

Veterné elektrárne

Pošik Ján · Elektrotechnika, Študentské práce

03.08.2011



Táto práca je stručným oboznámením sa s históriou a súčasnými trendmi v technike veterných elektrární. Okrem rozdelenia a popisu jednotlivých konštrukčných častí sa zaoberá aj vplyvmi na životné prostredie.

1. Úvod

Jedným z hlavných smerov, ktorým bude musieť naša 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. Je dôležité, že v každom smere technického využitia je možné stále vylepšovať už používané technológie. Tým sa riešia dôležité problémy súčasných technológií a zároveň sa posúvajú hranice našich možností ďalej.[1]

2. História

Využívanie sily vetra siaha niekoľko tisíc rokov do minulosti. Človek tuto silu využíval na pohon plavidiel. Tieto jednoduché plavidlá sú staré viac ako 5000 rokov a pochádzajú zo starého Egypta. Najstaršie mlyny poháňané vetrom pochádzajú z dnešného Afganistanu a sú staré 2700 rokov. Bežne ich používali na mletie obilia a na zavlažovanie poli na ostrovoch Stredozemného mora. Na Kréte sú využívané dodnes. Tak isto v Holandsku sa používali veterné mlyny na čerpanie vody z nízko položených oblastí (obrázok 1).



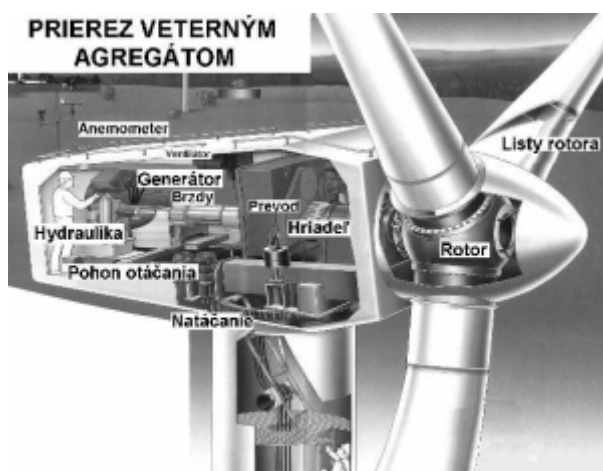
Obrázok 1. Veterné mlyny v Holandsku.

V roku 1854 sa objavilo prvé vetrom poháňané vodné čerpadlo. Skladalo sa z ružíc, ktoré boli potiahnuté plachtou, a dreveným chvostom, ktorý cele zariadenie natáčal po smere vetra. V roku 1940 pracovalo takýchto zariadení viac ako 6 miliónov. Využívali sa na čerpanie vody aj na výrobu elektrickej energie. 20. storočie znamenalo nástup nových energetických zdrojov – elektriny, ropy a zemného plynu. Veterne čerpadla postupne vytlačili. V 70. rokoch počas ropnej krízy sa záujem o veternú energiu oživil. Mnohé štáty podporovali rozvoj a výskum veternej energie.[2]

3. Technológia

Veterné turbíny sa skladajú z týchto komponentov:

- Listy rotora
- Rotor
- Prevody
- Generátor
- Elektronika a regulačné zariadenie [2]



Obrázok 2. Komponenty veternej elektrárne

3.1 Listy rotora

Sú dôležitou časťou turbíny, ktoré zachytávajú energiu vetra. Listy sú vyrobené z laminátov, polyesterov a niekedy sa používa aj drevo. Tieto materiály sa vyznačujú kombináciou ohybnosti a pevnosti. Tieto materiály nerušia televízne a iné signály. Priemery pre veľké turbíny sa pohybuje od 25 a viac ako 50 metrov a môže vážiť až jednu tonu.

3.2 Rotor

Rotor sa skladá z listov a centrálnej osi, na ktorej sú pripevnené. Os je pripojená na hlavný prevod systému.

3.3 Prevody

Prevody a ložiská sú dôležité z hľadiska efektívneho prenosu krútiaceho momentu na generátor elektrického prúdu.

3.4 Generátor

Generátor ma podobnú konštrukciu ako v tradičnej elektrárni na fosílné paliva.

3.5 Elektronika a regulačné zariadenie

V mnohých turbínach je činnosť jednotlivých komponentov regulovaná elektronicky a môže byť riadená diaľkovo. Použitá elektronika udržiava napätie pri meniacich sa otáčkach generátora. rôznorodosť veterných turbín je veľká väčšina moderných turbín sa dodáva v dvoch konfiguráciách – s horizontálnou alebo vertikálnou osou.

4. Rozdelenie veterných elektrární

Veterné elektrárne rozdeľujeme podľa veľkosti inštalovaného výkonu na:

- mikrozdroje – s výkonom do 30kW – vyrábajú jednosmerný prúd na nabíjanie batérií
- stredné veľké elektrárne – s výkonom do 100kW – dodávajú striedavý prúd do siete
- veľké elektrárne – s výkonom nad 100kW – dodávajú striedavý prúd do siete

4.1 Mikrozdroje

Malé veterné turbíny sa vo svete využívajú väčšinou ako samostatné energetické zdroje. V niektorých prípadoch sú však aj tieto malé systémy pripájané na verejnú elektrickú sieť, čo umožňuje majiteľovi takéhoto systému znížiť náklady na nákup elektriny a súčasne v prípade prebytku dodávať ním vyrobenú elektrinu do siete. Odber a dodávanie do siete sa vykonáva pomocou automatických prepínačov. Meradlo spotreby elektriny je zvyčajne zapojené tak, že pri dodávaní elektriny do siete sa točí naopak.



Obrázok 3. Malá veterná elektráreň.

Takéto turbíny sú v súčasnosti vyrábané viacerými firmami v širokom rozsahu výkonov od niekoľkých wattov do niekoľko tisíc W. Malá veterná turbína s výkonom od 100 do 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. V minulosti (začiatkom 70. tých rokov) bola spoľahlivosť týchto turbín problematická. V súčasnosti sú však na trhu turbíny, ktoré vydržia aj tie najdrsnejšie podmienky a vyžadujú si minimálnu údržbu (raz za 5 rokov). Spoľahlivosť týchto systémov sa vyrovná spoľahlivosti napr. systémov so slnečnými článkami.

Používanie malých veterných turbín sa pre izolovaných užívateľov ukázalo výhodnejšie ako používanie napr. naftových generátorov alebo predlžovanie elektrického vedenia. Výhodou je, že veterné systémy sú nielen relatívne malé, ale je ich možné rýchlejšie vybudovať. V mnohých krajinách je predĺženie elektrického vedenia k odberateľovi o jeden kilometer drahšie ako náklady na vybudovanie malého veterného systému. Hoci veterné turbíny sa vyznačujú vyššími investičnými nákladmi ako napr. naftové generátory, ich prevádzka je prakticky bezplatná a majiteľovi odpadajú problémy so zháňaním a dopravou paliva.

Zo skúseností vyplýva, že pre dennú spotrebu na úrovni jednej kWh je energia vyrobená veternou turbínou lacnejšia ako energia z naftového generátora, predĺženie elektrického vedenia alebo energia zo slnečných článkov. Platí to pre miesta, kde rýchlosť vetra v ročnom priemere presahuje 4 m/s. Takáto rýchlosť vetra je úplne bežná na mnohých miestach sveta. Pre pokrytie vyššej dennej spotreby energie sa ekonomika veterných turbín ďalej zlepšuje. Pre turbínu s výkonom 10 kW je už rýchlosť vetra 3-3,2 m/s dostatočná na to, aby veterná energia bola lacnejšia ako iné alternatívy. Na svete je len málo miest, kde je priemerná rýchlosť vetra nižšia ako 3 m/s. Náklady na kúpu malých veterných turbín, vzťahnuté na jeden watt s narastajúcim výkonom klesajú.[3]

4.2 Stredné a veľké veterné elektrárne

Stredné a veľké turbíny s výkonom nad 50 kW dodávajú zvyčajne elektrinu do verejnej elektrickej siete. Veľká väčšina dnešných turbín má horizontálnu os, je vybavená tromi listami s priemerom 15-50 metrov a elektrický výkon sa pohybuje od 50 kW do 1,5 MW. Tieto turbíny sú často stavané v skupinách a vytvárajú tzv. veterné farmy. Napätie, ktoré turbína generuje má zvyčajne 690 Voltov a pomocou transformátorov je menené na vysoké napätie používané v elektrickej sieti (zvyčajne 10-30 kV).

Počas krátkej histórie vývoja veterných turbín dali elektrárenské spoločnosti jasne najavo, že majú záujem hlavne o veľké tzv. megawattové turbíny. To viedlo výrobcov k viacerým pokusom vyvinúť takéto turbíny už začiatkom 80-tych rokov. Okrem 3,2 MW-ovej turbíny na Havaii vyvinutej vďaka podpore amerického ministerstva energetiky, boli ďalšie megawattové turbíny postavené aj v Dánsku (2 MW v Tjaereborgu), Švédsku (3 MW v Näsudden) a Nemecku (3 MW Growian). Napriek tomu, že viaceré takéto turbíny zlyhali, ukázali cestu ktorou sa dnes vývoj nezadržateľne ubera.

Veľa výrobcov v súčasnosti investuje obrovské finančné čiastky do ich vývoja. Niektoré 1 a 1,5 MW-ové turbíny už spoľahlivo pracujú niekoľko rokov. Dánska firma Nordex úspešne predáva 1,5 MW-ovú turbínu už od roku 1997. Ostatní výrobcovia sa snažia o postupné zvyšovanie výkonu svojich turbín, z ktorých najúspešnejšie v roku 1999 mali výkony 500-800 kW. Väčšina výrobcov vychádza pri vývoji veľkých turbín z poznatkov overených pri výrobe prvých malých turbín. Úspešnými výrobcami megawattových turbín sú dnes nemecký Tacke Windtechnik a dánske firmy Enercon, Nordtank a Vestas. Každá z týchto firiem dnes má vo svojej ponuke väčšiu ako 1MW-ovú turbínu.[4]



Obrázok 4. Výstavba 1,5MW-ovej veternej turbíny.

5. Prednosti veterných elektrární

Medzi hlavné výhody tejto formy využívania energie patria tieto:

- najlepšie podmienky pre veterné elektrárne sú v zime cez deň
- vytvárajú pracovne príležitosti
- pri prevádzke nevytvárajú žiadne tuhé, kvapalné ani plyné emisie, prípadne odpady
- nie je potrebná ťažba, spracovanie ani dovoz akéhokoľvek paliva
- zastavaná plocha elektrárne je minimálna
- po ukončení prevádzky je návrat do stavu „zelenej lúky“ relatívne jednoduchý
- konštrukčné materiály elektrárne sú recyklovateľné

6. Nevýhody veterných elektrární

K nevýhodám veterných elektrární z hľadiska ekológie môžeme zaradiť nasledovné:

- akustický hluk
- infrazvuk
- stroboskopický efekt
- odhadzovanie ľadu
- vplyv na vtáctvo
- vplyv na netopiere
- vplyv na flóru
- vplyv na hydrosféru
- ráz krajiny
- rušenie elektromagnetického signálu

6.1 Akustický hluk

Ide o emitovanie zvuku pri prevádzke zariadenia. Za hluk zariadenia považujeme úroveň zvuku, ktorá je o niekoľko decibelov vyššia, ako je úroveň zvuku pozadia. Hluk od veternej elektrárne rozdeľujeme na:

- mechanický
- aerodynamický

Hluk od mechanických častí zariadenia je spôsobený hlavne prevodovkou, generátorom a chladiacimi ventilátormi. Preto sa začínajú používať bezprevodovkové stroje, prípadne zariadenia so šikmým ozubením prevodov. Tiež elektrárne s reguláciou natáčania gondoly proti vetru (up-wind), ktoré sú najpoužívannejšie, sú menej hlučné. Na zníženie hluku od mechanických častí je možné vyhotoviť protihlukovú izoláciu na vnútornej stene gondoly. Aerodynamický hluk spôsobuje obtekanie vzduchu okolo listov rotora (svišťanie) a okolo veže elektrárne. Zvuk od listov rotora môže mať aj tónový charakter. Keďže hluk veternej elektrárne priamo pri turbíne býva aj nad 100 dB, prijateľná hladina dlhodobého hluku je prípustná až vo vzdialenosti niekoľko sto metrov od zariadenia.

6.2 Infrazvuk

Ide o emitovanie mechanických vln s nižšou frekvenciou, ako je spodný frekvenčný prah počutelnosti. Tento vplyv býva označovaný ako závažný, ale merania uskutočnené na elektrárnach preukazujú zvýšenú hladinu infrazvuku len pri zariadeniach s reguláciou gondoly po vetre (down-wind), ktorých je málo. Pri elektrárnach typu up-wind boli zaznamenané len nízke hodnoty infrazvuku bez škodlivého vplyvu na okolie.

6.3 Odhadzovanie ľadu (icing)

Ide o odpadávanie námrazku z listov rotora (prípadne aj gondoly) a to buď v prevádzke elektrárne, kde je ľad odhadzovaný do okolia turbíny, alebo mimo prevádzky stroja, kedy ľad padá pod turbínu. Námraza na zariadeniach sa častejšie tvorí v severských krajinách, prípadne v horských oblastiach a na vysokých elektrárnach, ktoré siahajú až do oblasti tvorby nižšej zrážkovej oblačnosti. Kvôli zabráneniu tvorby námrazy na listoch rotora majú tieto špeciálny tvar, ktorý sťažuje tvorbu hrubšej námrazy, prípadne sa vybavujú ohrevnými telesami. Na riziko odhadzovania ľadu sú obyvatelia upozornení výstražnými tabuľkami, rozmiestnenými v okolí elektrárne. Pre zníženie rizika zasiahnutia padajúcim ľadom môže byť zariadenie počas tejto kritickej doby postavené mimo prevádzky.

6.4 Vplyv na vtáctvo

Veterná elektráreň vplyva na okolité vtáctvo priamo a nepriamo. Medzi priame vplyvy patria tieto:

- kolízia s elektrárnou
- rušenie vtáctva pri výstavbe
- zmena správania vtáctva pri prevádzke elektrárne

Vtáky najčastejšie kolidujú pri prelete cez opisovanú plochu rotora priamo s listami rotora, prípadne sú strhnuté vzdušným vírom od lopatky, niekedy zasiahnu tiež statické časti zariadenia (hlavne vežu). Väčšia pravdepodobnosť kolízie je za zhoršených poveternostných podmienok (hmla, dážď) a za tmy. Mortalita je približne 5 vtákov na turbínu za rok a toto číslo v jednotlivých lokalitách výrazne kolíše.

V porovnaní s mortalitou vtáctva spôsobenou inou ľudskou činnosťou (budovy, doprava) je mortalita od veterných turbín výrazne nižšia. Pri výstavbe elektrárne je vtáctvo rušené výraznejším hlukom a zásahom do pôvodnej krajiny. Môže prísť k zmenšeniu počtu miest hniezdenia, čo však býva dočasný jav, pretože pri dlhodobejšej prevádzke elektrárne si vtáky na zvýšenú hladinu hluku zvyknú. Medzi nepriame vplyvy patria:

- poškodzovanie vzťahov v lokálnych ekosystémoch
- vytvorenie bariéry pre migráciu vtáctva

Pri plánovaní výstavby veterného parku je potrebné zistiť koridory tiahnutia vtáctva a taktiež prítomnosť chránených druhov vtákov vo zvažovanej lokalite a zabezpečiť aby výstavbou nebola ohrozená migrácia a druhová diverzita vtáctva, v najhoršom prípade vybrať inú lokalitu.

6.5 Vplyv na netopiere

Rovnako ako pri vtáctve aj pri netopieroch prichádza ku kolíziám jedincov hlavne s rotorom elektrárne počas prevádzky. Príčinou môžu byť zhoršené poveternostné podmienky, ale aj zvýšená aktivita netopierov v blízkosti turbíny (lovia hmyz, ktorý je vo väčšej miere priťahovaný práve k turbíne kvôli vyžarovaniu tepla, prípadne osvetleniu elektrárne) a zhoršenou echolokáciou rýchlo sa pohybujúcich listov rotora. Mortalita býva podľa lokality od nula až do niekoľko desiatok netopierov na turbínu a rok, pričom najohrozenejšie sú veterné parky na zalesnených hrebeňoch (zvýšený výskyt netopierov).

Počas výstavby parku sa narušuje prirodzené prostredie, netopiere strácajú časť miest úkrytu a lovu (hlavne ak sa pri výstavbe vo väčšej miere odstraňuje vegetácia). Celkovo ide o významnejší vplyv ako je vplyv na vtáctvo, pretože netopiere majú nižšiu reprodukciu a dožívajú sa vyššieho veku. Preto je nutné vyhnúť sa výstavbe veterného parku v lokalite so zvýšeným výskytom netopierých populácií a v oblastiach ich migračných koridorov.

6.6 Vplyv na flóru

Výstavba veterného parku nutne znamená odstránenie vegetácie na miestach veterných turbín a prilahlých komunikáciách, zastavaná plocha je však oproti iným typom elektrární relatívne malá, rozdeľuje však oblasť na menšie súvislé plochy. Vplyv na rastlinstvo je aj vo zvýšenom tienení od veže elektrárne.

6.7 Vplyv na hydrosféru

K znečisteniu vôd môže prísť havarijným únikom prevádzkových kvapalín (olejov) z generátora a prevodovky elektrárne, prípadne počas výstavby (únik od stavebných mechanizmov).

6.8 Ráz krajiny

Ide o subjektívne vnímaný problém umiestnenia veternej elektrárne alebo veterného parku v krajine (vyhodnotenie možné pomocou štatistického prieskumu). Všeobecne

možno povedať, že veterné turbíny je vhodné stavať v blízkosti iných už realizovaných ľudských výtvorov v lokalite (vedenia, komunikácie, železnica), kde elektrárneň môže pôsobiť dokonca estetizujúco. Na druhej strane sú turbíny vyslovene nevhodné pre miesta s typickým rázom krajiny, historicky zaujímavé oblasti. Veterné parky sa nemôžu stavať v chránených krajinných oblastiach a národných parkoch. Pred samotnou výstavbou je potrebné vypracovať hodnotenie vplyvu na ráz krajiny (vizualizáciu). Po ukončení prevádzky veternej elektrárne je návrat krajiny do stavu „zelenej lúky“ relatívne jednoduchý.

6.9 Rušenie elektromagnetického signálu

Ak je elektrárneň vybavená kovovými lopatkami, môžu tieto spôsobiť (v prevádzke) rušenie príjmu televízneho a rádiového signálu (elektrárneň stojí v ceste medzi vysielateľom a prijímačom). Pri veterných parkoch na morskom pobreží (offshore) bol pozorovaný vplyv elektromagnetického vlnenia v okolí silového kábla (položeného na dne) na správanie sa rýb.[5]

7. Neekologické kritériá na výstavbu

Skôr ako teda investujeme čas a peniaze do výstavby veternej elektrárne, je potrebné sa zamyslieť, či lokalita, ktorú sme si vybrali pre stavbu veternej elektrárne je vhodná na jej stavbu, či všetky vyššie uvedené negatíva sú čo najviac obmedzené takisto musí spĺňať tieto ďalšie neekologické kritériá:

- ročná priemerná rýchlosť musí byť aspoň 4 m.s^{-1} vo výške 10 m;
- umiestnenie lokality (stavba v chránenom území komplikuje schvaľovacie riadenie);
- vhodné geologické podmienky pre základy (nebezpečná seizmicita);
- prístupnosť lokality stavebným mechanizmom;
- vzdialenosť elektrického vedenia vysokého a nízkeho napätia (min. do 1 km);
- bezpečnosť prevádzky (teda dostatočná vzdialenosť od obydľí - hluk, možnosť rušenia telekomunikácií).[6]

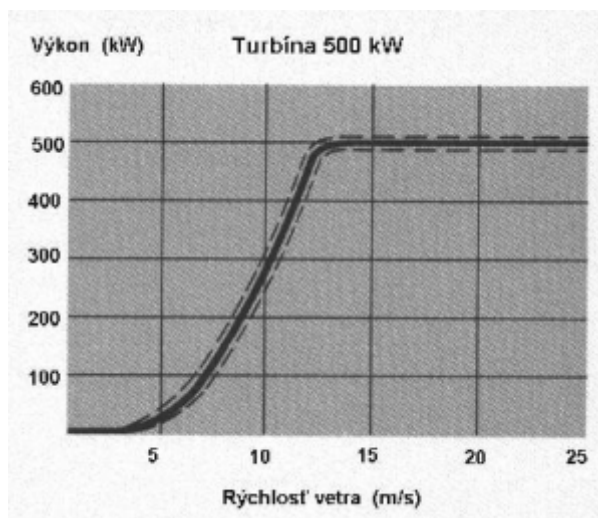
8. Rýchlosť vetra, prúdenie vzduchu

Veterná energia je pohybová energia vzduchu. Je nepriamo závislá od slnečnej energie. Zemský povrch ohrievajú slnečné lúče od regiónu po región s rôznou intenzitou, v dôsledku čoho dochádza k teplotným a tlakovým rozdielom. Na hospodársky zmysluplné využitie veternej energie na výrobu elektrickej energie je potrebná priemerná rýchlosť vetra väčšia ako $4 - 5 \text{ m.s}^{-1}$ (vo výške 10 m). Energia získaná z vetra zodpovedá tretej mocnine násobku rýchlosti vetra. Ak teda postavíme veternú elektrárneň na mieste, kde je priemerná rýchlosť vetra 6 m.s^{-1} namiesto 3 m.s^{-1} (teda 2-násobná), môžeme získať 8-násobné množstvo energie. Z toho dôvodu má miesto, kde toto zariadenie postavíme, rozhodujúci vplyv na účinnosť celého zariadenia[1].

9. Výroba energie

Dôležitou charakteristikou veternej turbíny je jej menovitý výkon. Táto hodnota má tiež súvislosť s množstvom energie (napr. v kWh), ktoré turbína vyrobí pri maximálnej účinnosti. Tak napr. 500 kW turbína vyrobí 500 kWh za hodinu činnosti pri maximálnej

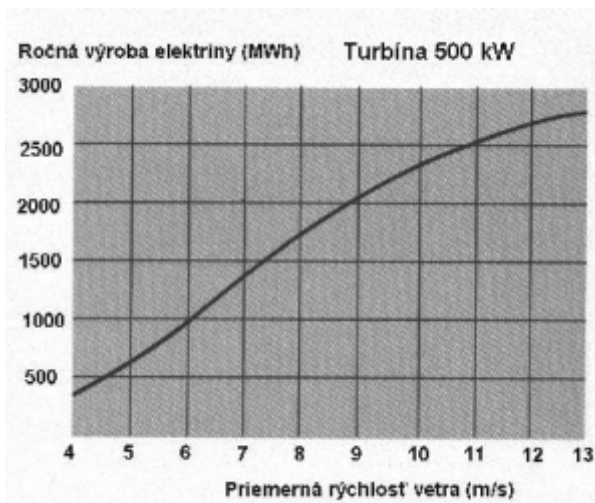
rýchlosti vetra napr. 15 metrov za sekundu (m/s). Na základe skúseností vyplýva, že typická turbína s menovitým výkonom 600 kW vyrobí do roka asi 500.000 kWh pri priemernej rýchlosti vetra 4,5 m/s. Pri priemernej rýchlosti vetra 9 m/s je to až 2.000.000 kWh.



Obrázok 5. Výkonová charakteristika 500 kW-ovej veternej turbíny v závislosti na priemernej rýchlosti vetra.

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. Napríklad pre 600 kW turbínu, ktorá do roka vyrobí 2 milióny kWh je táto hodnota = $2.000.000 : (365,25 * 24 * 600) = 2.000.000 : 5\,259\,600 = 0,38$ alebo 38 %.

Z uvedeného príkladu 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.[7]



Obrázok 6. Ročná výroba elektriny 500 kW-ovou turbínou v závislosti na priemernej rýchlosti vetra.

10. Záver

Pri tejto práci sme sa oboznámili a spracovali problematiku veterných elektrární. V dnešnej dobe je už plne konkurencie schopným alternatívnym zdrojom elektrickej energie, ktorý možno využiť na výrobu energie tak v malých ostrovných prevádzkach, ktoré nemožno buď z finančného (veľké náklady na vybudovanie vedenia k odberateľovi), alebo iného dôvodu pripojiť na sieť ako aj, na výrobu energie veľkých výkonov vhodnú na prifázovanie do siete.

Ďalej sme sa zaoberali ekologickým hľadiskom a negatívnymi vplyvmi, ktoré treba úplne odstrániť a čo najviac eliminovať, alebo aspoň čiastočne obmedziť. Tieto vplyvy treba vziať na zreteľ už pri výbere lokality, aby prípadne neodstrániteľné vplyvy čo najmenej ovplyvňovali danú lokalitu. Posledný bod sa zaoberá výrobou a účinnosťou. Z vyťažiteľnosti vyplýva, že veterná elektrárňa ako zdroj elektrickej energie je nepredikovateľný a bez využitia akumulácie bude postoj k pripájaniu týchto zdrojov vždy váhavý.

Odkazy na literatúru

1. <http://referaty-seminarky.sk/veterne-turbiny-v-sucasnosti/>
2. <http://referaty.atlas.sk/prakticke-pomocky/soc/38205/?print=1>
3. <http://www.windpower.sk/?a=article&id=381>
4. <http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/vietor/vietor.html>
5. http://sk.wikipedia.org/wiki/Vplyv_vetern%C3%BDch_elektr%C3%A1rn%C3%AD_na_%C5%BEivotn%C3%A9_prostredie
6. <http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/ekologia/8997/?print=1>
7. <http://www.seps.sk/zp/fond/2002/vietor/vietor.html>

Spoluautormi článku sú Marián Vyskoč, Ing. Marek Pípa, PhD, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky STU v Bratislave

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Elektroenergetika, ISBN 978-80-227-3508-7

