



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA

WIND POWER STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK GRABON

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

BRNO 2011

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA WIND POWER STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK GRABON

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Energetika, procesy a ekologie (3904R030)

Student Marek Grabon

ID: 134032

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Větrná elektrárna

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- teoretické základy návrhu větrné elektrárny
- technické řešení elektrárny včetně způsobů regulace
- ekonomické a enviromentální hodnocení větrných elektráren

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Obnovitelné zdroje energie, FCC Publishing, Praha 2001

Termín zadání: 02.11.2010

Termín odevzdání: 27.05.2011

Vedoucí práce: DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

ABSTRAKT

Obsah této práce zkoumá větrné elektrárny na území České republiky, které jsou jedním z kontroverznějších zelených zdrojů. Obnovitelné zdroje energie zažívají v posledních letech boom a často se stávají živě diskutovaným tématem.

Na začátku práce jsou popsány podmínky pro fungování elektrárny jak vítr a jeho účinnost. Dále se práce zabývá technickými řešeními elektrárny, způsobu regulaci a připojení do sítě. Na závěr jsou popsány vliv větrných elektráren na životní prostředí a ekonomické hodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: větrná elektrárna, větrná turbína, ekonomické hodnocení větrných elektráren, environmentální hodnocení větrných elektráren

ABSTRACT

First part of thesis describe conditions for the operation of the wind power station such wind, effectiveness. The thesis deals with the technical solutions of power plants, and describes how to control wind turbines and how to connect to the network.

Last part of thesis describes influence of wind power plants on environment and shows economic evaluation.

KEY WORDS: wind power, wind turbines, economic evaluation of wind power plants, environmental evaluation of wind power plants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Grabon, Marek. Název: Větrná elektrárna. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s.40.

Vedoucí práce. DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	7
Seznam symbolů a zkratek	7
1. Úvod	8
2. Vítr	10
2.1 Větrná mapa České republiky	12
2.2 Účinnost	14
2.3 Koeficient ročního využití	14
3. Motory	15
3.1 Odporové větrné motory	15
3.2 Vzlakové větrné motory	15
3.3 Regulace	18
3.4 Ostatní části větrné elektrárny	21
4. Distribuované Produkce	22
4.1 Malá větrná elektrárna	22
4.2 Průmyslové větrné elektrárny	23
5. Vliv větrných elektráren na životní prostředí	26
5.1 Výstavba větrných elektráren ve vztahu ke krajině	26
5.2 Hluk vydávaný větrnými elektrárnami	27
5.3 Větrné elektrárny a jejich vliv na ptactvo, rostliny a zvířata	28
5.4 Rušení televizního signálu	29
5.5 Větrné elektrárny a krajina	29
6. Ekonomické hodnocení	30
6.1 Externista v ekonomii	32
7. Závěr	35
8. Použitá literatura a zdroje	36
9. Vysvětlivky	37

Seznam obrázků a tabulek

OBRÁZEK 1 BEAUFORTOVA STUPNICE ÚČINKŮ VĚTRU	11
OBRÁZEK 2 VÝKONOVÁ KŘIVKA (PRŮMĚR ROTORU 90M, NOMINÁLNÍ VÝKON 2 MW).....	12
OBRÁZEK 3 PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ HUSTOTY VÝKONU VĚTRU [WM-2] NAD ÚZEMÍM ČR VE VÝŠCE	13
OBRÁZEK 4 OBTĚKÁNÍ SAVONIOVA ROTORU	15
OBRÁZEK 5 – SCHÉMA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.	16
OBRÁZEK 6 ZÁVISLOST JMENOVITÉHO VÝKONU VTĚ NA PRŮMĚRU ROTORU.....	16
OBRÁZEK 7 GRAF ZÁVISLOSTI VÝKONU NA RYCHLOSTI VĚTRU	18
OBRÁZEK 8 NASTAVENÍ ÚHLU OSTŘÍ (ÚHEL NÁBĚHU).	19
OBRÁZEK 9 SOUČÁSTKY MECHANISMU OVLÁDÁNÍ SMĚRU	20
OBRÁZEK 10 PRINCIP VYUŽITÍ MIKROELEKTRÁRNY PRO NAPÁJENÍ BĚŽNÝCH SPOTŘEBIČŮ RODINNÉHO DOMKU ČI CHATY	23
OBRÁZEK 11 - NÁZORNÝ PŘÍKLAD SLOŽEK TYPICKÉHO PROJEKTU	24
OBRÁZEK 12 KŘIVKA ZÁVISLOSTI HLUČNOSTI VĚTRNÉHO ZDROJE NA VZDÁLENOSTI.....	27
OBRÁZEK 13 CELKOVÉ SPOLEČENSKÉ NÁKLADY.(ZDROJ IEA).....	32
OBRÁZEK 14 ILUSTROVÁNÍ „TOP-DOWN“ A „BOTTOM-UP“ PŘÍSTUPU (EUROPEAN COMMISSION 1999).....	33
OBRÁZEK 15 EXTERNÍ A CELKOVÉ NÁKLADY NA 1 kWh ELEKTRICKÉ ENERGIE	34

Seznam symbolů a zkratek

P_v je hustota výkonu větru

ρ je hustota vzduchu

v je rychlost větru

S plocha

c_p součinitel výkonu

VtE větrná elektrárna

W_r je roční množství vyrobené energie v kWh/rok

P_i je instalovaný výkon

h je počet hodin v roce (8760 kalendářní rok, 8784 přestupný rok)

1. Úvod

V minulosti se v České republice pro získání energie z větru využívaly větrné mlýny. V roce 1277 je zaznamenána první existence větrného mlýna. Tento mlýn se nacházel v Praze v zahradě Strahovského kláštera. Na Moravě a ve Slezsku je první větrný mlýn zmíněn v roce 1340. V období do 17. století není mnoho zpráv o dalších větrných mlýnech.

V České republice je využívání větrné energie vyrobené ve větrných elektrárnách zatím novinkou mezi moderními technologiemi. Větší zájem o větrnou energii se objevil na začátku sedmdesátých let minulého století, což je období, kdy hrozila ekologická krize ve velkém měřítku a bylo zapotřebí hledat možnou nápravu. Ekologická krize by znamenala vyčerpání neobnovitelných zdrojů, vznik skleníkových plynů a zhoršené schopnosti přírody absorbovat odpadní látky, které vznikají při výrobě elektrické energie.

Další důvod pro vývoj větrné energetiky bylo embargo, které vyhlásily země OPEC na podzim roku 1973, na vývoz ropy do zemí průmyslově vyspělých. Došlo k prudkému zvýšení cen veškeré využívané energie a ohrožené země pochopily, že jejich přístup ke zdrojům energie je omezený. Průkopníky zkonstruování větrných elektráren v Evropě patří Dánsko a západní Německo.

V současnosti je výstavba nových větrných elektráren velice moderní. Je to dáno zdokonalením technologií, které vedly k nižší poruchovosti, snížení hlučnosti a zvýšení výkonu. Cena elektráren značně poklesla a zvýšil se zájem o využití větrné energie díky nestálým cenám ropy.

Evropská Unie je v čele výroby elektrické energie ze zdrojů obnovitelných, nejvíce pak z energie větrné. V roce 2006 byl v České republice instalovaný výkon větrných elektráren na úroveň 43,5 MW, o čtyři roky později byla tato úroveň na 217,8 MW. V roce 2008 byl celosvětově instalován výkon elektráren na úroveň 120 GW. V roce 2009 vrcholilo budování větrných elektráren.

Největší podíl vlastní Německo (20 622 MW), Španělsko (11 615 MW) a Dánsko (3 136 MW).

V České republice je zatím nejasné, jak bude vývoj větrné energie pokračovat. Výhodou, která by mohla přispět k výstavbě nových větrných elektráren, je příznivá výkupní cena energie vyrobené v těchto elektrárnách a poměrně dobré větrné podmínky. Nevýhodou je komplikované vyřízení povolení pro výstavbu a různý postoj veřejné správy.

V budoucnu bude nejpravděpodobnější, že nárůst počtu větrných elektráren bude pozvolný a přírůstek výkonu se bude pohybovat na úrovni kolem 50 MW. Rozvoj těchto elektráren bude nejvíce záležet na podpoře a investicích státu.

Státy EU se zavázaly k dosažení snížení produkování skleníkových plynů. Toto snížení by mělo být o 20 % do roku 2020 oproti hodnotám z roku 1990. Pokud by k této dohodě přistoupili i USA, Čína a Indie, EU by nabídla zvýšení ještě o dalších 10 %. Cílem dohody je i pokrytí 20 % celkové spotřeby energie z obnovitelných zdrojů.

V České republice nalezneme příznivé povětrnostní podmínky hlavně v horských oblastech nebo vrchovinách. Bylo provedeno posouzení této větrné situace, které vedlo k závěru, že je u nás možné vyrobit větrnými elektrárnami 1000 až 3000 GW·hod. Pro srovnání použijeme jadernou elektrárnu Dukovany, která má výkon 1776 MW a v roce 2010 vyrobila více než 14 170 GW·hod.

Z celkového instalovaného výkonu v České republice, který k 31. 12. 2010 činil 20 073 MW, připadlo na parní elektrárny 53,6 %, na jaderné elektrárny 19,4 %, na vodní elektrárny 11,0 %, na větrné nebo solární elektrárny 10,9 % a na paroplynové a spalovací elektrárny 5,1 %.

2. Vítr

Hustota výkonu větru označuje možnosti využití kinetické energie větru v dané ploše (udává se v Wm^{-2}). Výkon je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti větru. Ve výšce 500 m klesne hustota vzduchu ve standardní atmosféře oproti hladině moře o 4,7 % a ve výšce 1000 m o 9,2 %.

Rychlost větru narůstá s výškou podle logaritmického měřítka v přízemní vrstvě atmosféry. Tato rychlost se s časem mění, proto je potřeba vyjádřit hustotu pro určitý časový interval. Tento interval je nejčastěji za rok. Pro tyto výpočty se získávají údaje například z desetiminutových průměrů měřených po hodinách. Průměrná rychlost větru v tzv. klimatických termínech je 7, 14, 21 hod. Plocha rotoru, jeho technické parametry a výška umístění nad zemí určují výkon, který je odebrán proudícímu vzduchu. Výkon s výškou stoupá v důsledku růstu rychlosti větru.

Rychlost je nejdůležitějším údajem při využívání větrné energie, protože její vliv je největší na výkon větru. Je ovlivňována zemským povrchem a klesá v nejtěsnější blízkosti. Tam, kde je rovný terén, ovlivňuje závislost mezi rychlostí a výškou drsnost terénu. Udává se v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Někdy se odhaduje podle Beaufortovy stupnice¹. V tabulce číslo 1 jsou v souvislosti s klasifikací síly větru a jeho rychlostí pro srovnání uvedeny rovněž údaje o pozorování přírody.

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

Tabulka 1 Beaufortova stupnice účinků větru

Směr větru může být významný pro volbu vhodného místa pro větrné motory. Je dobré ho znát i při rozmísťování větrných motorů ve skupině, minimalizuje se tím jejich vzájemné ovlivňování.

Výkon větru protékající jednotkovou plochou vyjádříme vztahem:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \left(W \cdot m^{-2}, kg \cdot m^{-3}, m \cdot s^{-1} \right),$$

kde

P_v je hustota výkonu větru

ρ je hustota vzduchu

v je rychlost větru

Podle zákona o zachování energie víme, že větru nelze odebrat více energie, než v něm je. Ve skutečnosti nelze přeměnit veškerou energii větru větrným motorem. Mohou vznikat ztráty, proto je velice důležité pečlivě měřit atmosférické podmínky v místech, kde budou elektrárny umístěny.

Výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny P_s je určen vztahem:

$$P_s = \frac{1}{2} S c_p \rho v^3 \left(W \cdot m^{-2}, -, kg \cdot m^{-3}, m \cdot s^{-1} \right),$$

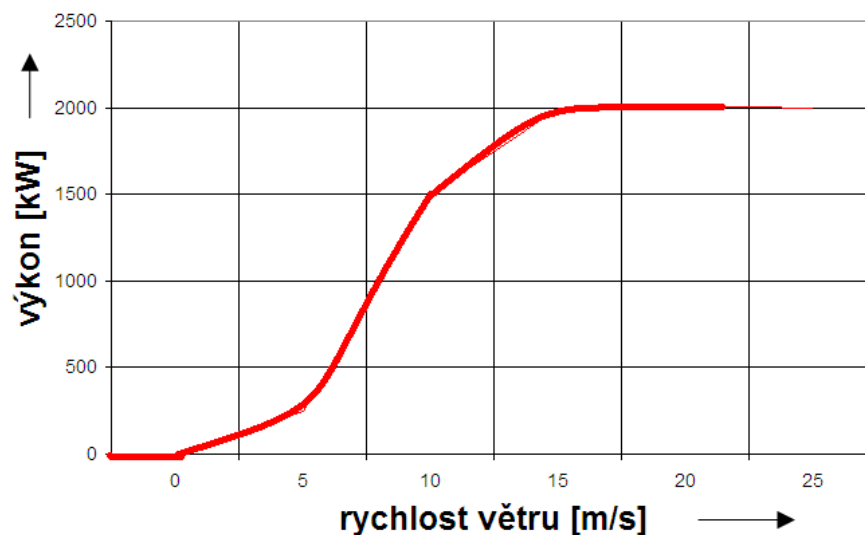
kde

c_p je součinitel výkonu, který je závislý na tom, v jaké míře rotor snižuje rychlost protékajícího vzduchu. Má teoretické maximum 0,593.

S je průměr rotoru

2.1 Větrná mapa České republiky

Pomocí plošného výpočtu je možné zhodnotit větrné podmínky na našem území. K tomuto výpočtu slouží matematické modely, které se vyhodnotí do tzv. větrných map. Výstupem těchto modelů jsou parametry větru například průměrná rychlost v dané výšce nad zemským povrchem.

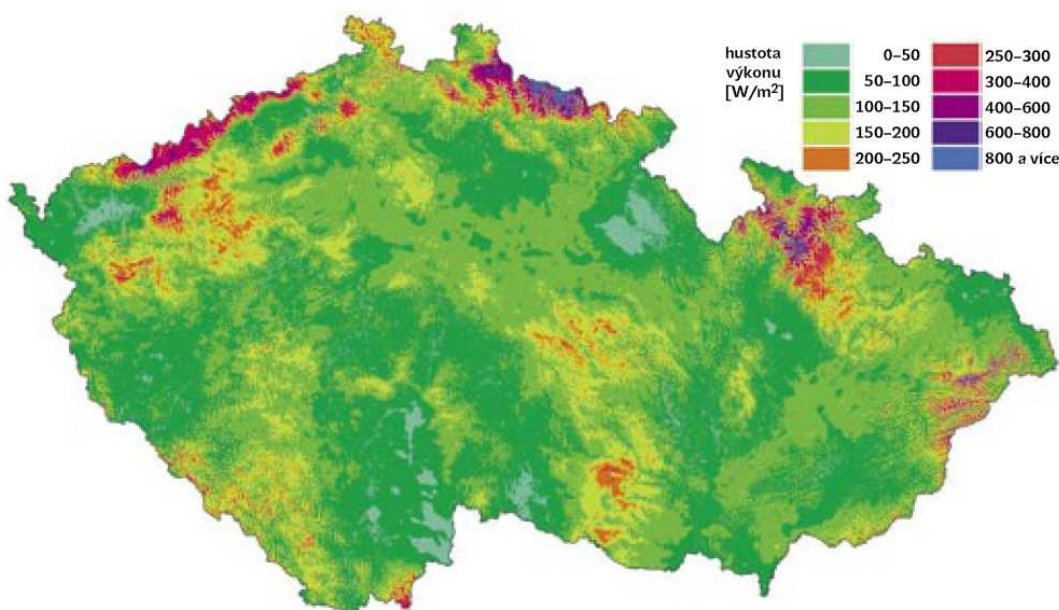


Obrázek 2 Výkonová křivka (průměr rotoru 90m, nominální výkon 2 MW)

Z uvedených vztahů vyplývá, že výkon větrné elektrárny je velice závislý na rychlosti větru. Je zřejmé, že i chyby určení rychlosti větru při hodnocení větrného potenciálu se z tohoto důvodu mohou nepříznivě promítnout do výsledku.

K tomu, aby elektrárna začala dodávat energii do sítě, je zapotřebí rychlost větru o síle 3 až $5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jmenovitého výkonu se dosahuje při rychlosti větru 12 až $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při vyšší rychlosti už výkon elektrárny neroste. Pokud je rychlost větru vyšší než $23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, větrný motor se zabrzdí a odstaví. Měřené údaje je potřeba přepočítat na výšku, ve které je rotor umístěn.

Pro Českou republiku bylo v minulosti publikováno mnoho větrných map. Tyto mapy byly vztahovány k výšce 10 m nad zemským povrchem. V současnosti dosahují větrné elektrárny výšky až 100 m, proto využití těchto map není ideální.



Obrázek 3 Prostorové rozložení hustoty výkonu větru [Wm⁻²] nad územím ČR ve výšce

Aktuální větrná mapa byla vytvořena v roce 2007 v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. Byl při tom použit postup využívající kombinace Hybridního modelů VAS / WAsP².

Mapa na obrázku č. 2 zobrazuje prostorové rozložení hustoty výkonu větru nad územím ČR při výšce 40 m nad povrchem. Nepříznivější plochy pro větrné elektrárny, které mají hustotu výkonu větru na 400 Wm^{-2} , se nacházejí v Krušných horách, Krkonoších a Hrubém Jeseníku. Lokálně se vyšší rychlosti objevují také na nejvyšších hřebenech Beskyd, ojediněle Javorník, Doupovské hory, České středohoří, Ještědský hřbet, Jizerské hory, Šumava a Bílé Karpaty. V oblasti Žďárských vrchů, horního Posázaví, na jihovýchodních

svazích Českomoravské vrchoviny, v oblasti Oderských vrchů a Nízkého Jeseníku nalezneme plochy s hustotou výkonu přes 200 Wm^{-2} . Nejnižší hustotu výkonu větru mají Sokolovská, Českobudějovická a Třeboňská pánev, severovýchodní části České tabule a severní části Hornomoravského úvalu. Hodnoty nad 200 Wm^{-2} dosahuje 9 % České republiky. 400 Wm^{-2} má jen 1,2 %.

2.2 Účinnost

Je typický průběh generovaného výkonu a součinitele výkonnosti (VE) v závislosti na rychlosti větru.

Součinitel výkonnosti je funkcí rychlosti větru. Je dán konstrukcí turbíny, převážně převodní křivkou úhlu natočení lopatek turbíny v závislosti na rychlosti větru. V kombinaci s kubickou závislostí na rychlosti větru způsobuje pronikavou závislost skutečného výkonu na rychlosti větru tzn. při poloviční rychlosti – osminový výkon.

Další hodnotou, která definuje účinnost větrného zdroje je koeficient ročního využití.

2.3 Koeficient ročního využití

Rychlost větru kolísá a nedosahuje hodnoty, které by byly zapotřebí, proto dochází k tomu, že větrný agregát dodává méně energie, než odpovídá jeho výkonu.

Tento koeficient poskytuje informace o tom, na kolik je v průběhu roku využíván instalovaný výkon. Pro výpočet se porovná skutečné množství vyrobené energie s teoretickým maximálním množstvím, které se vyrobí při celoročním provozu.

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h},$$

kde

W_r je roční množství vyrobené energie v kWh/rok

P_i je instalovaný výkon

h je počet hodin v roce (8760 kalendářní rok, 8784 přestupný rok)

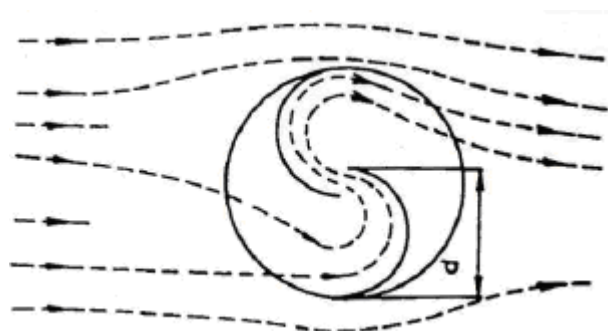
3. Větrné Motory

Tyto motory se využívají k přeměně kinetické energie větru na mechanickou práci. Principem je to, že zpomalují proud vzduchu protékající jejich pracovní plochou, čímž dochází k odjímání části energie. Z toho vyplývá, že nelze odebrat více energie z jednotkové plochy, než vítr obsahuje. Tento jev je popsán v termodynamickém zákoně.

Větrné motory se dělí podle fyzikálního principu na vztlakové a odporové motory.

3.1 Odporové větrné motory

Odporové větrné motory – tyto motory mají nižší účinnost než vztlakové. Je to například větrný mlýn, plachetní větrné kolo nebo Savoniův rotor, které mají účinnost maximálně 20 %. Pro dnešní využití se s nimi již nepočítá. Jejich osa rotace je svislá, díky čemuž jsou otáčky pomalejší. Nejznámější je výše zmiňovaný Savoniův motor. Jeho principem je, že obrácené poloviny válcové plochy, které jsou otočené proti sobě pod úhlem 180° mají rozdílné odpory obtékání.

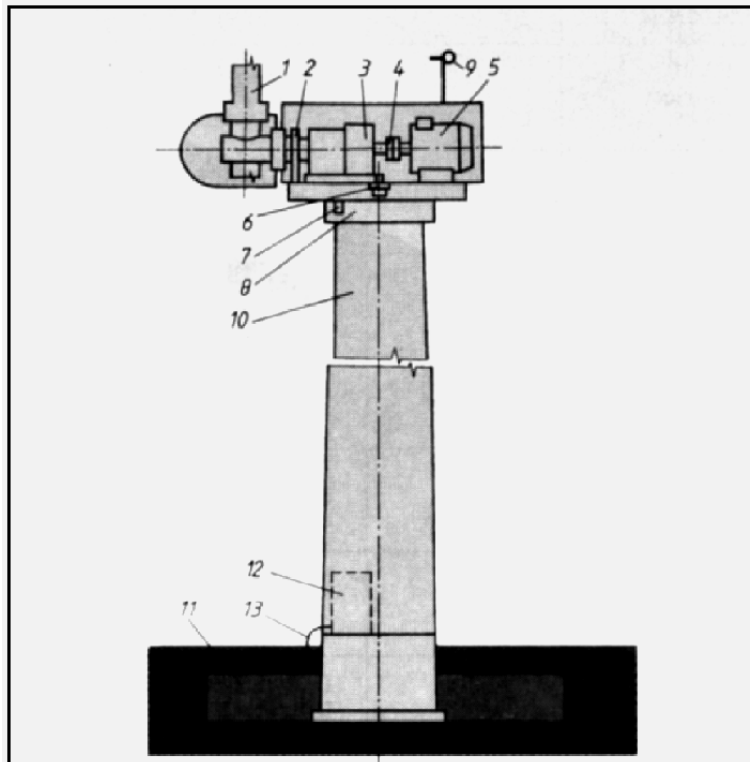


Obrázek 4 Obtékání Savoniova rotoru

Dalším typem odporového motoru je Lafondova turbína, která připomíná Bánkiho vodní turbínu³. Tento motor se rozběhne již při rychlosti větru kolem 2,5 m/s.

2.4 Vztlakové větrné motory

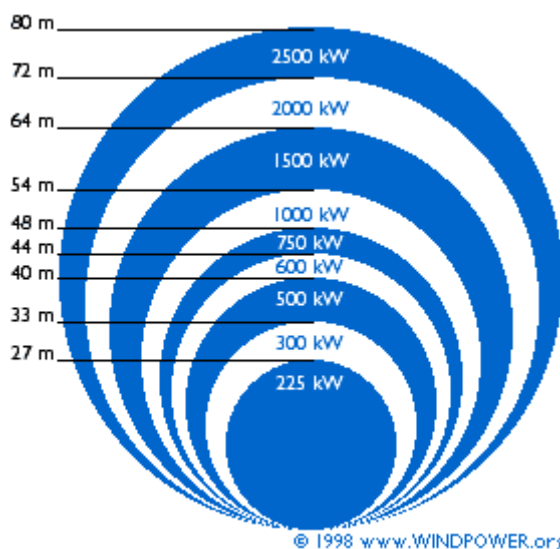
Vztlakové větrné motory – jejich teoretická účinnost je maximálně 59,3 %. Jsou dnes nejvíce rozšířené. Jejich principem je odtékání leteckého křídla. Jsou to například vrtule, Darrievův rotor⁴, mnoha lopatkový rotor. Jejich rovina otáčení je kolmo ke směru proudění větru. Nejčastější provedení je dvoulisté nebo trojlisté. Jsou k vidění i jednolisté s protizávažím. Čtyřlisté se využívají pouze z technologických důvodů.



Obrázek 5 – Schéma větrné elektrárny.

Schéma větrné elektrárny 1 – rotor s rotorovou hlavicí, 2 – brzda rotoru, 3 – planetová převodovka, 4 – spojka, 5 – generátor, 6 – servopohon natáčení strojovny, 7 – brzda točny strojovny, 8 – ložisko točny strojovny, 9 – čidla rychlosti a směru větru, 10 – nekolikadílná věž elektrárny, 11 – betonový armovaný základ elektrárny, 12 – elektrorozvaděče, 13 – elektrická přípojka

Turbína je roztáčena větrem proudícím přes lopatky turbíny. Podle průměru rotoru, který určuje plochu S opsanou rotujícími listy, se dělí elektrárny na malé, střední a velké.



Obrázek 6 Závislost jmenovitého výkonu V_{tE} na průměru rotoru

Malé větrné elektrárny – patří sem turbíny s průměrem rotoru do 16 m. Jejich nominální výkon je menší než 60 kW. Lze je rozdělit na:

- mikro zdroje – průměr rotoru od 0,5 do 3 m, výkon do 2,5 kW. Slouží pro napájení komunikačních systémů rádiových a televizních přijímačů, ledniček a dalších elektrických spotřebičů a k osvětlení. Nedodávají energii do sítě.
- zařízení s průměrem rotoru od 3 do 8 m, výkon 2,5 až 10 kW. Slouží k vytápění nebo temperování domu.

Střední větrné elektrárny – průměr rotoru od 16 do 45 m, výkon 60 až 750 kW

Velké větrné elektrárny – průměr rotoru 45 až 128 m, výkon 750 až 6400 kW.

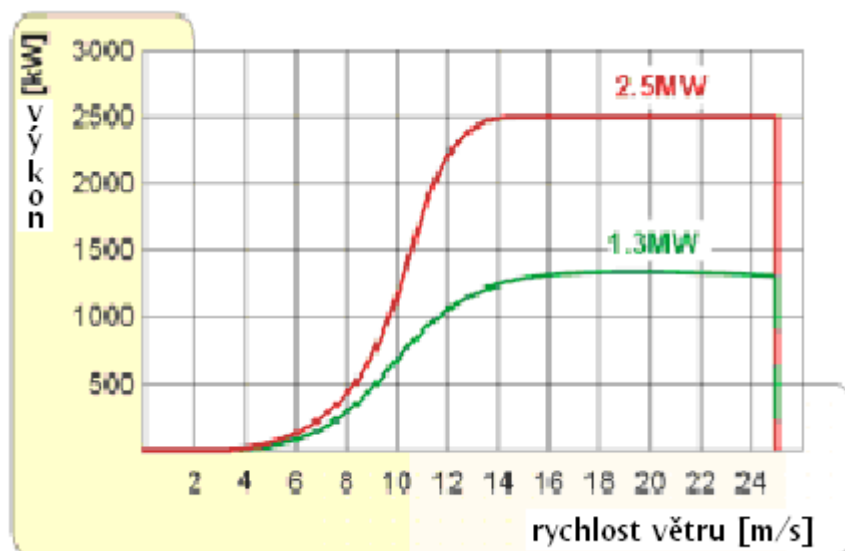
Konstrukční jednotkou větrných elektráren, na které závisí jejich účinnost, je rotor. V dnešní době se ustálilo použití třílistých rotorů, které jsou aerodynamicky a dynamicky vyvážené.

„**Dánský koncept**“ – použití horizontální osy a tří-lopátkového rotoru. Orientace je proti větru a aktivní zatažení k udržení rotoru je do větru. Aby nedošlo k poškození generátoru způsobeného zvýšením rychlosti větru, které vede ke zvýšení výkonu, je zapotřebí snížit výkon dodávaný turbínou.

V dnešní době existuje u moderních zařízení regulace výkonu. Což ovlivňuje síla větru a tím množství vyrobené energie. Toto je zobrazeno v grafu elektrické energie do funkce rychlosti větru. Průběh křivek závisí na konstrukci turbíny a řídicích systémů.

Tuto křivku charakterizuje:

- výchozí bod (**cut on**), což je rychlost větru ze které se začne otáčet vrtule na hřídel turbíny, kde se nachází mechanický moment. Podle konstrukce má hodnotu 3 až 5 m/s.
- **Cut off** bod, což je rychlost s jakou se zastaví turbína kvůli riziku mechanické konstrukce. Má hodnotu 23 až 27 m/s.
- Bod jmenovitých otáček – je rychlost větru, při které dosáhne turbína jeho výkonu. Má hodnotu 11 až 16 m/s.



Obrázek 7 Graf závislosti výkonu na rychlosti větru

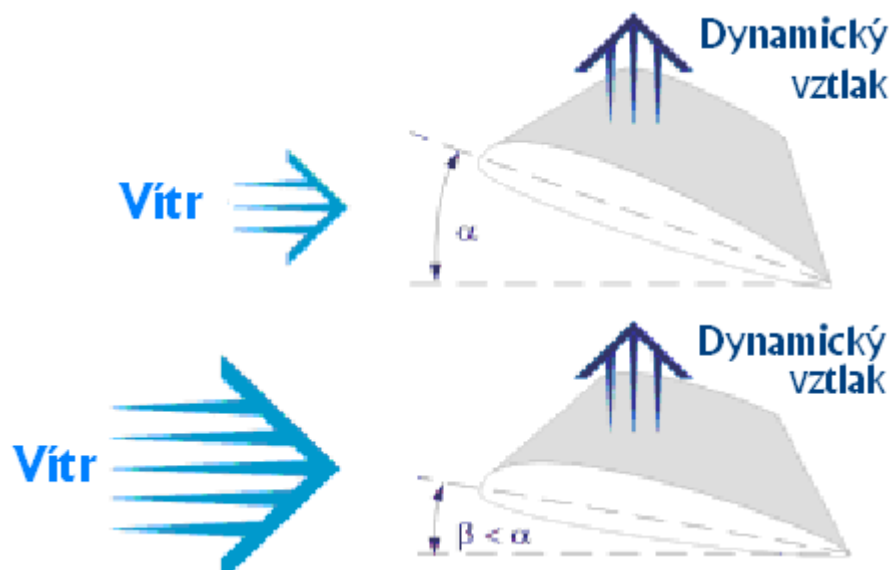
Výše uvedený obrázek ukazuje příklady turbínové křivky jako funkce rychlosti větru, který poskytují výrobci turbín. Pro tento konkrétní příklad se jedná o turbíny 1,3 MW a 2,5 MW společnosti Mordec z Dánska. Rotor menší turbíny nemá žádné řízení úhlu listů rotoru. Rotor větší turbíny má řízení úhlu listů rotoru. Měřený výkon závisí na rozložení rychlosti větru přes průřez rotoru a sklon její změny.

Větrné turbíny jsou uzpůsobeny tak, aby vyrobily co nejlevnější elektřinu. Obecně jsou v současnosti konstruovány tak, aby jejich maximální výkon byl při rychlosti větru 15 m/s, protože k silnějšímu větru dochází velmi zřídka. Větší rychlosti větru jsou pro běžné elektrárny nepříznivé. Při větší rychlosti dojde k zastavení, aby byla elektrárna chráněna před poškozením, proto je důležité, aby měli elektrárny regulátory výkonu.

3.3 Regulace

3.3.1 Pitch regulace - regulace natáčením listů

- několikrát za sekundu je kontrolován výkon turbíny. Pokud je hodnota příliš vysoká, mechanismus vyšle signál k nastavení úhlu lopatek, který okamžitě tento úhel upraví a tím dojde ke snížení točivého momentu rotoru. V případě, když vítr slábne, dojde k opačné situaci. je zapotřebí, aby se rotorové listy uměly otočit kolem své osy.
- kontrolní systémy vyžadují moderní technologie, aby bylo zajištěno, že úhel je přesně přizpůsoben větru. Počítač nastavuje čepel pokaždé, když dojde ke změně rychlosti, aby se zajistil konstantní výkon.
- regulaci zajišťují hydraulické pohony nacházející se v náboji rotoru.



Obrázek 8 Nastavení úhlu ostří (úhel náběhu).

Snížení úhel náběhu při zvýšení rychlosti větru umožňuje udržovat konstantní výkon.

3.3.1 Stall controlled - pasivní řízení pomocí přetažení

- lopatky jsou připojeny pod stálým úhlem. Pokud je vítr příliš silný, tak to vede k turbulencím na straně lopatky, které omezují kroučící moment rotoru.
- čím je rychlost větru větší, tím vibruje větší část čepele.
- pro tento typ regulace je rotor charakteristicky zkroucený a díky tomu postupně reaguje na větší nárazy.
- tento typ zahrnuje komplexní aerodynamický design profilu. Velkou výhodou je struktura celé elektrárny, která musí snášet vibrace, které vznikají při turbulenci.
- takovéto nařízení mají dvě třetiny turbín

3.3.2 Active stall controlled - aktivní řízení pomocí přetažení

- listy rotoru jsou stejné jako u Pitch regulace, akorát, že listy se kvůli dosažení požadovaného výkonu otočí do protilehlého směru, tím lze odrazit přebytečnou energii větru.
- výhodou je, že lze výkon regulovat přesněji než u pasivní regulace, takže nedochází k přetížení generátoru při zvýšení rychlosti větru
- používá se především u velkých větrných elektráren

3.3.3 Yaw Control - řízení pomocí změny směru

- založeno na obratu gondoly a osy rotoru vzhledem ke směru větru. Dá se použít aktivní i pasivní způsob.
- pasivní je zajištěno umístěním vlajky na gondole směru. Používá se pouze pro jednotky, které pracují pro malé příjemce
- v zařízeních s výkonem od desítek kW do několika MW, je zapotřebí použít aktivní řízení. Na vrcholu věže je ozubený prsten připojený na pastorek, který je namontován na hřídeli motoru. Motor rotuje gondole ve správném směru. Při otočení gondoly od hlavního směru větru vede ke snížení výkonu.
- přizpůsobovací mechanismus je řízen elektronickým regulátorem, který několikrát za sekundu měří směr a sílu větru a v případě, že je potřeba, koriguje směr.



Obrázek 9 Součástky mechanismu ovládní směru

Součástky mechanismu ovládní směru. Ozubený prsten namontován na hřídeli motoru, který umožňuje nastavení otáčení gondole ve správném směru.

3.3.4 Aileron Kontrol - nastavení šipky listu rotoru

- tento způsob není příliš populární. Byl používán zvláště na začátku rozvoje větrné energie.
- ke změně dochází aerodynamicky tak, že se čepel změnil v tzv. šipku, čehož se využívá například i v letadlech během odletu a přistání.

3.4 Ostatní části větrné elektrárny

3.4.1 Převodovka

Otáčky větrných motorů klesají se zvyšováním jmenovitého výkonu. Tyto motory musí být stejného druhu. Generátory, které jsou přímo spojené s rotorem větrného motoru, mají speciální konstrukci. Jsou pomaloběžné.

Větrné elektrárny s velkým výkonem a rychloběžným generátorem mají větrný motor spojený s generátorem pomocí mechanické převodovky. Otáčky větrného motoru jsou poměrně nízké a ne vždy vyhovují otáčkám pracovního stroje, které by byly očekávány. Tohle platí hlavně pro pracovní stroje, které jsou umístěny přímo v gondole větrného motoru. Je třeba, aby měli co nejnižší hmotnost a pracovaly při vyšších otáčkách, než jsou otáčky motoru. Proto je zapotřebí zařadit mezi rotor a pracovní stroj převodové ústrojí, které má relativně velký převodový poměr do rychla.

3.4.2 Generátor

Ve větrných elektrárnách se energie vytváří převážně asynchronními nebo synchronními generátory trojfázového nebo střídavého proudu. Jejich základní vlastnosti se mění v závislosti na tom, jestli elektrárna pracuje samostatně, což znamená, že dodává elektrickou energii spotřebičům v samostatné místní síti, nebo jestli je připojena na rozvodnou elektrickou síť a spolupracuje s dalšími zdroji.

Synchronní generátor, který je přímo připojený na rozvodnou síť má konstantní otáčivou rychlost. Tato rychlost je dána kmitočtem sítě a počtem pólů. Při 50 Hz kmitočtu sítě jsou otáčky dvou-pólového stroje 3000 ot./min, čtyř-pólového 1500 ot./min, šesti-pólového 1000 ot./min.

Asynchronní generátor má skoro konstantní otáčivou rychlost. Při nulovém zatížení je jeho rychlost shodná s otáčivou rychlostí synchronního generátoru, musí mít stejný počet pólů a jeho nárůst výkonu dodávaného do sítě se nepatrně zvětšuje. Při jmenovitém zatížení se zvýší přibližně o 2 %.

3.4.3 Mechanická brzda

Snímač otáček rotoru a snímač rychlostí větru vysílá impuls k zabrzdění větrného motoru. Je zapotřebí, aby šel motor zabrzdit i jeho obsluhou. Počítač řídí zabezpečení soustavy na elektrickém principu. Je zde kontrolována řada dalších údajů o chodu elektrárny, například teploty a vibrace, což ji chrání před poškozením.

V případě, že není k dispozici elektrická energie, je zde zapotřebí mechanických principů. Tyto principy mají omezené možnosti. U malých větrných motorů se složité zabezpečovací soustavy nepoužívají. Nadměrné vibrace způsobené například námrazou nebo poškozením rotoru snímají čidla, které dávají impuls k zastavení větrného motoru.

Mechanická brzda je umístěna za převodovkou na straně generátoru a je schopna zabrzdit rotor kdykoliv je zapotřebí. Tato brzda je disková a spouští se pružinou při poklesu hydraulického tlaku.

Aerodynamická brzda se používá v případě, že otáčky narůstají vlivem velké rychlosti větru. Tato brzda nezastaví motor úplně, ale zabrání nebezpečnému přetížení rotoru. Větrná elektrárna musí být schopna odolat větru o rychlosti $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

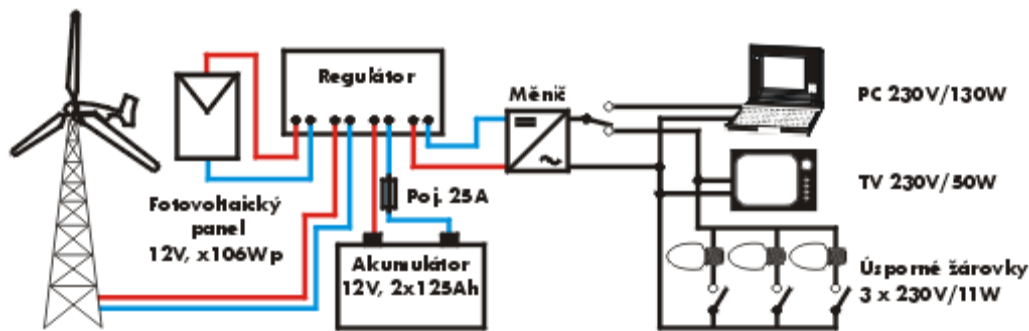
4. Distribuované Produkce

4.1 Malá větrná elektrárna

Tyto elektrárny jsou vhodné pro malé firmy nebo osobní využití. Je to alternativa za sluneční články v místech, kde je poměrně hodně větrno a méně svítí slunce. Mikroelektrárny, které mají výkon cca 100 W, mohou napájet například osvětlení reklamních panelů podél dálnic, inteligentní dopravní značky, měřiče teploty, hodiny atd.

Díky možnosti jejich složení mohou sloužit v přírodě například pro nabíjení akumulátorů, napájení osvětlení, vařičů, malých topení, počítačů nebo televizorů. Mikroelektrárny dosahují výkonů kolem kW, mají pevnou instalaci a mohou sloužit

k napájení chat. Nevýhodou je vysoká cena, ale investice se vrátí. Nevyužitá elektrická energie se akumuluje do akumulátorů, které dokážou pokrýt spotřebu energie v případě, že zrovna nefouká vítr. Lze ji doplnit o solární články, což je ideální kombinace, protože když nebude foukat vítr, může svítit slunce a obráceně. Hlavní překážkou může být cena, která se bude do budoucna snižovat.



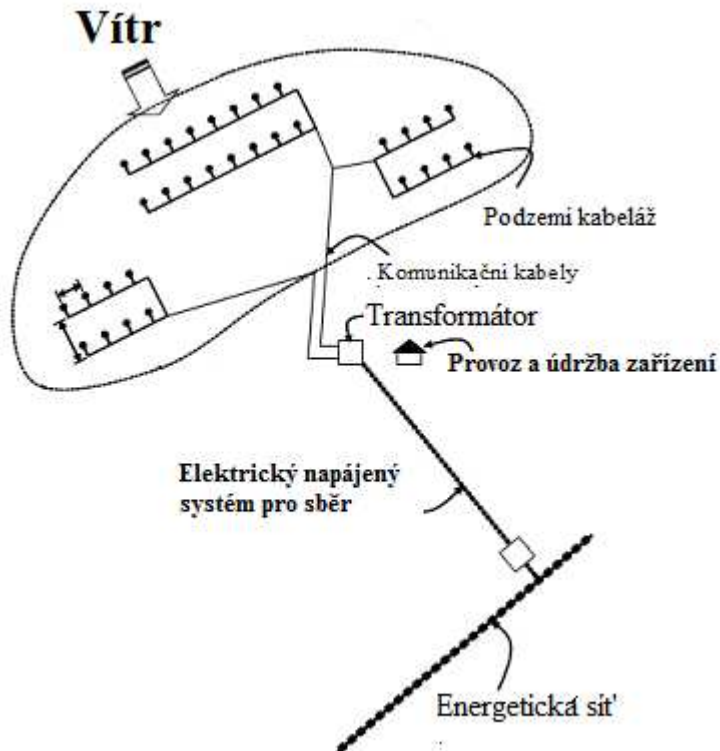
Obrázek 10 Princip využití mikroelektřárny pro napájení běžných spotřebičů rodinného domku či chaty

V dnešní době je možno najít celou řadu nabídek mikroelektřáren. Tyto elektrárny již mohou poskytovat výkony i mnoha jednotek kW, což bohatě stačí na pokrytí spotřeby chaty nebo běžného rodinného domku. Například pro čerpání vody ze studny postačí výkon 1 kW. Elektřina v těchto elektrárnách je vyráběna pomocí synchronních generátorů s permanentními magnety s výstupním napětím 24 V nebo 230 V.

4.2 Průmyslové větrné elektrárny

Průmyslové větrné turbíny mají rozsah výkonů od 50 kW do 250 kW. Požívají se hlavně v malých komerčních objektech. Rotor těchto elektráren má průměr 15 až 30 m, výška věže dosahuje 25 až 40 m. Tyto turbíny vyžadují připojení na třífázový proud. Velké větrné turbíny obvykle nalezneme na větrných farmách.

Většina projektů spojená s výrobou elektřiny z větrné energie je spojená s prodejem do elektrické sítě. Typ turbíny využívané v rámci projektu určuje počet turbín, který je instalovaný na jednom místě.



Obrázek 11 - názorný příklad složek typického projektu

Tento obrázek poskytuje názorný příklad složek typického projektu větrných elektráren. Skupiny nebo řady větrných turbín jsou optimálně umístěny. Turbíny jsou rozestaveny tak, aby byla získána maximální produkce, ale zároveň, aby se dosáhlo minimálního poškození rotorů. Tento prostor mezi nimi je závislý na průměru rotoru a vlastnostech větru. Kromě větrných turbín a věží větrných elektráren je zapotřebí i jiných komponent pro správné fungování.

Elektrický napájený systém pro sběr – energie se shromažďuje v napětí 25 až 35 kW. V podzemí je kabeláž a v nadzemí elektrické vedení z hlavní stanice (viz obr. 11). Větrné elektrárny jsou umístěny 15 km od vysokého napětí, čímž se minimalizují náklady s propojením. Transformátor je obvykle umístěn v blízkosti věže a využívá se k přeměně nízkého napětí na vyšší napětí.

Rozvodna transformátoru a propojení – energie vyrobená turbínami prochází těmito stanicemi, kde je měřena a dochází ke zvyšování napětí tak, aby odpovídalo napětí elektrické sítě. Toto je monitorováno a je kontrolována kvalita.

Kontrolní a komunikační systém – každá turbína toto zařízení obsahuje. Je to nadřazené ovládání a sběru dat – SCADA⁵. Tyto systémy se skládají z centrálního počítače, který má možnost kontroly pro jednotlivé turbíny, dále pak schopnost shromažďovat data a analyzovat je. Komunikační kabely se nacházejí na stejném místě, jako je systém sběru.

Přístupové cesty – tyto cesty bývají široké a jejich povrch je kompaktní drcená hornina.

Provoz a údržba zařízení – zařízení se skládá z kanceláře a místnosti sloužící pro údržbu. Mohou být umístěny přímo na místě nebo někde mimo. Někdy je možné, že i v oddělených lokalitách. Kancelář je nezbytná pro pracovníky pracující u kontrolních počítačů a komunikačních systémů. V areálu je zapotřebí místo pro ukládání vozidel a náhradních dílů a poskytnutí prostoru sloužícího pro opravy turbín.

5. Vliv větrných elektráren na životní prostředí

Výroba elektrické energie může být spojena s nepříznivými vlivy na životní prostředí. Záleží však na způsobu, kterým se elektřina získává. Větrné elektrárny se na negativních vlivech podílejí minimálně, už jen proto, že nevznikají žádná tuhá paliva nebo plynné emise, a tím že nepotřebuje ke svému provozu vodu, nezahlučuje okolí odpady. Pro postavení větrné elektrárny stačí minimální nároky na plochu a zbytečně neničí zemědělské plochy. Pokud ovšem chceme získat větší výkon, je zapotřebí stavět větrné elektrárny o rozlohách tisíce km², přitom pro stejný výkon v jaderné nebo uhelné elektrárně stačí pouze několik km². Používáním větrných elektráren nedochází k vyčerpávání přírodních zdrojů, díky tomu nezatěžují životní prostředí. Díky své velikosti, jsou dominantami v přírodě, avšak krajinný ráz narušují v porovnání s ostatními elektrárnami nejméně.

5.1 Výstavba větrných elektráren ve vztahu ke krajině

Větrné elektrárny, které jsou velké, mohou být v přírodě dominantní v okruhu až 6 km, do 10 km jsou dobře viditelné a slabě je můžeme spatřit i ze vzdálenosti 20 km. Je to také z důvodu, že tyto elektrárny jsou stavěny na kopcích nebo otevřených rovinách.

Před samotnou výstavbou je zapotřebí úprava terénu, kvůli příjezdu těžkých strojů. Tato úprava není dlouhodobá, jak stavba skončí, terén se vrátí do původního stavu, když není možné zakrýt všechny stopy. Po této úpravě je viditelný pouze věnec, který vystupuje ze země a čeká na upevnění tubusu. Výstavba takové elektrárny trvá do dvou měsíců. Při stavbě musí být dodržen zákon o ochraně přírody a krajiny.

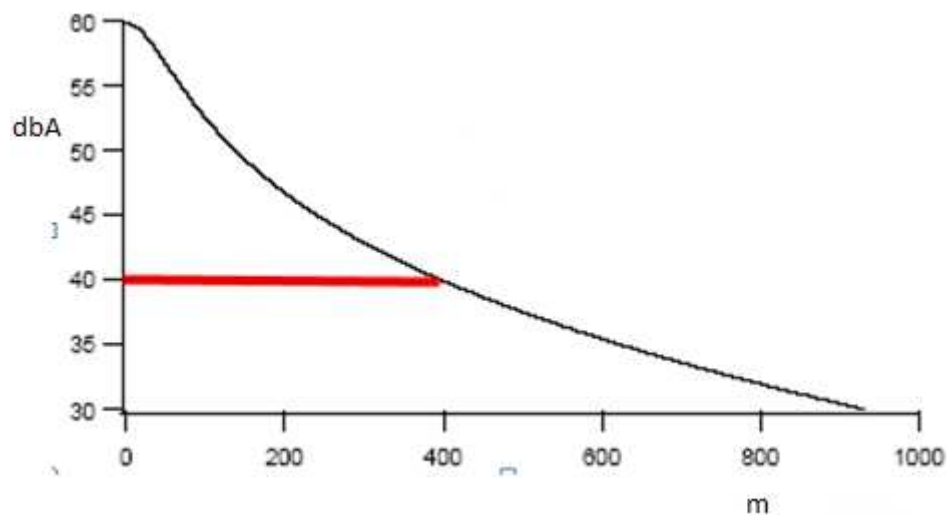
V národních parcích, přírodních rezervacích nebo v chráněných krajinných oblastech je tato výstavba zakázána. Avšak v České republice se právě na těchto místech nachází největší větrný potenciál (60 až 70 %).

5.2 Hluk vydávaný větrnými elektrárnami

Každá větrná elektrárna, která má být postavena v blízkosti nějaké zástavy, musí mít vypracovaný odborný posudek, který zkoumá hluk v okolí elektrárny a jeho výsledek musí splňovat hygienické limity. Tyto limity jsou ve dne od 6 do 22 hod 50 dB a v noci 40 dB pro venkovní prostory obytných budov.

Provoz větrné elektrárny může způsobovat mechanický nebo aerodynamický hluk. Mechanický hluk je způsobený strojovnou, je ustálený, minimálně se vyskytne odchylka. Aerodynamický hluk vniká interakcí proudícího vzduchu s povrchem listů rotoru a při uvolňování vzdušných vírů za hranou listů. Tento hluk díky modernějším konstrukcím klesá. Šíření hluku závisí na směru a rychlosti proudění vzduchu a na tvaru zemského povrchu, kvůli existenci překážek.

Infrazvuk, který stroje vydávají je hluboko pod požadavky hygienických předpisů. Moderní elektrárny se snaží o co největší snížení hluku, ale to neznamená, že hluk nemůže způsobit nějaké nepříjemnosti. Například malé elektrárny mohou být hodně hlučné, protože mají vysoké otáčky rotoru. Elektrárny jsou stavěny podle situace 500 až 1000 m od objektů sloužících k bydlení. V Německu existují mnohem větší doporučení.



Obrázek 12 křivka závislosti hlukové intenzity větrného zdroje na vzdálenosti
(vyznačena hygienická hranice pro noční dobu)

Mezi nejčastější problémy větrných elektráren co se hluku týče jsou:

- a) je povolena výstavba i bez odpobrného posudku v blízkosti obydlí
- b) neodborné úvahy
- c) stavební povolení na objekt, který byl měl být v blízkosti větrné elektrárny
- d) nezkušenost výrobce
- e) špatná komunikace mezi obyvateli a zhotovovateli větrných elektráren
- f) nepřipravenost lidí

5.3 Větrné elektrárny a jejich vliv na ptactvo, rostliny a zvířata

Pro zvířata nepředstavují větrné elektrárny nějaké zvláštní nebezpečí, pokud jsou dobře umístěny. Lidé si často myslí, že jsou to zabijáci ptáků, ale není tomu tak, protože jinak by tyto projekty nebyly podporovány organizacemi pro ochranu přírody. Probíhá mnoho diskuzí nad tímto tématem, avšak jsou velice spekulativní.

Rozdělení negativních vlivů:

- způsobený hluk
- mortalita
- narušení biotopů

Lopatky větrných elektráren sice představují riziko pro opeřence, ale toto riziko není příliš velké. Je to pro ně překážka, kterou vidí a oblétnou. Jediný problém může nastat v případě mlhy nebo při snížené viditelnosti v noci.

Je řada ptáků, kteří jsou citliví na akustické a vizuální rušení. Mezi ně patří například tetřevka obecná, chřástal polní a křepelka polní a to do vzdálenosti 200 až 500 m. Mezi vizuálně citlivé patří drop velký, čáp černý a čáp bílý až do vzdálenosti 1,5 km.

Pokud sídlí kolem větrné elektrárny dravci, mezi které patří především orel mořský, nebo dále luňák červený a hnědý, ostříž lesní, z dalších druhů krkavec velký, je zde doporučeno omezení výstavby, protože tyto ptáci jsou nejvíce ohroženi pro střet s rotorem. Nejvíce ohrožený je orel mořský, u něhož se zakazuje výstavba do 3 km a omezení do 6 km od jeho hnízda. Pro ostatní ptačí druhy stačí vzdálenost do 200 m. Pro všechny netopýry platí větší rizika, protože jsou rušeni ultrazvukem.

K nejvíce střetům dochází od poloviny července až do začátku října. Výstavby by neměly být povoleny, pokud je v blízkosti do 3 km nějaké zimoviště netopýrů. U netopýra velkého je toto omezení až do vzdálenosti 6 km.

5.4 Rušení televizního signálu

Tento jev může nastat. Je to ovlivněno pozicí televizního vysílače. Toto se týká především domů, které jsou ve velké blízkosti u elektrárny. V ČR se elektrárny vyskytují daleko od osídlených oblastí. V případě rušení je zde jediná možnost a to přejít na satelitní příjem.

5.5 Větrné elektrárny a krajina

- **Vliv na krajinu**

Elektrárny tvoří v přírodě nové dominanty. Názory lidí se na ně mnohdy liší. Větrné elektrárny by měly být vnímány jako čisté zdroje energie do budoucna, protože čím více vyrobíme energii z takovýchto obnovitelných zdrojů, tím méně ničíme krajinu těžbou a podobně. Po ukončení elektráren (doba životnosti 20 až 25 let) se tyto elektrárny můžou rozebrat a zůstane pouze betonový základ. Díky využívání obnovitelných zdrojů by nemuselo tolik docházet ke klimatickým změnám a to by mělo pozitivní vliv na vzhled krajiny, díky srážkám, které působí na porosty.

V místech, kde by mohla výstavba větrné elektrárny nějak ohrozit ochranu přírody, je zapotřebí zpracovat hodnocení vlivů na krajinný ráz. V potaz je bráno, kolik turbín má elektrárna. Dalším problémem může být nařízení zábleskového osvětlení, což může být rušivé.

- **Produkce škodlivin**

Při výrobě elektřiny z fosilních paliv dochází ke vzniku emisí, které zhoršují klima. Větrné elektrárny vyrábí elektřinu tak, že při její výrobě nedochází ke vzniku emisí. Větrné elektrárně trvá jen 3 až 7 měsíců, aby vytvořila stejné množství energie spotřebované při její výrobě, instalaci, údržbě a odstranění asi po 20 - ti letech provozu.

Větrné elektrárny zabraňují emisím obsahující rtuť pomocí toho, že vytvářejí látky, které znečišťují vzduch. Mezi tyto látky patří oxidy dusíku, které mohou způsobovat smog, nebo oxid siřičitý, původce kyselých dešťů. Rizika spojená s lidským zdravím jsou srdeční onemocnění, astma, nemoci dýchacích cest.

Větrná energie nezpůsobuje radioaktivní odpad a neznečišťuje vody. Nevyčerpává přírodní zdroje a nezpůsobuje škody na životním prostředí ani při těžbě, dopravě nebo při nakládání s odpady.

6. Ekonomické hodnocení

V České republice patří vítr mezi významné obnovitelné zdroje. ČR se zavázala, že bude produkovat zvýšeně energii z obnovitelných zdrojů (OZE⁶).

Dne 10. 3. 2004 byla schválena koncepce, která definuje priority a cíle České republiky v rámci energetického sektoru. Dále jsou zde popsány jednotlivé realizační nástroje. Nalezneme zde i výhled do roku 2030. Koncepce dále deklaruje využívání všech zdrojů dlouhodobě reprodukovatelné energie, což přispěje k osamostatnění státu před dovozem energie z jiných zemí. Toto bude prospěšné pro ochranu životního prostředí. Cílem koncepce je zajištění maximální šetrnosti k životnímu prostředí.

V současnosti roste celosvětová kapacita větrné energie od 20 do 30 %. V roce 2007 byla kapacita výroby elektrické energie 50 krát větší než v roce 1990. Tím, že instalované kapacity rostou, klesají pak náklady na výrobu energie z větrných elektráren. V roce 1991 byla překročena hranice 8 €/kWh a v roce 1998 klesly náklady na 4 €/kWh. Pro oblasti s dobrými větrnými podmínkami a dobrým připojením k distribuční síti klesly náklady až na 2,8 až 3,2 €/kWh. Tam, kde jsou velice dobré povětrnostní podmínky, se výroba elektrické energie vyrovná výrobě z tepelných a jaderných elektráren⁷.

Z obnovitelných zdrojů je větrné energie nejlevnější. V místech, kde je příznivá situace pro vodní elektrárny, je možno využití vodní energie srovnatelně levně. Hlavně díky ceně má větrná energie ve světě úspěch. Lze z ní vyrobit velké množství energie, aniž by došlo k podražení ceny pro konečné zákazníky.

Větrná energie se zatím neobejde bez podpory. V ČR je podpora ¹ pro letošní rok 2,23 CZK/kWh, což je nejméně ze všech obnovitelných zdrojů.

Tabulka č. 2 - Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR

Tabulka výkupních cen				
Zdroj	Cena 2007 CZK/kWh	Cena 2008 CZK/kWh	Cena 2009 CZK/kWh	Cena 2010 CZK/kWh
Fotovoltaika	13,46	13,46	12,79	12,15
VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	2,46	2,46	2,34	2,23
Malé Vodní elektrárny	2,39	2,60	2,70	3,00
Biomasa	3,37	4,21	4,49	4,58
Bioplyn z BPS	3,04	3,90	4,12	4,12

Mezi další dotované energie patří jaderná energetika. Provozovatelé jaderných elektráren neplatí reálnou cenu za státní záruky různého druhu. V případě jaderné havárie většího rozsahu nebudou kompenzovat vzniklé škody v plném rozsahu. Pro jaderné elektrárny je omezen vzdušný prostor a je jim poskytována vojenská ochrana. Současná cena za jadernou energii nezahrnuje náklady na dlouhodobější uskladnění jaderného paliva. Pokud by se na tyto věci myslelo, byla by jaderná energie mnohem dražší.

V současné době se v ceně za elektřinu z klasických zdrojů promítají náklady investic, paliva a provozu. Nejsou zde zahrnuty škody, které jsou spojeny s těžbou a spalováním fosilních paliv, což nepříznivě působí na životní prostředí a lidské zdraví. Případné škody jsou většinou hrazeny státem. Za situace, kdy tyto externí náklady nejsou zahrnuty do tržní ceny, je zavedení přiměřené podpory obnovitelných zdrojů řešením, jak dosáhnout rovných podmínek na energetických trzích, které umožní zvyšovat podíl obnovitelné energie.

¹ Všechny ostatní zdroje energie jsou dotovány také, byť často skrytým a nepřímým způsobem, který si běžný spotřebitel neuvědomuje. Úhelných elektráren výrobce energie nikomu neplatí za způsobené škody na zdraví či přírodě, za fyzickou (nikoli jen vizuální) změnu krajiny a za vyčerpávání strategických surovinových zdrojů.

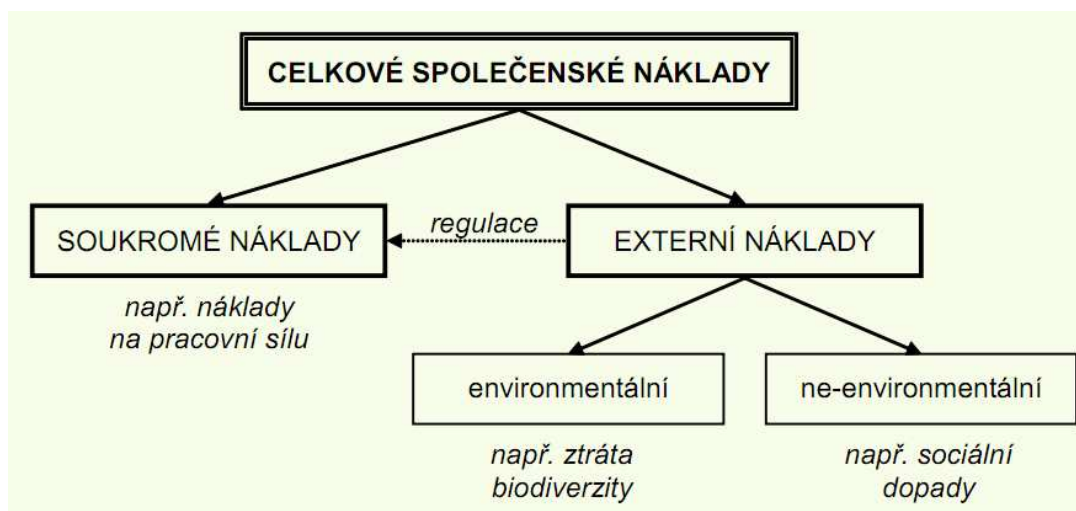
Na základě projektu Extern-E zpracovaného evropskou komisí by se cena elektřiny z uhlí zdvojnásobila a cena elektřiny z plynu zvýšila o 30 %, pokud by byly brány v úvahu externí náklady v podobě škod na životním prostředí a zdraví. Tato studie dále odhaduje, že tyto externí náklady dosahují 1 - 2 % HDP evropské unie neboli mezi 85 a 170 miliardami euro, přičemž v tom není zahrnuta cena za globální oteplování.

6.1 Externista v ekonomii

Spotřební a produkční ekonomické aktivity způsobují externí náklady.

Podle Kolstada: „*Externalita vzniká v případě, kdy rozhodování spotřebitele nebo výrobce vstupuje do užtkové nebo produkční funkce jiného ekonomického subjektu, aniž by k tomu dal tento subjekt souhlas nebo byl za to kompenzován*“

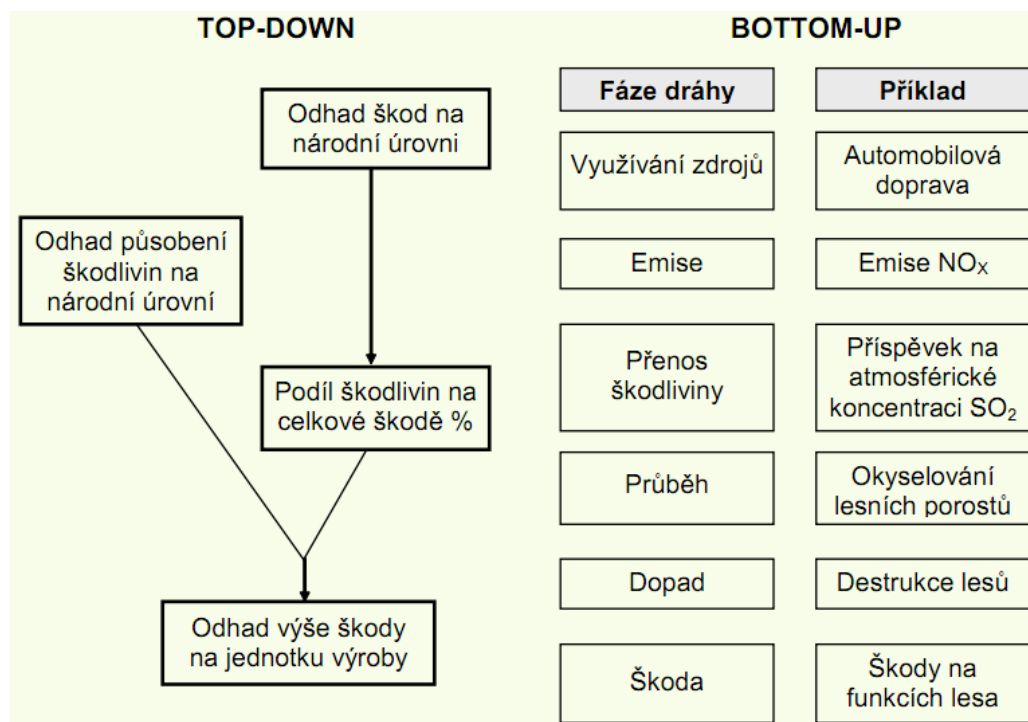
Existuje rozdíl mezi soukromými a společenskými náklady. Soukromé náklady jsou určovány tržními cenami a zajišťují možnost, jak tyto zdroje využít z pohledu výrobce. Společenské náklady tvoří soukromé náklady a externí náklady. Z toho vyplývá, že soukromé náklady jsou mnohem nižší.



Obrázek 13 Celkové společenské náklady.(zdroj IEA)

V energetice je možné využít dvou metodologických přístupů pro hodnocení externalit.

- přístup nákladů na zamezení – zjišťuje náklady na kontrolu škod nebo náklady vedoucí k dosažení legislativních limitů. Tyto náklady jsou považovány za implicitní hodnotu škod, kterým bylo zamezeno.
- přístup ekonomických škod – zjišťuje na základě preferencí výši čistých ekonomických škod, které jsou spojeny se zápornými externalitami. Dělí se na dvě kategorie: top-down a „bottom-up“.⁸



Obrázek 14 Ilustrování „top-down“ a „bottom-up“ přístupu (European Commission 1999)

Jedním z dílčích výsledků projektu Extern-E byly vypracované studie, které hodnotily externality jednotlivých zdrojů elektrické energie. Komplexní hodnocení externích nákladů jednotlivých energie bylo realizováno v rámci evropského projektu CASES⁹.

Obrázek č. 15 prezentuje náklady pro současné technologie výroby elektřiny.

Původ energie	Náklady výroby	Externí náklady	Náklady celkem
	(€ cent / 1 kWh)		
Uhlí – lignit	4,3 – 4,8	2 - 15	6,3 – 19,8
Zemní plyn	3,4 – 5,0	1 - 4	4,4 – 9,0
Jaderná energie	10 - 14	0,2 – 0,7	10,2 -14,7
Biomasa	7 -9	1 - 3	8 – 12
Vodní energie	2,4 – 7,7	0 - 1	2,4 – 8,7
Fotovoltaika	25 – 50	0,6	25,6 – 50,6
Vítr	4 - 6	0,05 – 0,25	4,05 – 6,25

Obrázek 15 externí a celkové náklady na 1 kWh elektrické energie
podle jejího původu Zdroj: ECOCONSULTING ENERGY ENVIRONMENT

V poslední době je zaznamenán citelný nárůst ceny elektřiny pro konečné odběratele. Konečná cena pro spotřebitele však není provozem zařízení na bázi OZE ovlivněna. Bere se v potaz, že reálné ceny elektrické energie z větrných elektráren se během několika let protnou se stoupající křivkou tržních cen elektrické energie z jiných zdrojů, čemuž dosavadní vývoj nasvědčuje. Kdyby však byly do cen elektrické energie započteny všechny prokázané externí společenské náklady tradičních i jaderných zdrojů, bezpochyby by to konečnou cenu elektřiny ovlivnilo výrazněji.

7. Závěr

V současné době vývoj větrných elektráren jde malými kroky dopředu. Jejich účinnost co se týče technické spolehlivosti a růst výkonu se stále zlepšuje. K tomu pomalu dochází o pokles nákladů jimi produkovanou elektřinou. Měli bychom si dát pozor na to, že proud produkovaný větrnými elektrárnami je o hodně dražší než proud produkovaný konvenčním způsobem.

Díky dotacím, lze do budoucna spoléhat na to, že větrné elektrárny bychom mohli používat jako doplňkové lokální zdroje elektrické energie. Zatím ale by bylo nerealistické počítat s nimi jako s náhradou za tepelné a nebo jaderné energetiky.

8. Použitá literatura a zdroje

- Český statistický úřad <http://www.czso.cz/xs/redakce.nsf/itisk/4C0046F9FC>
- *Větrná energie v České republice* ČSVE
- <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/rocnizprava.html>
- Státní energetická koncepce ČR <http://www.mpo.cz>
- OECD/ IEA 2004/2008 Organisation for Economic Co-operation and Development/ International Energy Agency
- http://www.czp.cuni.cz/Ekonomie/ocen_konf/Melich_externi_en.pdf
- Kolstad kniha „Environmental Economics“ 2000
<http://www.oup.com/us/companion.websites/9780199732647/>
- http://www.czp.cuni.cz/czp/ukoncene-projekty-mezinarodni/cases-6-rp-eu-2006-8_cs
- NYSERDA The New York State Energy Research and Development Authority's

9. Vysvětlivky

¹ **Beaufortova stupnice** byla vytvořena počátkem 19. století kontraadmirálem Francisem Beaufortem. Slouží k odhadu rychlosti větru podle jeho projevů, které jsou snadno rozpoznatelné na moři nebo souši.

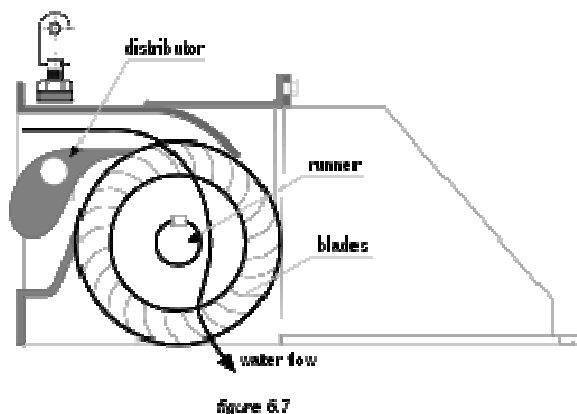
Tato stupnice má 12 stupňů.

² Hlavní metodou výpočtu polí průměrné roční rychlosti větru v této zprávě byla aplikace kombinace modelů WAsP a VAS, kterou označujeme jako hybridní model. První z nich byl použit k odstranění lokálních vlivů orografie, změn drsnosti povrchu a především překážek. Druhý model sloužil k interpolaci získaných klimatologických charakteristik v hrubším rozlišení do plochy celého státu. Měl tak za úkol postihnout trendy vzniklé vlivem větších orografických útvarů. Jedná se o třetí verzi modelu – VAS3 – pro jednoduchost v následujícím textu označený jako VAS. Předchozí aplikace modelu WAsP v kombinaci s jiným modelem byly již popsány v dílčí zprávě projektu VaV 320/08/03 (Štekl a kol., 2003). Nejlépe takovou metodu popisuje Frank a kol (2001).

³ **Bánkiho turbína** je jednoduchá rovnotlaká vodní turbína. Lopatky oběžného kola jsou obtékány ve dvou směrech. Roku 1917 byla vynalezena Donátem Bánkim. Její využití je v malých vodních elektrárnách.

Oběžné kolo turbíny je tvořeno dvěma kruhovými deskami, mezi nimiž jsou jednoduché lopatky, které připomínají mlýnské kolo. Toto kolo je umístěno ve skříně, do níž z jedné strany přitéká usměrněný proud vody. Voda vtéká dovnitř přes lopatky a vytéká na druhé straně skříně. Při každém průtoku odevzdá část své energie.

Tento typ turbíny má velice jednoduchou konstrukci a je oblíben malými vodními elektrárnami. Energetická účinnost dosahuje 70 – 85 %.



Obrázek Bánkiho turbína

⁴ **Darrieova** turbína byla zkonstruována v roce 1930 francouzským leteckým inženýrem Georgem Jeanem Mariem Darrieusem, který vyrobil větrný motor se svislou osou otáčení a nemusí obsahovat postranní větrné kolo nebo elektromotor, který slouží k natáčení rotoru do směru větru.

Výhodou je, že tuto konstrukci není nutné natáčet proti větru, všechno součásti se dají uložit pod stožár a má nižší nároky na stožár. Nevýhodou je problematictější regulovatelnost a v původní konstrukci byla vyžadována vyšší rychlost větru pro start turbíny.

⁵ **SCADA** je zkratkou pro "Supervisory control and data acquisition", tedy Nadřazené ovládání a sběr dat. Obvykle se tento pojem používá pro kontrolní průmyslové systémy umožňující z centralizovaného pracoviště monitorování průmyslových zařízení nebo procesů, včetně možnosti jejich centrálního ovládání. Průmyslové procesy řídící výrobu a zpracování běží stále nebo opakovaně. Mohou být soukromé nebo veřejné. Patří sem úprava a rozvod vody, vodní čističky, trubky vedoucí plyn a ropu, elektrické vodiče a rozvaděče, větrné elektrárny, sirény civilní obrany a komunikační systémy. Jsou to procesy, které kontrolují HVAC, dostupnost a spotřebu elektrické energie například na letištích nebo vesmírných stanicích.

⁶ Obnovitelný zdroj energie Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.*“

<http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/1992/sb004-92.pdf>

Definice podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů): „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“

<http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2005/sb066-05.pdf>

⁷ Výkupní ceny elektřiny od 1. 1. 2007 (zdroj: eru.cz)

Sluneční elektrárna	13.46 Kč/kWh
Větrná elektrárna	2,23 Kč/kWh
Jaderná elektrárna	cca 1.00 Kč/kWh

⁸ Zdroj Ministerstvo dopravy „**Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky**“

„**Top-down**“ přístup využívá pro hodnocení externích nákladů (např. určité znečišťující látky) agregátní údaje. Na národní úrovni je zjištěno celkové množství škodlivé látky a jsou odhadnuty ve fyzických jednotkách celkové škody způsobené touto škodlivinou. Následně je škoda vyjádřena na jednotku dané škodliviny. Škody ve fyzických jednotkách jsou poté přiřazeny jednotlivých zdrojům znečišťování a převedeny do monetárních jednotek. Hlavním důvodem kritiky tohoto přístupu je, že nezohledňuje místně specifické druhy dopadů a jednotlivé stupně palivového či životního cyklu. Dále se tento přístup spoléhá na přibližné odhady dopadů.

„**bottom-up**“ sleduje škody pro jeden zdroj znečišťování, kvantifikuje a oceňuje škody prostřednictvím drah dopadů (tzv. impact pathway approach, IPA; EC 2000). Pro ohodnocení externalit touto metodou jsou využívány technologicky a místně specifická data, rozptylové

modely, informace o receptorech a funkce dávka-odpověď (dose-response function). Škody vyjádřené ve fyzických jednotkách jsou, z důvodu absence odpovídající tržní ceny, zpravidla oceňovány některou z netržních metod oceňování, a to buď podle vyjádřených preferencí (stated preference technique) nebo odhalených preferencí (revealed preference technique).

⁹ **CASES** cost assessment for sustainable energy systems

Cílem projektu bylo shromáždit koherentní a podrobné odhady externích a interních nákladů produkce energie z různých zdrojů energie na národní úrovni pro 25 zemí Evropské Unie a pro některé země mimo Evropskou Unii v souladu s energetickými scénáři do roku 2030. Dále si projekt kladl za cíl vyhodnotit možnosti politických opatření ke zvýšení efektivity spotřeby energie s ohledem na data o celkových nákladech. Konečně bylo cílem též zprostředkovat výsledky výzkumu producentům a spotřebitelům energie a politikům prostřednictvím několika akcí. Projekt byl rozdělen do 13 pracovních balíčků, COŽP UK pracovalo zejména na pracovním balíku 6 "EU national level cost estimates (odhady nákladů na národní úrovni v rámci EU)".

Poděkování

Chtěl bych poděkovat za podporu a trpělivost panu:

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

doc. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D

dále mé manželce a paní Grazynie Knozové