9

**Darrieova turbína (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))**

## Savoniova turbína

Savoniova turbína pracuje na princípe odporu. Rotor sa otáča relatívne pomaly, ale poskytuje vysoký krútiaci moment. Tento typ turbíny je možné použiť na čerpanie vody, ale nie je efektívny na výrobu elektriny, keďže na výrobu elektriny je potrebných viac ako 100 otáčok za minútu a tento typ vykoná len menej ako 100 otáčok za minútu.



Obr.10

**Savoniova turbína (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))**

### 4.3. VETERNÁ ELEKTRÁREŇ WDW300B



Obr.11

Malá veterná elektrárň od výrobcu WDS (Zdroj: [www.wodagreen.com](http://www.wodagreen.com))

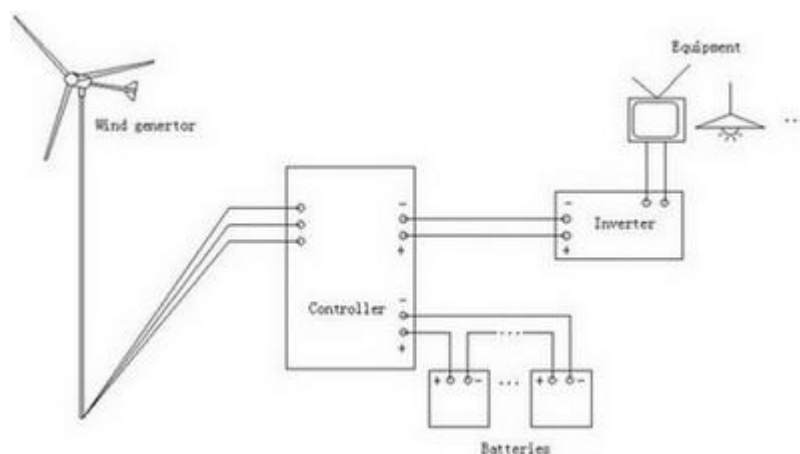
#### 4.3.1. PRINCÍP A VYBAVENIE

Veterná elektrárň využíva sily vetra na otáčanie lopatiek a výrobe elektrickej energie. takto získaná energia je ďalej stabilizovaná a ukladané do batérií. Batérie slúžia na vyrovnanie a stabilizáciu a ďalej striedač napája domácu sieť a spotrebiče.

Princíp zapojenia in-grid je podobný s tým rozdielom, že sústava obsahuje riadiace, meracie a vyrovnávacie jednotku pre priame zapojenie do elektrickej rozvodnej sústavy. Na diagrame sú znázornené dve verzie zapojenia. Táto sada je zapojená podľa diagramu so záložnými batériami. Dodávaná sada obsahuje:

- turbínu 300 W (generátor , lopatku , zadné chvostové kormidlo)
- vnútornú kontrolnú jednotku 300W – 24V jednosmerné napätie
- 6 m stožiar s uchytením
- 300 W striedač – 230V/50Hz

Táto elektrárň je v prevedení off-grid - vyrobená energia je použitá v uzavretej sústave bez napojenia na sieť (obrázok, schéma). On-grid - použitie s priamym napojením na el. rozvodnú sieť



**Obr.12**

**Schéma možností zapojenia elektrárne WDW 300B (Zdroj: [www.wodagreen.com](http://www.wodagreen.com))**

#### **4.3.2. VLASTNOSTI**

Veterná elektrárň kombinuje unikátny a inovatívny dizajn s vysokou spoľahlivosťou. Táto nová séria je vyrábaná na základe niekoľkých vlastných technologických patentov, ďalej je víťazom v kategórii inovačných technológií. Vďaka unikátnej schopnosti funkcie pri nižších otáčkach turbíny sú tieto turbíny považované za leadrov na trhy v porovnaní s efektivitou iných výrobcov.

#### **4.3.3. POUŽITIE**

Použitie tejto of-grid veternej elektrárne je najmä ako:

- záložný zdroj napájania pri výpadku siete
- striedavé napätie siete / vlastný zdroj energie
- v miestach bez možnosti napájania z el. siete



O prínose pre ekológiu nie je potreba hovoriť. Ako ekologický zdroj je tento výrobok dotovaný štátnymi fondmi a to aj pre súkromné osoby či malé organizácie bez nutnosti znalosti dotačného prostredia. Návratnosť elektrárne závisí od frekvencie používania, avšak vzhľadom k cenám možno v dnešnej dobe túto počítať cca 10-15 rokov.

#### **4.3.4. TECHNICKÉ PARAMETRE**

Počet listov (P): 3

Materiál vrtule: FRP

Priemer veternej turbíny (m): 2.2

Out-in(start)wind speed: 2.5

Out-out(outage)wind speed: 25

Menovitá rýchlosť vetra (m/s): 7

Menovité otáčky (rotate/minute): 400

Max. rýchlosť vetra (m/s): 50

Pomer veternej energie (%): 0.41

Generator: Permanentný magnetický generátor

Generator – menovitý výkon (W): 300

Max. výstupný výkon(W): 400

Výstupné napätie (VDC): 24

Menovitý prúd (A): 12.5

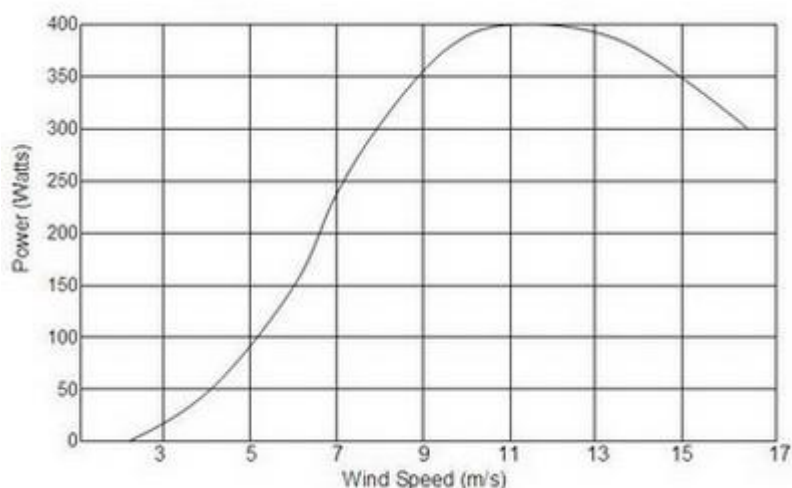
Ochrana: automatické sklopenie

Kontrola nabíjania : elektronická

Hmotnosť (kg): 45

### 4.3.5. VÝROBA ENERGIE

Dôležitou charakteristikou veternej turbíny je jej menovitý výkon. Táto hodnota má tiež súvislosť s množstvom energie (v kWh), ktoré turbína vyrobí pri maximálnej účinnosti. 300 W turbína je dimenzovaná na výrobu 300W energie pri 8m/s ale pri rýchlosti vetra 11m/s dokáže táto turbína vyrobiť až 400W.



Obr.13

#### Graf závislosti výkonu od rýchlosti vetra WDW 300B (Zdroj: [www.wodagreen.com](http://www.wodagreen.com))

Potenciálne množstvo vyrobiteľnej energie nie je možné jednoducho vypočítať násobením výkonu a priemernej rýchlosti vetra. Pri výpočte totiž hrá dôležitú úlohu doba počas ktorej má turbína dostatok vetra pre výrobu energie. Táto doba sa môže teoreticky pohybovať od 0 do 100 %, v praxi sa pohybuje od 20 do 70 %, pričom pre väčšinu turbín je táto hodnota (vyťažiteľnosť) na úrovni 25-30%. Vyťažiteľnosť vyjadruje pomer medzi teoretickým maximom výroby (365 dní v roku po 24 hodín) a skutočnou výrobou energie v danej lokalite.

Z uvedeného vyplýva, že veľmi dôležitú úlohu popri menovitom výkone turbíny hrá jej umiestnenie. Vo všeobecnosti býva výhodnejšie umiestňovať turbíny na vyššie položené miesta resp. predlžovať výšku veže, nakoľko s narastajúcou výškou sa znižuje vplyv okolitých prekážok na rýchlosť vetra. Turbíny vyššie ako 50 metrov sú však mimoriadne náročné na pevnosť materiálov. Vo veterných farmách sú jednotlivé turbíny

umiestňované do vzdialenosti 5-15 násobku priemeru rotora, čím sa obmedzuje ovplyvňovanie turbín v dôsledku turbulencie vetra. (www.windpower.sk)

#### **4.3.6. DOBÍJANIE AKUMULÁTOROV**

Napájanie malých elektrospotrebičov ako sú žiarovky, rádio alebo televízor je veľmi jednoduché pomocou batérie dobíjanej veternou turbínou (alebo iným zdrojom). Súvisí to s tým, že veternú energiu je možné veľmi ľahko skladovať v batérii, z ktorej je možné energiu čerpať v čase potreby. Mnoho malých turbín vyrába napätie 12,14,24 alebo 28 V. Konkrétne táto elektrárňa má výstupné napätie 24V. Výstupné napätie z batérie 24 V je možné využiť priamo a dodávať energiu elektrospotrebičom na jednosmerný prúd alebo meniť pomocou meniča na striedavý prúd s napätím 220 V, ktorý využíva väčšina domácich elektrospotrebičov. Takáto transformácia má však za následok stratu časti vyrobenej energie.

#### **4.3.7. VÝROBA TEPLA**

Malé veterné turbíny je tiež možné využiť na prípravu teplej vody. Tieto zariadenia dodávajú jednosmerný prúd, ktorý využíva elektrická špirála umiestnená v zásobníku vody. Špirála vodu ohrieva, pričom zásobník tu funguje ako batéria skladujúca energiu. Je evidentné, že skladovanie teplej vody je lacnejšie ako skladovanie energie v batériách. Najjednoduchšie veterné systémy sú vybavené termostatom vypínajúcim zariadenie, aby nedošlo k zovretiu vody. Elektrická špirála sa vždy dimenzuje na špecifický výkon turbíny t.j. pre túto konkrétnu turbínu s výkonom 400 W má špirála výkon 400 W.

#### 4.3.8. POUŽITIE WDW 300B V CHATOVEJ OBLASTI

Umiestenie	Druh	Výkon [W]	Prevádzka		Denná spotreba		
spotrebiče			[h/deň]		[Wh/deň]		
Veranda	odpuzdovač	2	*	12	=	24	
	žiarovka	9	*	2	=	18	
Obývacia izba	ohrievač	40	*	2	=	80	
	prehrávač	25	*	2	=	50	
	žiarovka	20	*	4	=	80	
	televízor	60	*	5	=	300	
	rádio	15	*	10	=	150	
Spálňa	žiarovka	13	*	2,5	=	32,5	
	rádio	5	*	2	=	10	
	budík	1	*	24	=	24	
Kuchyňa	žiarovka	11	*	2	=	22	
	kanvica	100		1	=	100	
	mikrovlnka	30	*	1	=	30	
	chladnička	55	*	12	=	660	
WC	žiarovka	11	*	1,5	=	16,5	
	odsávanie	5	*	1	=	5	
Kúpeľňa	žiarovka	11	*	3	=	33	
Celkom						1635	
Straty regulácie, meničov a rezerva	10% (zvolené)					=	163
<b>Celková očakávaná denná spotreba <math>A_d = 1798 \text{ Wh}</math></b>							

$$C_A = \frac{\text{Celková očakávaná denná spotreba}}{\text{Systémové napätie}} = \frac{A_d}{U_{\text{sys}}} = \frac{1798}{24} = 74,9166 \text{ Ah}$$

Takto vypočítaná kapacita batérie zodpovedá nepretržitému pracovnému režimu WDW 300B, a to bez kapacitnej rezervy a aj bez ohľadu na hĺbku jeho vybitie. Pre istotu budeme uvažovať dennú odstávku max 1 hodinu. Stanovíme si koeficient pre zvýšenie kapacity akumulátora:

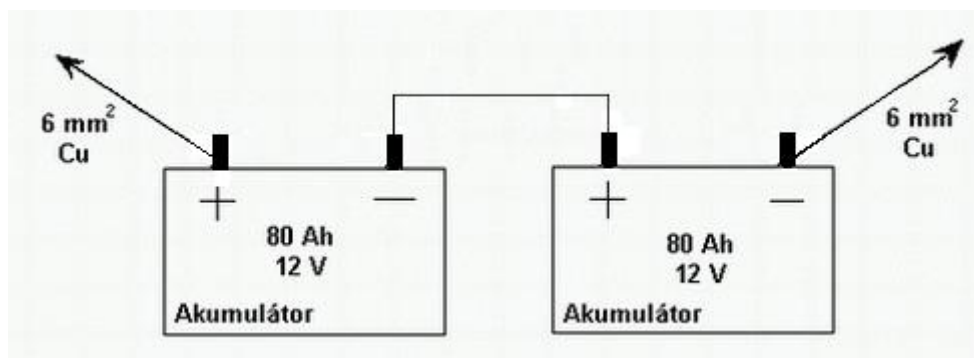
$$k_A = \frac{24}{(24 - 0,5)} = 1,021$$

Hodnota akumulátor nesmie klesnúť pod **50%**.

Preto koeficient hĺbky vybitia bude:  $h_V = 0,5$

$$C = C_A \cdot k_A = \frac{74,9166 \cdot 1,021}{0,5} = 152,979 \text{ Ah}$$

Volíme akumulátor 12V/ 80Ah 2 kusy v sériovom zapojení:



Aby sme mohli prevádzkovať súčasne energeticky najnáročnejšie spotrebiče, je potrebné ustanoviť aj primeraný výkon striedače pre vlastnú sieť 1 ~ 230V, 50 Hz, v „našej“ obytnej jednotke. Prúdový odber bude krytý z časti z akumulátorov a z časti z výkonu WDW 300B ako zdroja. Prúd na jednosmernej strane striedača bude **12,5 A** čo je hodnota stanovená výrobcom pri splnení požiadavky rýchlosti vetra.

Celkový denný výkon za 24h je  $300W \cdot 24 \text{ h} = 7\,200 \text{ W}$  pri priemernej rýchlosti vetra 7m/s. Pri výpočte treba brať do úvahy že nie celý čas bude fúkať takto silný vietor, teda ak bude nejaký vôbec vietor. Čiže uvažujeme že vietor bude fúkať s rýchlosťou 7ms/s 12hod. Celkový denný výkon teda bude  $12 \cdot 300 = 3\,600 \text{ W}$ .

Výkon odoberaný spotrebičmi je 1798W/h. Po zapojení akumulátorov na elektráreň môžu súčasne fungovať všetky spotrebiče i nabíjanie akumulátorov. V prípade ak sú akumulátory nabité a zvyšný potenciál veternej energie nie je ako využiť je možné ho využiť na ohrev teplej vody a to bojlerom, na používanie teplej vody v domácnosti i ako na využitie TUV na vykurovacie účely chaty.

#### 4.3.9. FINANČNÉ NÁKLADY A NÁVRATNOSŤ

Tento typ veternej elektrárne je možné využívať ako priamy zdroj el. energie, kde nie je možné zaviesť elektrickú energiu priamo zo siete. Ak by sme ju chceli využívať ako jediný zdroj elektrickej energie, finančné náklady a návratnosť sa menia podľa výkonu použitého generátora.

Pre tento konkrétny typ veternej elektrárne s parametrami udávanými výrobcom je návratnosť investície zhruba v 14 rokoch. V celkovej cene nie sú zahrnuté náklady na prevádzku a na pravidelnú údržbu elektrárne.

Približné ceny jednotlivého príslušenstva:

- WDW300B s PMG 300W 2000 Eur
- Akumulátor 2x 100 Eur
- Napäťový menič 80 Eur
- Rozvádzač a pripojenie 100 Eur

Spotrebované množstvo elektriny za rok [kWh]	Počet dní v roku	Cena elektriny [Eur/kWh]	Ročná spotreba v Euro	Vstupná investícia [Euro]	Návratnosť [rokov]
<b>1080</b>	<b>300*</b>	<b>0,14875</b>	<b>160,65</b>	<b>2280</b>	<b>14</b>

\* Plánovaná odstavka z technických a sezónnych dôvodov.

#### 4.4. PRAVIDLÁ PRI VÝSTAVBE

Keďže veterné turbíny musia konkurovať iným zdrojom energie musia byť hlavne ekonomicky konkurencie schopné. Vyžaduje sa od nich aby pokrývali spotrebu energie počas celého dňa a pri minimálnych nákladoch. Pri navrhovaní turbín je zvyčajne potrebné zistiť dve veci : koľko energie potrebujeme a aká je priemerná rýchlosť vetra v danom mieste vo výške rotora turbíny. Veterné turbíny kriticky závisia na polohe a dostatku vetra.

Niekedy sa pozorovateľovi môže zdať, že miesto je skutočne veterné avšak bez podrobného celoročného monitorovania rýchlosti vetra sa žiadna väčšia investícia do turbíny zvyčajne nerobí. Keďže takéto monitorovanie môže byť dosť drahé robí sa hlavne pri výstavbe väčších turbín. Pre malé turbíny je možné spoľahnúť sa aj na odhad. Rýchlosť vetra je však v danom mieste ovplyvňovaná aj prekážkami a drsnosťou terénu. Pred umiestnením veternej turbíny je preto potrebné analyzovať vplyv aj týchto parametrov.

#### **4.4.1. URČENIE VÝKONU TURBÍNY**

Určenie typu a potrebného výkonu turbíny je veľmi dôležitá a náročná úloha. Nielen kvalita turbíny, ale aj jej vhodnosť pre dané podmienky ako sú rýchlosť vetra a spotreba energie sú rozhodujúce. Pri výbere turbíny nebýva vhodné porovnávanie na základe ich menovitého výkonu. Súvisí to s tým, že výrobcovia majú možnosť sami si zvoliť rýchlosť vetra, pre ktorú udávajú výkon turbíny. Ak nie sú tieto rýchlosti pre dve turbíny rovnaké, nie je možné ani ich korektné porovnanie. Výrobcovia okrem výkonu turbíny udávajú aj údaj o potenciálnej výrobe energie pri rôznych rýchlostiach vetra. Tieto údaje síce umožňujú vzájomné porovnávanie jednotlivých turbín avšak nehovoria nič o tom aká bude skutočná výroba v danom mieste.

V dnešnej dobe nie je problém vyrobiť elektrárňu s výkonom prevyšujúcim aj 3,5 MW. Výkon veterných elektrární vychádza z kinetickej energie, ktorej veľkosť je úmerná tretej mocniny rýchlosti vetra. Prúdiaci vietor o danej rýchlosti sa opiera o lopatky veterných elektrární, tým že sú konštruované ako krídlo dochádza vzniku rozdielnych rýchlostí pred a za lopatkami veterných elektrární. Takto vznikajúci vztlak je hnacou silou pre otáčanie rotora generátora. Po ďalších matematických úpravách dostávame matematický vzťah pre výkon veterných elektrární, v ktorom jednoznačne vyplýva, že rozhodujúcimi parametrami sú priemer rotora  $d$ , s ktorým výkon rastie s druhou mocninou a s treťou mocninou rýchlosti vetra  $v$ .

$$P_{\max} = 0,5 * \rho * A * v^3$$

$\rho$  - merná hustota vzduchu ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) =  $1,293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

A - plocha, ktorou vietor prúdi ( $\text{m}^2$ )

v - rýchlosť vetra ( $\text{m} * \text{s}^{-1}$ )

**Hustota vzduchu -  $\rho$**  : Rotor turbíny sa krúti v dôsledku tlaku vzduchu na jeho listy. Čím viac vzduchu - tým rýchlejšie sa krúti a tým je výroba energie väčšia. Kinetická energia vzduchu je priamo úmerná jeho hmotnosti, z čoho vyplýva že energia vetra závisí na hustote vzduchu. Hustota mierne rastie s narastajúcou vlhkosťou, čím sa vzduch stáva hustejší v zime ako v lete a preto je aj výroba energie pri rovnakej rýchlosti vetra v zime väčšia ako v lete.

**Plocha rotora - A**: Rotor (vrtuľa) veternej turbíny "zachytáva" energiu vzduchu, ktorý dopadá na rotor. Čím je plocha rotora väčšia, tým viac energie je rotor schopný vyrobiť. Plocha zabraná rotorom (plocha kruhu) narastá s druhou mocninou priemeru rotora. Ak zväčšíme rozmer listov turbíny 2x, potom budeme schopní vyrobiť 4x viac energie. Narastajúci priemer vrtule má však za následok väčší tlak na celý systém pri danej rýchlosti vetra. Aby mohla turbína tento tlak vydržať je potrebné použiť pevnejšie mechanické časti, čo celý systém predraží.

**Rýchlosť vetra - v**: Rýchlosť vetra je najdôležitejším parametrom ovplyvňujúcim množstvo energie, ktoré je turbína schopná vyrobiť. Narastajúca intenzita vetra znamená vyššiu rýchlosť rotora a teda väčšiu produkciu energie. Množstvo vyrobenej energie závisí na tretej mocnine rýchlosti vetra. Rýchlosť vetra v danej lokalite je ovplyvňovaná vegetáciou a budovami. Prekážky v teréne sa označujú parametrom, ktorý sa nazýva drsnosť terénu. ([www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))



#### **4.4.2. VÝŠKA TURBÍNY**

Energia obsiahnutá vo vetre je okrem iných parametrov funkciou tretej mocniny rýchlosti vetra. Preto najjednoduchšou cestou ako zvýšiť výrobu energie turbínou je zvýšenie rýchlosti vetra. Túto je možné zvýšiť buď umiestnením turbíny na veternejšie miesto alebo zväčšením výšky stožiaru. Rýchlosť vetra výrazne narastá s pribúdajúcou výškou. Napríklad energia vetra môže byť až o 100 % väčšia vo výške 30 metrov ako vo výške 10 metrov. Podstatné je, že jedna 30 metrov vysoká turbína je lacnejšia ako napr. dve 10 metrové turbíny. Pravidlom je, že turbíny by mali mať minimálnu výšku asi 10 metrov nad okolitými prekážkami v okruhu 100 metrov. Realistické minimum je asi 15 metrov nad úrovňou prekážok a potom ísť tak vysoko ako je to možné. Menšie turbíny sa zvyčajne umiestňujú na nižšie stožiare ako veľké turbíny. Napríklad 250 W turbína má zvyčajne stožiar vysoký 15 metrov, kým 10 kW turbína si vyžaduje výšku 30 metrov. Turbína tiež musí mať masívny stožiar, aby vydržala turbulencie vetra.

#### **4.4.3. UMIESTŇOVANIE TURBÍN**

Bežne sa veterné turbíny umiestňujú na kopcoch a miestach vyčnievajúcich nad okolitým terénom. Býva výhodné keď je turbína umiestnená v smere prevládajúcich vetrov s minimom prekážok v jej okolí. Na kopcoch je síce rýchlosť vetra najvyššia avšak často tu dochádza k tomu, že vietor sa stáča kým dosiahne vrchol kopca. Vietor tu tiež býva dosť nepravidelný, keď prechádza turbínou. V prípade strmých kopcov alebo nerovných povrchov môže dochádzať k značným turbulenciám, ktoré môžu znížiť pozitívny efekt z vyššej rýchlosti vetra.

#### 4.4.4. PREKÁŽKY A DRSNOSŤ TERÉNU

Vzdialenosť medzi prekážkami v teréne a turbínou je veľmi dôležitá s ohľadom na vytvorenie závetria, ktoré ovplyvňuje výrobu energie. Vo všeobecnosti sa tienenie znižuje, keď sa zväčšuje vzdialenosť medzi prekážkou a turbínou, podobne ako sa dym z komína rozptyľuje vo väčšej vzdialenosti od neho. Aj na otvorenom mori dochádza k ovplyvňovaniu rýchlosti vetra a to až do vzdialenosti 20 km od prekážok, ktorým môže byť napr. ostrov. Vo všeobecnosti platí, že ak je turbína umiestnená bližšie ako je 5-násobok výšky prekážky, je výsledná situácia veľmi neistá a závisí na presnej geometrii prekážky. Drsnosť terénu medzi prekážkou a turbínou má tiež vplyv na tieniaci efekt. Terén s nízkou drsnosťou dovoľuje vetru prechádzať okolo prekážok bez toho, aby dochádzalo k jeho ovplyvňovaniu za prekážkou.

So zvyšujúcou sa výškou nad terénom sa drsnosť znižuje a prúdenie vzduchu sa stáva lineárne, čo znamená aj vyššiu rýchlosť vetra. Vysoko nad zemou (vo výške okolo jedného kilometra) rýchlosť vetra prakticky nie je ovplyvňovaná terénom. Naproti tomu v nižších výškach je ovplyvňovaná veľmi silno. Pre využívanie veternej energie je podstatné, že čím je drsnosť terénu vyššia, tým je vietor viac spomaľovaný. Rýchlosť vetra je najviac spomaľovaná lesmi a veľkými mestami, kým na rovinách alebo vodných plochách prakticky nie je ovplyvňovaná. Budovy, lesy a iné prekážky nielen spomaľujú rýchlosť vetra, ale často vytvárajú aj jeho turbulencie, ktoré nepriaznivo vplyvajú na chod turbíny. Pri určovaní charakteru terénu je často jeho drsnosť rozdeľovaná do tried. Čím vyššia je trieda drsnosti, tým väčšie sú prekážky a tým väčšie spomalenie rýchlosti vetra. Morská hladina je braná za základ a má triedu drsnosti 0.

**Tab.3**

**Stupnica drsnosti terénu (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))**

<b>Trieda dr.</b>	<b>Typ terénu</b>
0	Vodná plocha
0,5	Úplne otvorený terén s hladkým povrchom ako je napr. na letiskách.
1	Otvorená poľnohospodárska plocha bez plotov s veľmi riedko rozostavanými malými budovami. Mierne a zaoblené kopce.
1,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 1250 metrov.
2	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 500 metrov.
2,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 250 metrov.
3	Dediny, malé mestá, poľnohospodárske plochy s viacerými vyššími budovami, lesy a veľmi nerovný terén.
3,5	Veľké mestá.
4	Veľmi veľké mestá s vysokými budovám.

#### **4.4.5. TIENENIE TURBÍNOU**

Keďže veterná turbína vyrába energiu z vetra musí mať vietor za turbínou menšiu energiu ako pred turbínou. Táto skutočnosť priamo vyplýva z pravidla, že energia sa nemôže ani vytvárať ani spotrebovať môže byť len premieňaná z jednej formy na druhú. Veterná turbína bude vždy predstavovať prekážku pre iné turbíny umiestnené za ňou resp. v jej blízkosti. Za jej chrbtom sa vytvára dlhý prúd turbulentného a spomaleného vetra. Turbíny vo veterných parkoch sú z tohto dôvodu rozmiestňované vo vzdialenosti min. trojnásobku priemeru rotora, aby sa vplyv turbulencií obmedzil na minimum. V smere prevládajúceho vetra sú turbíny rozmiestňované v ešte väčších vzdialenostiach. Turbulencie nielen obmedzujú výrobu energie turbínou, ale znamenajú pre ňu aj väčšiu mechanickú záťaž a rýchlejšie opotrebovanie niektorých jej častí.

#### **4.4.6. PRIEMERNÁ RÝCHLOŤ VETRA**

Informácia o rýchlosti vetra v danej lokalite je nesmierne dôležitá z hľadiska správneho umiestnenia turbíny. V praxi sa využíva hlavne údaj o priemernej celoročnej rýchlosti vetra. Kratšie obdobia ako napr. mesačné alebo denné priemery sa využívajú pri veľmi precíznej analýze podmienok hlavne v prípadoch kedy je dôležitá doba medzi dostatkom vetra a požadovanou výrobou energie. Časové zmeny rýchlosti vetra v danom mieste sa udávajú ako relatívna pravdepodobnosť vyššej či nižšej rýchlosti vo vzťahu k priemernej rýchlosti. Typické rozdelenie rýchlostí vetra (nazývané tiež Rayleighovo rozdelenie, alebo špeciálne Weibullovo rozdelenie) znamená, že je len malá pravdepodobnosť bezvetria resp. vetra s dvojnásobnou rýchlosťou ako je priemerná. Najčastejšie sa vyskytujú rýchlosti na úrovni 75% priemernej rýchlosti. Rýchlosť vetra sa výrazne mení aj v priebehu roka, pričom najvyššia býva v zimných mesiacoch.

Hoci priemerná rýchlosť vetra je dôležitý parameter, význam má aj sledovanie iných veličín ako sú maximálna rýchlosť alebo počet dní s rýchlosťou vetra väčšou ako 5m/s. Rýchlosť vetra sa vždy mení a preto sa mení aj množstvo energie vyrobenej turbínou. Aké veľké sú tieto zmeny, závisí na okolitom povrchu a prekážkach. Okamžité zmeny rýchlosti sú však bežne kompenzované zotrvačnosťou turbíny.

#### **4.4.7. MERANIE RÝCHLOSTI VETRA**

Umiestňovanie veterných turbín bez merania vetra sa zvyčajne nevypláca. Vo väčšine prípadov sú 4 mesiace merania minimom a rok merania je považovaný za optimum. Pri väčšej investícii do veternej turbíny je dodatočná investícia za meranie rýchlosti práve tým, čo odlišuje dobrú a zlú investíciu. Meranie sa zvyčajne robí mechanickým zariadením nazývaným anemometer. Anemometer má vertikálnu os a "lyžičky" zachytávajúce vietor. Počet otáčok za minútu je elektronicky zaznamenaný. Obyčajne je anemometer vybavený aj natáčacím zariadením na zisťovanie smeru vetra. Existujú aj iné typy anemometrov ako sú laserové alebo ultrazvukové, ktoré

zaznamenávajú fázový posun zvuku alebo svetla odrážaného od molekúl vzduchu. Anemometre s horúcim vláknom zaznamenávajú rýchlosť vetra na základe okamžitých zmien teplôt medzi vláknami umiestnenými vo vetre. Výhodou "ne-mechanických" zariadení je, že sú menej citlivé na námrazu. V praxi sa však mechanické anemometre používajú takmer všade, pričom špeciálne modely s elektricky vyhrievanými lyžičkami sa používajú napr. v polárnych oblastiach.



**Obr.14**

**Anemometer (Zdroj: [www. bmksolar.sk](http://www.bmksolar.sk))**

Určenie presnej rýchlosti vetra však nie je jednoduchá a lacná záležitosť. V prípade malých turbín však nemusí byť potrebná. Na to, aby sme dostali hrubý odhad o rýchlosti vetra je možné orientovať sa podľa meraní napr. meteorologických staníc v blízkosti. Problémom je, že meteorologické stanice merajú rýchlosť vetra pri zemi, kým turbíny sa nachádzajú vo väčšej výške. Takéto meranie rýchlosti vetra má za následok podhodnotenie skutočnej rýchlosti v danom mieste. Veľmi jednoduchý anemometer je však možné si aj skonštruovať.

#### **4.4.8. BEAUFORTOVA STUPNICA**

Francis Beaufort narodil sa 7 mája 1774 v County Meath (Írsko) v rodine reverenda Daniela Augusta Beauforta (farára v Navay). Od 13 rokov Beaufort pobýval na mori ako stevard britského námorníctva. V roku 1805 bol Francis Beaufort menovaný veliteľom vojenskej plachetnice H. M. S. Woolwich, ktorá sa plavila do Južnej Ameriky do zátoky Rio de la Plata. Beaufort mal za úlohu riadiť hydrografický výskum. Pri tejto plavbe Beaufort zostavil v rokoch 1805 - 1808 svoju stupnicu sily vetra. Od roku 1829 bol Beaufort oceánografom britského námorníctva.

Beaufortova stupnica bola v britskom námorníctve od roku 1838 povinne používaná pre všetky zápisy do lodných denníkov. Sir Franci Beaufort zomrel 13. decembra 1857 v Londýne.

Tab.4

Beaufortova stupnica rýchlosti vetra (Zdroj: www.windpower.sk)

B	m/s	km/h	Popis
0	0,0 - 0,2	pod 1	<b>Bezvetrie</b> - dym stúpa kolmo hore
1	0,3 - 1,5	1.5	<b>Vánok</b> - slabý pohyb dymu a lístia stromov, veterná koruhva stojí
2	1,6 - 3,3	6.11	<b>Slabý vietor</b> - lístie stromov šelestí, veterná koruhva sa hýbe
3	3,4 - 5,4	12.19	<b>Mierny vietor</b> - vietor napína zástavky, vetvičky stromov sa hýbu
4	5,5 - 7,9	20 - 28	<b>Dost' čerstvý vietor</b> - pohyb slabších konárov
5	8,0 - 10,7	29 - 38	<b>Čerstvý vietor</b> - listnaté kry sa hýbu, vlny s hrebeňmi na hladine
6	10,8 - 13,8	39 - 49	<b>Silný vietor</b> - silnejšie konáre sa hýbu, drôty svišťa
7	13,9 - 17,1	50 - 61	<b>Prudký vietor</b> - hýbu sa celé stromy, chôdza obtiažna
8	17,2 - 20,7	62 - 74	<b>Búrlivý vietor</b> - lámu sa vetvy, chôdza proti vetru nemožná
9	20,8 - 24,4	75 - 88	<b>Víchrica</b> - menšie škody na stavbách, padajú škridlice
10	24,5 - 28,4	89 - 102	<b>Silná víchrica</b> - na pevnine sa vyskytuje zriedka, vyvracia stromy
11	28,5 - 32,6	103 - 117	<b>Mohutná víchrica</b> - rozsiahle škody a pustošenie, vo vnútrozemí strednej Európy sa v nižších polohách nevyskytuje
12	nad 32,6	nad 117	<b>Orkán</b> - ničivé účinky, na pevnine sa v nižších polohách vôbec nevyskytuje

Beaufortova stupnica na pozorovanie priemernej sily vetra (prepočet na m/s a na km/h v priemere za 10 minút, pričom merania sú vo výške 10 m nad zemským povrchom na voľnom priestranstve, verzia prepočtu z r. 1946, Beaufort túto stupnicu po prvýkrát navrhol v r. 1805).

## 4.5. VPLYV NA FAUNU A FLÓRU

Pri vplyve na faunu je najdôležitejšie zhodnotiť vplyv veternej elektrárne na hniezdiace vtáctvo, na správanie živočíchov a celkový dosah na druhovú diverzitu v okolí veternej elektrárne. Ak sa v ohrozenom území nachádzajú chránené živočíchy je potrebné vyjadrenie príslušného orgánu ochrany prírody, či bude na tomto území realizácia stavby veternej elektrárne možná.

Pri výskumoch vplyvu v krajinách s rozvinutou veternou energetikou boli realizované pozorovania zamerané na pôsobenie veterných elektrární na niektoré druhy vtákov, špeciálne sa tieto pozorovania zamerali na zmenu ich bežného správania a proces hniezdenia v blízkosti elektrární. Z výsledkov bolo zistené, že v prvých rokoch prevádzky môžu elektrárne pôsobiť na hniezdiace vtáctvo rušivo. Avšak po istom čase sa situácia znormalizovala a hluk turbín sa stal bežnou súčasťou ich prostredia.

Pri návrhu veternej elektrárne je tiež potrebné zobrať do úvahy migračné trasy pri sťahovaní vtáctva. I keď zrážky s turbínou za dobrej viditeľnosti sú nepravdepodobné a v noci pri zníženej viditeľnosti zriedkavé skôr nezvyčajné. Problémy so zrážkami vtáctva s veternou elektrárnou sa najviac vyskytujú v jesennom období, keď sa s veternými farmami dostáva do kolízie dva až trikrát viac vtákov než v zime a na jar. Priemerný počet kolízií vtákov na kilometer veternej elektrárne odpovedá počtu vtákov usmrtených na kilometer ciest a je oveľa menší než počet nehôd, ktoré pripadajú na kilometer el. vedenia. V súčasnosti sa netopiere vo vzťahu k veterným elektrárnam hodnotia ako zraniteľnejšie, kvôli nízkej reprodukčnej schopnosti a dlhovekosti.

Najzávažnejšie nepriaznivé vplyvy. Priame kolízie, strata lovných habitov, barierový efekt, emisia ultrazvuku



Vplyv na flóru je možné rozdeliť na:

- vplyv spôsobený realizáciou stavby,
- vplyv spôsobený tienením telesom elektrárne.

Do prvej skupiny patrí problematika vyrubovania stromovej a kríkovej zelene pri zakladaní stavby, výstavbe prístupových komunikácií a prácach spojených s napojením elektrárne na rozvodnú sieť, kde je nevyhnutné postupovať podľa príslušného zákona (zákon Č. 112/1992 Zb. o ochrane prírody a krajiny) a požiadať o súhlas s výrubom zelene rastúcej mimo lesa. Rovnako je potrebné preveriť, či sa v záujmovom území nenachádzajú chránené druhy rastlín. Pokiaľ by tieto boli zistené, tak je potrebné sa dohodnúť v spolupráci s orgánom ochrany prírody na opatreniach, napríklad na ich premiestnení .  
([www.inforse.org](http://www.inforse.org))

## 4.6. HLUK

Akustické emisie veterných elektrární sú veľmi pozorne sledované z hľadiska vplyvu na životné prostredie. Pri prevádzke veternej elektrárne vznikajú dva druhy hluku - mechanický a aerodynamický.

Zdrojom mechanického hluku je pohyb mechanických častí strojovne, čo je hlavne prevodovka, a elektrických častí strojovne, čo je generátor vrátane jeho ventilátora.

Aerodynamický hluk vzniká pri obtekaní vzduchu okolo listov rotora. Tento hluk má typický charakter svišťania. Aerodynamický hluk zahŕňa široký rozsah frekvencií a je ovplyvnený konštrukčnými prvkami listov.

V prípade nečinnosti elektrárne (pri stredných a veľkých elektrárňach to býva do rýchlosti vetra  $3,5 - 4 \text{ m.s}^{-1}$ ) je hluk vyvolaný len obtekaním konštrukčných prvkov veternej elektrárne.

Podľa frekvencie zvuku potom tento hluk môže mať charakter:

- zvuku - pre človeka voľným uchom počuteľné frekvencie od 20 Hz do 20 kHz,
- infrazvuku - pre človeka nepočuteľné frekvencie pod 20 Hz.

Počuteľné zvukové emisie Na silu vnemu vyvolaného určitým hlukom má veľký vplyv pomer medzi jeho intenzitou a intenzitou ostatných hlukov, ktoré sa označujú ako hluk pozadia. Ako rušivý sa konkrétny hluk javí až vtedy, ak je jeho hladina o niekoľko dB vyššia než hladina hluku pozadia.

**Tab.5****Hladina hluku – príklady (Zdroj: www.windpower.sk)**

<b>Oblasť</b>	<b>Cez deň dB(A)</b>	<b>Cez noc dB(A)</b>
Priemyselné územie	70	70
Priemyselná a obchodná zóna	65	50
Oblasť zmiešaná, centrum, dedinská	60	45
Všeobecne obytná oblasť	55	40
Čisté obytné územie	50	35
Kúpeľné územie, nemocnice	45	35

Hluk sa šíri od bodového zdroja v závislosti od smeru vetra a s narastajúcou vzdialenosťou sa utlmuje. Obraz hlukového poľa v okolí veternej elektrárne je v nezanedbateľnej miere modifikovaný technickými vlastnosťami daného typu veternej elektrárne. Najdôležitejšiu úlohu hrá hluk strojovne a účinnosť proti hlukovej izolácie. Možno predpokladať, že aerodynamický hluk trojlistového rotora s menším počtom otáčok bude nižší než hluk dvojlistového rotora s väčším počtom otáčok. Pri stanovovaní úrovne hluku je potrebné separovať tento hluk od hluku pozadia.

Všeobecne je známe, že hluk vyvolaný laminárnym a turbulentným trením vzduchu o drsný zemský povrch dosahuje najmä v horských podmienkach vysoké hodnoty. S prihliadnutím na rozmery veterných elektrární je možné jednotlivé turbíny považovať za nezávislé bodové zdroje až do vzdialenosti 1 000 m. V tejto vzdialenosti už hlukové emisie nie sú významné. Pre menšie vzdialenosti nárast hluku nebude zodpovedať jednoduchému sčítaniu akustických výkonov (zdvojnásobenie vyžarovaného výkonu spôsobí nárast hluku o 3 dB) a všeobecne je možné predpokladať, že nárast emisií bude menší než 3 dB pri zdvojnásobení inštalovaného výkonu.

## 4.7. OPTICKÉ EMISIE VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Optické emisie môžeme rozdeliť do dvoch skupín:

- emisie svetla – odrážanie svetelných lúčov od povrchu listov rotora vytvára svetelné záblesky - disko efekt (stroboskopický efekt),
- emisie tieňa – tienenie spôsobené vlastnou konštrukciou veternej elektrárne

### **Emisie svetla**

Za slnečného počasia cez deň v bezprostrednej blízkosti veternej elektrárne vzniká disko efekt, ktorý je spôsobený zrkadlením povrchu listov rotora. Efekt môžeme pozorovať krátkodobo a náhodne.

### **Emisie tieňa**

Tienenie spôsobené veternou elektrárnou má dvojaký charakter:

- kvázi statický - tienenie vežou a gondolou elektrárne, resp. aj stojacou turbínou,
- dynamický - vrhanie pohyblivého tieňa otáčajúcou sa turbínou (stroboskopický jav).

Doba tienenia oboch typov je závislá od súhry poveternostných podmienok. smeru vetra, polohy slnka a prevádzky elektrárne. Ak chceme posudzovať tienenie musíme uvažovať s nasledovnými charakteristikami:

- maximálne teoreticky možné zatienenie, (uvažuje sa s trvalým slnečným svetlom, určitým smerom vetra a otáčajúcou sa turbínou);
- reálne zatienenie, (výpočet pre štandardné, priemerné poveternostné podmienky), vážená doba zatienenia, Čo je maximálna teoreticky možná doba pôsobenia, vzťahovaná k dobe pobytu obyvateľov na exponovaných miestach (napríklad miestnosti v obytných budovách). Ak by sme chceli porovnať zatienenie veternej elektrárne a tienenie stromov alebo pouličných lúčok je zatienenie elektrárne z pohľadu idúceho auta oveľa menej intenzívne. Už pri projektovaní treba zohľadniť tienenie. ([www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))

## 4.8. INFRAZVUKOVÉ EMISIE

### Infrazvukové emisie

Zvukové vlny ktoré sa nachádzajú pod hranicou rozsahu sluchového vnemu sa nazývajú infrazvuk. Infrazvuk má obdobne ako počuteľný hluk negatívny dopad na ľudský organizmus, resp. na iné vyššie živé organizmy. Zdroje infrazvuku je možné rozdeliť na technické a prirodzené. Medzi technické zdroje infrazvuku patria: pouličná doprava, lietadlá, diskotéky, vykurovacie a klimatizačné zariadenia, priemyselné pracoviská a iné. Prírodnými zdrojmi infrazvuku sú: búrky, zemetrasenia, vodopády, morský príboj.

**Tab.6**

**Hodnoty zvukových emisií jednotlivých zdrojov (Zdroj: [www.windpower.sk](http://www.windpower.sk))**

Zdroje zvukových emisií	Hladina počuteľného zvuku v dB
elektrická vysoká pec	102
osobný automobil (otvorené okno)	83
Rýchlik	55
nákladný automobil (zatvorené okno)	96
kancelárske priestory	52
kancelárske priestory- vetracie zariadenia	33
veterná elektráreň 500kW- vzdial. 300m	40
veterná elektráreň 500kW- vzdial. 500m	33

V krajinách EÚ boli zavedené normy, vymedzujúce minimálne vzdialenosti veterných elektrární od určitých objektov.

## 5. VÝSLEDKY PRÁCE

Samostatne pracujúce veterné systémy sa uplatňujú v osamotených domoch (vzdialených od siete), v člnoch, na farmách alebo tiež v malých obciach. Každý takýto systém môže byť nielen praktický ale aj ekonomický pre užívateľa. Tieto systémy majú veľký význam aj pre rozvojové krajiny s nízkou úrovňou infraštruktúry a riedkou sieťou elektrických vedení, ktoré vzhľadom na nedostatok financií budú len veľmi ťažko dobudované. Pre ľudí, ktorí sú v súčasnosti odkázaní na lampy alebo osvetlenie napájané z batérií, sú jednoduché a lacné malé veterné turbíny ideálnym riešením. Takéto turbíny sú v súčasnosti vyrábané viacerými firmami v širokom rozsahu výkonov od niekoľkých wattov do niekoľko kW. Malá veterná turbína s výkonom 500 W je na dobrom veternom mieste (s priemernou rýchlosťou vetra viac ako 5 m/s) schopná veľmi lacno dodávať energiu do batérie a následne zabezpečovať energiu napr. na osvetlenie, napájanie elektrospotrebičov ako sú rádio alebo televízor. Cena zhruba 2000 Euro je však problémom pre ľudí ale je to riešenie ako zabezpečiť zásobenie domu, chaty v oblastiach kde nie je dostupná elektrická sieť. V minulosti bola spoľahlivosť týchto turbín problematická. V súčasnosti sú však na trhu turbíny, ktoré vydržia aj tie najdrsnejšie podmienky a vyžadujú si minimálnu údržbou.

### 5.1. VÝHODY VYUŽÍVANIA VETERNEJ ENERGIE

- pri výrobe elektriny vo veterných elektrárňach nevznikajú emisie ani žiadny škodlivý odpad,
- nemá negatívny vplyv na zdravie ľudí (s výnimkou možného vzniku hluku pri prevádzke veternej elektrárne),
- výroba elektriny nie je závislá od ceny vstupnej suroviny (na rozdiel od tepelných, plynových, jadrových elektrární)
- zanedbateľne nízke prevádzkové náklady,
- pre nenáročnosť obsluhy a nízke prevádzkové náklady sa ponúka možnosť využitia veterných elektrární v rozvojových alebo zaostalých krajinách

- verejná mienka je pozitívne naklonená výstavbe a využívaniu veterných elektrární (žiadne emisie, žiadne významnejšie ohrozenie životného prostredia v prípade havárie).

## 5.2. NEVÝHODY VYUŽÍVANIA VETERNEJ ENERGIE

- závislosť na aktuálnej meteorologickej situácii,
- malý výkon veterných elektrární (najväčšie veterné elektrárne vo svete majú výkon do 3,2 MW, bežný výkon je od 0,5 do 1 MW),
- - veterné elektrárne v súčasnosti nie sú schopné využiť rýchlosť vetra väčšiu ako 30 m/s(108 km/h). Ak má vietor vyššiu rýchlosť, potom je nevyhnutné elektrárne zastaviť, aby nedošlo k poškodeniu listov rotora. Väčšina veterných elektrární zároveň nie je schopná využiť energiu vetra s rýchlosťou nižšou ako 3 m/s.
- pomerne vysoké kapitálové výdavky (výdavky na stavbu),
- veterné elektrárne sú náročné na pevnosť použitých materiálov,
- môžu spôsobiť rušenie elektromagnetického poľa vo svojom okolí. To je možné kompenzovať tým, že sa na listy rotora používajú materiály ako drevo alebo sklolaminát.
- môžu predstavovať nebezpečenstvo pre malé lietadlá lietajúce v malých výškach,
- pri otáčaní listov rotora vzniká hluk,
- vizuálny efekt na prírodnú scenériu spôsobený veternými elektrárnami je často negatívny.

Z uvedeného dôvodu sa rozvíja vedný odbor, ktorý sa zaoberá problematikou umiestňovania veterných elektrární do krajiny z hľadiska ich vplyvu na prírodnú scenériu.

### 5.3. VYUŽITIE ELEKTRÁRNE VO VYUČOVACOM PROCESE

Veterná elektrárň WDW 300B je malý veterný agregát na výrobu elektrickej energie premenou z veternej , na ktorom je možné realizovať experimenty vo vyučovacom procese. Hlavným dôvodom pre využitie v školskom procese je oboznámenie sa s konštrukčnými požiadavkami veterných elektrární aby boli dostatočne efektívne pri využívaní premeny energie vetra na elektrickú. Umiestnenie a rýchlosť vetra sú najdôležitejším parametrom pri pokusoch a výstavbe. Dôkladné oboznámenie sa s konštrukciou je dôležitou súčasťou pri projektovaní elektrární a pri navrhovaní ďalších experimentálnych pokusov. Študenti majú možnosť zistiť správanie sa turbíny pri hodnotách vetra stanoveného výrobcom. Jej nasledovné správanie sa pri podmienkach ktoré výrobca udáva ako kritické a pre elektrárň už neúčinné pri výrobe el. energie. Správanie sa turbíny pri kritických podmienkach , brzdenie agregátu , či naklápanie listov rotora sú ďalšie zaujímavé témy pre výskum v laboratórnych podmienkach. Hlavným bodom merania výsledkov je dôležitý výkon elektrárne, akým spôsobom je možné ho dosiahnuť. Posúdenie vhodnosti generátora a jeho využitie pri výrobe el. energie vzhľadom na priemernú rýchlosť vetra a požadovaný výkon. Taktiež je dôležitá úschova energie, v čase keď nie je plný odber na elektrární, navrhnúť spôsob uskladnenia energie.

Posúdenie a zhodnotenie návratnosti vstupnej investície pri využívaní veternej elektrárne v chatovej oblasti na zásobenie el. energiou a vykurovanie , prípadne ohrev teplej vody.

Posledným ale dôležitým bodom využitia veternej elektrárne vo vyučovacom procese je zhodnotenie vplyvu elektrární na faunu a flóru.

Pokusy na WDW 300B možno realizovať ako aj v zapojení off-grid čo je zapojenie keď veterná elektrárň nie je pripojená na elektrickú rozvodnú sieť ale i na zapojení on-grid kedy je pripojená k elektrizačnej sústave.



## 5.4. PREČO POTREBUJE SLOVENSKO VETERNÚ ENERGIU?

Veterné elektrárne vyrábajú čistú energiu bez akýchkoľvek emisií spôsobujúcich klimatické zmeny či znečistenie ovzdušia. Takto vyrobená elektrina predstavuje domáci zdroj, za ktorý nemusíme platiť účty zahraničným dodávateľom a stávame sa tak viac sebestačnými v zásobovaní elektrinou. Bohužiaľ, Slovensko vo využívaní všetkých obnoviteľných energetických zdrojov zaostáva a stále ostáva z približne 90% závislé na dovoze primárnych energetických zdrojov (uhlie, ropa, zemný plyn, urán) najmä z Ruska, pričom za tieto dovozy platíme nemalé sumy, na ktoré sa skladajú všetci daňoví poplatníci. Odporcovia veterných elektrární často tvrdia, že Slovensko má elektriny dostatok a nepotrebuje stavať nové zdroje. Toto tvrdenie nie je pravdivé, najmä v súvislosti s plánovaným odstavením dvoch blokov (spolu 880 MW inštalovaného výkonu) jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach do roku 2008, keď sa zo Slovenska stalo namiesto vývozcu elektriny dovozca.

Veterná energia sa môže aspoň z časti podieľať na nahrádzaní chýbajúcich kapacít vo výrobe elektriny, najmä ako doplnkový zdroj. K vyššiemu využívaniu všetkých obnoviteľných energetických zdrojov vrátane veternej energie však Slovensko viažu aj viaceré medzinárodné dokumenty.

## 6. ZÁVER

Vo využívaní veternej energie na Slovensku vzhľadom na rastúce ceny klasických druhov energie, rastúci postih za ekologické dopady využívania klasických druhov energie, zvýšenú podporu štátu pri výrobe veternej energie a možnosti čerpania finančných prostriedkov a fondov EU budú nové trendy pre rast výroby veternej energie. A to vo forme doplnkových lokálnych zdrojov ďalej bude kombinácia využitia veternej energie so solárnou energiou a bioenergiou a dôjde k zvýšeniu životnosti veterných turbín zo súčasných 20 na 30 rokov. Vývojom novej generácie prevodov a materiálov s schopnosťou nerušiť okolité prostredie sa dosiahne zvýšenie účinnosti a zníženie hlučnosti veterných elektrární a tým aj ich lepšie ekologické vlastnosti.

Veterná elektráreň WDW 300B je vhodným riešením pri napájaní chaty elektrickou energiou kde nie je v dosahu rozvodná sieť. Táto elektráreň poskytuje dostatočný generovaný výkon energie pri optimálnych meteorologických podmienkach. Nakoľko je veterná energia čistým zdrojom je vhodné jej umiestnenie aj v v oblastiach kde je výskyt vzácnych rastlín , a chránených zvierat. Hlavnou výhodou je že výroba energie nezávisí na žiadnych vstupných surovinách, úspora nákladov a hlavne neznečistenie prostredia. No na druhej strane je hlavne závislá na priemernej rýchlosti vetra a umiestnenia, teda drsnosti terénu.

Malé veterné elektrárne budú vznikať v rodinných domoch a v malom zoskupení. Tieto mikro elektrárne budú vo väčšine prípadov používané na výrobu elektrickej energie v spojení s dobíjaním akumulátorov. Z akumulátorov sa energia využije na osvetlenie, ohrev vody a na napojenie ďalších spotrebičov domácností s nízkou spotrebou elektrickej energie.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

1. BALÁK, R. : Nové zdroje energie. Praha : SNTL, 1989.
2. ENERGETICKÉ ZDROJE ZEME. Výučbový počítačový materiál na CD ROM. Slovenské elektrárne, a.s., 2001.
3. FOND PRE ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE, 2001. Obnoviteľné zdroje energie [on-line], 2007 Dostupné na internete <<http://www.seps.sk/zp/fond/2001/index.htm>>
4. INFORSE - International Network for Sustainable Energy, 2008. Veterná energia [on-line], 2007.
5. SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE a.s., 2008. Veterné elektrárne[on-line],
6. Firemná literatúra výrobcu WDS <<http://www.wodagreen.com>>
7. MADEROVÁ, Eugénia. Obnoviteľné zdroje energie. Bratislava : Slovenské elektrárne, a.s., 1997. 19 s. S energiou rozumne
8. APALOVÍČ, Rudolf. Obnoviteľné zdroje energie - možnosti regiónu. Bratislava : ADAPT, 1998. 57 s. ISBN 80-968042-0-0.
9. PETRÁŠ, Dušan. Nízkotepelné vykurovanie a obnoviteľné zdroje energie. 1. vyd. Bratislava : Jaga group, 2001. 271 s. ISBN 80-88905-12-5.
10. Obnoviteľné zdroje energie. 2. uprav. a dopln. vyd. Praha : FCC Public, 2001. 208 s. Údaj o zodpovednosti prevzatý z rubu titulného listu. ISBN 80-901985-8-9.
11. JANÍČEK, František. Obnoviteľné zdroje energie. 1. Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Pezinok : Renesans, c2007. 170 s. Údaj o zodpovednosti prevzatý z rubu titulného listu. ISBN 978-80-969777-0-3.
12. ŠTIBRANÝ, Peter. Veterná energetika. Bratislava : Slov. akad. vied, B.r.v. 253 s. ISBN 80-88780-17-9.
13. Energie 21 : časopis o alternatívnych zdrojích energie. Praha : Profí Press, 2008-. Podnázov v tiráži: odborný recenzovaný dvomesečník o obnoviteľných zdrojích energie. obmesačník. Dostupné na internete: . ISSN 1803-0394.
14. ŠUROVSKÝ, Jan. Mikroturbína : [Energetická revoluce pro 21. století : Malý zdroj elektřiny - velký skok pro lidstvo]. 1. vyd. Praha : Instalace Praha, 2003. 220 s. Podnázov prevzatý z rubu titulného listu.

15. PASTOR, Ľudomil - HORÁK, Miloslav - HORNÍK, Štefan. Efektívne využívanie energie pri prevádzke zariadení a budov. 1. vyd. Bratislava : Jaga group, 2000. 159 s., [15] s. fareb. obr. príl. ISBN 80-88905-33-8.
16. SCHRATTENHOLZER, Leo. The International Energy Workshop. Laxenburg : Inter. Inst. for Applied Systems Analysis, 1998. S. 147-158. RR-98-8.
17. Slovenské elektrárne, akciová spoločnosť. Bratislava : Slovenské elektrárne, a.s., 1997. 42 s.
18. MARKO, Štefan. Energetické zdroje a premeny. Bratislava : Alfa, 1989. 447 s.
19. KACLÍK, Ján - VALÁŠEK, Jaroslav. Racionálne využitie energie v rodinných domoch. Bratislava : Alfa, 1989. 294 s.
20. Využívání energie z ekologického hlediska : Výběr. bibliografie. Ostrava : Stát. věd. knih., 1989. 45 s.
21. PLÁTENÍK, Vladimír - BRUTOVSKÝ, Emil. Využití elektrické energie. Pro střední odborná učiliště. Překlad ze slovenštiny Rostislav Zeman. Praha : Státní nakl. technické lit., 1987. 270 s.
22. NUCHALA, Martin. Energetické využitie vetra na Slovensku. Školiteľ Anton Izakovič. Nitra : VŠP Katedra elektroniky a automatizácie, 1991. 54 s.
23. BERANOVSKÝ, Jiří - TRUXA, Jan. Alternativní energie pro váš dům. 2. aktualiz. vyd. Praha : EkoWATT ; Brno : ERA, 2004. 125 s., 90 obr., 60 tab. 21. století. ISBN 80-86517-89-6.
24. Nová energetická politika SR. Bratislava : Dadaexpress, 2000. 141 s. ISBN 80-968421-0-2.
25. BOŽÍK, Marian. Ekonomika využívania obnoviteľných zdrojov energie. Bratislava : Výsk. ústav ekon. poľnohosp. a potravin., 1994. 81 s.