

Větrná energie



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Publikace vznikla v rámci projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost Zelený most mezi školou a praxí – environmentální vzdělávací moduly pro trvale udržitelný rozvoj, registrační číslo CZ.1.07/1.1.00/14.0153, který realizuje Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670 ve spolupráci s těmito partnery:

- Vyšší odborná škola a Střední zemědělská škola, Tábor, náměstí T. G. Masaryka 788
- Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Hradec Králové, Hradební 1029
- Střední odborná škola energetická a stavební, Obchodní akademie a Střední zdravotnická škola, Chomutov, příspěvková organizace, Na Průhoně 4800
- Masarykova střední škola, Letovice, Tyršova 500
- Střední škola – Centrum odborné přípravy technické, Kroměříž, Nábělkova 539
- Integrovaná střední škola technická, Benešov, Černošská 1997

Tato publikace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Více informací o projektu najdete na www.zelenymost.cz.

VĚTRNÁ ENERGIE

Autorská třm:

Mgr. Ondřej Jung

Ing. Luboš Malý

Ing. Michael Marek

Mgr. Martin Šmíd

Editor: Ing. Marcel Gause

Metodická pomoc: RNDr., PhDr. Danuše Kvasničková, CSc.

Obálka a grafická úprava: Quo-ST, spol. s r.o.

Tisk: FINAL EXIT tisková produkce

Text neprošel jazykovou úpravou

Vydala Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670
Tábor 2013



Větrná energie



Obsah

1	Úvod	5
2	Význam a využití větrné energie	7
2.1	Historie	7
2.2	Rozvoj	11
2.3	Náklady na větrnou elektrárnu v České republice	13
2.4	Řešení krize	14
2.5	Obnovitelné	15
2.6	Výkupní ceny vyrobené energie	16
2.7	ERÚ - energeticky regulační řád - statistika	19
2.8	Nejvíce diskutovaná témata problematiky VE	21
3	Energie větru	29
3.1	Přeměna energie větru	34
3.2	Typologie větrných elektráren	38
3.3	Struktura moderní vrtulové větrné elektrárny	43
3.4	Účinnost VtE	44
3.5	Dosažitelný výkon VtE	47
3.6	Další části vrtulové VtE	50
3.7	Další možné dělení VtE	73
3.8	Výpočetní příklady	76
3.9	Kontrolní otázky	79
3.10	Zdroje, literatura a poděkování ČSVE	80
4	Podpora a osvěta pro využívání větrné energie	81
4.1	Výhody větrných elektráren	81
4.2	Výstavba větrných elektráren ve vztahu ke krajině	83
4.3	Hluk emitovaný větrnými elektrárnami	83
4.4	Větrné elektrárny a avifauna	85
4.5	Větrné elektrárny a šíření radiového a televizního signálu	86
4.6	Větrné elektrárny a krajinný ráz	86
4.7	Větrné elektrárny a produkce škodlivin	87
	Literatura	88

1. Úvod

Říkává se, že energie je krev průmyslu. Ale zdaleka nejen průmyslu. Často si ani neuvědomujeme, že energie je základním předpokladem **veškerého života** na naší planetě, tedy i nás - lidí. Každé malé dítě ví, že musí jíst - a že většímu výdeji energie (při sportu, při práci) odpovídá i větší potřeba výživy. Tuto **energetickou potřebu** pro život lidí zajišťuje již více než 5000 let hlavně zemědělství ve formě potravin, v některých oblastech světa také rybářství.

Základním energetickým zdrojem pro naši planetu je Slunce, které vyzařuje do vesmírného prostoru obrovské množství energie (okolo $3,8 \cdot 10^{19}$ MJ /s). Z ní na naši Zemi dopadá přibližně pouze jedna dvoumiliardtina, ale tato „kapka“ energie ohřívá zemský povrch, uvádí do pohybu vrstvy atmosféry kolem něho a přeměňuje se v energii větru, umožňuje oběh vody a mění se ve vodní energii, je příčinou energie mořského vlnění a díky fotosyntéze je jeho malá část (necelé 1 %) zdrojem energie pro veškerý život na Zemi. Fotosyntéza představuje obdivuhodnou základní reakci života, při níž je v zelených rostlinách energie slunečního záření převáděna do energie chemických vazeb organických látek (z energetického hlediska do „energetických konzerv“ či do biomasy). Ty jsou pak v následných potravních řetězcích postupně využívány a měněny a slouží jako zdroj výživy (energie a látek) pro všechny ostatní organismy - tedy i pro nás.

Kromě této základní energetické potřeby pro život, je pro lidi důležitá také další **energetická spotřeba** - pro úpravu potravy, bydlení, výrobu různých látek, dopravu, obchod, spotřebu, kulturu - prostě pro lidský způsob života. Velikost energetické spotřeby se v průběhu vývoje lidské společnosti měnila. I v dnešním světě existují obrovské rozdíly ve spotřebě energie.

Předpokládá se, že naši předchůdci, kteří ještě nepoužívali oheň, potřebovali pro svůj život okolo 8000 kJ denně, což odpovídá i dnešnímu příjmu potravy. Využíváním ohně stoupla energetická spotřeba našich předchůdců někdy před 500 000 lety na dvojnásobek - tj. asi na 6 GJ/rok na osobu. V dobách počátečního zemědělství asi před 10 000 lety se tato spotřeba vlivem využívání zvířat zvýšila na 20-30 GJ/osobu/rok, ve starověku a středověku se dále zvyšovalo využívání energie vody a větru. Naprostou změnu ve spotřebě energie pak znamenala **průmyslová revoluce**, která zahájila využívání nového energetického zdroje - fosilních paliv. S vynálezem parního stroje stoupla spotřeba energie přibližně na 100 GJ/osobu/rok. Další velmi nerovnoměrný vývoj ve světě dokumentuje diametrálně rozdílná spotřeba energie v dnešním světě: zatímco v USA se roční spotřeba energie na osobu odhaduje na 350 GJ, v Evropě průměrně na 200 GJ, v rozvojových státech Afriky pouze na 20-30 GJ na osobu/rok. Hlavním energetickým zdrojem současné civilizace jsou fosilní paliva.

Odkud se vlastně vzala?

Jejich základem je biomasa (především rostlin, ale i ostatních organismů), která se na Zemi fotosyntézou vytvářela **před mnoha miliony let** a která se v průběhu následujících milionů let vlivem geologických změn postupně pod vrstvami hornin za nepřístupu vzduchu měnila v uhlí, ropu a zemní plyn. Když uvážíme, že existence člověka na Zemi (včetně jeho přímých předchůdců) se dnes odhaduje na dobu 1 - 2 miliony let a proces vytváření např. černého uhlí na více než 200 milionů let, pak je na první pohled zřejmé, že fosilní paliva jsou **zdroje neobnovitelné**.

Nevíme sice přesně, jak velké zásoby fosilních paliv se v hlubinách naší Země ještě skrývají a odhady se u jednotlivých druhů paliv i u jednotlivých odhadců liší až v měřítku století, ale víme, že je nejvyšší čas intenzivně **hledat nové energetické zdroje** pro lidstvo, chceme-li nadále využívat stejné či zvyšující se množství energie.

Navíc využívání fosilních paliv s sebou nese vážné nebezpečné vlivy na prostředí. **Nečistoty** vypouštěné do ovzduší z domácích i průmyslových topenišť a ze stále rostoucího počtu dopravních prostředků představují vážné nebezpečí pro zdraví lidí a významně snižují také výnosy a kvalitu zemědělských produktů. Snad ještě větším globálním problémem je to, že při jejich spalování se uvolňuje oxid uhličitý vázaný do těl organismů před mnoha miliony let, což sebou přináší zvyšování skleníkového jevu a s tím související hrozbu **klimatických změn**, jejichž důsledky by mohly představovat katastrofy nezvyklých rozměrů.

Bezesporu nový nepominutelný energetický zdroj nepůsobící na **klimatické změny** představuje **jaderná energie**, která se uvolňuje při rozpadu radioaktivních prvků. Zdrojem je však rovněž neobnovitelný zdroj - různé nerosty ze zemské kůry obsahující izotop U^{235} . Zdá se, že tohoto zdroje je zatím k dispozici značné množství, ale tragické katastrofy z ukrajinského Černobylu a japonské Fukušimy budí mnoho obav z využívání tohoto přírodního zdroje a mnohé státy se proto orientují jiným směrem. Naděje se obrací i k **jaderné fúzi** - tedy k období procesů probíhajících na Slunci, ale možnosti jejího využívání v praxi jsou zatím v nedohlednu.

Energie však není nedostatek. Stálý a prakticky **nevyčerpatelný** je zdroj sluneční energie, která se na Zemi dostává v množství přibližně $21 \cdot 10^{20}$ kJ /rok - a je zdrojem neustále se **obnovující energie vody, větru i biomasy**. Nevyčerpatelným energetickým zdrojem je i **teplo zemského nitra**, které se uvolňuje stálými radioaktivními přeměnami v hlubinách Země a také **přitažlivé síly Měsíce** na naši Zemi, které způsobují pravidelný příliv a odliv na pobřežích oceánů a moří.



Před technicky vyspělou společností stojí nyní velmi závažné i podněcující úkoly: - jak efektivněji a bezpečněji (s ohledem na vlivy na prostředí) využívat dosavadní energetické zdroje (neboť jejich náhlé opuštění není prakticky možné), - jak zlepšit možnosti a perspektivy využívání energetických zdrojů nevyčerpatelných a obnovitelných, s nimiž nemusí být spojeny závažné problémy bezpečnostní, ani vlivy na biosféru. Přitom je nezbytné mít na zřeteli souvislosti **environmentální, ekonomické i sociální** - tedy základní pilíře **udržitelnosti** dalšího vývoje naší civilizace. Na tuto cestu je důležité vykročit co nejdříve - a začít ověřovat nejrůznější současné možnosti v praxi. Které způsoby šetření a využívání energie to jsou?

Možnosti šetření energií jsou nejen v jednání každého člověka, které zamezí zbytečnému plýtvání, ale i v řadě technických opatření v průmyslu (nové technologie), v zemědělství (využívání zbytkového tepla a biomasy), v dopravě (nové formy pohonu dopravních prostředků a snižování jejich spotřeby), ve stavebnictví (nové formy izolací, energeticky úsporné stavby atd.).

A další možnosti jsou v postupném a kombinovaném zavádění různých zařízení pro využívání nevyčerpatelných a obnovitelných energetických zdrojů:

- energie solární, jako přímého zdroje tepla, jako zdroje elektrické energie prostřednictvím fotovoltaických článků či jako naakumulované energie v ovzduší, ve vodě a v půdě prostřednictvím tepelných čerpadel (popř. v kombinaci s využíváním energie geotermální),
- energie větru prostřednictvím větrných elektráren
- energie vody prostřednictvím různých typů vodních elektráren,
- energie biomasy, a to jak novými termickými způsoby jejího využívání prostřednictvím spalování, zplynování, zkapalňování apod., tak i různými biotechnologickými způsoby využívání zbytkové biomasy a odpadních organických látek.

Zavádění těchto nových možností úspor a získávání energie musí překonávat mnohé problémy spojené zejména s nepravidelností slunečního záření, ale také s mnoha předsudky, neochotou hledat nové cesty a s řadou nežádoucích společenských vlivů ekonomického i sociálního rázu. Žádné novinky nikdy nebyly přijímány jednoznačně kladně a bez obav.

Navzdory různým těžkostem je důležité nenechat se odradit od hledání možnosti udržitelného řešení energetiky v 21. století.

RNDr., PhDr. Danuše Kvasničková, CSc.

2. Význam a využití větrné energie

2.1 Historie

Historie využití větrné energie dle Rychetníka (1) sahá do dávné minulosti, první zmínky jsou již ze 17. století před Kristem z Mezopotámie, kde se energie z větru využívala k zavodňování úrodné zeminy. První zmínky o větrných mlýnech pocházejí z Persie a jsou asi 2200 let staré. Tyto první větrné mlýny a větrné motory byly konstruovány s vertikální osou otáčení. Nejstarší zmínka o motorech s horizontální osou otáčení je ze 3. století před Kristem z Egypta.

Využívání větru se dále rozšiřovalo na střední východ a okolo 13. století se začalo s využíváním i v Evropě. V 17. století se hojně využívalo v Holandsku k odvodňování mokřin, dále k mletí obilnin, lisování oleje a pohonu pil. Tempo zavádění bylo vysoké a v polovině 19. století zde bylo využíváno již něco kolem 9000 větrných motorů.

V polovině 19. století společně s osídlováním západní části USA se zde staví asi 6 milionů malých větrných motorů převážně k čerpání vody pro farmy, později i k pohonům strojů a výrobě elektřiny.



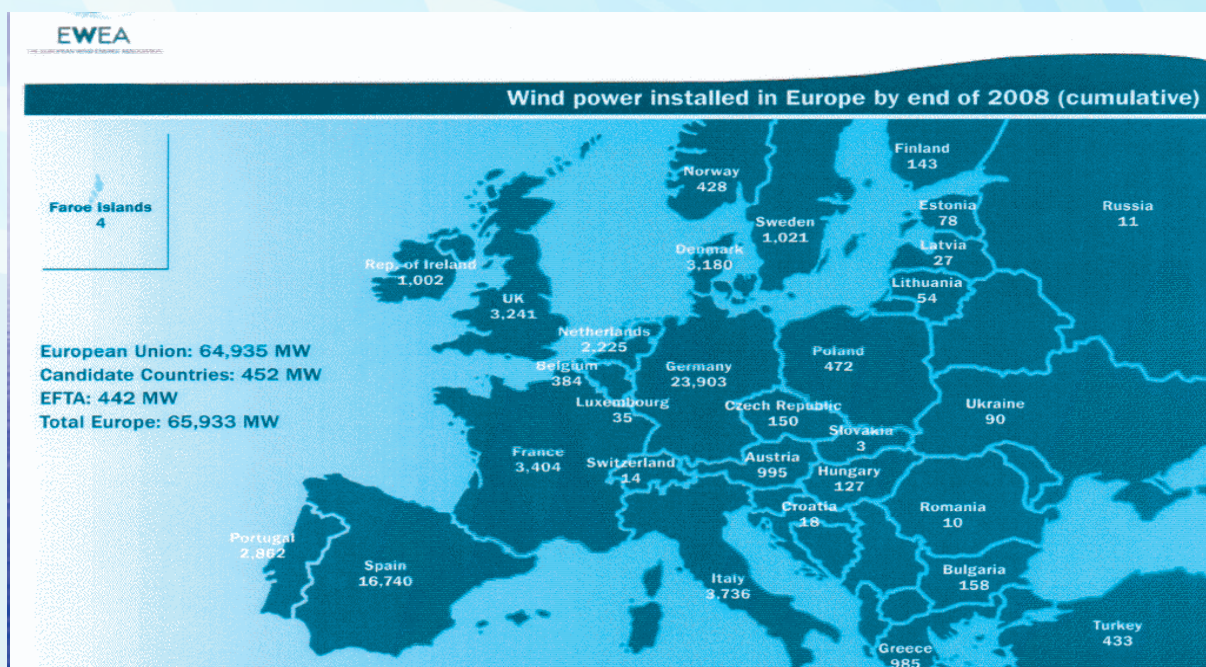
Obr. 1 Větrník na Dražanské vrchovině (Přemyslovice) - z roku 1844

V Čechách, na Moravě a ve Slezsku se větrná energie využívá již od 18. století (např. obr.1). Svědčí o tom i zmapované lokality, kde dříve stávaly větrné mlýny. Postupem času zanikaly v důsledku elektrizace a rozšíření parních strojů a později rozvojem malých spalovacích motorů a vyšší dostupností levných kapalných pohonných hmot, tyto stroje byly mnohem pohotovější a proto pro výrobu výhodnější.

Přehled dochovaných větrných strojů v české republice nalezneme online na internetových stránkách www.povetnik.cz (2).

Přesto se ve vývoji větrných motorů pokračovalo. Například v SSSR roku 1931 byl postaven větrný motor o výkonu 100 kW nebo Anglický větrný motor, kde duté listy rotoru pracovaly jako kompresor, který odsával vzduch ze stožáru, v němž byla umístěna turbína s generátorem. Největší větrný motor o výkonu 1 250 kW, byl však provozován v letech 1941-1945 v USA ve státě Vermont.

V šedesátých letech, v důsledku tehdejších nízkých cen paliv, byla elektrická energie z větrných motorů výrazně dražší, nežli z tepelných elektráren. V sedmdesátých letech nastal náhlý obrat z příčiny zjištění omezenosti zásob fosilních paliv a z důvodů nutnosti ochrany životního prostředí (1).



Obr.2 Instalovaný výkon v zemích Evropy

Naše republika neměla a nemá tak výhodné podmínky pro využívání větrné energie, jako například přímořské státy (Dánsko, Nizozemí, Německo, Velká Británie a Francie - obr.2), přesto je u nás mnoho vhodných lokalit, kde lze výhodně instalovat větrné motory- jsou to převážně horské oblasti a vrchoviny (obvykle nad 650 m. n. m.).

Bez ohledu na nadmořskou výšku platí, že do 650 m. n. m. je průměrná roční rychlost větru malá (kolem 2,5 m/s). Podle různých odhadů lze teoreticky výrobou elektrické energie z energie větru pokrýt asi 3 až 6 % současné spotřeby České republiky (1).

ZDROJE VTE a fotovoltaické v ES ČR - nad 1 MW_e součtového instalovaného výkonu (stav k 31. 12. 2008)



Obr.3

Celkový instalovaný výkon větrných elektráren v roce 2008 přesáhl 112 MW. Větrné elektrárny jsou instalovány v těchto lokalitách obr. č 3.

2.2 Rozvoj

Ekonomika větrné energetiky je velmi úzce propojena s jejím rozvojem, přestože samotný zdroj energie, sluneční záření a vítr jsou zadarmo. Na rozdíl od tradičních tepelných motorů odpadají sice veškeré náklady na palivo, a tím jsou nízké provozní náklady, malá koncentrace větrné energie však vyvolává relativně vysoké investiční náklady.

Do posuzování přínosu obnovitelných zdrojů vstupují i ekologická hlediska, která lze jen obtížně hodnotit čistě ekonomicky, neboť každá investice, která umožní výrobu elektrické energie chrání životní prostředí před produkcí tun oxidu siřičitého, oxidu dusíku, oxidu uhličitého nebo popílku a nezhoršuje stav dnes již tak hodně znečištěného ovzduší (2).

Množství větrných elektráren stále stoupá. V Evropě byl celkový instalovaný výkon v roce 2002 těchto elektráren 23 832 MW, v Dánsku 3 000 MW, v Německu 12 000 MW a ve Španělsku více než 5000 MW.

Za poslední desetiletí jich bylo vybudováno obrovské množství (cca 20 000 ks), a to i přesto, že stupeň jejich využití je poměrně nízký (účinnost cca 40 % je účinnost vlastního zařízení, vezme-li se v úvahu, že činnost a výkon elektrárny jsou závislé na existenci a vhodné intenzitě větru, je využití elektrárny nižší), což vede k nepříznivému poměru pořizovacích a provozních nákladů na straně jedné a vyrobených kilowatt-hodin na straně druhé.

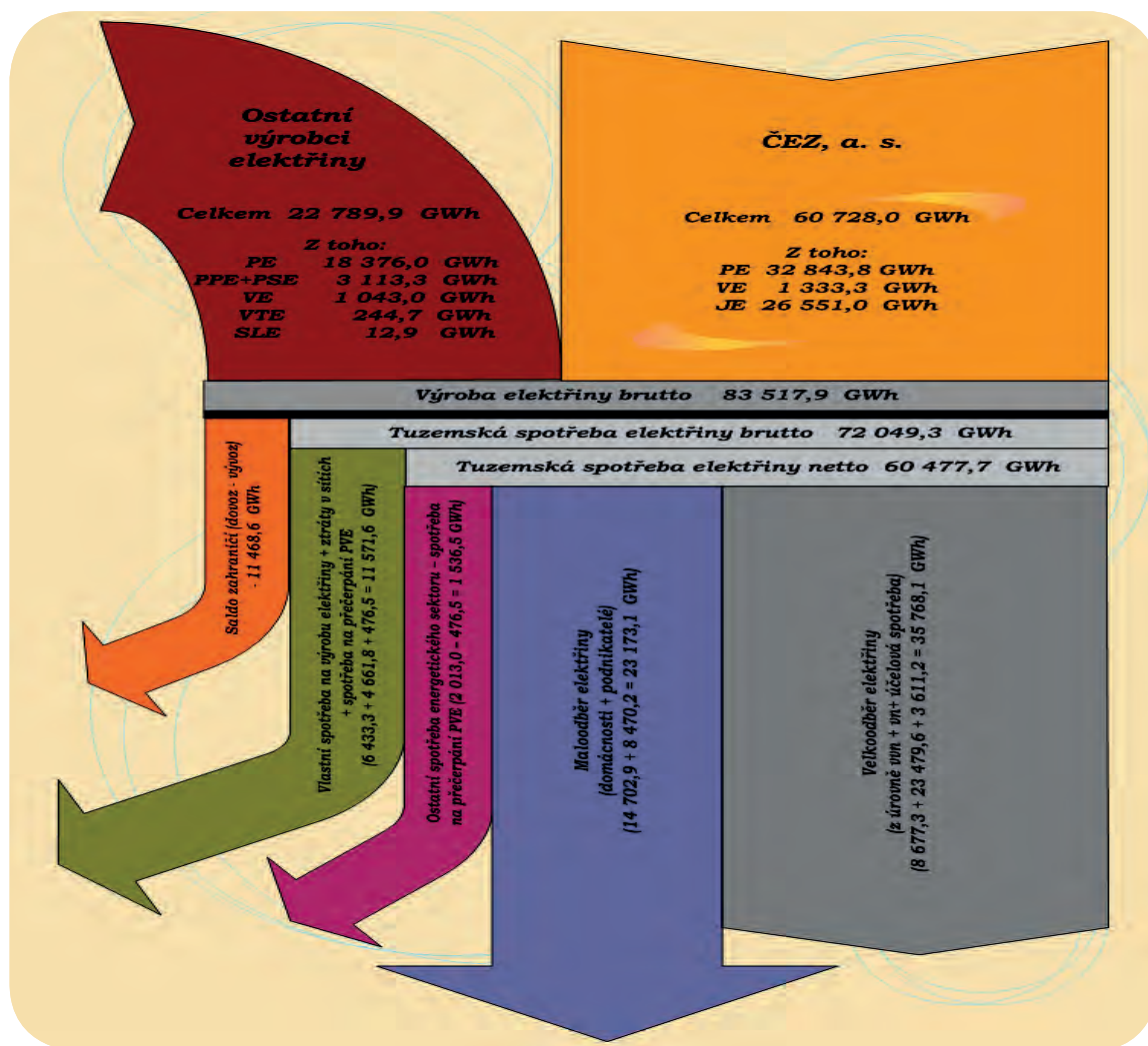
S ohledem na větrné poměry v ČR je v naší republice jen velmi omezené využití větrných elektráren ve srovnání např. s jinými přímořskými státy (2).

Podstatou zjišťování ekonomické efektivnosti je porovnání průměrných ročních nákladů s ročními příjmy. Použití větrné energie je ekonomicky efektivní tehdy, jestliže roční příjmy převyšují průměrné roční náklady.

Pro určení těchto hodnot je důležité stanovení investičních nákladů provozních nákladů a ceny produkce větrného soustrojí. Někdy se může stát, že cenu získané energie nebo jiného produktu přímo neznáme, anebo je třeba naopak stanovit, za jakou cenu můžeme danou formu energie nebo jiného produktu získat. Metoda hodnotové analýzy používá při posuzování vhodnosti investic.

Pro porovnání je na obr.4 uvedena struktura výroby elektřiny v ČR v roce 2008

	Výroba elektřiny brutto	Instalovaný výkon
	[GWh]	[MWe]
PE		
<i>spalováním černého uhlí</i>	6 110,9	
<i>spalováním hnědého uhlí</i>	42 212,0	
<i>spalováním biomasy</i>	1 226,0	
<i>spalováním olejů</i>	187,5	
<i>spalováním zemního plynu</i>	374,5	
<i>spalováním skládkového plynu</i>	1,2	
<i>spalováním ostatních plynů</i>	1 067,2	
<i>ostatní</i>	39,5	
Celkem PE	51 218,8	10 685,2
PPE + PSE		
<i>spalováním biomasy</i>	5,2	
<i>spalováním olejů</i>	0,4	
<i>spalováním zemního plynu</i>	619,4	
<i>spalováním bioplynu</i>	133,2	
<i>spalováním skládkového plynu</i>	80,7	
<i>spalováním ostatních plynů</i>	2 185,0	
<i>ostatní</i>	90,2	
Celkem PPE + PSE	3 114,2	897,7
VE		
<i>VE < 1 MWe</i>	492,3	150,8
<i>VE (1 - 10 MWe)</i>	474,6	141,7
<i>VE > 10 MWe</i>	1 057,5	752,8
<i>PVE</i>	352,0	1 146,5
Celkem VE	2 376,3	2 191,8
JE	26 551,0	3 760,0
VTE	244,7	150,0
SLE	12,9	39,5
Celkem	83 517,9	17 724,2



Obr.5 Porovnání z hlediska spotřeby el.energie v ČR za rok 2008

Podle typu větrného zařízení může být jednotkou produkce elektrická energie, potenciální nebo kinetická energie, objem načerpané vody za určitých zadaných fyzikálních podmínek, jako např. výtlačná výška.

Množství produkce za časovou jednotku, s ohledem na určitou periodicitu klimatických podmínek obvykle za rok (2).

2.3 Náklady

Ekonomika větrníků je to, co investora nejvíce zajímá. Musíme se hlouběji zaměřit nad skutečnými náklady nejen na stavbu.

Náklady začínají s trochou nadsázky téměř už jen u myšlenky na stavbu, pokračujeme nalezením vhodné lokality, možnost odkoupení pozemku na výstavbu nebo pronájem, výběrem vhodné firmy pro výstavbu, výběr větrného motoru, projektem, měřením, povolením, úředním schválením atd. – už tato část je někdy u větších projektů velmi zdlouhavá.

Je velmi pravděpodobné, že se setkáme s odporem občanů, aktivistů a ekologů. Petice o ne-stavbě větrníku, jejich škodlivosti, jejich hluku atd.

Dále je vhodné předem zjistit předběžného zájemce o naši vyrobenou energii a sepsat předběžnou odkupní smlouvu a dohodnout finanční podmínky odkupu energie.

Po vyřízení dokumentační agen-dy bychom mohli začít s výstavbou. Už součástí projektu by měly být požadavky na vybudování příjezdové cesty, požadavky na rozvodnou síť (zda je možné do ní dodávat naši energii), a musíme vybudovat elektrické vedení k nejbližší rozvodné síti, (to jsou náklady které mohou stavbu značně prodražit, spousta vhodných větrných lokalit jsou mimo dosah rozvodné sítě).

Dle výkonu elektrárny a vzdálenosti náklady rostou. Dále řešit základování stavby, které záleží na podkladu v místě stavby (zde jsou náklady také poměrně značně různé).

2.4 Náklady na větrnou elektrárnu v České republice

V příkladu vybereme provedení 1 kus větrníku o výkonu 2 MW, průměrná celková cena se všemi náležitostmi výše popsány je dle www.stop-vetрни-kum.webz.cz (1) a dále www.obec-kamen.cz (22) vyčíslena na 80 milionu korun to je cena za kterou lze postavit kompletní větrnou elektrárnu i s připojením k síti, náklady se samozřejmě navyšují o vzniklé komplikace, které jsou uvedeny výše.

Plus musíme připočítat roční náklady na provoz elektrárny (tab.1)

Pro výstavbu hovoří hlavně dotační program evropské unie.

	Vestas V90	Vestas V80	Enercon
Mzdy a pojištění	230 000	230 000	230 000
Opravy	200 000	200 000	200 000
Údržba	500 000	500 000	500 000
Pojištění VTE 0,5%	405 889	337 207	313 317
Režie	50 000	50 000	50 000
Energie	90 000	36 000	22 500
Celkem roční provozní náklady	1 475 889	1 353 207	1 315 817

Tab. 1 Roční provozní náklady 2MW větrných elektráren

Dále je třeba započítat do nákladů pevnou cenu pro decentralní výrobu za určené podmínky (25).

Výrobci elektřiny, jehož zařízení je připojeno do napěťové sítě VVN distribuční soustavy, je účtována na základě smlouvy územně příslušnému provozovatel distribuční soustavy částka 20 Kč/MWh za každou MWh skutečně dodané elektřiny do distribuční soustavy naměřené v předávacím místě výrobce elektřiny.

Pokud je výrobce napojen do napěťové sítě VN je účtována částka 27 Kč/MWh a pokud je výrobce napojen na napěťovou síť NN je účtováno 64 Kč/MWh

Další náklady na přenos energie po distribuční síti hradí zákazník, který danou energii odkoupí, tzv.: systémové služby + dopravné a to 141 Kč/MWh, tuto částku účtuje majitel přenosové sítě zákazníkovi. Dále také za každou 1 MWh spotřebovanou výrobcem energie je účtováno za systémové služby 141 Kč/MWh.

2.5 Řešení krize

Aktuální rozvoj VE v České republice, a tím i řešení finanční krize. Dle aktuálních informací ze serveru erea.org a csve.cz (25) zabývajícím se větrnou energií (Evropská asociace zabývající se větrnou energií - European Wind Energy Association).

Směrnice EU hovoří o zřízení závazných cílů pro obnovitelné zdroje energie pro všechny členské státy EU. Stanoví, že Česká republika musí zvýšit podíl obnovitelných zdrojů ve svém energetickém mixu z 6,1 % v roce 2005 na 13 % v roce 2020. Národní akční plán (NAP), který vytyčuje vhodná opatření k dosažení těchto cílů by měli být předloženy do června 2010 u Evropské komise.

V případě České republiky, je rozhodující, aby se vláda zabývala otázkami, jako jsou administrativní postupy a přístup do distribuční soustavy na pro projekty obnovitelných zdrojů energie okamžitě. To by usnadnilo rozvoj větrné energie, která by mohla být hlavním faktorem přispívajícím k dosažení cíle směrnice EU.

V semináři o evropské integraci větrné energie v České republice zaznělo i toto řešení aktuálních problémů: Ve světle tří hlavních globálních problémů, kterým lidstvo v současné době čelí - energetické krize, finanční krize a klimatické krize - se stalo zřejmé, že větrná energie nabízí jedno z řešení pro všechny tři, poskytováním domácí, spolehlivé, cenově dostupné a čisté energie.

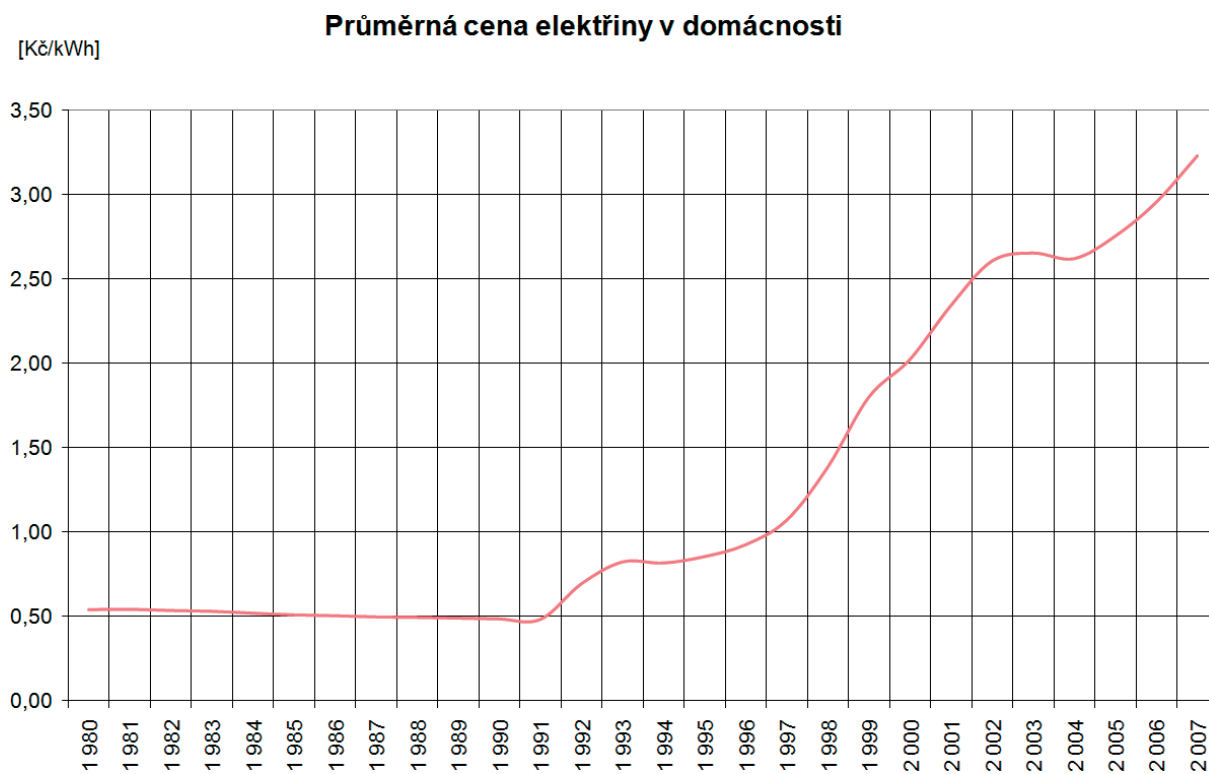
V současné době je 500 lidí přímo zaměstnaných ve větrném průmyslu v České republice. Celkem existuje 150 MW instalovaného výkonu větrné energie v zemi (koncem února 2008 šlo o 116,9 MW), což ukazuje i graf (obr.43) vývoje instalovaného výkonu a dodávané energie z energie větru, a zhruba 65 000 MW celkově větrné zařízení v EU. ČSVE počítá do čtyř let s instalovaným výkonem ve větrných elektrárnách ve výši 1000 MW, a pak dále 1500 MW do roku 2020.

Členové ČSVE (Česká asociace pro větrnou energii) považují tato čísla za reálný cíl. V roce 2008 bylo instalováno v průměru 20 větrných turbín, každý pracovní den ve státech EU. V loňském roce vyrobily české větrné elektrárny podle statistik ERÚ 244,7 GWh elektřiny.

2.6 Výkupní ceny vyrobené energie

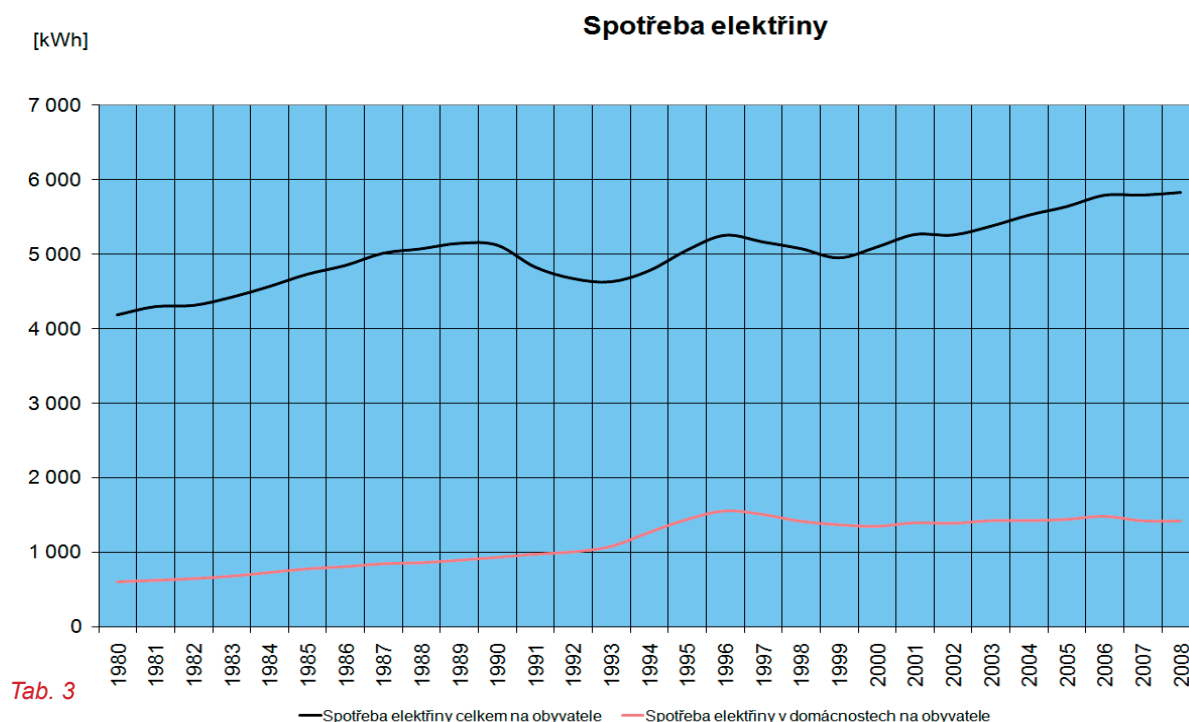
Přehled: výše investičních nákladů, životnost zařízení, vyrobená energie a výše dalších nákladů (provozních, splácení úvěru).

Ekonomickým ukazatelem pro spotřebitele je cena spotřebované energie.
viz. tab.2



Tab. 2

Pro porovnání a vytvoření vlastního úsudku o vývoji cenové politiky elektrické energie v ČR je uvedena i tab. 3 o vývoji spotřeby energie



Hlavním ekonomickým ukazatelem investora jsou měrné náklady. Čím menší větrný motor se použije, tím větší jsou měrné náklady na 1 kW. Optimální výkon je 300 až 500 kW. V této kategorii vychází 1 kWh vzhledem k nákladům a vyrobené energii obvykle nejlevněji.

Pod hranicí 300 kW neúměrně stoupají měrné náklady na 1 kW vyrobené energie, v důsledku vysokých nákladů na stavbu stožáru, jeho základování, připojení do distribuční sítě a další.

Proto je ekonomicky výhodné osazovat stožáry generátory s optimálními výkony tj. 300, 500 kW a více.

Návratnost investice zásadním způsobem ovlivňuje výkupní cena energie vyrobené ve větrné elektrárně. Výkupní cenu alespoň 3 Kč za 1 kWh lze považovat za ekonomicky příznivou dle propočtu nákladů a zisků uvedených dříve v kapitole nazvané „ekonomika větrného motoru“.

Použití jiných obnovitelných zdrojů energie bude pro některé konkrétní případy určitě výhodnější (zejména z pohledu pořizovacích nákladů).

Výkupní ceny

Výkupní ceny vyrobené elektrické energie z VE, jsou dle zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, Hlava II - Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, § 6 Výše cen za elektřinu z obnovitelných zdrojů a zelených bonusů stanovovány každý rok dopředu (tab.4).

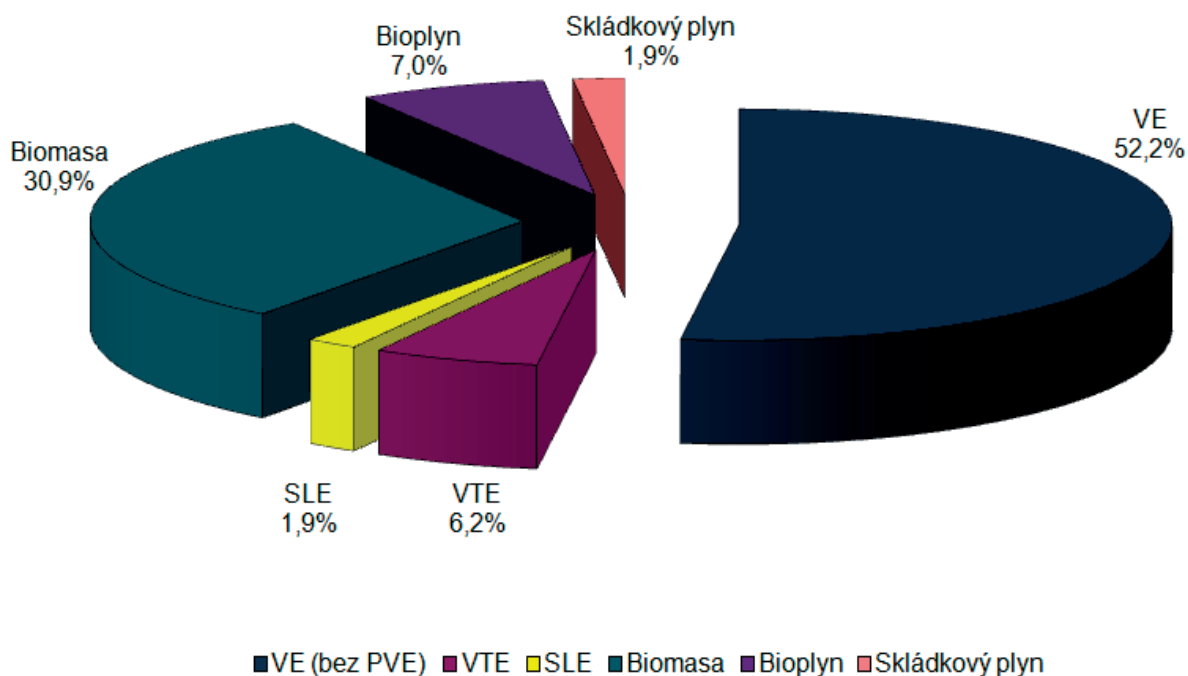
Zelený bonus je finanční prémie, kterou obdrží výrobce elektrické energie z obnovitelného zdroje za to, že si sám zajistí její spotřebu bez využití distribuční sítě. V současné době se zelený bonus pro větrné elektrárny pohybuje ve výši 1,63 Kč/kWh.

Datum uvedení do provozu	Výkupní cena elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Větrné elektrárny uvedené do provozu do 1.ledna 2009 včetně	2 340	1 630
Větrné elektrárny uvedené do provozu od 1.ledna 2008 do 31.prosince 2008	2 550	1 840
Větrné elektrárny uvedené do provozu do 1.ledna 2007 do 31.prosince 2007	2 620	1 910
Větrné elektrárny uvedené do provozu do 1.ledna 2006 do 31. prosince 2006	2 670	1 960
Větrné elektrárny uvedené do provozu do 1.ledna 2005 do 31.prosince 2005	2 930	2 220
Větrné elektrárny uvedené do provozu do 1.ledna 2004 do 31. prosince 2004	3 070	2 360
Větrné elektrárny uvedené do provozu před 1.lednem 2004	3 410	2 700

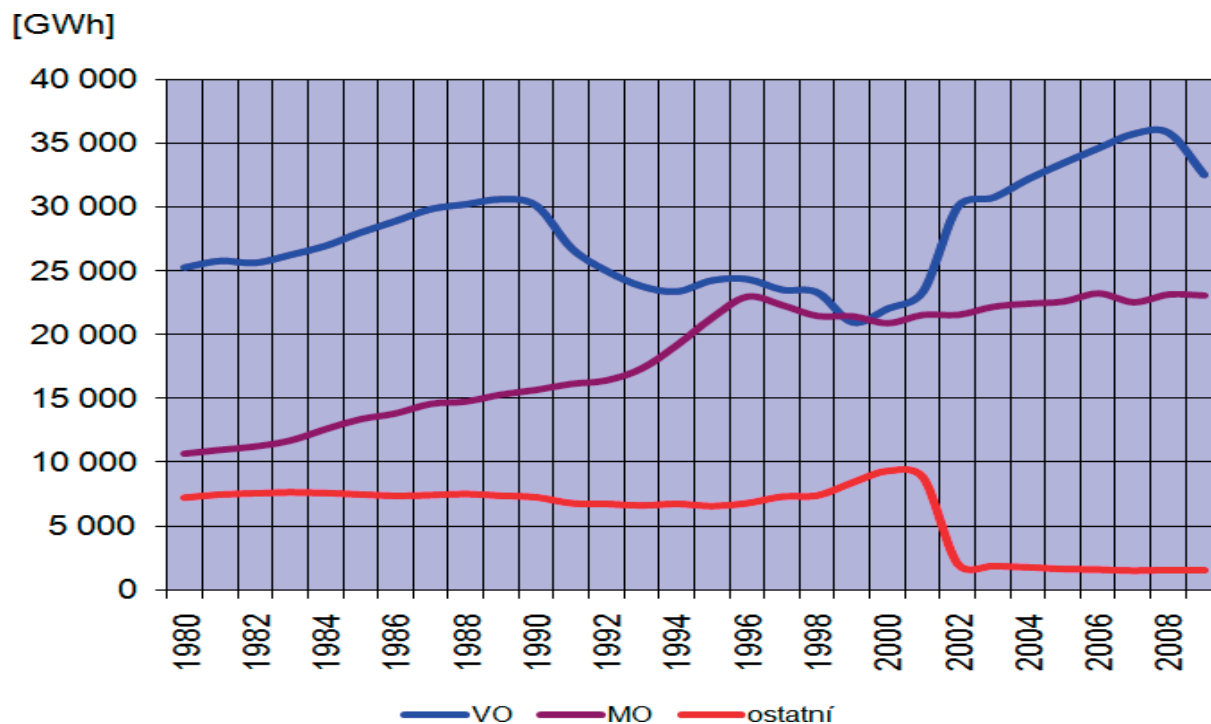
Tab. 4 Výkupní ceny a zelené bonusy pro větrné elektrárny

2.7 ERÚ – energetický regulační úřad - statistika

Podíl OZE na spotřebě elektřiny v ČR za rok 2009

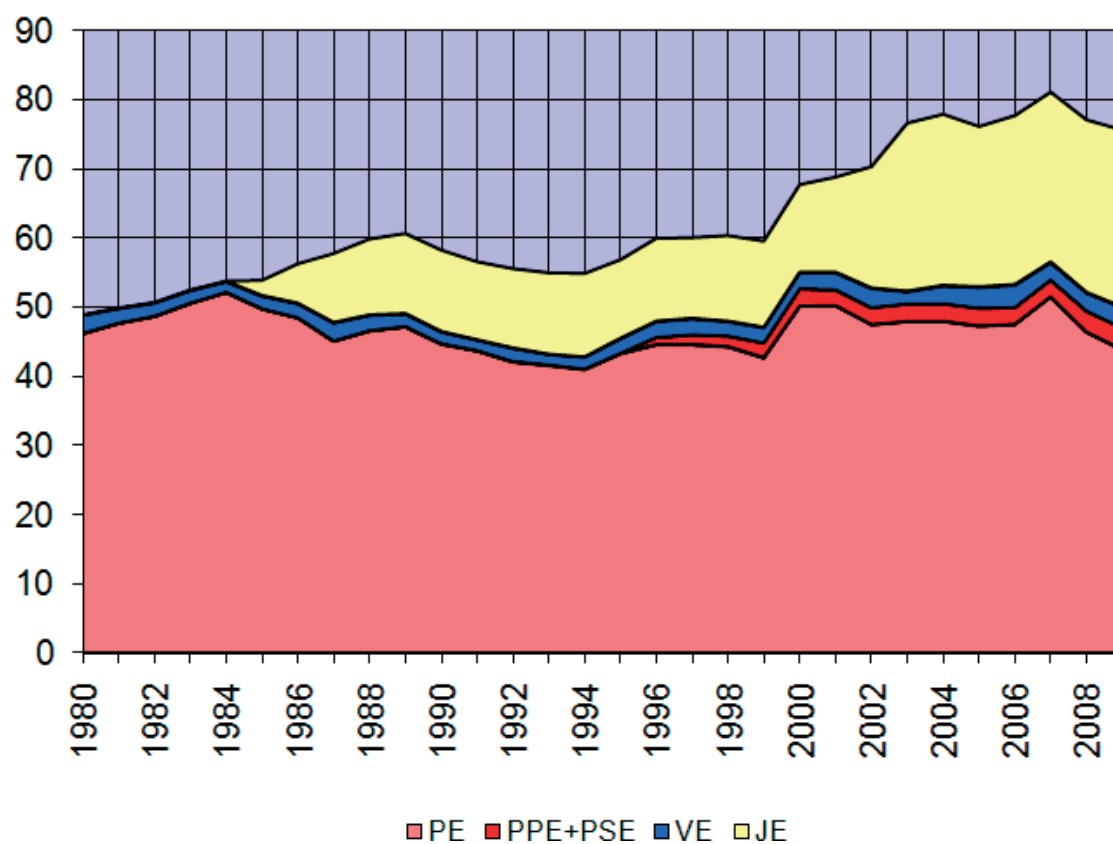


Vývoj a skladba spotřeby el. energie v ČR



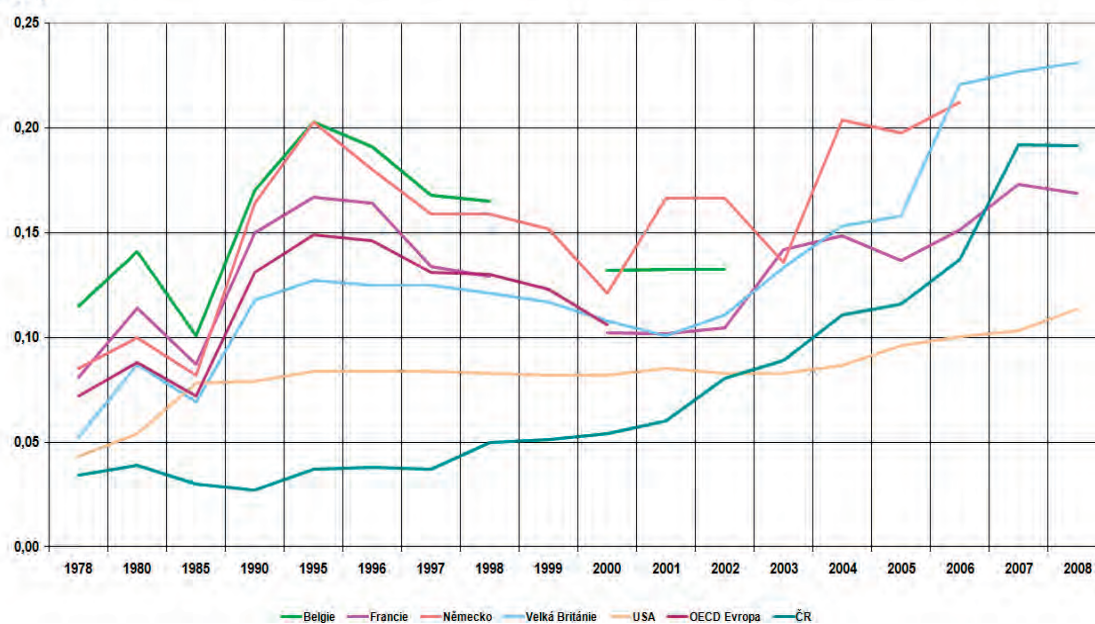
Vývoj a skladba výroby el. energie v ČR

[TWh]



Vývoj cen el. energie v domácnostech v Evropě

[USD/ kWh]



2.8 Nejvíce diskutovaná témata problematiky VE

Podílí se větrné elektrárny výrazně zvýšení ceny elektřiny pro konečné spotřebitele?

Větrná energie přispívá ke koncové (spotřebitelské) ceně elektřiny jen zcela zanedbatelným podílem.

Mají skutečně provozovatelé větrných elektráren enormní zisky?

Investice do větrné energetiky je i v kombinaci s podporovanou výkupní cenou zisková podprůměrně. Díky dlouholeté garanci je ale i přesto pro investory dostatečně atraktivní. Na vyváženost poměru zisku a investice dohlíží Energetický regulační úřad. To platí i o ostatních obnovitelných zdrojích energie. Extrémní situace, která se aktuálně vyskytla u fotovoltaiky, je absolutní výjimkou a jen těžko se může opakovat.

Jsou v ČR pro provoz větrných elektráren vhodné podmínky?

Z pohledu složitosti povolenacího procesu na stavbu větrných elektráren a prohlášení mnohých politiků a úředníků vhodné podmínky nemáme.

Z pohledu povětrnostních podmínek však rozhodně větrné elektrárny pro Českou republiku vhodné jsou.

Škodí skutečně větrné elektrárny přírodě?

Větrné elektrárny jsou vůči přírodě nejšetrnějším obnovitelným zdrojem.

Hrozí v Česku nestabilita sítě díky větrným elektrárnám?

Tento problém „hrozí“ avšak nesouvisí s větrnými elektrárnami v České republice! Potenciál větrné energie v České republice je omezený a rozprostřený v různých regionech a nedosahuje takové výše, aby české větrné elektrárny, i při největším dnes představitelném rozvoji, přenosovou soustavu nějakým významným způsobem destabilizovaly.

Produkují větrné elektrárny infrazvuk?

Realita je, že emise infrazvuku jsou u absolutní většiny větrných elektráren hluboce podlimitní, a to i při poměrně krátké vzdálenosti. Mohou se vyskytnout pouze výjimečně a krátkodobě při nějaké mechanické poruše. Větrné elektrárny ale samozřejmě způsobují slyšitelný hluk a z důvodu dodržení hygienických limitů jsou proto stavěny ve vzdálenosti mnoha set metrů od lidských obydlí.

Je větrná energie drahá?

Právě naopak, větrná energie je levná a to je její největší výhoda

Větrná energie je nejlevnější z obnovitelných zdrojů energie (s výjimkou vodních elektráren v příznivých lokalitách - takových je však omezený počet a například v Česku jsou jejich možnosti prakticky vyčerpány).

Právě díky nízké ceně má větrná energie ve světě obrovský úspěch, lze takto totiž vyrobit velké množství energie, aniž by to příliš prodražilo výslednou cenu pro zákazníka (či vyčerpalo státní pokladnu).

Zcela bez podpory se větrná energie stále ještě neobejde. Například V České republice je podpora (neboli výkupní cena) pro letošní rok 2,23 CZK/kWh (ceny jsou podle dosavadních předpisů valorizovány obvykle o 2 % ročně). Je to nejméně ze všech obnovitelných zdrojů energie (viz níže). Bez určité podpory se ale ani tento obnovitelný zdroj zatím neobejde.

Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR				
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 el.	2,39	2,6	2,70	3,00
Biomasa	3,37	4,21	4,49	4,58
Bioplyn z BPS	3,04	3,9	4,12	4,12

Je však potřeba si uvědomit, že všechny ostatní zdroje energie jsou dotovány také, byť často skrytým a nepřímým způsobem, který si běžný spotřebitel neuvědomuje.

Například u uhelných 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. Dokonce i tzv. povolenky na vypouštění skleníkových plynů dostávají výrobci energie dosud zdarma.

A masivně dotována je i energie jaderná. 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. A v současné ceně za jadernou energii nejsou zahrnuty náklady na dlouhodobé uskladnění jaderného paliva.

Pokud by tyto okolnosti byly brány v úvahu, pak by cena jaderné či „uhelné“ energie byly mnohem vyšší než je v současné době s oblibou prezentováno.

Podílí se větrné elektrárny výrazně zvýšení ceny elektřiny pro konečné spotřebitele?
Větrná energie přispívá ke koncové (spotřebitelské) ceně elektřiny jen zcela zanedbatelným podílem.

Podpora větrných elektráren bývá někdy spojována s podporou výroby fotovoltaických zdrojů jako jeden z viníků značného nárůstu cen elektřiny. Toto tvrzení je mystifikací a důrazně se proti němu ohrazujeme! Zatímco fotovoltaika je aktuálně nejdražším obnovitelným zdrojem, vítr je zdrojem nejlevnějším.

Další, ještě zásadnější skutečností v rámci diskuse o ceně elektřiny z větrných elektráren resp. ze všech zdrojů elektrické energie je to, že jak podporovaná cena elektřiny z větrných elektráren a dalších obnovitelných zdrojů, tak cena elektřiny z ostatních zdrojů nezahrnuje tzv. externí náklady. Které jsou u větrných elektráren (ale i ostatních OZE), zásadně nižší než u klasických zdrojů.

Zjednodušeně řečeno to jsou všechny náklady na výrobu elektrické energie z daného zdroje, které nejsou placeny přímo výrobcem elektrické energie, ale platíme je my všichni prostřednictvím nákladů celé společnosti! Popřípadě třetí soukromý subjekt v podobě vzniklých škod např. na zemědělské úrodě, snížení životnosti materiálů budov, ...

Příklady externích nákladů, které jsou v případě větrných elektráren nulové:

- **Znečišťování ovzduší emisemi hlavně CO₂ a prachu (ale i oxidy dusíku, oxid siřičitý a Oxid uhelnatý)** – jedním z nejméně šetrných způsobů z hlediska znečišťování ovzduší je získávání elektrické energie pomocí spalování uhlí (podobně jako u všech fosilních paliv, ovšem i při spalování biomasy jsou produkovány škodlivé emise). Rovněž při samotné těžbě uhlí v povrchových dolech je ovzduší znečišťováno velkým množstvím hlavně pevných částic prachu.

Toto znečištění ovzduší znamená nemalé finanční prostředky vynaložené nejen z veřejných zdrojů na zdravotní péči o obyvatele, kteří mají v důsledku dýchání znečištěného vzduchu poškozené zdraví a kvalitu života.

Rovněž škody např. na lesních porostech, ostatních ekosystémech, zemědělské úrodě, materiálech budov, atd. dosahují závratných hodnot. Zásadní je pak i vliv na změnu klimatu, s níž jsou spojeny další ekonomické dopady.

- **Nenávratné změny krajiny v důsledku povrchové těžby uhlí** – těžbou dotčená krajina je již nenávratně změněna, rovněž jako historická hodnota starobyklých zaniklých lidských sídel. Plocha aktuálně dotčená těžbou hnědého uhlí v ČR je cca 25tis hektarů. Jen v oblasti severočeské hnědouhelné pánve je uváděná celková plocha dotčená těžbou minulou i současnou cca 40 tisíc hektarů, což je asi 0,5% rozlohy celé ČR.
- **Náklady na uložení vyhořelého paliva pro jaderné elektrárny a možné náklady na sanaci havárie JE** – elektřina z jaderných elektráren je nejen u nás vyzdvižována jako nejlevnější. Je nepopiratelné, že mnoho nevýhod elektráren využívajících fosilní palivo ty jaderné postrádají a rovněž se dnes jeví, že v budoucnu se bez jaderné energetiky jen stěží obejdeme. Nicméně jsou přinejmenším dvě úskalí využívání energie jádra jeho štěpením. Za prvé, nelze vyčíslit celkové budoucí náklady na uložení vyhořelého paliva.

A za druhé, v případě havárie jaderné elektrárny (což jsme si již v případě Černobylské JE zažili a všichni doufáme, že naposledy) veškeré důsledky včetně nevyčíslitelných ekonomických dopadů bychom nesli my všichni i generace příští.

Ano, i větrné elektrárny mají své externí náklady, ovšem tyto jsou ve srovnání s ostatními zdroji skutečně nízké, jak vyplývá například ze studie <http://www.externe.info/externpr.pdf>.

Navíc po dožití a demontáži větrných elektráren se krajina navrácí do původního nedotčeného stavu a může tak zůstat pro generace našich potomků původní, stejně jako ta část fosilních surovin, jež díky existenci větrné elektrárny nemusely být spáleny.

Takovéto chování lze bezpochyby nazvat zodpovědným. Otázkou tedy je proč je snažit tyto nesporné přednosti větrných elektráren zamlčovat.

Mají skutečně provozovatelé větrných elektráren enormní zisky?

Investice do větrné energetiky je zisková podprůměrně, v kombinaci s podporovanou výkupní cenou, s dlouholetou garancí je ale pro investory dostatečně atraktivní.

Na vyváženost poměru zisku a investice dohlíží Energetický regulační úřad. To platí i o ostatních obnovitelných zdrojích energie. Extrémní odchylka, která se aktuálně vyskytla u fotovoltaiky je absolutní výjimkou.

Pochopitelně, že každý investor předpokládá, že mu vložená investice do větrných elektráren bude generovat zisk. Kdyby tomu tak nebylo, těžko by se našel subjekt, který by takový projekt financoval. Projekty větrných elektráren jsou běh na dlouhou trať a výkupní ceny jsou stanovovány tak, aby zisk byl přiměřený. Investice se vrací za zhruba 12-15 let.

Pokud tedy někde lze hovořit o ziscích opravdu nepřiměřených, pak se jedná o zisky těch, kterým se podařilo zúčastnit „solárního boomu“ v letech 2009 či 2010. To je ovšem jiný příběh...

Jsou v ČR pro provoz větrných elektráren vhodné podmínky?

Z pohledu povoloovacího procesu na stavbu větrných elektráren a prohlášení mnohých politiků a úředníků vhodné podmínky nemáme.

Z pohledu povětrnostních podmínek však rozhodně větrné elektrárny pro Českou republiku vhodné jsou.

Moderní technologie větrných elektráren jsou uzpůsobeny i středoevropským podmínkám. Díky poloze a rozmanité skladbě terénu České republiky je potenciál větru pro provoz větrných elektráren naprosto vyhovující.

Je pravda, že Česká republika nemá moře, rozlehlé stepi ani horské pustiny, kde bývají rychlosti větru nejvyšší. V takových místech jsou ale daní za vítr vyšší náklady. Nejde jen o náklady na samotnou výstavbu větrných elektráren, které jsou zejména v případě mořských (tzv. offshore) elektráren enormní. Jde také o náklady na výstavbu elektrických vedení a nových cest a o náklady vyvolané nutností dálkového přenosu z těchto zpravidla odlehlých míst.

V oblastech, jako je například Česká republika, velká část těchto nákladů odpadá. Větrné elektrárny se nacházejí blíže místa spotřeby a elektrické i dopravní sítě zpravidla potřebují jen drobné úpravy, což podstatně snižuje celkové náklady.

Díky tomu má smysl - z hlediska nákladů na vyrobenou elektřinu - větrnou elektrárnu postavit i v podmínkách, které se zde běžně vyskytují. I po zohlednění všech nákladů se totiž stále jedná o nejlevnější domácí zdroj obnovitelné energie - viz výše zmíněné informace o cenách elektřiny!

To se samozřejmě netýká jen České republiky, ale i jiných států, jako jsou Rakousko či vnitrozemské části Německa, kde jsou podmínky velmi podobné jako v ČR, ale větrná energie je zde využívána v mnohem větší míře.

Nezanedbatelný potenciál pro smysluplnou výstavbu větrných elektráren tedy v České republice rozhodně existuje, byť přece jen na nižší úrovni než v některých přímořských či řídce osídlených zemích.

Spíše než přírodní podmínky jsou zde ale limitem různá omezení vyplývající z poměrně hustého osídlení, jako jsou například nezbytný odstup od osídlení, ochranná pásma radarů, zvýšený důraz na ochranu přírody a krajiny apod.

Realizovatelný potenciál větrné energie v České republice je zdokumentován ve studii http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/doc/potencial_ufa.pdf, podle které může větrná energie za současných technických a ekonomických podmínek reálně vyrobit více než 5 TWh elektrické energie ročně, což by znamenalo pokrytí více než 7 procent hrubé tuzemské spotřeby v roce 2009 (pro srovnání vodní energie ve stejném roce pokryla 1,6 % hrubé domácí spotřeby ČR). Bez enormních nákladů pro spotřebitele tak může vítr poměrně významně přispět k výrobě energie, a to z ryze domácího a nevyčerpatelného zdroje.

Škodí skutečně větrné elektrárny přírodě?

Větrné elektrárny jsou vůči přírodě nejšetrnějším obnovitelným zdrojem.

Větrné elektrárny jsou jedním z mnoha krajinných prvků či staveb, které mění krajinný ráz.

Dosud není známa žádná výzkumná studie, která by potvrdila v Česku oblíbené úsloví, že „větrné elektrárny ničí krajinný ráz“. Že jej mění je neodiskutovatelný fakt, ale změna a vývoj je jedním ze základních atributů kulturní krajiny (Evropská úmluva o krajině).

Krajina v ČR se po staletí měnila lidskou činností a až na výjimky lze těžko mluvit o krajině původní. Při posuzování projektů větrných elektráren je tak zapotřebí brát zřetel nejen na vznikající nové dominanty, ale také na jejich kladný přínos pro životní prostředí v širším slova smyslu a trvale udržitelný rozvoj.

Hrozí v Česku nestabilita sítě díky větrným elektrárnám?

Tento problém „hrozí“ avšak nesouvisí s větrnými elektrárnami v České republice! Potenciál větrné energie v České republice je omezený a rozprostřený v různých regionech a nedosahuje takové výše, aby české větrné elektrárny, i při největším dnes představitelném rozvoji, přenosovou soustavu nějakým významným způsobem destabilizovaly.

Říká se, že polopravda je někdy horší než lež. To platí právě v tomto případě bezesbýtku. Skutečnost, že větrné elektrárny mohou ohrozit stabilitu elektrické sítě je totiž pravdivá. Ale...

Pokud přistoupíme k vysvětlení, je nutno rozlišit, o čem se vlastně mluví. Pod pojmem «stabilita elektrické sítě» se totiž mohou schovávat dva jen volně související významy, které bývají i představiteli «velké energetiky» často zaměňovány.

První význam souvisí s kapacitou elektrizační - zejména přenosové - soustavy. Problém nastává, pokud je výroba větrné energie silně koncentrována v některé oblasti, kde neexistuje dostatečná poptávka po energii. Pokud v takovém případě nastane výrazně větrné období, je nutno vyrobenou energii transportovat na velké vzdálenosti, což zahrnuje zejména dálková vedení nejvyššího napětí.

Problém lze samozřejmě řešit výstavbou nových elektrických vedení (podobně jako například při plánované dostavbě Temelína, což je podobně koncentrovaný zdroj), to je však zdlouhavé a drahé.

Alespoň po přechodnou dobu se tak vyskytují situace, kdy je větrnými elektrárnami přenosová síť hodně vytižena a v případě nějakých mimořádných událostí (s větrnou energií nesouvisejících) se pak zvyšuje riziko jejího kolapsu (tzv. blackout).

Tento problém ovšem nastává teprve při opravdu vysoké koncentraci větrných elektráren jako je tomu v případě severního Německa (ale nově například i v severní Číně či na americkém Středozápadě).

Při větrném počasí v severním Německu se vyrobená energie „roztéká“ všemi směry a protože se neřídí hranicemi ani obchodními toky, ale fyzikálními zákony, tak za nepříznivých okolností zatěžuje i českou přenosovou soustavu, jak je často prezentováno jejím provozovatelem, společností ČEPS, a.s.

Tento problém je však sporadický a nesouvisí s větrnými elektrárnami v České republice! Potenciál větrné energie v České republice je přece jen omezený a rozprostřený v různých regionech a nedosahuje takové výše, aby české větrné elektrárny i při největším dnes představitelném rozvoji přenosovou soustavu nějakým významným způsobem destabilizovaly. (v Německu je dnes instalováno přes 22.000 MW, zatímco v ČR pouze 200 MW a nárůst na 1000 MW je předpokládán v horizontu mnoha let)

Druhý význam „ohrožení stability elektrické sítě“ souvisí s bilancí mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Větrné elektrárny (podobně jako solární a v menší míře i průtočné vodní) vyrábějí energii v závislosti na počasí a ta významně kolísá. Pokud je (například) větrných elektráren mnoho, pak je nutno toto kolísání nějakým způsobem vyrovnávat. V případě, že by se toto kolísání vyrovnat nepodařilo, pak by došlo skutečně k „ohrožení stability“.

Že se jedná o ohrožení, jehož význam není zásadní, je možné se přesvědčit například v sousedním Německu či v jiných zemích. Tam je již nyní řádově vyšší zastoupení větrné energie než je v České republice vůbec reálné v dohledné budoucnosti a přesto zde k žádnému hroucení sítě nedochází. Kolísající výrobu energie lze totiž poměrně úspěšně a bez enormních nákladů balancovat mixem dalších zdrojů a prostředků. Ve zcela výjimečných případech pak lze větrné elektrárny (s výjimkou nejstarších typů) nouzově vypnout, což je rozhodně méně komplikované než u velkých energetických bloků například jaderných či uhelných elektráren.

Jen pro zajímavost můžeme uvést, že pokud byly v posledních letech ve světě zaznamenány nějaké významné problémy s dodávkou elektrické energie, pak souvisely spíše s jinými způsoby výroby energie, například s elektrárnami jadernými (problémy s chlazením v horkém a suchém létě, nucené odstávky), vodními (sucho), uhelnými (chlazení, zamrzání paliva) či plynovými (závislost na dodávkách ze zahraničí). U větrných elektráren se s kolísáním výroby od počátku počítá a na «bezvětrné» období tedy musí být energetická soustava připravena.

Produkují větrné elektrárny infrazvuk?

Realita je, že emise infrazvuku jsou u absolutní většiny větrných elektráren hluboce podlimitní, tedy výrazně nižší, než je práh vnímání a to i při poměrně krátké vzdálenosti od zdroje.

Mohou se vyskytnout pouze výjimečně a krátkodobě při nějaké mechanické poruše. Větrné elektrárny samozřejmě ale způsobují akustický hluk, a z důvodu dodržení hygienických limitů jsou proto stavěny ve vzdálenosti mnoha set metrů od lidských obydlí.

Jistý vážený kardiolog napsal, pověsil na internet a rozeslal na všemožné úřady článek, opatřen dokonce razítkem lékařské komory, v němž obšírně popisuje škodlivé účinky působení infrazvuku na lidský organismus. Vycházíme-li ze specializace autora článku lze předpokládat, že tuto problematiku má odborně zvládnutou a že tedy je na místě, aby se lidé infrazvuku obávali.

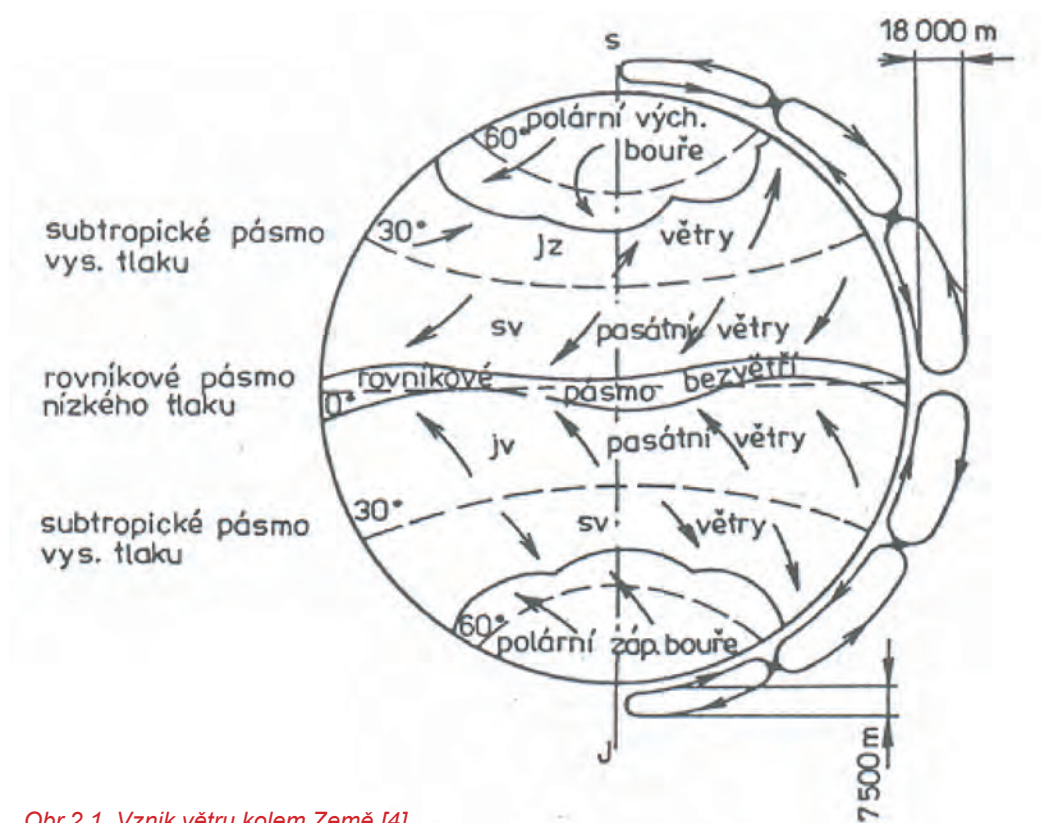
Jenomže pan doktor ve zmíněném článku taktéž prohlásil, že infrazvuk emitují větrné elektrárny *Ať již tato mystifikace byla úmyslná, či pramenila z jeho neznalosti, podařilo se mu takto oslovit a vyděsit neskutečný počet občanů.*

Realita je, že emise infrazvuku jsou u absolutní většiny větrných elektráren hluboce podlimitní, tedy výrazně nižší, než je práh vnímání a to i při poměrně krátké vzdálenosti od zdroje.

Mohou se vyskytnout pouze výjimečně a krátkodobě při nějaké mechanické poruše. Větrné elektrárny samozřejmě ale způsobují akustický hluk, a z důvodu dodržení hygienických limitů jsou proto stavěny ve vzdálenosti mnoha set metrů od lidských obydlí.

Jedná se proto o problém veskrze hypotetický. Díky výše zmíněné desinformaci ale stále znovu diskutovaný.

3. Energie větru



Obr.2.1. Vznik větru kolem Země [4]

Energie větru je přeměněná energie slunečního záření dopadajícího na Zemi. Nerovnoměrné ohřívání různých částí povrchu planety vede ke vzniku rozdílů atmosférického tlaku a ty jsou příčinou větru.

Teplý vzduch stoupá vzhůru a na jeho místo se tlačí vzduch studený. Jen necelá pětina procenta energie Zemí přijímaného slunečního záření se přeměňuje na kinetickou energii pohybujícího se vzduchu, tedy na energii větru.

Kinetická energie E volně pohybujícího se tělesa o hmotnosti m , která se pohybuje rychlostí v je přímo úměrná hmotnosti m a druhé mocnině rychlosti v .

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

Po hmotnost vzduchu platí vztah (2), kde ρ je hustota vzduchu, V je objem, A je plocha a s je dráha, kterou urazí pohybující se vzduch.

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s = \rho \cdot A \cdot v \cdot t \quad (2)$$

Dosadíme-li za hmotnost m ve vztahu (1) výraz z pravé strany rovnice (2), dostaneme vzorec pro stanovení energie větru vanoucího plochou A . Je-li A v m^2 , ρ v kg/m^3 a v v m/s dostaneme energii větru E v joulech [J].

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

Pro výkon větru P ve wattech [W] využijeme obecné známý vztah mezi P a E

$$P = \frac{E}{t} \quad (4)$$

úpravou dostaneme:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (5)$$

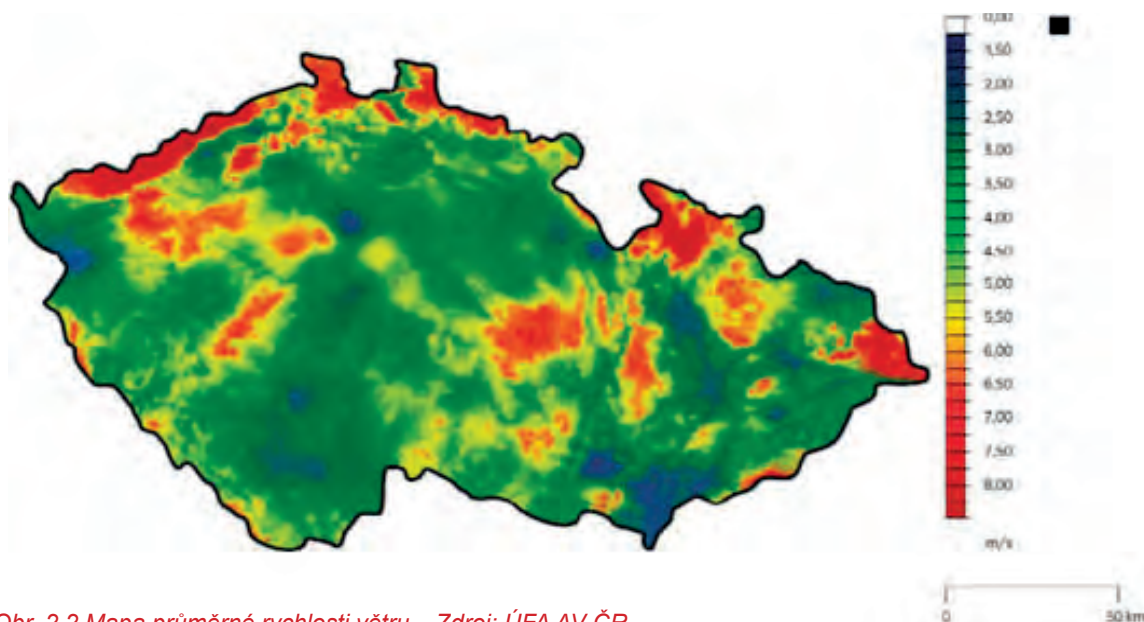
Vztah (3) nebo (5) vyjadřuje, že energie větru respektive výkon větru je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině jeho rychlosti. Energie větru tedy velmi citlivě reaguje na rychlost větru.

Malá změna rychlosti větru způsobí velikou změnu energie větru. To odůvodňuje potřebu velmi pečlivé volby umístění větrného motoru v krajině a také volby výšky pohonné jednotky větrného motoru nad zemským povrchem.

Vítr na území ČR

Ukázali jsme, že energie větru je funkce hustoty vzduchu a rychlosti větru. Při praktickém stanovení dlouhodobých charakteristik energie větru (např. jeho ročního průměru) si můžeme ulehčit práci tím, že místo skutečných hodnot, hustoty vzduchu pro rozsáhlý soubor měřících termínů použijeme průměrnou hodnotu hustoty vzduchu pro nadmořskou výšku dotyčného místa a rychlosti větru z větrné mapy.

Dle mapy obr. 2.2 jsou vidět dle červeného odstínu oblasti s nevyšší rychlostí větru. Čím je vybarvení na mapě více do červena, tím je rychlost větru vyšší. Větrnou situaci lze sledovat on-line na www.windfinder.com, www.meteopress.cz, www.chmi.cz



Obr. 2.2 Mapa průměrné rychlosti větru. Zdroj: ÚFA AV ČR

Hustota vzduchu ρ je přímo úměrná atmosférickému tlaku p a absolutní teplotě vzduchu T :

$$\rho = p/(rT) \quad (6)$$

Kde r je plynová konstanta, která má pro vzduch hodnotu 287,04 J/kg/K. Je-li ve vztahu (4) tlak p v pascálech (Pa) a teplota T v kelvinech (K), pak dostaneme hustotu ρ v kg/m³.

Například dosadíme-li do (6) 100 000 Pa, teplotu 283 K a výše uvedenou hodnotu plynové konstanty, dostaneme hodnotu $\rho = 1,231 \text{ kg/m}^3$. Tedy: při atmosférickém tlaku, jaký je normální v blízkosti hladiny moře a teplotě vzduchu blízké 10°C, má 1 m³ vzduchu hmotnost 1,231 kg.

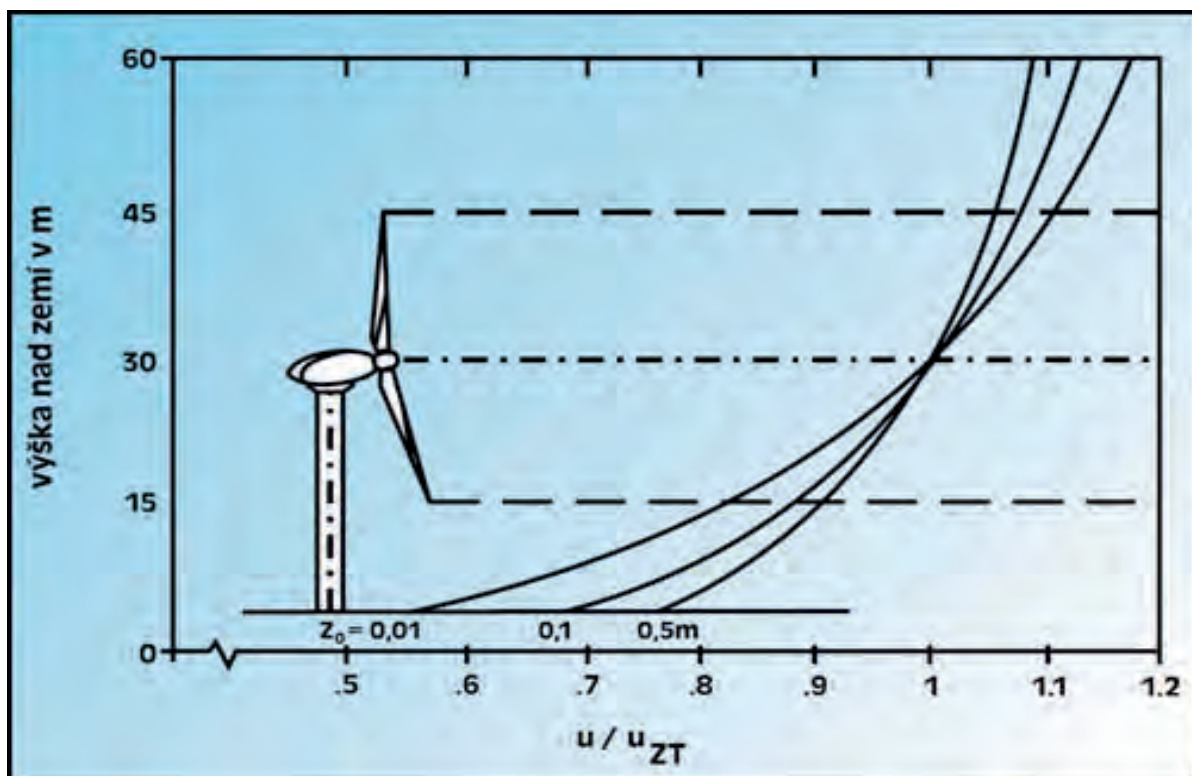
Hustota vzduchu však klesá se vzrůstající nadmořskou výškou (klesá atmosférický tlak) a v průběhu roku se mění v závislosti na ročním vývoji teploty a atmosférického tlaku.

Vertikální profil rychlosti větru

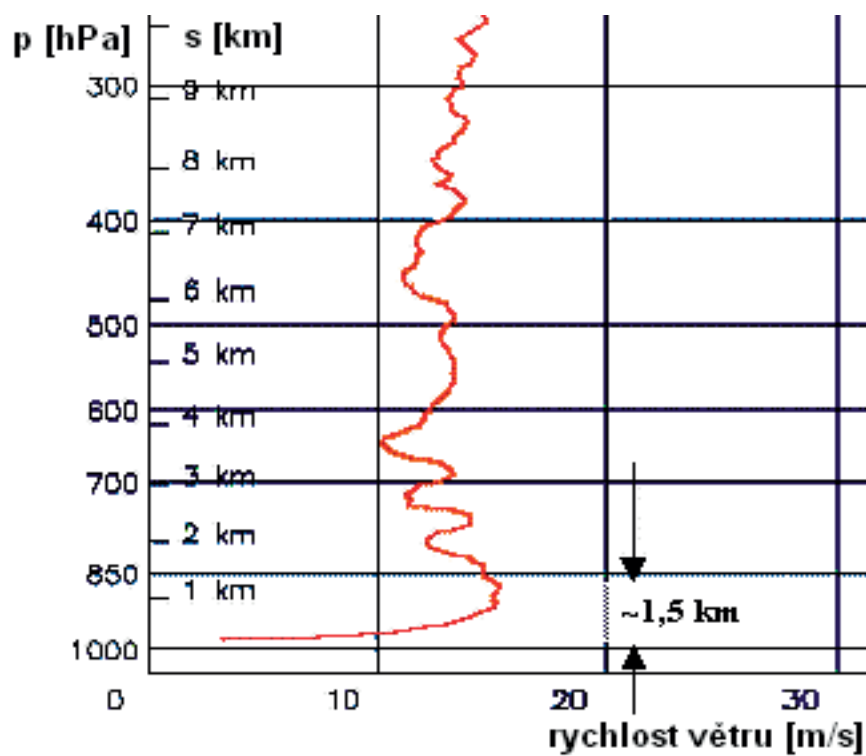
Rychlost a směr větru je v přízemní vrstvě ovlivněna členitostí a drsností zemského povrchu. Nejmenší drsnost má vodní hladina, větší je v případě luk a polí, největší drsnost odpovídá lesním porostům či městské zástavbě. S rostoucí drsností se obecně snižuje rychlost proudění v přízemní vrstvě.

Měření rychlostí a směru větru se provádí na stanicích ČHMÚ ve výšce 10m nad povrchem a vyhodnocuje se jako průměrná 15 minutová rychlost.

S vyšší výškou nad terénem rychlost větru zpravidla stoupá. To zobrazuje graf nazývaný vertikální profil větru obr. 2.3.



Obr. 2.3 Vertikální profily rychlosti větru. Zdroj: časopis Větrná energie



Obr. 2.4 Mapa průměrné rychlosti větru. Zdroj: časopis Větrná energie

Není to však pravidlo. Ukazuje se, že někdy s výškou průměrná rychlost větru může i klesat. (Na vrcholu hory nebo hřebene.) Proto je třeba provést konkrétní měření v různých výškách.

Nemůžeme-li ověřit vertikální profil větru empirickým měřením nebo pomocí modelů je lépe uvažovat nulový gradient rychlosti větru do výšky několika desítek metrů.

Závěr

Rychlost větru je naprosto zásadní parametr, neboť energie větru roste s třetí mocninou této rychlosti. Roční průměrná rychlost větru by měla být ve výšce 10m alespoň 4 – 5 m/s .

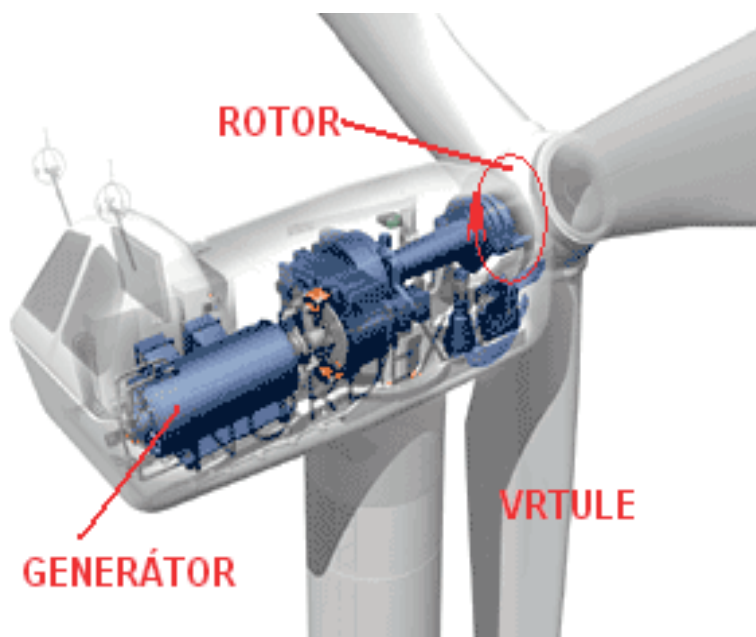
3.1 Přeměna energie větru

Princip fungování větrné elektrárny

Princip moderní větrné elektrárny spočívá v působení aerodynamických sil na listy rotoru, větrná turbína umístěná na stožáru převádí energii větru na rotační energii mechanickou.

Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie (na podobném principu turbogenerátoru pracuje jak klasické, tak vodní či jaderné elektrárny). Podél rotorových listů vznikají aerodynamické síly, listy proto musí mít speciálně tvarovaný profil, velmi podobný profilu křídla letadla.

Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny.



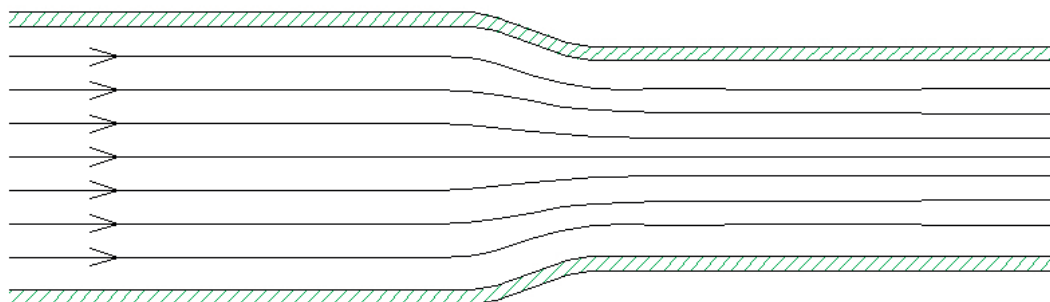
Obr. 2.5 Přeměna energie větru. Zdroj: <http://www.csve.cz>

Moderní VE o výkonu 2-3 MW dosahují dle typu jmenovitého výkonu při rychlosti větru od 10 do 16 m/s. Při 1MW výkonu vystačí na pokrytí energetické spotřeby cca 1000 domácností, při výkonu 3MW je počet domácností trojnásobný.

Spouštějí se při rychlosti větru 2-4 m/s a z bezpečnostních důvodů se vypínají při rychlosti větru 20 až 30 m/s.

Vznik vztahové síly

Abychom si mohli vysvětlit vznik vztahové síly, musíme si připomenout fyzikální podstatu proudění.



$$v_1 < v_2$$

$$p_1 > p_2$$

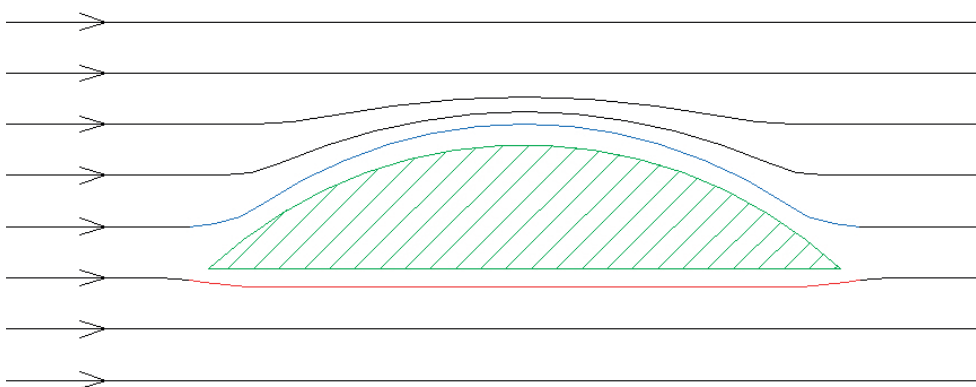
Obr. 2.6 Zúžená trubice. Zdroj:<http://www.csve.cz>

Mějme trubici se zúžením obr.2.6, ve které proudí plyn. V užším místě trubice je větší rychlost proudění a menší tlak, než v širším místě trubice.

Neboli: kde je větší rychlost proudění, tam je nižší tlak. Tuto větu si zapamatujeme, ještě se k ní vrátíme. Na tomto principu například pracuje fixírka.

U aerodynamického profilu obr. 2.7 to funguje následovně:

Umístíme do proudu vzduchu těleso např. ve tvaru kruhové výseče. A zkoumejme proudění v okolí tělesa.



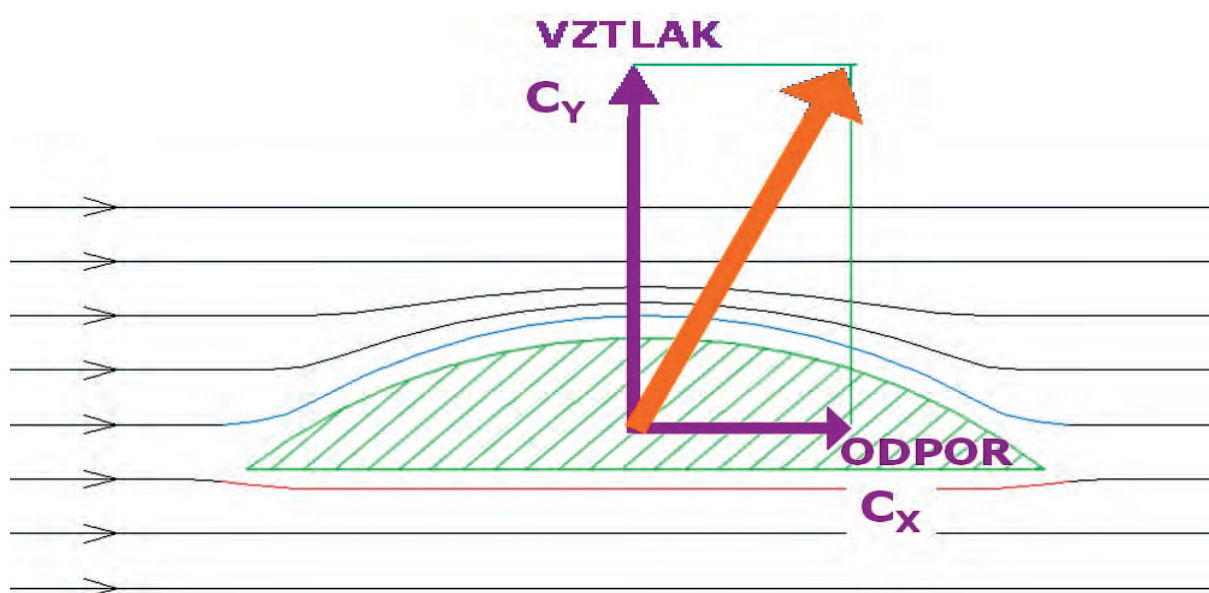
Obr. 2.7 Aerodynamický profil. Zdroj:<http://www.csve.cz>

Porovnejme nyní červenou proudnici (pod tělesem) a modrou proudnici nad tělesem. Červená proudnice je kratší, než modrá.

Proud vzduchu se ve stejný okamžik před tělesem rozděluje a za stejný časový úsek se za tělesem spojuje. Při rozdílné délce proudnice je tedy potom nasnadě, že rychlost v proudění nad profilem (modrá proudnice), musí být větší, než u červené proudnice pod profilem.

Řekli jsme si, že kde je vyšší rychlost proudění, tak tam je i nižší tlak. Z toho důvodu se nám vytváří pod a nad tělesem oblasti s rozdílným tlakem.

Nad profilem je tlak nižší, vzniká podtlak, pod profilem pak přetlak. Výslednicí těchto dvou tlakových polí je pak jedna síla, která se nazývá vztlaková síla C_y , která má svou velikost a přesnou orientaci viz obr.2.8.

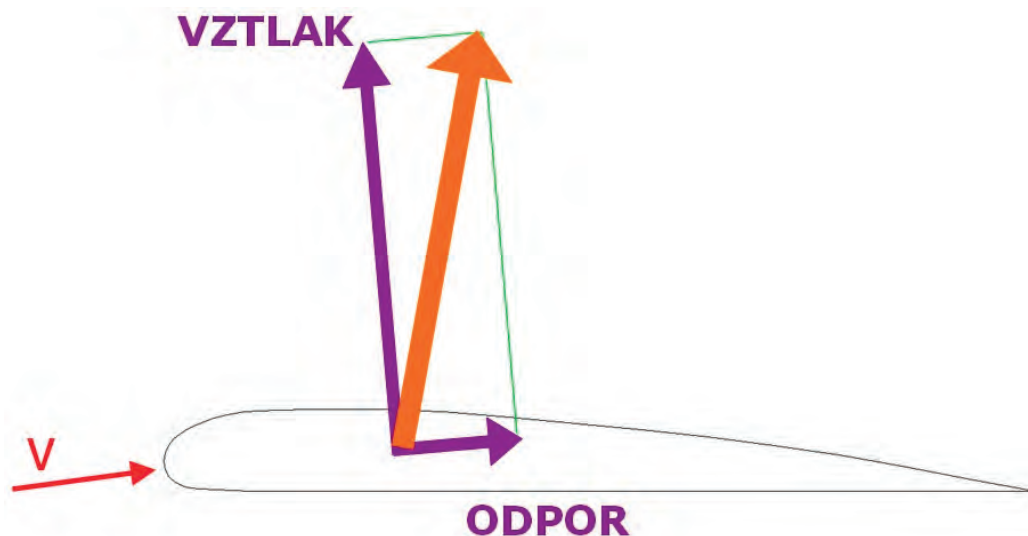


Obr. 2.8 Vztlaková síla. Zdroj: <http://www.csve.cz>

Samozřejmě, že na profilu, který je umístěn v proudu vzduchu, vzniká i odporová síla C_x , ale poměrově vůči vztlaku se jedná o menší sílu.

Výslednicí těchto dvou sil je pak jedna, která se nazývá výslednice sil.

Skutečný aerodynamický profil listu může mít třeba tvar jako na obr. 2.9. Vztlaková síla, která vzniká na profilu, je vždy kolmá k nabíhajícímu proudu vzduchu.

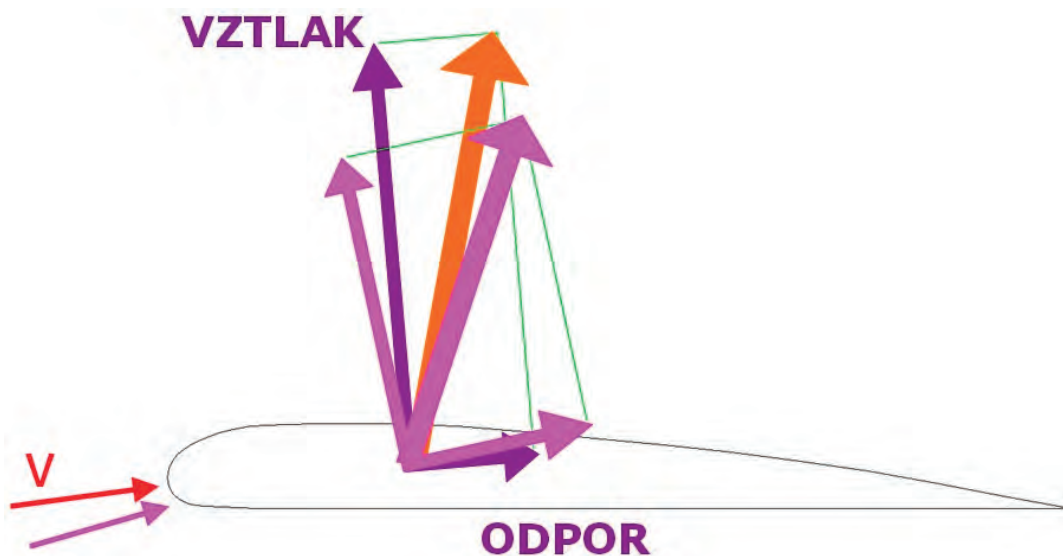


Obr. 2.9 Skutečný aerodyn. profil Zdroj: <http://www.csve.cz>

Aerodynamický profil je citlivý na to, pod jakým úhlem je ofukován. Se změnou úhlu nabíhajícího proudu vzduchu se mění i velikost vztlaku a odporu.

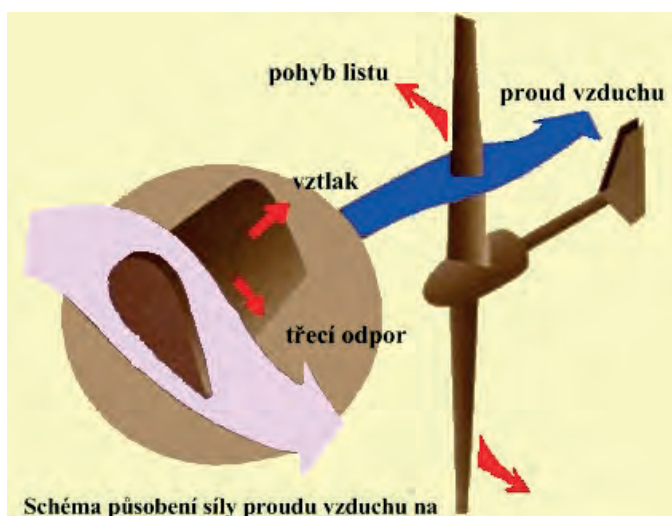
Vztlaková síla dosáhne svého maxima pouze tehdy, když je profil ofukován pod jedním konkrétním úhlem náběhu. Každý profil má tento úhel jiný.

Pokud se jen trochu změní úhel nabíhajícího proudu vzduchu (světle fialová), mění se směr působení vztlaku (vztlak je vždy kolmý na nabíhající proud vzduchu), jeho velikost a také směr a velikost odporu. Výsledná síla má pak při stejném působišti jiný směr a velikost.



Obr. 2.10 Zdroj: <http://www.csve.cz>

Takto celkem jednoduše pojatá vztlaková síla roztáčí rotor s vrtulí. Energie větru se mění v rotační mechanický pohyb a mechanickou energii.



Obr. 2.11 Zdroj: www.factinfo.cz

Dozvěděli jsme se o vzniku vztlakové síly za pomoci termínů, které jsou srozumitelné pro širokou veřejnost. Je to ale vyjádření, které je zjednodušené.

Při hlubším zkoumání takto podaná teorie vztlaku dostává své trhliny. Vysvětlit a popsat složitější teorie zde není reálné a ani to není cílem.

Kdo chce hlouběji proniknout, může prozkoumat Žukovského věty o vztlaku (vztlak je úměrný cirkulaci), Kuttažukovského transformace či Navier-Stokesových rovnice proudění a musí zapátrat ve vysokoškolské literatuře oborů aerodynamika či hydromechanika.

3.2 Typologie větrných elektráren

Rozdělení běžných větrných elektráren dle velikosti

Mikroelektrárny - dosahují výkonů 10 W až několik jednotek kW a mají pevnou instalaci. Na svém výstupu dávají napětí 12 V nebo 24 V

Malé elektrárny - Pro napájení větších zařízení nebo stavení obvykle nedodávají energii do sítě výkon do cca 60 kW se střídavým napětím 230 V (případně 400 V).

Střední elektrárny - Pro napájení vesnic a malých měst dodávají do sítě výkon 60 kW až 750kW.

Velké větrné elektrárny - Poskytují již výkony 750 kW až 6400 kW pro energetické soustavy s vysokým napětím.

Rozdělení větrných elektráren podle aerodynamického principu

Vztlakové - s vodorovnou osou rotace

vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. americký větrný motor).

Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři listy, byly však vyvinuty i typy s jediným nebo se dvěma listy. Podle směru větru je dále dělíme na **závětrné** VtE a **návětrné** VtE.

- Počet listů rotoru: 1 - 4
- Účinnost: ~45 % (max. se uvádí 48 %)
- Náběhová rychlost (m/s): 3 - 6

Vztlakové se svislou osou rotace

například s rotorem Darrieus. Výhodou těchto elektráren je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti, není je třeba natáčet do směru převládajícího větru.

- Počet listů rotoru: 2 - 3
- Účinnost: 38 % (max. se uvádí 48 %)
- Náběhová rychlost (m/s): 5 - 8

Odporové

pracují se svislou osou otáčení, některé pracují na odporovém principu (typ Savonius, jako misky anemometru).

- Počet listů rotoru: 2
- Účinnost: ~20 (max. se uvádí 23 %)
- Náběhová rychlost (m/s): 2 - 3

Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, tj. i menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají.

Darrieova turbína

je větrná turbína (obr. 2.12 – 2.13), pracující na vztlakovém principu. Na rozdíl od běžných větrných turbín je osa otáčení kolmá na směr větru, je obvykle stavěna vertikálně. Díky tomu nezávisí práce stroje na směru větru.

Turbínu vynalezl francouzský inženýr Georges Jean Marie Darrieus v roce 1931 (patentováno 8.12.1931).

V původní verzi vyžadovala počáteční roztočení (sama se nebyla schopna z klidu roztočit), později byla vybavena i zařízením pro samostatný start a regulaci. Účinnost se běžně uvádí v rozsahu 35 - 38%, tedy o něco vyšší než například Savoniova turbína.



Obr. 2.12 Darrieova turbína. Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/>



Obr. 2.13 Darrieova turbína. Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/>

Výhody konstrukce:

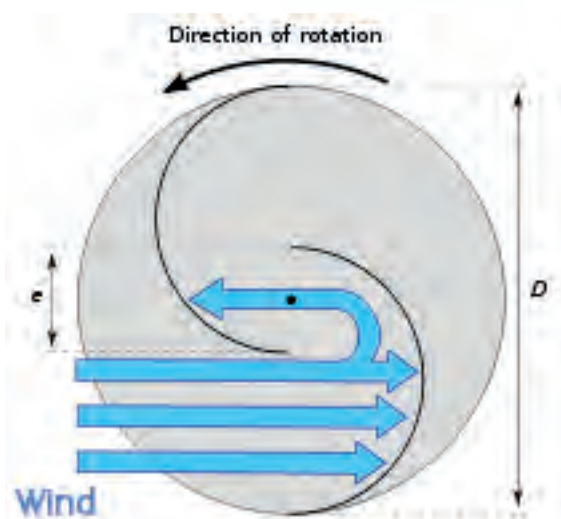
- není nutno jej natáčet proti větru
- generátor a ostatní součásti se dají uložit pod stožár
- nižší nároky na stožár (váha, vyvážení)

Nevýhody konstrukce:

- problémovější regulovatelnost
- v původní konstrukci vyžadovala vyšší rychlost větru pro start turbíny, je možno ji roztáčet turbínou, která pracuje již od nižších rychlostí větru - např. Savoniovou turbínou.

Typické využití: výroba elektrické energie (střídavý a třífázový proud)

Poznámka: vyžaduje pomoc při náběhu



Obr. 2.14a Savoniová turbína Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/>

Savoniová turbína

je typ vodní i větrné turbíny pracující na odporovém principu. Turbína využívá rozdílného koeficientu odporu proudícího média, působícího na vydutou a vypuklou plochu.

Rotor běžné Savoniovy (obr. 2.14) turbíny je tvořen dvojicí či trojicí lopatek polokruhovitěho nebo ledvinovitěho tvaru. Vnitřní okraje lopatek zasahují až za střed rotoru, a tak umožňují průtok média mezi jejich zadními stranami. Osa otáčení je kolmá na směr proudění.

Savoniová turbína má malou účinnost (ve vodním provedení pouze 15–20%). Je však poměrně jednoduchá na výrobu a proto se zvláště její větrná varianta občas používá. Pokud je větrná Savoniová turbína postavena se svislou osou, pracuje nezávisle na směru větru.

Nevýhodou dvoulopatkové Savoniovy turbíny je existence mrtvého úhlu. To se dá vyřešit spojením několika rotorů s různě natočenými lopatkami, nebo šroubovitým tvarem lopatek.

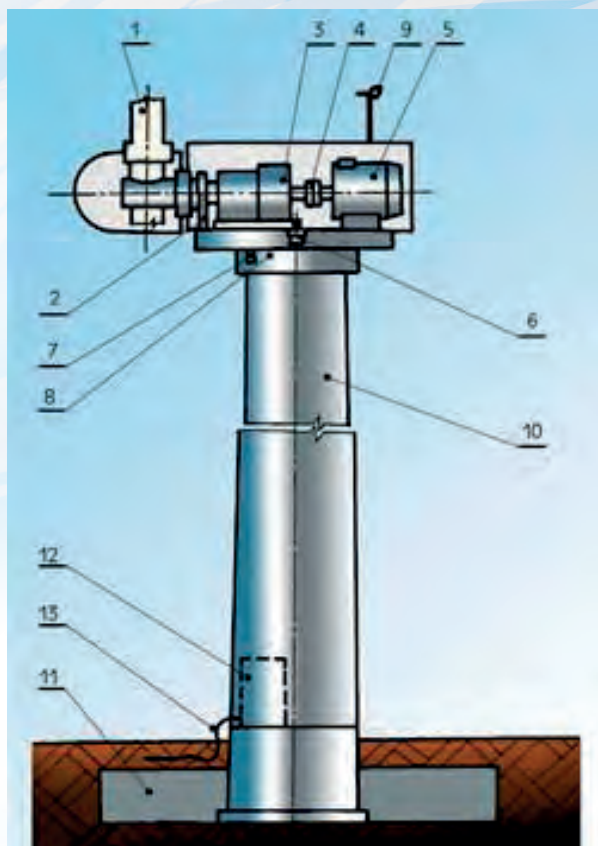
Typické využití: čerpání vody, výroba stejnosměrné elektrické energie

Poznámka: obvodová rychlost rotoru je vyšší než rychlost větru, často používán pro náběh Darrierova rotoru



Obr. 2.14b Savoniova turbína. Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/> 2.3 Struktura moderní vrtulové větrné elektrárny

3.3 Struktura moderní vrtulové větrné elektrárny



obr. 2.15 Struktura VE. Zdroj:EkoWATT

Struktura střední a velké vztlakové větrné elektrárny je velmi podobná a skládá se z níže uvedených částí (obr. 2.15).

Rozdíl je často jen ve velikosti a dimenzování mechanických částí a pak v provedení gondoly/strojovny a samotné věže. Velké elektrárny mají dutý tubus věže se schody či výtahem a velkou strojovnu.

Popis částí velké větrné elektrárny:

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

Elektrické generátory

Stejnoseměrné – jsou vhodné pro mikroelektrárny, které produkují stejnosměrné napětí 12V nebo 24V. Pro střídavou dodávku elektrického proudu je třeba ještě použít střídač napětí DC-AC.



Obr. 2.16 Synchronní generátor VE 2MW/6,3 kV. Zdroj: <http://www.csve.cz>

Asynchronní – produkují střídavý proud a napětí. Generátory se otáčejí asynchronními otáčkami (jsou menší než synchronní o tzv. skluz), takže jsou připojitelné přímo k síti. Nevyžadují složitý připojovací systém - pouze se sledují otáčky a rozdíl okamžitých hodnot napětí sítě a generátoru pro správný okamžik připojení k síti – „přifázování“ k síti. Používají 4-pólové generátory, které mají ve spojení se sítí o kmitočtu 50Hz synchronní otáčky 1500ot/min nebo 6-pólové, které mají synchronní otáčky 1000ot/min.

Synchronní – jsou vhodné pro malé, střední i velké větrné elektrárny - mají velkou účinnost. Vyžadují neustále konstantní synchronní otáčky (shodné s rychlostí otáčení elektromagnetického pole sítě). Jsou to mnohopólové generátory, schopné pracovat i bez převodovky. Pracují s velkým rozsahem rychlosti větru. Viz obr. 2.16.

3.4 Účinnost VtE

Proudící vzduch (obr. 2.17) předává lopatkám větrné elektrárny část své kinetické energie. Kinetická energie větru se v turbíně mění na energii otáčivého pohybu a následně v generátoru na energii elektrickou.

Albert Betz v roce 1919 zjistil, že na rotoru VtE nelze z proudícího vzduchu získat veškerou energii. Odvodil teoreticky maximální dosažitelnou účinnost větrného stroje. Je to tzv. Betzovo pravidlo. V ideálním případě je to 59,3%. Tento číselný údaj se ve výpočtech popisuje názvem součinitel výkonnosti.

Součinitel výkonnosti je sám o sobě funkcí rychlosti větru a je dán konstrukčním řešením turbíny, konkrétně převodní křivkou úhlu natočení lopatek turbíny v závislosti na rychlosti větru. To, v kombinaci s kubickou závislostí na rychlosti větru, jak jsme popsali v kapitole 2. Energie větru - vztah (5), způsobuje pronikavou závislost skutečného výkonu na rychlosti větru (při poloviční rychlosti je výkon osminový atd.).

Další podstatnou hodnotou, definující účinnost větrného zdroje je koeficient ročního využití jinak kapacitní faktor k_r , definovaný jako poměr skutečně odvedeného výkonu k teoreticky možnému výkonu zdroje za rok. Je jedním z ukazatelů efektivity energetického zdroje.

Počítá se jako porovnání skutečného množství vyrobené energie s teoretický maximálním množstvím, vyrobeným při celoročním provozu se jmenovitým výkonem. U špičkových elektráren tedy jeho hodnota není příliš vypovídající.

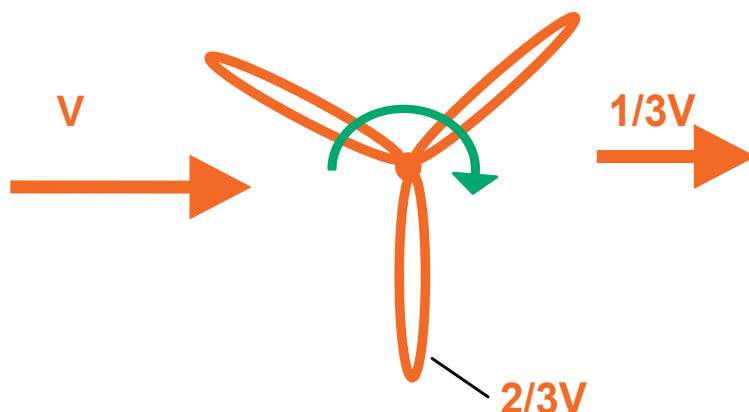
Vypočte se podle vzorce:

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} \quad (6)$$

kde:

- W_r vyjadřuje roční množství vyrobené energie (kWh/rok)
- P_i je instalovaný výkon (kW)
- h je počet hodin, které má rok (8760 kalendářní rok, 8784 přestupný rok)

V českých podmínkách se k_r pohybuje v mezích 0,1-0,2, pro velmi větrné lokality dosahuje teoreticky až 0,28. Statisticky podle dat ČSÚ za rok 2007 uvádí u větrných elektráren v ČR pouze 12,71 % (za rok 2005 to bylo pouze 11 %).

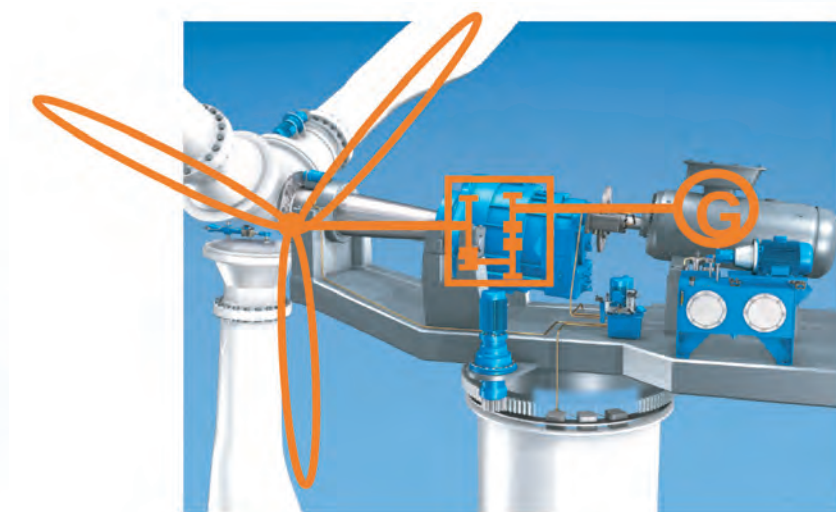


Obr. 2.17 Proudící vzduch předá max.2/3 energie vrtuli. Zdroj:<http://www.csve.cz>

Rotory, převodovky a generátory však vykazují další energetické ztráty energie, které celkovou účinnost VtE dále snižují (obr. 2.18).

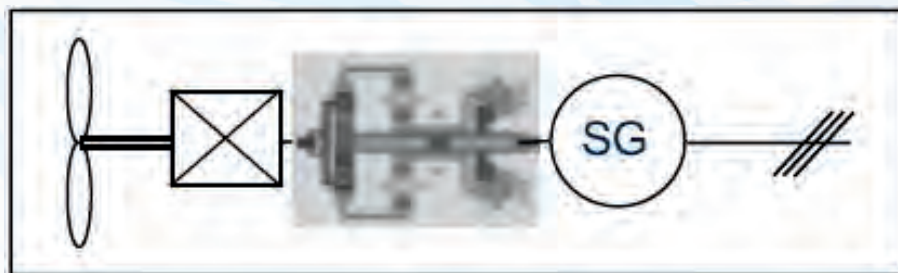
$$C_P = \eta_R \cdot \eta_P \cdot \eta_G \quad (7)$$

C_P	...	účinnost soustrojí VtE	[-]
η_R	...	účinnost rotoru	[-]
η_G	...	účinnost generátoru	[-]
η_P	...	účinnost převodovky	[-]



Obr. 2.18 Účinnost soustrojí. Zdroj: <http://www.csve.cz>

$$C_P = 0,45 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,42$$



Moderní zařízení proto dosahují hodnot C_P v rozsahu 0,4 - 0,5. Je to tedy 70 až 80 % z teoreticky možných 59,3 % využitelnosti energie větru.

3.5 Dosažitelný výkon VtE

Výkon VtE je závislý na:

- výkonu větru tak, jak bylo uvedeno v kapitole Energie větru vztah (5), tudíž na třetí mocnině rychlosti proudění větru hustotě vzduchu
- dále na konstrukčních rozměrech VtE tj. na velikosti průměru rotoru (ploše rotoru)
- na celkové účinnosti soustrojí VtE

Lze jej vypočítat dle vzorce:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S \quad (8)$$

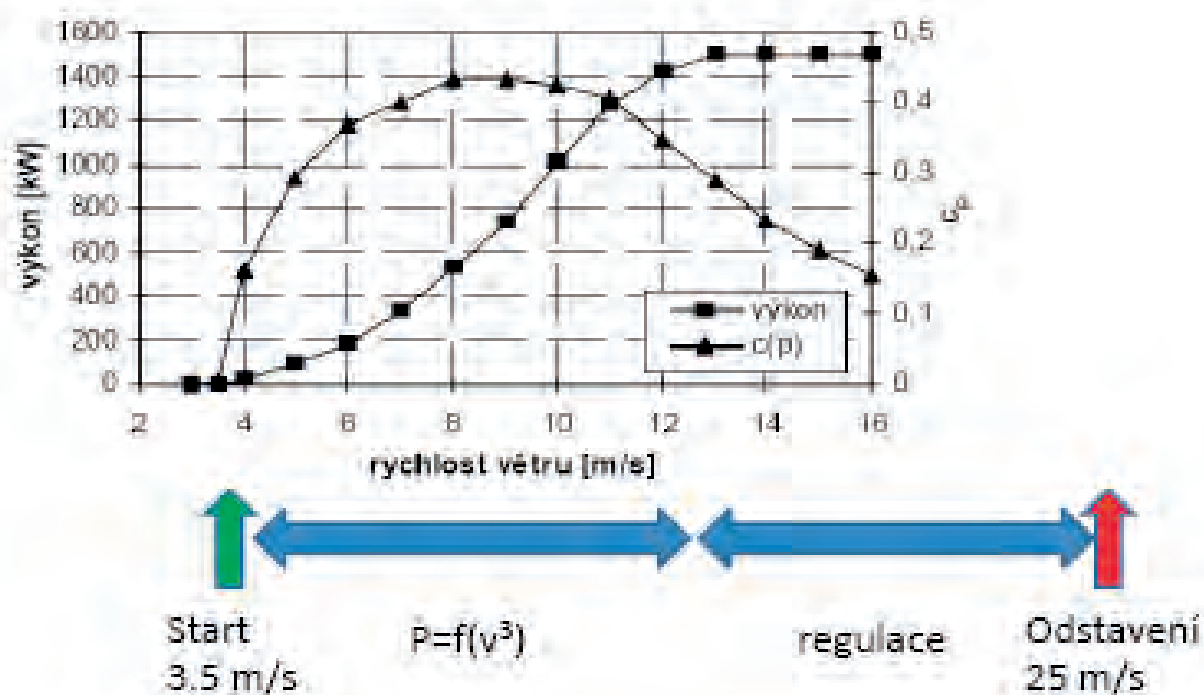
kde:

P	...	výkon VtE	[W]
ρ	...	hustota vzduch	[kg/m ³]
v	...	rychlost proudění vzduchu	[m/s]
c_p	...	účinnost stroje	[-]
S	...	plocha rotoru	[m ²]
D	...	průměr rotoru	[m]
k_r	...	kapacitní faktor	[-]

Pokud bychom dále pracovali s tímto vzorcem a dosadili za plochu rotoru S, tak dojdeme k závěru, že výkon VtE je závislý na druhé mocnině průměru rotoru.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot \pi \frac{D^2}{4} \quad (9)$$

Závislost výkonu a účinnosti VtE na rychlosti větru udává tzv. Výkonová křivka na obr. 2.19. Zde jsou znázorněny i hodnoty rychlosti větru, při kterých začíná start VtE, kdy se začíná regulovat výkon a kdy již dochází k odstavení VtE



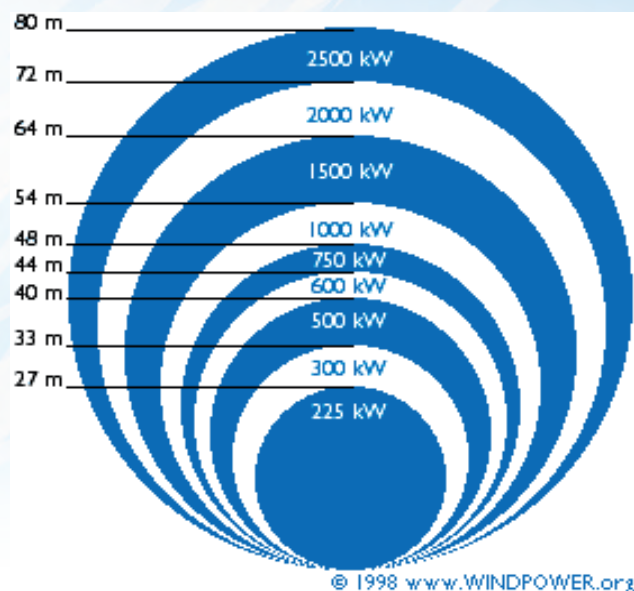
Obr. 2.19 Výkonová křivka VtE. Zdroj:<http://www.csve.cz>

Větší vypovídající hodnotu než výpočtový vzorec má obr. 2.20, kde je jmenovitému výkonu VtE přiřazena průměrná velikost rotoru.

Píšeme průměrná, protože různé typy VtE (dle výrobce) mají různou účinnost a z daného průměru rotoru jsou schopny vytěžit různě vysoké výkony.

Větší vypovídající hodnotu než výpočtový vzorec má obr. 2.20, kde je jmenovitému výkonu VtE přiřazena průměrná velikost rotoru.

Píšeme průměrná, protože různé typy VtE (dle výrobce) mají různou účinnost a z daného průměru rotoru jsou schopny vytěžit různě vysoké výkony.



Obr. 2.20 Závislost jmenovitého výkonu VtE na průměru rotoru. Zdroj: <http://www.csve.cz>

Odhad roční výroby elektrické energie:

$$E_{teor} = 365.24 \cdot P \quad (10)$$

teoreticky možná výroba elektrické energie za rok [kWh]

$$E_{rok} = E_{teor} \cdot k_r \quad (11)$$

předpokládaná výroba elektrické energie v dané lokalitě za rok [kWh]

$k_r = 0,1 - 0,35$ - **kapacitní faktor** - je vyjádření roční účinnosti VtE v konkrétní lokalitě (dle větrnosti se tento faktor různí lokalitu od lokality), neboli kolik je VtE schopna skutečně vyrobit z teoretického předpokladu roční výroby elektrické energie. Viz kapitola 2.4 Účinnost VtE.

Přepočet vyrobené 1kWh na spálené uhlí a vyprodukované CO₂

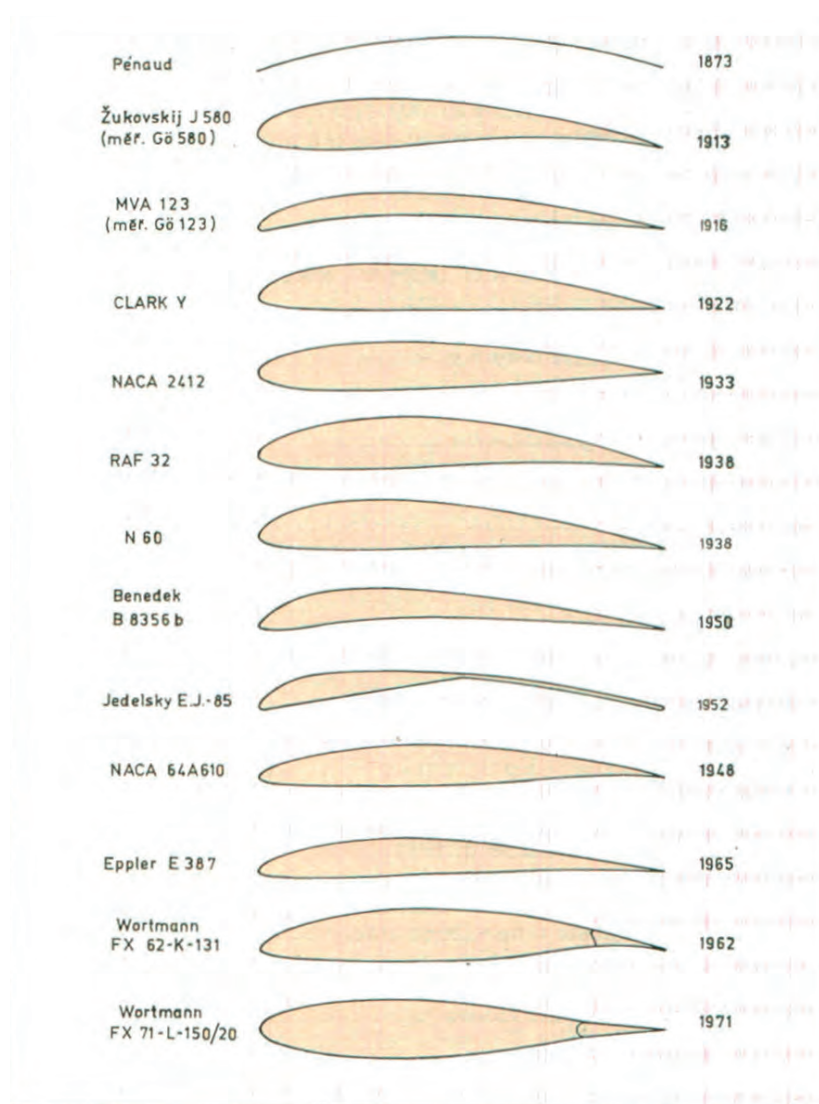
1kWh vyrobená v uhelné elektrárně = 1 kg spáleného uhlí
= 1,25 kg vypuštěného CO₂

3.6 Další části vrtulové VtE

Vrtule, rotorový list

V kapitole Vznik vztlakové síly jsme si vysvětlili základy k pochopení principu roztáčení vrtule větrné elektrárny. Nyní se zaměříme na konkrétní tvary vrtulí a profily vrtulového listu. Vlastní aerodynamický profil rotorového listu je vždy velmi utajovanou věcí každého výrobce větrných elektráren.

Aerodynamická profiláž listů totiž významně ovlivňuje výkon větrné elektrárny a také hlukové emise, které větrná elektrárna vydává. Zde tedy pouze můžeme ukázat obrázek s aerodynamickými profily, jak se vyvíjely v průběhu času:



STRUČNÝ PŘEHLED VÝVOJE PROFILŮ DO ROKU 1971

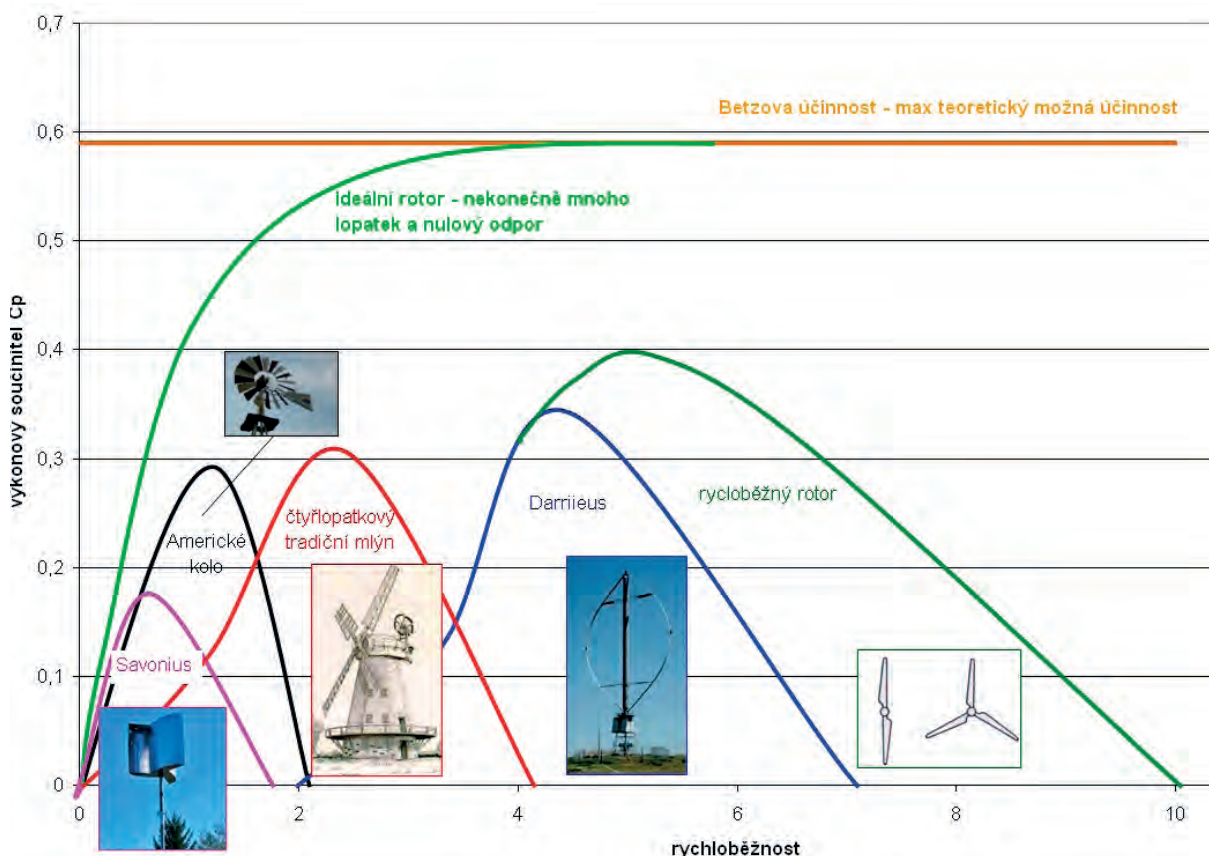
Obr. 2.21 Zdroj: <http://www.csve.cz>

Velikost rotorového listu, tedy jeho délka, je dána optimalizací. Na začátku je zadání, kde je řečeno, jaký výkon má mít větrná elektrárna.

Samozřejmě, že podstatnou roli ve výpočtu hraje účinnost jednotlivých komponent stroje (rotor, převodovka, generátor), ale to je již o postupné optimalizaci stroje. Počet listů rotoru je ovlivněn koeficientem rychloběžnosti rotoru λ .

Jako příklad lze uvést rotor 2MW větrné elektrárny, která má rotor o $\varnothing$ 90m a pracovní otáčky 15 ot/min při rychlosti větru 13m/s.

Z níže uvedených grafů (obr. 2.21) vyplývá, že čím menší je koeficient rychloběžnosti λ , tím procentuálně větší plocha kruhu rotoru musí být pokryta rotorovými listy. Přitom je principiálně lhostejné, na kolik listů je daná plocha rozdělena.



Obr. 2.22 Rozdělení rotorů větrných elektráren dle rychloběžnosti rotorů

Zdroj: <http://www.csve.cz>

Dvoulistá vrtule dosahuje větší rychloběžnosti, třílistá vrtule je naopak výhodnější vzhledem k menšímu namáhání od gyroskopických momentů, lepšímu vyvážení a menšímu namáhání celého rotoru od dynamických sil vlivem rozdílné rychlosti větru na ploše rotoru a to zejména u velkých větrných rotorů.

Nerovnoměrná rychlost větru je způsobena různou výškou nad zemským povrchem a turbulencí vzdušného proudu. S ohledem na uvedené přednosti jsou dnes rychloběžné třílisté rotory nejobvyklejší.

Konstrukce rotorového listu

Rotorový list je kompozitová skořepina, která je uvnitř vyztužena nosníkem. Ten přenáší hlavní zatížení. Tato skořepina obr. (obr. 2.23) je laminována z mnoha vrstev skelné tkaniny.

Mezi tkaniny se někdy vkládá ještě výplňový materiál – tvrzená pěna, která zvyšuje plošnou tuhost. Na nosník listu je občas použito kromě skelné tkaniny také kevlaru či uhlíku (ve formě tkaniny či rowingů).



Obr. 2.23 Řez rotorovým listem větrné elektrárny. Mezi vrstvy skelné tkaniny je vložena tvrzená pěna.

Zdroj: <http://www.csve.cz>.

Návrh vnitřní konstrukce listu, tedy vrstvení různých druhů tkanin s různou orientací vláken a tvrzených pěn, nemůže být pouze citovou záležitostí konstruktéra, ale vše podléhá pevnostním výpočtům. Tyto výpočty jsou velmi složité, protože každá vrstva v kompozitové konstrukci má různou pevnost a různou směrovou orientaci této pevnosti.

Výroba rotorového listu větrné elektrárny

Listy rotoru jsou vyrobeny z kompozitních materiálů metodou laminování, což je postup, kdy prosycováním tkaniny pojivem vzniká kompozitní díl. Tkaninou je zpravidla skelná tkanina a pojivem epoxidová pryskyřice. Pryskyřice se před zpracováním musí smíchat s tvrdidlem. Po vytvrzení pojiva vznikne díl, kombinující vlastnosti obou materiálů - kompozit.

V dnešní době se již používá pouze metoda laminování do negativní formy. Forma (obr. 2.24) je vytvořena jako negativ tvaru, který chceme na konci dosáhnout. Výroba formy je finančně velmi náročná. Kvůli velikosti listu se formy nyní vyrábí z dílů o šířce přibližně 1,5m. Z bloku materiálu (umělé dřevo, hliník...) se pomocí CNC frézky vyfrézuje přesný tvar.

Bloky se k sobě spojí a vsadí do ocelového rámu, který dodá celé formě tuhost a s formou se pak může i manipulovat. Povrch celé formy se pak ještě brousí a leští. Okraje formy a rámu jsou uzpůsobeny tak, aby formy horní a spodní poloviny listu šly sesadit a slepit poloviny listu k sobě.

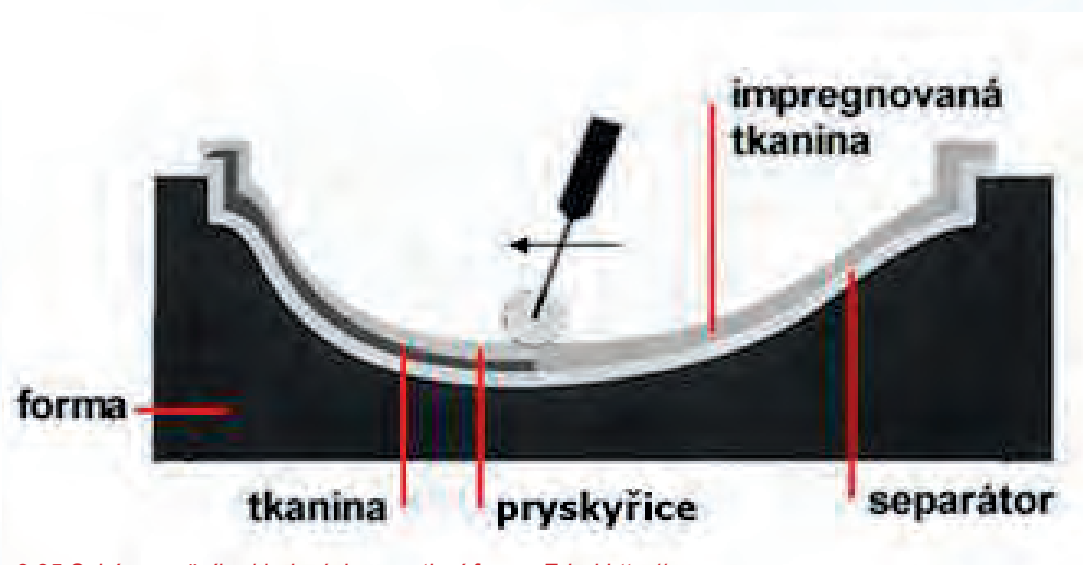


Obr. 2.24 Negativní forma pro laminování rotorového listu. Na fotografii je vidět včetně nosného rámu a technologii pro vakuování. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

Vlastní výroba listu (obr. 2.25 a 2.27) spočívá v kladení tkanin do předem naseparované formy a následném impregnování laminační pryskyřicí pomocí válečku nebo štětce. Důležité je dodávat pouze nezbytně nutné množství pryskyřice. Větší množství pryskyřice zhoršuje mechanické vlastnosti výsledného dílu.

V praxi se to řeší tak, že pracovník dostane přesně odvážené množství pryskyřice a má přesně definovanou oblast, na jakou má pryskyřici rovnoměrně nanést. Vrstvení laminátu je pak již know how každé firmy: kolik použije vrstev, jestli skelné, uhlíkové či kevlarové tkaniny, s jakou orientací vlákna a jak to bude proloženo tvrzenou pěnou. Objemový podíl vláken se pohybuje maximálně kolem 50 %.

Takto se vylaminuje forma horní i spodní poloviny listu, čímž jsou připraveny dvě poloviny listu.



Obr. 2.25 Schéma ručního kladení do negativní formy. Zdroj:<http://www.csve.cz>.



Obr. 2.26 Výroba rotorového listu ve firmě Enercon. Je pěkně vidět, jak musí být tkanina rozdělena na mnoho dílů, aby se mohla vložit do tvarově náročné formy. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

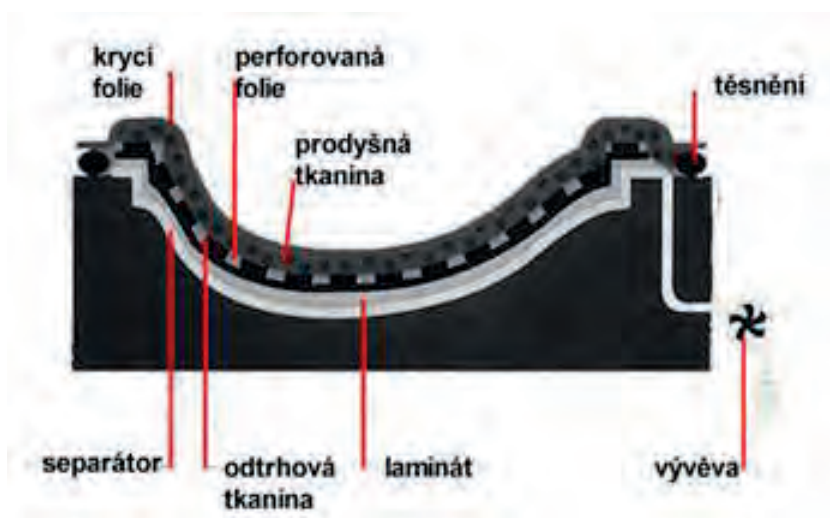


Obr. 2.27 Pohled do haly laminování rotorových listů. Uprostřed je vidět forma s vylaminovanou polovinou listu. Po stranách pak již slepené listy ze dvou polovin. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

Někdy se používá vylepšená technologie. Podobně jako u předchozího způsobu se kladou jednotlivé vrstvy tkaniny do naseparované formy, na poslední vrstvu je přidána ještě odtrhová tkanina, která slouží také k přípravě povrchu pro další lepení konstrukce a po vytvrzení se odstraní.

Na odtrhovou tkaninu je umístěna perforovaná folie pro vsáknutí přebytečné pryskyřice, prodyšná tkanina pro snazší odsátí vzduchu ze všech ploch formy a nakonec krycí fólie, která je dokonale po obvodu formy utěsněna. Poté je vývěvou odsát vzduch.

Zvýšením tlaku a odstraněním přebytečné pryskyřice mají jednotlivé díly lepší a rovnoměrné výsledné mechanické vlastnosti a menší obsah dutin. Tato technologie z obr. 2.28 se často používá u sendvičových konstrukcí, tedy když je jako jedna z vrstev použita tvrzená pěna.



Obr. 2.28 Schéma kladení vrstev do negativní formy pro pozdější vakuování. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

Zvlášť se pak ještě připraví hlavní nosník listu. Ten se vyrábí tak, že jádro z tvrzené pěny je olaminováno kombinací skelné, uhlíkové či kevlarové tkaniny.

Potom se přistoupí ke kompletaci listu. Do spodní poloviny listu se nanese pás epoxidové pryskyřice, do které se usadí nosník.

Hustá pryskyřice, tak aby nestekla, se ještě nanese na horní plochu nosníku a do míst, kde se budou stýkat okraje horní a spodní poloviny listu. Následně se přiklopí forma s horní polovinou listu na spodní (obr. 2.29). Celé se to pak nechá vyzrát.



Obr. 2.29 Přiklopení horní formy horní poloviny listu na spodní. Zdroj: <http://www.csve.cz>



Obr. 2.30 Pohled do formy, kde jsou k sobě již slepeny poloviny listu. Je zde pěkně vidět, že se jedná o sendvičovou konstrukci listu. Hnědá pole jsou jednotlivé kousky tvrzené pěny. Zdroj: <http://www.csve.cz>.



*Obr. 2.31 Manipulace s rozměrnými rotorovými listy je velmi specifická.
Zdroj: <http://www.csve.cz>.*



*Obr. 2.32 Rotorový list se musí ještě povrchově upravit, např. robotickou linkou.
Zdroj: <http://www.csve.cz>.*



*Obr.2.33 Uchycení listu
Zdroj:<http://www.csve.cz> vzdělání*

Systém uchycení listů k rotorové hlavě větrné elektrárny tvoří 54 ks pevnostních šroubů. Pevnostní šrouby jsou zalaminovány přímo do stěny rotorového listu (viz obr. 2.33).

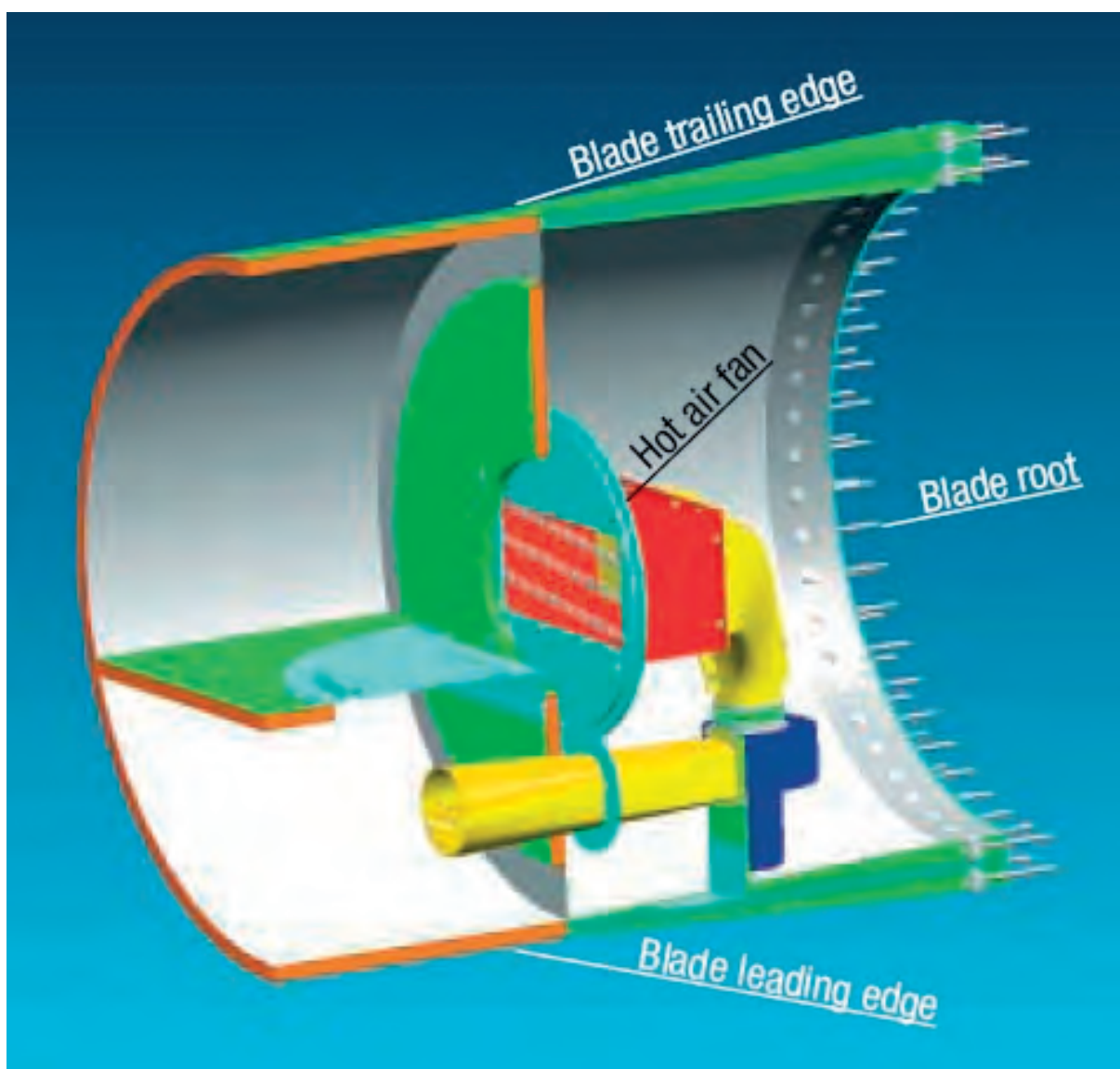
Vyhřívání rotorových listů větrné elektrárny

Pokud je teplota vzduchu pod bodem mrazu a je vysoká vzdušná vlhkost, vytváří se námraza. Tato námraza ulpívá na větrné elektrárně. Nejproblematictější může být, když se led vytváří na hranách, přesněji řečeno na náběžné hraně rotorových listů. V takových dnech se větrná elektrárna nechává odstavena, aby nemohla potenciálně ohrozit své okolí.

Většinou takové námrazové počasí bývá jen pár dní v roce. Jako příklad lze uvést lokalitu větrných elektráren umístěných 30km jižně od Jihlavy, tedy v kraji Vysočina, kde zima bývá opravdu tuhá. Přesto zde v roce 2008 byly větrné elektrárny odstaveny z důvodu námrazy pouze 3 dny.

Pokud je větrná elektrárna umístěna v oblastech, kde v zimě dochází k častým námrazám, je to nevýhodné. Buď je na rotoru malá námraza, která snižuje výkon, nebo při větší námraze je větrná elektrárna odstavena z provozu (v blízkosti silnic či obydlí se ve dnech kritických z pohledu námrazy větrné elektrárny vypínají).

Firma Enercon uvádí, že je schopna do svých rotorových listů umístit systém vyhřívání, viz obr. 2.34, který představuje ventilátor s topným tělesem. Ohřátý vzduch se fouká do náběžné hrany. Na vrcholu listu se proudění obrátí a vzduch proudí zpět na odtokové straně listu k ventilátoru. Je to ale energeticky náročné řešení, takže je nutné zvážit ekonomické aspekty provozu.



Obr.2.34 Systém vyhřívání rotorových listů firmy Enercon. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

Zkoušky rotorového listu

Rotorový list musí projít při vývoji náročnými ověřovacími zkouškami, které prokáží shodu s naprojektovanými pevnostními hodnotami.

Modální zkoušky rotorového listu větrné elektrárny

Při této zkoušce se zkoumají vlastní frekvence rotorového listu. Na konec listu se připevní zařízení, které je zdrojem vibrací. To rozkmitá celý list a snímač umístěný na listu (G-metr) nám zaznamenává velikost vibrací. Touto metodou je možné zjistit tzv. vlastní frekvenci listu. Vše dokumentují obr. 2.35 až 2.37.

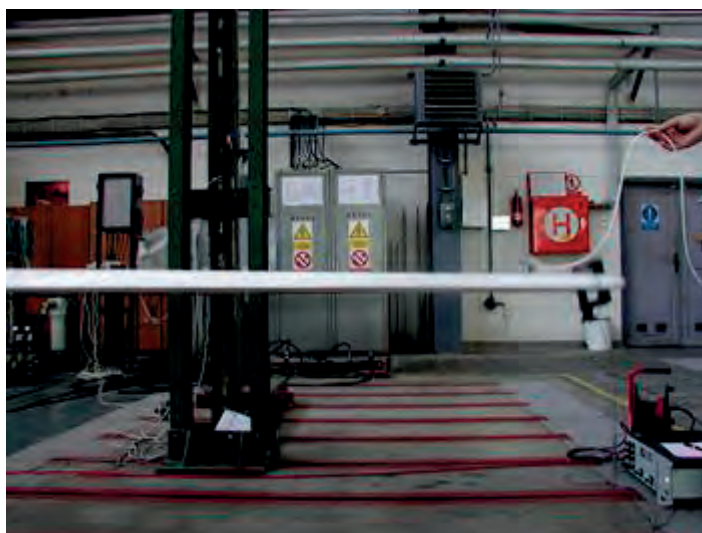
Případně jsme schopni touto metodou porovnávat listy mezi sebou. Používá se tehdy, když listy z výroby jsou k sobě sdružovány tak, aby vždy 3 listy měly při stejné hmotnosti i stejné rozložení hmoty po délce (to kvůli vyvážení rotoru).



*Obr.2.35 Rotorový list je umístěn vodorovně a na jeho konci je umístěn budič kmitů.
Zdroj:<http://www.csve.cz>.*



*Obr.2.36 Detail budiče kmitů a snímače frekvencí.
Zdroj:<http://www.csve.cz>.*

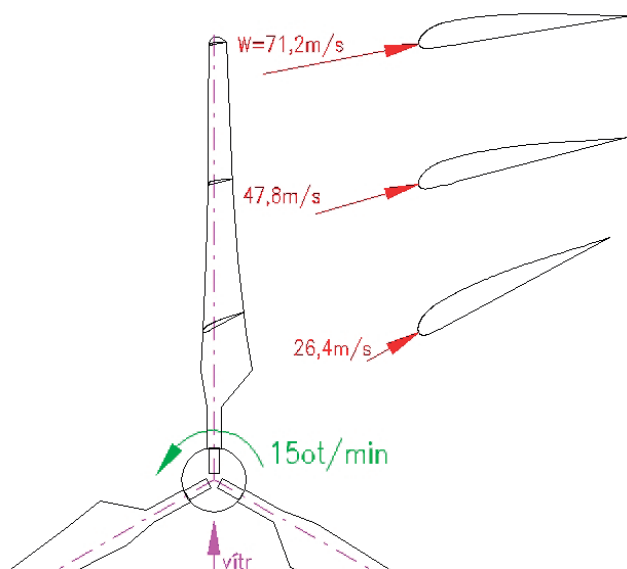


Obr.2.37 Kmitající list. Konec listu kmitá s výchylkou $\pm 20\text{mm}$. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

System natáčení rotorových listů

Na list vrtule rotoru v horní úvrati působí jiná rychlost větru oproti listu nacházejícího se právě v dolní úvrati (obr. 2.38).

Směr nabíhajícího proudu vzduchu se navíc po délce listu mění. Pokud chceme, aby aerodynamický profil pracoval po celé délce listu co nejefektivněji, musíme tento profil listu v ose natáčet tak, aby byl stále optimálně ofukován.

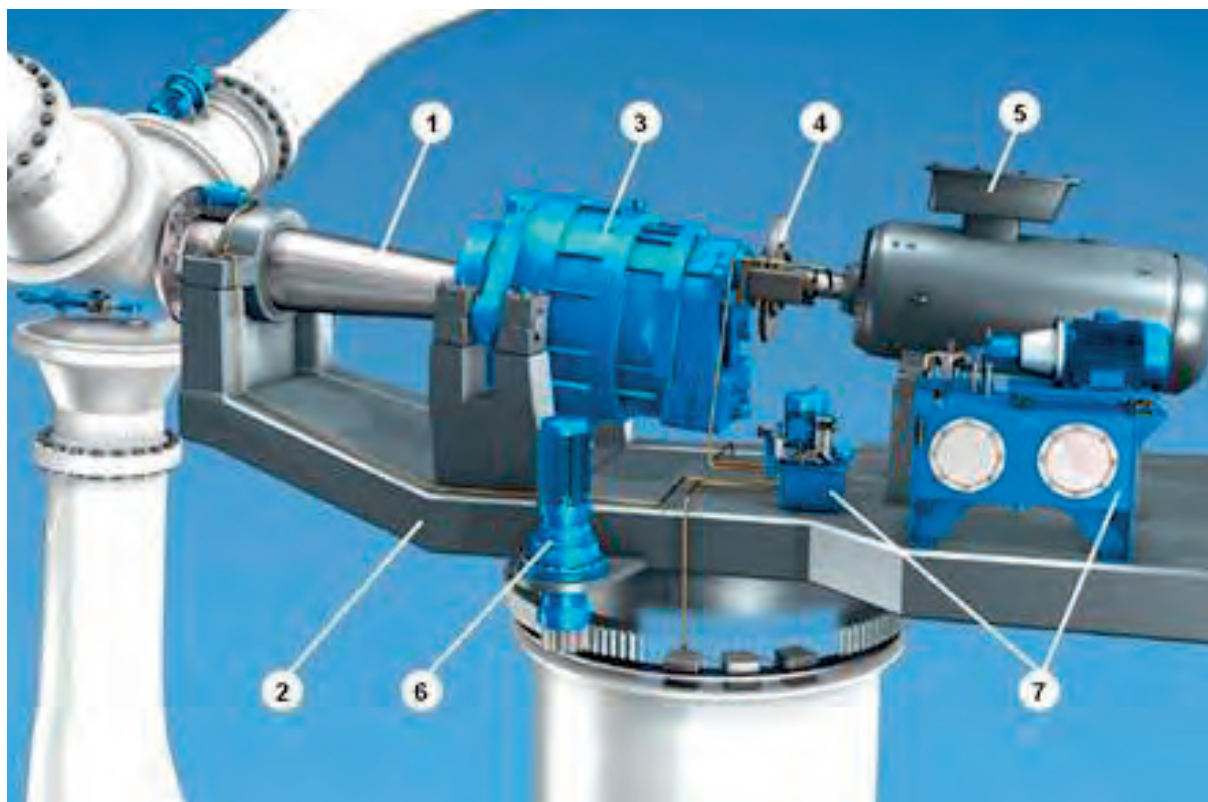


Obr.2.38 Optimální natočení aerodynamického profilu vůči nabíhajícímu proudu vzduchu po délce rotorového listu. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

Natáčení listů musí být velice citlivé a rychlé a může ho zajišťovat jak hydraulický tak elektrický systém. Vždy záleží na výrobci, jakou použije konstrukci pro jednotlivé prvky. Ve větrné elektrárně je použito více okruhů hydrauliky (brzda generátorového hřídele, brzda systému otáčení strojovny kolem svislé osy, brzda rotoru).

Gondola - strojovna větrné elektrárny

Strojovna (obr. 2.39), tvoří srdce větrné elektrárny. Každý výrobce používá svůj princip soustrojí, tedy liší se i vybavení strojovny. Celá strojovna je vždy umístěna ve sklolaminátové gondole. Nejčastěji je rotor umístěn na hřídeli, která výkon od rotoru přenáší do převodovky. Ta zvyšuje otáčky pro generátor, který pohání.



Obr.2.39 Strojovna větrné elektrárny firmy Siemens. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

- 1) Hlavní hřídel větrné elektrárny
- 2) Nosný rám strojovny
- 3) Převodovka větrné elektrárny
- 4) Spojení mezi převodovkou a generátorem
- 5) Generátor větrné elektrárny
- 6) Systém natáčení strojovny
- 7) Hydraulické systémy větrné elektrárny

Na hřídeli mezi převodovkou a generátorem je umístěna brzda, která dokáže v případě potřeby během několika sekund zastavit rotor, k rámu strojovny jsou připevněny elektropohony, které natáčí celou strojovnou některé systémy, jako například brzda, natáčení lopatek, či aretace natáčení strojovny mohou být ovládány hydraulicky. V gondole se tedy skrývá hydraulický okruh (olejová nádrž, čerpadlo, tlakové rozvody).

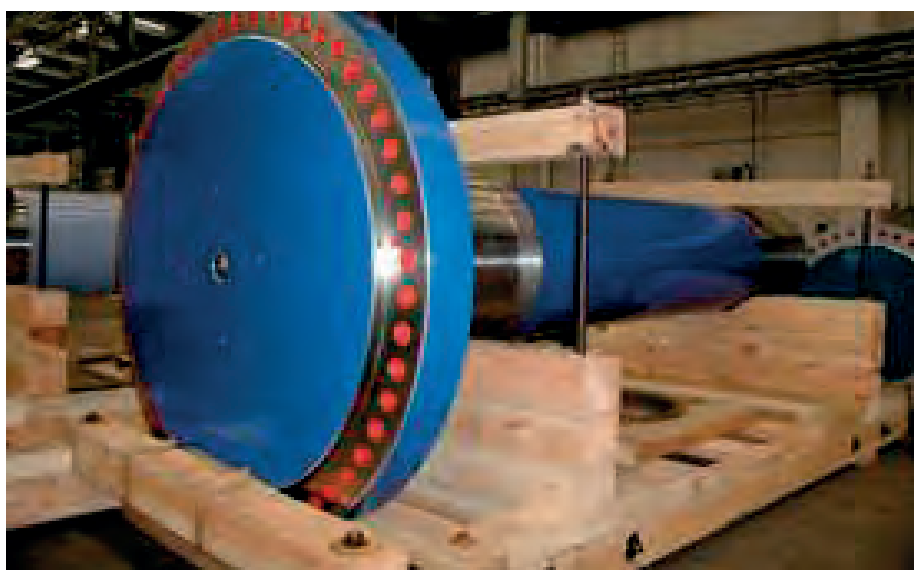
Hlavní hřídel větrné elektrárny

Česká republika se řadí k největším výrobcům hřídelí pro větrné elektrárny. Firmy Škoda Plzeň a Vítkovice Steel jsou etablovanými dodavateli hřídelí pro většinu světových výrobců větrných elektráren.

Hřídel je vyrobena jako výkovek, jak je vidět na obr. 2.40 a 2.41. Při následujícím třískovém obrábění je velký důraz kladen na přesnost.



*Obr.2.40 Budoucí hlavní hřídel větrné elektrárny. Zde ještě jako polotovár – výkovek.
Zdroj:<http://www.csve.cz>.*



*Obr.2.41 Hřídel větrné elektrárny připravená k exportu. V popředí obrázku je vidět příruba, na kterou bude usazena rotorová hlava. Červené krytky chrání závity, kde budou umístěny šrouby spojující hřídel a rotorovou hlavu.
Zdroj:<http://www.csve.cz>.*

Převodovka a diferenciál

Převodové ústrojí větrných elektráren bývá velmi rozmanitých konstrukcí. Příklady jsou uvedeny na obr. 2.42 a 2.43.

Zaleží na konkrétním typu větrné elektrárny. Vždy se jedná o velmi namáhanou součást, protože rázy od rotoru mívají několikanásobně vyšší hodnotu, než je standardní provozní zatížení. Převodovky pro větrnou elektrárnu proto musí být navrhovány s vysokým koeficientem bezpečnosti.

Velmi důležitou vlastností převodovek pro větrné elektrárny je také její tichost. Aby bylo dosaženo tichého chodu, bývají ozubená kola, cementována, nitridována a broušena. Převodovka musí být schopna pracovat v rozmezí teplot -40°C až $+45^{\circ}\text{C}$ (někdy i více).

Převodovky pro výkony do 50kW

U takto malých výkonů mívá vrtule pracovní otáčky v rozmezí 40 – 80 ot/min. Dle použitého generátoru pak bývá převodový poměr cca 1:12 – 1:25. Nejčastěji je převodovka navrhována s čelním převodem se šikmými zuby.

Občas se používá i převodovek planetových. Tento typ převodovek se ale při provozu více zahřívá a nastává problém s jejich chlazením. U těchto malých elektráren se neaplikuje nucená cirkulace vzduchu ve strojovně, neboť tím by se větší procento vyrobené elektrické energie ihned spotřebovalo na provoz ventilátoru.

Převodovky pro výkony nad 500kW

Pracovní otáčky rotorů se v tomto segmentu pohybují v rozmezí 5 - 20 ot/min. Generátory pak dle typu mají pracovní otáčky 1000, 1500 či 3000 ot/min.

Převodové poměry jsou pak 1:70 – 1:200. Pro přenesení několikamegawattového výkonu při daném převodovém poměru a zachování kompaktních rozměrů se volí několikastupňová planetová převodovka nebo kombinovaná několikastupňová převodovka, kdy první stupně bývají planetové a poslední jeden či dva stupně jsou koaxiální.



Obr.2.42 Převodovka větrné elektrárny od firmy Bosch-Rexroth s označením Redulus GPV pro výkon 2MW. Jedná se o dvoustupňovou planetovou převodovku s výstupním koaxiálním stupněm. Zdroj: <http://www.csve.cz>.



Obr.2.43 Převodovka. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

Převodovka z předchozího obrázku, tentokrát ve skutečnosti je na obr. 2.43. Představu o velikosti si můžete udělat při porovnání s technickým pracovníkem. Její hmotnost je přibližně 15.000kg.

Přenos krouticího momentu z převodovky na generátor bývá proveden jednou hřídelí nebo pomocí dvou souosých hřídelí, které jsou pak spojeny přes spojku.

Spojka má za úkol kompenzovat rázové špičky vznikající od náhlých poryvů větru. Na výstupní hřídeli z převodovky je také umístěna třecí brzda, která v případě krizových situací zastaví točící se rotor.

Natáčení gondoly

V závislosti na směru větru se natáčí celá strojovna včetně rotoru větrné elektrárny. Celá strojovna je usazena na ložisko. Vnější klec tohoto ložiska je přišroubována ke stožáru a na vnějším povrchu je vytvořeno přímé ozubení. Vnitřní klec je připevněna k nosnému rámu strojovny.

Na nosném rámu jsou elektropohony, které dle pokynů řídicího systému natáčí se strojovnou doprava či doleva. Tyto elektropohony jsou dle velikosti elektrárny ve strojovně v počtu 2, 4 či 6 kusů. Elektropohon je složen s elektromotoru o výkonu 2 – 2,5 mkW, několikastupňové planetové převodovky a pastorku.

Tyto elektropohony nejsou schopny zachytit zatížení, které vzniká stále se měnícím směrem proudění větru a otáčejícím se rotorem, jenž vyvolává gyroskopický moment.

Nejčastěji je jako konstrukčního řešení tohoto problému použito čelistových brzd, které po požadovaném natočení gondoly zaaretují danou polohu sevřením vnitřních čelistí kolem odpovídajícího vnějšího disku umístěného na vrcholu věže.



Obr.2.44 Elektropohon natáčení strojovny. Zdroj:<http://www.csve.cz>



Obr.2.45 Elektropohon natáčení strojovny. Zdroj:<http://www.csve.cz>

Na levém obr. 2.44 je elektropohon natáčení strojovny větrné elektrárny. Elektropohon je přišroubován k rámu strojovny, pastorek zabírá do vnější klece otočného ložiska. Tyto pohony bývají na instalovány v počtu 2, 4 či 6.

Na pravém obr. 2.45 je elektropohon s elektromotorem o výkonu 2kW, čtyřstupňovou planetovou převodovku, výstupní hřídel uložený ve válečkovém ložisku a pastorek.

Hydraulické systémy větrné elektrárny

Ve strojovně větrné elektrárny je mnoho hydraulických systémů – brzda generátorového hřídele, brzda systému otáčení strojovny kolem svislé osy, brzda rotoru. Hydraulický může být i systém natáčení rotorových listů větrné elektrárny. Vždy záleží na výrobci, jakou použije konstrukci pro jednotlivé prvky.

Používá se modulární kompaktní provedení s centrálním blokem s vestavnými ventily, dalšími bloky pro brzdu generátoru, brzdu natáčení azimutu strojovny a bezpečnostním blokem zámku rotoru opatřeným akumulátorem hydraulického tlaku.

Pokud je natáčení rotorových listů hydraulické, bývá ve strojovně ještě druhý hydraulický okruh, právě jen pro pohony listů. To z toho důvodu, že natáčení listů musí být velice citlivé a rychlé, zatím co na „brzdný okruh“ nejsou takové požadavky.

Pomocná zařízení

Jsou to ovládací a kontrolní systémy (řídící elektronika), které lze rozdělit na část technickou (tvořenou řídícím počítačem a ovládacími prvky na řídícím panelu) a část programovou (což je speciálně vyvinutý balík programů, určený k ovládání jednotlivých částí větrné elektrárny a režimů jejich činnosti).

Kontrolují celý chod větrné elektrárny, rychlost větru, vibrace, námrazu, atd. a zajišťují její bezpečný provoz. V případě nebezpečí zajišťují její odstavení a zabrždění. Dále to je systém natáčení strojovny větrné elektrárny do směru větru sloužící k zajištění správné orientace rotoru vzhledem ke směru větru.



Obr.2.46 Ocelový tubusový stožár. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

Stožár

Výška stožáru se v dnešní době standardně pohybuje od 40 do 110m. Najdeme ale nižší i vyšší instalace.

V Evropě je nejčastěji instalován **ocelový tubusový stožár**. Stožár je smontován ze segmentů (obr. 2.46), které mají délku přibližně 20 m (dělený na segmenty se používá kvůli snadnější přepravě). Segmenty jsou vyrobeny z plechových plátů, které jsou skruženy do prstenců a pak k sobě svařeny.

Při stožárech vyšších, než 100m se již vyplatí uvažovat o výstavbě příhradového stožáru (obr. 2.47). Odpadají problémy s dopravou oproti rozměrným segmentům tubusového stožáru, je potřeba menší množství oceli.



Obr.2.47 Příhradový stožár. Zdroj:<http://www.csve.cz>.



Obr.2.48 Betonový stožár. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

V poslední době se rozvíjí i stavba betonových stožárů (obr. 2.48). Pokud se v jedné lokalitě staví větší počet větrných elektráren, bývá tato varianta ekonomicky zajímavá pro daný region.

Stožár se staví z prefabrikátů (betonových poloskruží), které se vyrábějí v místní betonárce a na místě se pak kompletují do skruží, ze kterých se staví stožár. Pevnost takového stožáru pak zaručují předepjatá ocelová lana, která jsou vedena dutinami ve skružích od vrcholu stožáru až k jeho patě.

Betonový základ

Je to nejtěžší část VtE a přitom je nejméně viditelná. Před vlastním zahájením stavby se musí provést důkladný geologický průzkum, aby se zjistila stabilita prostředí ve spodních vrstvách zeminy. VtE je totiž velmi vysoká stavba, která díky svému hmotovému rozložení je velmi citlivá na vychýlení (odklon od svislice) a s tím související stabilitu..

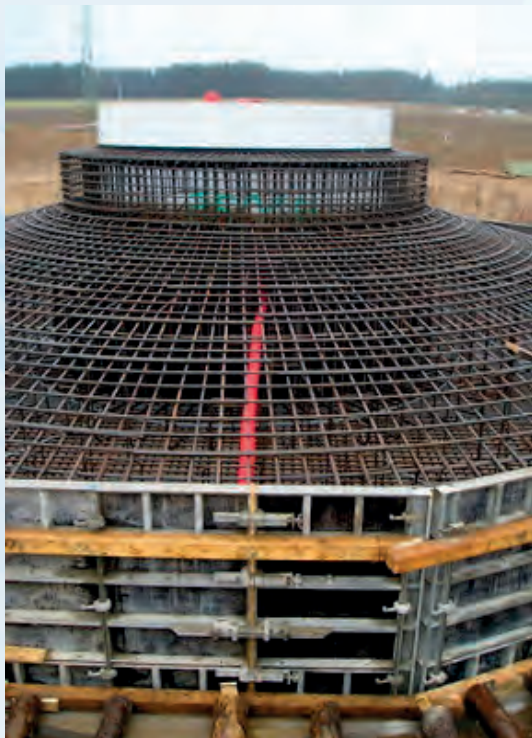


Obr.2.49 Základ pod stožár. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

Betonový základ má zpravidla čtvercový půdorys o velikosti asi 16 x 16m (obr. 2.49). Může mít i jiné rozmanité tvary, jako šestiúhelníkový či kruhový půdorys.

Na kraji je jeho výška 1,8m, ve středu pak 2m. Po odkrytí zeminy se na dně musí vytvořit betonová deska tloušťky necelých 80mm, která nám zaručí pevný a rovný podklad pro usazení ocelového fundamentu stožáru a vylití betonového základu.

Následuje **armování** (viz obr.2.50), při němž se spotřebuje 40 tun ocelové výztuže. Souběžně s armováním se instalují trubky, které slouží pro vyvedení kabeláže a celá armatura se řádně uzemní.



Obr.2.50 Armatury pro základ Zdroj:<http://www.csve.cz>

Horní obruba základového kruhu se tedy musí ustavit do vodorovné polohy a to s tolerancí 2mm. S přihlédnutím k tomu, že již sama horní příruba má výrobní toleranci 1mm, je nutné vlastní fundament ustavit do vodorovné roviny s přesností 1mm.

Následuje vylití bednění betonem (viz obr. 2.51), jehož je třeba více než 500m³, což představuje asi 70 – 80 domíchávačů. Beton se musí řádně zhutnit, hlavně v oblasti fundamentu, aby tam při pozdějším provozu elektrárny nedošlo k porušení soudržnosti.



Obr.2.51 Betonový základ. Zdroj: <http://www.csve.cz>.

Podle vzdálenosti k nejbližší betonárce občas bývá logisticky náročné zajistit, aby byl stále k dispozici nový beton a tak zbývají i chvíle na odpočinek dělníků. Základ se začíná betonovat hned po rozednění a je to práce na celý den.

Celý objem základu se musí vybetonovat naráz, a proto se někdy rovnou připravuje noční osvětlení, aby se mohlo pracovat kontinuálně i za tmy.

Začíná vyzrávání betonové masy, kde chemická reakce z počátku hodně hřeje a beton se musí chladit vodou.

Po vyzrání betonu, které trvá až 5 týdnů, se ještě provede po celém povrchu asfaltový penetrační nátěr.

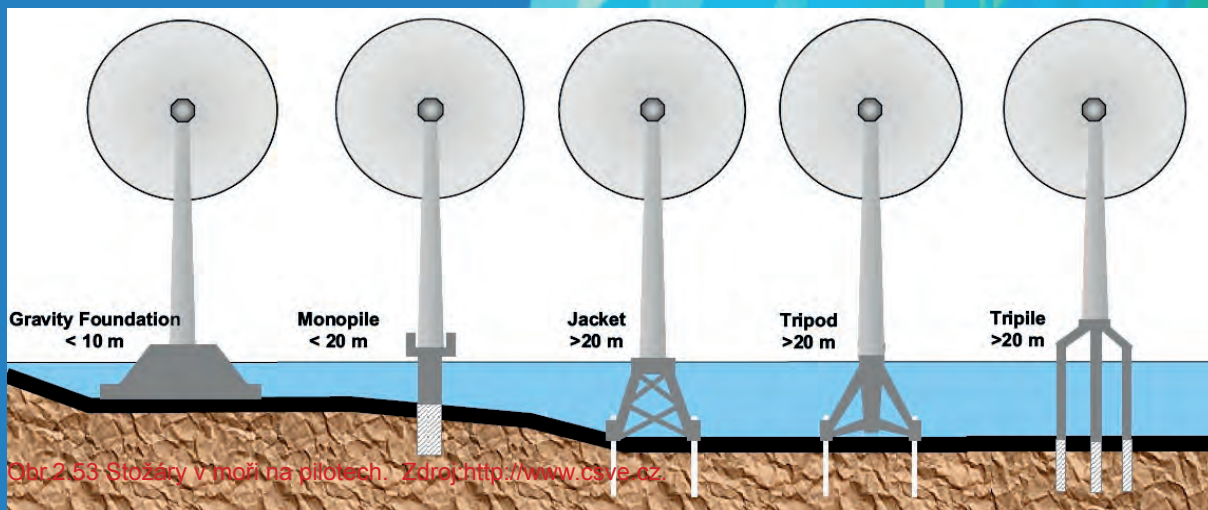
Oblast styku fundamentu a betonového základu je pak natřena „plastickým“ nátěrem, který je schopen kompenzovat jejich vzájemný pohyb a odlišnou teplotní roztažnost. Má za úkol zabránit pronikání vlhkosti mezi styčné plochy fundamentu a betonu.

Pak již následuje pouze protažení kabeláže až dovnitř fundamentu a zavezení celého základu zeminou a její zhutnění. Konečný základ vidíme na obr. 2.52. Nakonec se provedou jen konečné terénní úpravy a zasetí trávy.



Obr.2.52 Betonový stožár. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

VtE umístěné v moři jsou instalovány na betonové piloty, které vedou až na tvrdé podloží (obr. 2.53).



Obr.2.53 Stožáry v moři na pilotách. Zdroj:<http://www.csve.cz>.

3.7 Další možné dělení VtE

Mikroelektrárny

Tyto typy větrných elektráren jsou pro osobní použití nebo malé firmy velmi vhodné. Jsou takovou alternativou k slunečním článkům v místech, kde je dost větrno a naopak méně svítí slunce.

Mikroelektrárny s malými výkony (cca 100 W) jako například na obr. 2.54 tak mohou napájet osvětlení reklamních panelů podél dálnic, aktivní inteligentní dopravní značky, měřiče teploty a hodiny apod. Jejich skládací verze mohou sloužit v přírodě jako mobilní nabíječe akumulátorů, napájení světlení, vařiče, malého topení, vysílačky, počítače nebo televizoru.

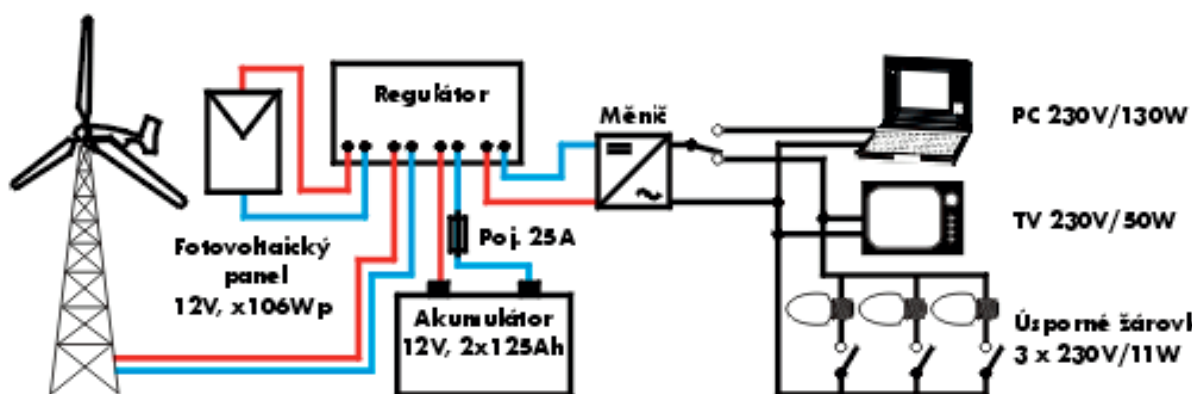
Mikroelektrárny, které dosahují výkonů až několik jednotek kW, již mají pevnou instalaci a mohou v klidu napájet chaty.

Jediným protiargumentem je stále vysoká cena, která se však s rostoucí životností moderních větrných elektráren vrátí. Samozřejmostí je, že se elektrická energie větrné elektrárny akumuluje do akumulátorů, které pokrývají spotřebu při špičkových zatíženích, nebo když vítr nefouká.

Navíc je možné ji doplnit o solární články/panely a vhodným systémem, který přerozdělování výroby elektrické energie automaticky inteligentně řídí. Této kombinaci, která je na obr. 2.55 říkáme ostrovní systém. Je ideální, protože když nefouká vítr, tak často svítí slunce a obráceně. Na překážku takovému řešení je pak opět hlavně cena. Pro napájení jednotlivých zařízení nedodávají energii do sítě výkon do cca 1 kW.



Obr.2.54 Aeolos 500W Zdroj: <http://www.energyforever.cz>



Obr.2.55 Ostrovní provoz mikroelektrárny. Zdroj:<http://www.alter-eko.cz>

Malé elektrárny

Malé větrné elektrárny již poskytují výkony i mnoho jednotek kW, což již na spotřebu velké chaty nebo běžného rodinného, dobře zatepleného domku stačí. Například výkon od 1 kW již plně postačuje na čerpání vody ze studně a její rozvod do kohoutků v objektu. Tyto elektrárny často vyrábí elektřinu pomocí synchronních generátorů buzených permanentními magnety s výstupním napětím 24 V nebo klasických 230 V, příp. 400V.

Pro správnou volbu je nutné správně spočítat spotřebu a zvolit výkon elektrárny, resp. jejího generátoru/turbíny. Takový typický domek má roční spotřebu cca 9400 kWh za rok, čemuž odpovídá cca 780 kW za měsíc. V závislosti na průměrné rychlosti větru je vhodné volit výkon elektrárny 5 až 10 kW.

Z pohledu konstrukce mohou vypadat různě. Zatímco malé elektrárny s výkonem okolo 1 až 5 kW mohou ještě vypadat jako "větší" mikroelektrárny konstrukce pro výkony nad 10 kW již někdy vypadají jako zmenšeniny těch středních a velkých, mají již gondolu vybavenou převodovkou, brzdou a generátorem připojené přes hřídel na rotor vrtule s listy. Vše je pak připevněno na sloupu, kterým vedou výkonové a signálové kabely.

Střední a velké elektrárny

Elektrárny velkých výkonů (300 až 3000 kW) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě. Mají asynchronní nebo synchronní generátor, který dodává střídavý proud o napětí 660 V a vyšších, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapolovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň.

Většina elektráren má konstantní otáčky regulované natáčením listů a proměnným převodovým poměrem převodovky. Některé typy mají i dvě rychlosti otáčení. Některé střední elektrárny mohou však mít i proměnné otáčky podle okamžité rychlosti větru.

V praxi se používají většinou větrné elektrárny s horizontální osou rotace a velké elektrárny mají průměr rotoru až 80 m a věž o výšce více než 80 metrů.

Trendem poslední doby je zvětšování výkonu větrných elektráren a zvyšování stožárů. Nejnovější zařízení instalovaná ve světě pracují s generátorem o výkonu až 3 MW, který je na sloupu dosahujícím výšky kolem 100 metrů. Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a optimální využití lokalit, kterých je omezený počet. K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren) tzv. větrných farem.

Velké elektrárny

Pro napájení vesnic a měst vždy dodávají energii do sítě výkon stovky kW až jednotky MW. Mikroelektrárny na svém výstupu dávají napětí 12V nebo 24 V a výkon v rozsahu 10 W až 1kW, malé elektrárny napětí 230 V (příp. 400 V), s výkonem do cca 15 kW, střední a velké elektrárny již poskytují vyšší napětí, někdy v až řádu kilovoltů a výkony až 3 MW na jednu větrnou elektrárnu.

Využitelný potenciál energie větru velmi ovlivňuje typ navržené větrné elektrárny a její výkon. Větrné elektrárny se od sebe liší výtěžností pro určité parametry větru, což vyplývá z konstrukce vrtule/rotoru, typu generátoru a regulace. 4

3.8 Výpočetní příklady

Řešené příklady

Příklad 1

Vypočítejte výkon V_{tE} , jestliže průměr vrtule je 90m, rychlost větru je 13m/s a účinnost stroje je 0,2337.

$P = ?$, $D = 90 \text{ m}$, $v = 13 \text{ m/s}$, $c_p = 0,2337$, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 13^3 \cdot 0,2337 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 2\,000\,644 \text{ W} \cong 2 \text{ MW}$$

Příklad 2

Vypočítejte průměr vrtule větrné elektrárny, jestliže znáte jmenovitý výkon větrné elektrárny, který je 2MW, rychlost větru 13 m/s a účinnost stroje 0,2337.

$D = ?$, $P = 2 \text{ MW} = 2\,000\,000 \text{ W}$, $v = 13 \text{ m.s}^{-1}$, $c_p = 0,2337$, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 2\,000\,000}{\pi \cdot 1,225 \cdot 13^3 \cdot 0,2337}} = 90 \text{ m}$$

Příklad 3

Jmenovitý výkon větrné elektrárny je 2MW při rychlosti větru 13m/s. Průměr rotoru je 90m. Jakou účinnost při daném větru má větrná elektrárna?

$c_p = ?$, $D = 90 \text{ m}$, $P = 2 \text{ MW} = 2\,000\,000 \text{ W}$, $v = 13 \text{ m.s}^{-1}$, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S$$

$$c_p = \frac{2 \cdot P}{\rho \cdot v^3 \cdot S} = \frac{2 \cdot 2\,000\,000}{1,225 \cdot 13^3 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4}} = 0,2337$$

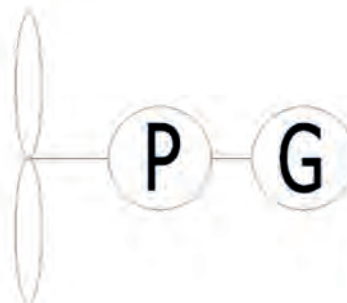
Příklad 4

Vypočítejte jaká je účinnost rotoru větrné elektrárny. Větrná elektrárna má rotor o průměru 90m. Při rychlosti 13 m.s dosahuje výkonu 2MW. Pohonná soustava je následující asynchronní generátor s účinností 0,7, dvoustupňová převodovka s účinností 0,94 a rotor.

$$\eta_R = ?, D = 90\text{m}, P = 2\text{MW} = 2000000\text{W}, v = 13 \text{ m.s}^{-1}, \rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \\ \eta_G = 0,87, \eta_P = 0,92$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \eta_R \cdot \eta_P \cdot \eta_G \cdot S$$

$$\eta_R = \frac{2.2000000}{1,225 \cdot 13^3 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4}} = 0,2919$$



Příklad 5

Vypočítejte jaká je obvodová rychlost konce listu větrné elektrárny o jmenovitém výkonu 2MW. Větrná elektrárna má průměr rotoru 90m a při rychlosti větru 13m/s se rotor otáčí 14,9ot/min.

$$v_0 = ?, D = 90\text{m}, P = 2\text{MW} = 2000000\text{W}, v = 13 \text{ m.s}^{-1} \\ n = 14,9 \text{ ot.min}^{-1}$$

$$\text{Jedna otáčka (perioda) trvá } T = \frac{60}{n} = \frac{60}{14,9} = 4,0268 \text{ s}$$

$$v_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 45}{4,0268} = 70,2 \text{ m.s}^{-1} = 252,7 \text{ km.h}^{-1}$$

Příklad 6

Větrná elektrárna, jež má průměr rotoru 90m, dosahuje jmenovitého výkonu 2 MW při rychlosti větru 13m/s. O kolik se zvětší jmenovitý výkon větrné elektrárny, pokud se zvětší průměr rotoru o 1m.

$$\Delta P = ?, D_0 = 90\text{m}, D_1 = 91\text{m}, v = 13 \text{ m.s}^{-1}, c_p = 0,2337, \rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_0^2)}{4} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 13^3 \cdot 0,2337 \cdot \frac{\pi \cdot (91^2 - 90^2)}{4} = 44705\text{W} = 44,7\text{kW}$$

Příklad 7

Vypočítejte kolik tun uhlí se ušetří za rok, jestliže VtE o jmenovitém výkonu 2MW je postavena na místě, jež má využitelnost 35% teoretické roční výroby (tzv. kapacitní faktor).

$P = 2000\text{kW}$, $K = 0,35$ - kapacitní faktor - je vyjádření roční účinnosti VtE v konkrétní lokalitě (dle větrnosti se tento faktor různí lokalitu od lokality), neboli kolik je VtE schopna skutečně vyrobit z teoretického předpokladu roční výroby elektrické energie?

1kWh vyrobená v uhelné elektrárně = **1 kg** spáleného uhlí = **1,25 kg** vypuštěného CO₂

Teoreticky možné roční maximum vyrobené energie větrem

$$P_{teor} = 365 \cdot 24 \cdot 2000 = 17\,520\,000 \text{ kWh / rok}$$

Prakticky vyrobená energie v dané lokalitě

$$P_{rok} = P_{teor} \cdot K = 17\,520\,000 \cdot 0,35 = 6\,132\,000 \text{ kWh / rok}$$

Roční úspora?

$$6\,132\,000 \text{ kWh / rok} \Rightarrow 6\,132\,000 \text{ kg} = 6\,132 \text{ tun uhlí}$$

$$6\,132\,000 \text{ kWh / rok} \Rightarrow 7\,665\,000 \text{ kg} = 7\,665 \text{ tun CO}_2$$

Hnědé uhlí 715 kg.m⁻³

$$6\,132\,000 \text{ kg uhlí} \Rightarrow 8576 \text{ m}^3 \text{ uhlí} \Rightarrow 155 \text{ vagonů uhlí / rok}$$

Neřešené příklady

1. Vypočítejte výkon VtE, jestliže průměr vrtule je 80m, rychlost větru je 8m/s a účinnost stroje je 0,23.
2. Vypočítejte průměr vrtule větrné elektrárny, jestliže znáte jmenovitý výkon větrné elektrárny, který je 1,2 MW, rychlost větru 12 m/s a účinnost stroje 0,35.
3. Jmenovitý výkon větrné elektrárny je 1,5 MW při rychlosti větru 13m/s. Průměr rotoru je 64m. Jakou účinnost při daném větru má větrná elektrárna.
4. Vypočítejte jaká je účinnost rotoru větrné elektrárny. Větrná elektrárna má rotor o průměru 90m. Při rychlosti 13 m/s dosahuje výkonu 2 MW. Pohonná soustava je následující asynchronní generátor s účinností 0,7, dvoustupňová převodovka s účinností 0,94 a rotor.
5. Vypočítejte jaká je obvodová rychlost konce listu větrné elektrárny o jmenovitém výkonu 2 MW. Větrná elektrárna má průměr rotoru 90 m a při rychlosti větru 13 m/s se rotor otáčí 14,9 ot/min.
6. Větrná elektrárna, jež má průměr rotoru 90m, dosahuje jmenovitého výkonu 2 MW při rychlosti větru 13 m/s. O kolik se zvětší jmenovitý výkon větrné elektrárny, pokud zvětším průměr rotoru o 1 m.
7. Vypočítejte kolik tun uhlí se ušetří za rok, jestliže VtE o jmenovitém výkonu 2 MW je postavena na místě, jež má využitelnost 35 % teoretické roční výroby (tzv. kapacitní faktor).

3.9 Kontrolní otázky

- 1) Jak vzniká na Zemi vítr?
- 2) Jaké veličiny tvoří kinetickou energii větru?
- 3) Na čem je závislý výkon větru?
- 4) Jaká by měla být průměrná rychlost větru v lokalitě vhodné pro výstavbu VtE?
- 5) Vysvětlete vznik vztlakové síly působící na vrtuli?
- 6) Jak rozdělujeme větrné elektrárny podle velikosti?
- 7) Jak rozdělujeme větrné elektrárny podle aerodynamického principu?
- 8) Z jakých částí se VtE skládá?
- 9) Jaké druhy elektrických generátorů se používají?
- 10) Jaká je maximální teoretická účinnost větrného stroje?
- 11) Co je to kapacitní faktor?
- 12) Z čeho se skládá účinnost VtE?
- 13) Na čem závisí dosažitelný výkon VtE?
- 14) Jaké jsou provozní hodnoty rychlosti větru u VtE? (Při jakých rychlostech větru se VtE startuje a při jakých rychlostech větru dojde k odstavení?)
- 15) Popište rotorový list a jeho výrobu.
- 16) K čemu slouží vyhřívání rotorových listů VtE?
- 17) Popište, k čemu slouží natáčení listů VtE.
- 18) Co je to gondola u VtE?
- 19) Co všechno obsahuje gondola?
- 20) Proč dochází k natáčení gondoly?
- 21) Jaké se používají stožáry pro konstrukci VtE?
- 22) Jaké druhy stožárů VtE jsou nejvýhodnější z ekologického hlediska (při likvidaci VtE)?
- 23) Co udělat s betonovým základem po dožití VtE a její likvidaci?

3.10 Zdoje, literatura a poděkování ČSVE

Internetové zdroje:

<http://www.csve.cz/cz/kategorie/vzdelavani/13>

http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana

<http://www.quido.cz/Objevy/vitr.htm>

http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559, Ing. Břetislav Koč

<http://www.povetnik.cz/rs/view.php?cisloclanku=2005121201>

<http://www.nazeleno.cz/vetrna-energie-a-jeji-vyuziti-v-ceske-republice.aspx>

<http://www.smcz.cz>

http://www.mzp.cz/cz/typy_oze

<http://www.energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/mikro-vetrne-elektrarny/>

<http://www.alter-eko.cz/energie/vetrne-elektrarny/vetrne-priklad.php>

Knižní a periodická literatura:

[1] **Moderní větrné elektrárny** - Mgr. Jiří Přikryl, ČSVE, prezentace

[2] **Větrná elektrárna, vše o ní a kolem ní** - Ing. Jiří Špičák, ČSVE, prezentace pro ISŠ Nová Paka

[3] **Historie využívání větrné energie** – prezentace, Zdeněk Klein, MU Brno, 5.r. Mat – Fyz

[4] **Vítr a jeho energie** – článek, Energie 21, 02/2008, www.agroweb.cz, RNDR. Ivan Sládek, CsC, Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta a RNDR. Jiří Hostýnek, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Plzeň

[5] **Alas podnebí česka**, Praha-Olomouc 2007

[6] **Využití energie větru**, Šefter, J., SNTL Praha, 1991

[7] **Matematická statistika**, Likeš Jiří, Machek Josef :, SNTL, 1983

4. Podpora a osvěta pro využívání větrné energie

„Všeobecně je známo, že žádná technologie výroby elektrické energie není zcela bez záporných ekologických vlivů. Výroba elektrické energie větrnými elektrárnami však vyvolává minimální negativní vlivy na životní prostředí při porovnání s využíváním neobnovitelných zdrojů.

Větrné elektrárny nezatěžují při svém provozu okolní prostředí žádnými odpady. Neprodukují do atmosféry plyné či tuhé emise včetně CO₂ nebo jiných skleníkových plynů. Není nutné ukládat použité palivo nebo popílek, nevyžadují pro svůj provoz vodu a tudíž ji také neznečišťují a neprodukují odpadní teplo.“ [3.1]

Na výstavbu a provoz větrných elektráren lze nahlížet jako na množství jiných problematik dvojím způsobem, a to buď z pohledu zastávce nebo odpůrce větrné energie. Níže je uveden v bodech výčet výhod a mnohdy zároveň i diskutovaných témat týkajících se výstavby a provozu větrných elektráren. [3.2]

4.1 Výhody větrných elektráren

- Vítr je na rozdíl od fosilních paliv obnovitelným zdrojem energie. Energie vyrobená z obnovitelných zdrojů tedy přispívá k šetření neobnovitelných zdrojů energie. [3.2]
- Využívání energie větru neuvolňuje do atmosféry žádné skleníkové plyny. To znamená, že tato energie nepřispívá ke globálním změnám klimatu. Větrné elektrárny jsou čistý zdroj energie. Pomáhají snížit český příspěvek ke globálním změnám klimatu i závislost na cizích zdrojích. [3.2]
- Výroba, výstavba a provoz větrných elektráren pomáhá vytvářet nová pracovní místa a zároveň může představovat významný zdroj příjmů pro obce. [3.2]
- Vítr není na rozdíl od fosilních paliv zpoplatněn, je tedy zdarma. Přeměna větrné energie na elektrickou je sice momentálně dražší, ale to je způsobeno tím, že u energie z fosilních paliv cena nezahrnuje všechny vznikající negativní externality (není brán ohled zejména na poškození životního prostředí a vyčerpátnost klíčového průmyslového zdroje). [3.2]
- Provoz větrných elektráren je bezpečnější než například jaderných a tepelných v tom smyslu, že nehrozí v případě havárie riziko zamoření či znečištění většího množství území. [3.2]

- Výstavba větrných elektráren představuje rozptýlení velkých zdrojů elektrické energie na více malých. Tím se snižuje riziko velkoplošných výpadků v případě havárie rozvodné sítě nebo zdroje energie. Také se snižují nároky na potřebný přenášený výkon z jednotlivých elektráren a klesá nutnost přepravy energie na velké vzdálenosti. [3.2]
- Výkon VE lze v krátkodobém horizontu dobře předpovídat. Nepravidelnosti ve výkonech nenastávají u všech VE najednou. Výkon těchto zdrojů v součtu tolik nekolísá, proto není nutné zřizovat záložní zdroje schopné okamžitého náběhu. Vyvíjejí se také nové technologie umožňující dostatečně efektivní ukládání elektrické energie z větrných elektráren, což by mělo snížit jejich největší nevýhodu, kterou je nepravidelnost chodu. [3.2]
- Dle studie Royal Society for the Protection of Bird dochází ročně k jedné nebo ke dvěma kolizím ptáka s větrnou turbínou. [3.2]
- Moderní větrné elektrárny nové koncepce už fungují bez mechanické převodovky, která byla ve starších strojích zdrojem nepříjemného hluku. Obejdou se také bez dalšího zdroje hluku, který byl způsoben chlazením vysokonapěťových transformátorů přídavnými ventilátory. Vystačí si už totiž s pasivním systémem chlazení. Základním zdrojem hluku tak zůstávají neodstranitelné aerodynamické hluky způsobené obtékáním dířku konstrukce a gondoly v kombinaci se svistem rotorových listů. [3.2]
- Větrné elektrárny v krajině zdůrazňují místa, kde si lidé uvědomují důležitost využívání obnovitelných zdrojů energie. To může mít svůj kladný dopad i na turistiku. Například do Jindřichovic pod Smrkem se na dvě nové větrné elektrárny během prvního roku provozu přijelo podívat přes 12 tisíc lidí. [3.2]
- Výkon moderních větrných elektráren je regulovatelný na základě vnějšího signálu a umožňuje tak spolupráci i se slabými sítěmi na úkor toho, že se část disponibilní větrné energie nepřemění na elektrickou. [3.2]
- Větrné elektrárny nahrazují (v poměru svých středních výkonů tedy pouze asi 0,03 %) část kapacity tepelných elektráren. [3.2]
- Narušení rázu krajiny umístěním větrných elektráren je kompenzováno výrobou čisté energie, která zároveň snižuje znečištění z jiných elektráren. Velké uhelné elektrárny mají daleko větší vliv na krajinu ať už samy svým vzhledem nebo svými dopady, kdy povrchová těžba uhlí zásadně proměnila krajinu severních Čech na prašné krátery. Také zničení flory celých pohoří vinou kyselých dešťů má mnohem razantnější dopad na krajinný ráz než rotory větrníků. [3.2]
- Větrné elektrárny lze po skončení životnosti rozebrat a dále zpracovat. [3.2]
- Větrná turbína o výkonu 1,5 MW vyrobí za 20 let svého provozu asi 80 milionů kilowatthodin elektrické energie, čímž nahradí 90 tisíc tun neobnovitelného zdroje hnědého uhlí. [3.2]

4.2 Výstavba větrných elektráren ve vztahu ke krajině

„Výstavbou větrné elektrárny je staveniště v porovnání s výstavbou jiných energetických zařízení zatíženo minimálně. Úprava terénu pro příjezd těžkých mechanismů nezbytných pro stavbu základu a pro montáž tubusu a samotné turbíny je potřebná jen na krátkou dobu. Po ukončení stavby se terén uvede do původního stavu. Pouze je třeba přemístit a uložit vytěženou zeminu při stavbě základu (zhruba kolem 100 m³). Po zabetonování základu je tento zahrnut ve výšce zhruba 0,5 m zeminou. Z povrchu země vystupuje pouze věnec na upevnění tubusu. Stavba je relativně krátká; trvá do dvou měsíců. Po ukončení provozu větrné elektrárny proběhne její demontáž během 1–2 dnů.“ [3.1]

„Větrné elektrárny umožňují polyfunkční využití zemědělské půdy. Zemědělskou půdu je možno využívat téměř v původním rozsahu, obdobně jako je tomu u stožárů pro elektrické vedení.“ [3.1]

„Při stavbě větrných elektráren musí být respektován zákon o ochraně přírody a krajiny ČNR č. 114/92 Sb. Nejsou přípustné stavby v národních parcích, v přírodních rezervacích, v chráněných krajinných oblastech první zóny a v blízkosti národních památek. Shodou okolností se však na území ČR většinou plochy chráněných krajinných oblastí ztotožňují s oblastmi vysokého větrného potenciálu (zhruba 60–70 %). Můžeme pouze doufat v to, že se v budoucnu najde kompromisní řešení, a větrnou energii, vstřícnou životnímu prostředí, za důkladného zvážení všech okolností v uvedených oblastech budou odpovědní pracovníci životního prostředí tolerovat.“ [3.1]

4.3 Hluk emitovaný větrnými elektrárnami

„Vliv akustické emise větrných elektráren na okolní prostředí bývá v mnoha případech ochránci životního prostředí nadhodnocován. Při provozu větrné elektrárny vznikají dva druhy hluku. Jde o mechanický hluk, jehož zdrojem je strojevna (generátor včetně ventilátoru, převodovka, natáčecí mechanismy, event. i brzda). Množství hluku emitované do okolí závisí nejen na kvalitě provedení jednotlivých částí (např. ozubená kola převodovky) i celku, ale také na uložení a kapotáži celého soustrojí. Současné sériově vyráběné větrné elektrárny mají všechny uvedené parametry optimalizovány. Až na malé odchylky při natáčení gondoly je to zvuk ustálený.“ [3.1]

„Určité zvukové rázy vznikají míjením listů vrtule kolem tubusu. V minulosti se u některých větrných elektráren objevovaly vibrace tubusu, s čímž se moderní technologie vyrovnala /Koníček, Jiříček/. Dále jde o aerodynamický hluk, který vzniká interakcí proudícího vzduchu s povrchem listů rotoru a uvolňováním vzdušných vírů za hranou listů. Jeho frekvenční spektrum je velmi vyrovnané a klesá se vzrůstající frekvencí. Aerodynamický hluk je snižován modernějšími konstrukcemi listů vrtule, případně variantností typů rotorů, kdy za cenu snížení hlukové emise se mírně sníží i výkon generátoru.“ [3.1]

„Hluk se šíří od bodového zdroje v závislosti na směru a rychlosti proudění vzduchu, v závislosti na intenzitě vertikálního promíchávání vzduchu (pod teplotní inverzí je omezen přenos hluku ve vertikálním směru), na tvaru zemského povrchu, na existenci překážek pro šíření hluku /Štekl, 1996/. Hluk šířící se od bodového zdroje se utlumuje se vzrůstající vzdáleností. Ve zjednodušené verzi řešení se uvažuje úbytek akustického tlaku s logaritmem vzdálenosti jako funkce rychlosti větru. Většinou se tato zjednodušená verze výpočtu (tedy bez vlivu směrové růžice, tvaru reliéfu, zvrstvení teploty atd.) používá v modelových výpočtech pro určení izofonového pole v okolí větrné elektrárny.“ [3.1]

„Na sílu vjemu vyvolaného určitým hlukem má velký vliv poměr mezi jeho intenzitou a intenzitou ostatních hluků, které se označují jako hluk pozadí. Všeobecně je známo, že hluk vyvolaný vazkým a turbulentním třením vzduchu o drsný zemský povrch dosahuje, zvláště v horských podmínkách, velkých hodnot. Např. při vichřici se v těchto podmínkách stává lidská řeč nesrozumitelnou. Na zkušebním polygonu Dlouhá Louka v Krušných horách bylo provedeno měření, které ukázalo, že při rychlosti větru do 5 m/s byla úroveň hluku pozadí v mezích 30–40 dB, ale při rychlosti větru kolem 6 m/s hluk pozadí byl v rozsahu od 33 do 47 dB a při rychlostech větru nad 8 m/s hluk pozadí přesahoval hodnotu 45 dB /Štekl, 1999/.“ [3.1]

„Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací určuje nejvyšší přípustnou hladinu akustického tlaku ve venkovním prostoru pro den (6–22 hodin) 50 dB a pro noc 40 dB. V tomto nařízení není zohledněna okolnost, kdy hluk pozadí převyšuje hluk vyvolaný větrnou elektrárnou. Bylo by jistě mimo logiku případu, aby schvalovací orgán do povolení řízení nezahrnul zmíněnou skutečnost poměru mezi úrovní hluku pozadí a akustického tlaku vyvolaného větrnou elektrárnou.“ [3.1]

„Např. v Německu se uplatňuje doporučení větrnou elektrárnu stavět více než 300 m od jednotlivého domu a více než 500 m od okraje skupiny domů (obec apod.).“ [3.1]

„Na některé citlivé jedince nepříznivě působí stroboskopický efekt, vznikající střídavým zakrýváním slunečního kotouče listy rotoru. Tento efekt je aktuální pouze při malé výšce Slunce. Proto by mělo být součástí posudku na připravovaný projekt stavby větrné elektrárny posouzení vlivu stroboskopického efektu.“ [3.1]

4.4 Větrné elektrárny a avifauna

„Využívání větrné energie provázejí živé diskuse a často i ostré spory s ochránci ptactva, protože se u větrných elektráren na území Česka jedná o nový proces v krajině, u něhož nelze vycházet ze zkušeností. Přitom systematické dlouhodobé pozorování, které by prokázalo negativní vlivy na ptactvo v ČR, neexistuje a krátkodobé zkušenosti takovéto vlivy neprokázaly. Diskuse jsou většinou spekulativní.“ [3.1]

„Zcela aktuálním se posouzení vlivu větrných elektráren na avifaunu stalo Zákonem 100/2001 Sb. ze dne 20. února 2001 o posuzování vlivů záměru na životní prostředí. V části D přílohy, která je uvozena názvem „Komplexní charakteristika a hodnocení vlivů záměru na obyvatelstvo a životní prostředí“ v bodě 2, je povinnost zhodnotit vlivy na faunu, flóru a ekosystémy. V České republice, pokud je autorovi známo, existuje pouze jedna ucelená studie o vlivu větrné elektrárny na populace ptáků, kterou zpracovali Prof. Dr. K. Šťastný, CSc. a Doc. Dr. V. Bejček, CSc., z katedry ekologie LF VŠZ Praha v letech 1993 až 1994. V lokalitě Dlouhá Louka (880 m n. m.) v Krušných horách provedli výzkum hnízdních společenstev ptáků ve třech biotopech této lokality (na louce, v lese a v chatové oblasti) a to v délce jednoho měsíce před a po výstavbě „Demonstrační větrné elektrárny EWT 315 kW“. Tento výzkumný projekt financoval ČEZ, a. s. Ze závěru výzkumné zprávy vyjímáme následující: „Bylo shledáno, že výstavbou větrné elektrárny nebyla zasažena žádná lokalita, zasluhující ochranu. V blízkosti nebylo zjištěno hnízdiště žádného ohroženého druhu vyjma hýla rudého, jehož hnízdní výskyt byl však zaznamenán až po výstavbě větrné elektrárny. Prezentované výsledky jsou dokladem, že provoz větrné elektrárny významným způsobem neovlivňuje hnízdní společenstva ptáků. Zjištěné rozdíly na otevřené ploše v blízkosti větrné elektrárny bezesporu nesouvisejí s jejím provozem, nýbrž s likvidací lučního porostu během její výstavby a rozoráním celé louky před novým osetím. Nebylo možno z časových důvodů provést analýzu situace během podzimní migrace. Na základě vlastních výsledků a zkušeností zahraničních autorů lze předpokládat, že větrná elektrárna nebude mít zásadně rušivý vliv na avifaunu.“ [3.1]

„K tomuto odbornému posudku dodejme praktické zjištění, že za sedm let provozu uvedené demonstrační větrné elektrárny nebyl zjištěn v bezprostředním okolí ani jeden pták zraněný případně mrtvý. Podrobný text výzkumných zpráv je uveřejněn v časopise Větrná energie, No 17, 2002.“ [3.1]

„V zahraniční literatuře lze nalézt řadu výzkumných pozorování chování tažných ptáků u větrných farem. Všeobecně lze říci, že tyto viditelné překážky ptáci oblétaávají či nadlétávají, v řídkých případech i prolétávají. Poněkud složitější situace nastává v noci či za mlhy. Ukazuje se, že plachtící ptáci mohou pociťovat existenci rozvířeného tedy turbulentního charakteru proudění za rotory větrných elektráren do vzdálenosti až několika málo set metrů. Turbulentní vlečka je nejvýraznější na obvodu rotoru. Ze zahraničních statistik vyplývá, že průměrný počet kolizí ptáků na kilometrovém pásu větrných elektráren odpovídá počtu ptáků zabitých střetem s automobily na kilometrovém úseku frekventované silnice a je mnohem menší než počet nehod ptáků, připadající na kilometr elektrického vedení vn nebo vvn.“ [3.1]

4.5 Větrné elektrárny a šíření radiového a televizního signálu

„V minulosti se objevily pokusy kritizovat větrné elektrárny z důvodu, že působí rušivě na elektromagnetické vlnění v jejich okolí. Principiálně může vznikat interference, k níž dochází vlivem odrazu, rozptylu a difrakce elektromagnetického vlnění. Bylo zjištěno, že v prostoru mezi zdrojem signálu a větrnou elektrárnou je hladina interference značně nižší než v prostoru za větrnou elektrárnou z pohledu od vysílače. Samotná hodnota interference je závislá na technických parametrech větrné elektrárny (rozměry rotoru, konstrukce listů rotoru včetně jejich geometrie, rychlost rotace).“ [3.1]

„Měřením na demonstrační větrné elektrárně Dlouhá Louka bylo prokázáno, že činnost elektrárny kvalitu televizního signálu v jejím okolí neovlivňuje. Totéž lze říci obecně o větrných elektrárnách moderní konstrukce. Stejně tak lze konstatovat, že provoz větrných elektráren neovlivňuje letecký provoz z hlediska rušení a vyzařování elektromagnetických a elektrostatických polí.“ [3.1]

4.6 Větrné elektrárny a krajinný ráz

„Krajinný ráz patří k nejcitlivějším hlediskům při umisťování větrných elektráren do krajiny. Obtížnost tohoto hodnocení je dána subjektivním charakterem, pro nějž nelze určit jednoznačný závažný postup. V zahraničí jsou k dispozici odborná doporučení jako např. v práci Winkelbrandta et al. pro spolkové země Německa. V České republice byl zpracován Ing. J. Penkem z AOPK ČR vcelku úspěšný návrh „Metodického pokynu MŽP pro umisťování větrných elektráren v chráněných územích a ostatní krajině“ v roce 1999, který se však nestal oficiálním dokumentem.“ [3.1]

„V časopise Ochrana přírody, 54, 1999, č. 5 vyšel článek „Umístění větrných elektráren v chráněných územích a ostatní krajině“ od autorů V. Petříčka a K. Macháčkové. V tomto doporučení není sladěno hledisko ochrany krajiny se základními požadavky meteorologickými, které je nutno dodržet. Např. se doporučuje lokalizovat větrnou elektrárnu v kulturní krajině s vhodnou doprovodnou zelení a ignoruje se nepříznivý vliv zvýšeného parametru drsnosti na turbulentnost proudění a jeho zeslabení. Nebo se doporučuje umístit větrnou elektrárnu pod horizont. Toto doporučení je v rozporu s fyzikálním zákonem o růstu rychlosti větru na vrcholcích terénních tvarů. Dále se konstatuje, že menší počet větrných elektráren netříští kulisu rozptýlených stromů. Experimentálně bylo zjištěno, že stromy ovlivňují proudění až do vzdálenosti rovné pětinasobku jejich výšky.“ [3.1]

„Je třeba připustit, že větrné elektrárny zvláště na vysokých tubusech, či větrné farmy naruší vzhled krajiny. Neruší jej však více než třeba vysokonapěťová vedení, tovární komíny, paneláková sídliště, velkokapacitní kravíny, či jiná technická zařízení, která jsou pro obyvatelstvo tak nezbytná. Berme zásah do krajinného rázu jako jednu miskuvah, kde druhou je výroba elektrické energie „čistou formou“. A jako česká krajina v minulosti „unesla“ 880 historicky doložených větrných mlýnů, jistě i v budoucnosti „unese“ zhruba 1000 větrných elektráren. Obdobně jako krajina sousedního státu Sasko již v současnosti „unese“ 600 větrných elektráren. Věříme tomu, že se časem s těmito technicky a esteticky elegantními zařízeními většina obyvatelstva sžije jako u našich sousedů.“ [3.1]

4.7 Větrné elektrárny a produkce škodlivin

„Je všeobecně známo, jakým způsobem uhelné elektrárny zatěžují životní prostředí počínaje zásahem do krajiny při skrývkách zeminy (nemluvě o přemístění obcí), při samotné těžbě uhlí, při ukládání pevných odpadů spalovacích procesů, při znečišťování vody. Nesmíme opomenout finanční náklady na rekultivaci krajiny. Stejně tak jsou všeobecně známy problémy kolem úložišť použitého jaderného paliva. Aktuální otázkou je množství zásob uhlí – z odpovědi vyplývá, kdy uhelné elektrárny přestanou mít funkční opodstatnění.“ [3.1]

„V minulosti byl velmi agresivní emitovanou látkou vznikající při spalování uhlí oxid siřičitý (SO₂), který dlouhodobě poznamenal lesní porosty nejen v Krušných horách, ale i v jiných regionech. Po odsíření uhelných elektráren se sice zásadním způsobem snížila hodnota emitovaného SO₂, ale v důsledku energetické náročnosti na odsiřovací proces se zvýšila úroveň emitovaného CO₂. Oxid uhličitý jako skleníkový plyn, který je důsledně mezinárodně monitorovanou škodlivou látkou, při výrobě elektrické energie z větru nevzniká.“ [3.1]

„Jestliže vyjdeme z množství odpadních látek, které vznikají při výrobě jedné kWh z uhlí, pak podle zahraničních pramenů při výrobě 1 kWh z energie větru se sníží emise CO₂ až o 1250 g, emise NO_x až o 6 g, prachu a popílku až o 70 g. Podotýkám, že tyto údaje se u jednotlivých autorů liší. Souhrnně lze však říci, že uvedení většího počtu větrných elektráren do provozu na našem území by významným způsobem odlehčilo atmosférickému prostředí. Např. při vybudování 150 větrných elektráren s celkovým výkonem 300 MW v oblasti Krušných hor by se snížilo zatížení životního prostředí za rok v porovnání s výrobou elektřiny z uhlí o 3600 t NO_x, 750 000 t CO₂, 420 000 t prachových částic a 42 000 t škváry a popílku.“ [3.1]

„Důležitým parametrem při hodnocení větrných elektráren je poměr energie vynaložené na výrobu a zprovoznění zařízení vůči energii, kterou toto zařízení je schopno během své životnosti vyrobit. U větrných elektráren poslední generace v podmínkách vysokého větrného potenciálu je zapotřebí jednoho, maximálně dvou let, aby poměr obou složek byl vyrovnaný. Poté po zbytek své životnosti současná větrná elektrárna vyrobí 20 krát více energie, než byla energie potřebná na její výrobu a zprovoznění. Tento poměr v porovnání s jadernými a uhelnými elektrárnami je u větrných elektráren velmi příznivý.“ [3.1]

LITERATURA

[3.1] MOTLÍK, Jan a kolektiv. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice [online]. Praha: ČEZ, a. s., 2007 [cit. 2011-12-24]. Dostupné z URL: < <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html> >

[3.2] JUNG, Ondřej. Využití větrné energie v podmínkách ČR. Hradec Králové, 2010. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Katedra technických předmětů. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc.

V rámci projektu Zelený most mezi školou a praxí - environmentální vzdělávací moduly pro trvale udržitelný rozvoj, reg. č. CZ.1.07/1.1.00/14.0153 vznikl soubor sedmi učebnic, které poskytují ucelený pohled na současné možnosti využívání obnovitelných zdrojů energie a způsobů, jak šetřit energiemi.

Učebnice jsou určeny studentům středních a vyšších odborných škol a dále všem zájemcům o studium energetiky, stavebnictví a udržitelnosti rozvoje lidstva.



1. Význam, přehled a celkové využití energetických zdrojů

- Kategorizace energetických zdrojů
- Charakteristika obnovitelných zdrojů
- Výhody a nevýhody užití obnovitelných zdrojů
- Energetické úspory
- Udržitelný rozvoj



2. Biomasa pro energii

- Biomasa a její produkce
- Energetické rostliny a další druhy biomasy
- Zpracování biomasy pro energetické využití
- Energetické využití biomasy
- Biotechnologické využití biomasy
- Využití bioodpadů



3. Solární energie

- Význam a využití solární energie
- Solární kolektory a solární systémy
- Fotovoltaické systémy



4. Tepelná čerpadla

- Význam a využití energie akumulované v prostředí
- Tepelná čerpadla – druhy, princip činnosti, užití



5. Úspora energie ve stavebnictví

- Materiály
- Snižování energetické náročnosti
- Úspora energie ve stavebnictví
- Ekologicky šetrné stavby



6. Větrná energie

- Význam a využití větrné energie
- Větrné elektrárny
- Podmínky pro stavbu větrných elektráren



7. Vodní energie

- Význam a využití vodních zdrojů energie
- Vodní turbíny a motory
- Montáž turbín
- Vodní elektrárny

BIOMASA PRO ENERGII

Výsledky vzdělávání	Učivo
Žák: - kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- vysvětlí proces vytváření biomasy za různých podmínek a tok energie v trofických vztazích - vysvětlí význam, možnosti a obecné podmínky pro nepotravinářské využití fytomasy (např. v energetice, stavebnictví) a organických zbytků (vedlejších produktů, odpadů) jako alternativního zdroje energie - uvede podíl biomasy ve využití ze všech energetických zdrojů zejména u nás, ale i ve světě	2. Biomasa a její produkce - fytomasa jako primární produkce různých ekosystémů (různý podíl dodatkové energie) - nepotravinářská fytomasa, její produkce a využívání (agro, lesní a jiné ekosystémy) - energie v biologických zbytcích a odpadech (zemědělství, potravinářství, lesnictví, komunální sféra, další odvětví)
- uvede hlavní druhy pěstovaných energetických rostlin (dřeviny, byliny a řasy) a jejich biologickou a energetickou charakteristiku - objasní technologii pěstování hlavních druhů energetických rostlin	3. Energetické rostliny - druhy rostlin - způsoby pěstování - možnosti využití
- uvede příklady využití polních plodin pro energetické účely - zhodnotí význam rozptýlené zeleně v krajině, vyjmenuje a pozná hlavní druhy rostlin - uvede možnosti využití zbytkové biomasy	4. Další biomasa využitelná jako zdroj energie - polní plodiny - rozptýlená zelen v krajině - zbytková biomasa v krajině

(lesy, sady, stromořadí, porost kolem vodotečí apod.) - vyhledá a hodnotí potenciál biomasy z vedlejších zemědělských produktů - popíše způsoby využití dřevní hmoty po lesní těžbě - odhadne potenciál biomasy z lesa - objasní způsoby zpracování dřevní hmoty pro využití ke spalování (dřevní štěrka, dřevěné brikety, dřevěné pelety) - zhodnotí využitelnost těžebního odpadu pro energetické účely	- využívání vedlejších produktů ze zemědělství a potravinářství - lesní biomasa - dřevní hmota po lesní těžbě a její zpracování
- popíše přípravu pro energetické využití rostlin - uvede a popíše stroje a zařízení používané pro pěstování, sklizeň a zpracování pro využití energetických rostlin (např. sklízecí mechanismy, sušárny apod.) - objasní možnosti logistiky pro energetiku	5. Zpracování biomasy pro energetické využití a její distribuce - stroje a zařízení pro pěstování, sklizeň, úpravy a dopravu biomasy - ekonomické, ekologické a bezpečnostní aspekty využívání biomasy
- popíše výrobu tepla z biomasy ve velkých i malých provozech - popíše výrobu elektřiny z biomasy - vysvětlí principy kogenerace (společné výroby tepla a elektřiny) - porovná výrobu tepla a společnou výrobu elektrické energie a tepla z ekonomického i technického hlediska - zhodnotí význam malých decentralizovaných komunálních energetických zdrojů - vysvětlí klasickou technologii výroby dřevoplynu	6. Energetické využití biomasy - výroba tepla - výroba elektřiny - nové vývojové trendy - znovuoobjevený dřevní plyn
- vysvětlí princip tvorby bioplynu - vyjmenuje zdroje biomasy vhodné pro výrobu bioplynu (zemědělství, potravinářství, komunální odpad) - popíše technická zařízení používaná k výrobě bioplynu - vysvětlí možnosti využití digestátů (kapalný podíl) z bioplynových stanic - vyjmenuje způsoby a možnosti využití bioplynu - uvede vliv zušlechťování bioplynu na kvalitu zemního plynu z bioplynových stanic	7. Biotechnologické využití biomasy - bioplyn - pyrolýzní plyn

- nízkoteplotní depolymerizace (základ pro výrobu kapalných motorových paliv II. generace) - vysvětlí princip výroby a využití pyrolýzního plynu	
- popíše technologii kompostování, uvede způsoby využití kompostu - charakterizuje zpracování a využití biologicky rozložitelného komunálního odpadu - charakterizuje zpracování a využití čistírenských kalů	8. Využití bioodpadů - kompostování - biologicky rozložitelný komunální odpad - čistírenské kalý
- vysvětlí principy chemických procesů (fermentační procesy, esterifikace, depolymerizace, pyrolýza, krakování) - uvede suroviny, popíše způsob výroby bionafty - uvede suroviny, popíše způsob výroby bioetanolu - uvede další kapalná biopaliva (např. butanol)	9. Využití dalších chemických procesů pro zpracování biomasy - bionafta - bioetanol
- analyzuje potřeby pěstování a využívání biomasy na regionální i celostátní úrovni ve vztahu k ekonomickým a sociálním aspektům - prakticky hodnotí možnosti získávání a využívání biomasy v okolní krajině - komunikuje se zemědělci, vlastníky pozemků, občany a s místní samosprávou, zajišťuje osvětu - vyjmenuje předpisy a možnosti podpory ze strany státu vztahující se k pěstování a využívání biomasy - využívá a řídí se právními předpisy - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	10. Podpora a osvěta pro využívání biomasy - propagace - právní předpisy - předpisy BOZP

SOLÁRNÍ ENERGIE

Výsledky vzdělávání	Učivo
Žák: - kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- vysvětlí význam, možnosti a obecné podmínky pro využití slunce jako zdroje energie a její podíl ze všech energetických zdrojů zejména u nás, ale i ve světě - stručně popíše i historický vývoj využití solární energie - uvede možnosti pasivního využívání solární energie včetně praktických příkladů	2. Význam a využití sluneční energie - solární architektura
- čte a používá technickou a schvalovací dokumentaci obsaženou hlavně v normách - používá základní pojmy a vztahy v elektrotechnice - měří elektrické a neelektrické veličiny a vyhotovuje záznamy - volí správné pracovní postupy a technické prostředky při instalaci - montuje a zapojuje systémy - diagnostikuje poruchy - udržuje a opravuje systémy - popíše princip akumulace energie v solárních kolektorech a systémech	3. Solární kolektory a solární systémy - technická dokumentace - druhy kolektorů - montáž systémů - opravy, údržba a diagnostikování - způsoby akumulace energie
- čte a používá technickou a schvalovací	4. Fotovoltaické systémy

dokumentaci obsaženou hlavně v normách - používá základní pojmy a vztahy v elektrotechnice - měří elektrické a neelektrické veličiny a vyhotovuje záznamy - volí správné pracovní postupy a technické prostředky při instalaci - montuje a zapojuje systémy - diagnostikuje poruchy - udržuje a opravuje systémy - popíše princip akumulace energie ve fotovoltaických systémech	- technická dokumentace - druhy panelů - montáž systémů - opravy, údržba a diagnostikování - způsoby akumulace energie
- využívá informace o solární energii k její propagaci v jednání s veřejnou správou a veřejností - řídí se právními předpisy - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	5. Podpora a osvěta pro různé způsoby využívání solární energie - propagace - právní předpisy - předpisy BOZP

TEPELNÁ ČERPADLA

Výsledky vzdělávání	Učivo
- kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- vysvětlí akumulaci energie v prostředí z dostupných zdrojů - uvede příklady a možnosti využívání energie akumulované v prostředí (v domácnostech, průmyslu, zemědělství, dopravě)	2. Význam a využití energie akumulované v prostředí - princip akumulace energie
- čte a používá technickou a schvalovací dokumentaci a normy - používá základní pojmy a vztahy v elektrotechnice - měří elektrické a neelektrické veličiny a vyhotovuje záznamy - volí správné pracovní postupy a technické prostředky při instalaci - montuje a zapojuje systémy - obsluhuje a udržuje v chodu tepelná čerpadla - diagnostikuje poruchy - opravuje systémy	3. Tepelná čerpadla - technická dokumentace - systémy tepelných čerpadel - montáž systémů - diagnostikování, opravy a údržba
- využívá informace o tepelných čerpadlech k jejich propagaci v jednání s veřejnou správou a veřejností - řídí se právními předpisy - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	4. Podpora a osvěta pro využívání tepelných čerpadel - propagace - právní předpisy - předpisy BOZP

ÚSPORA ENERGIE VE STAVEBNICTVÍ

Výsledky vzdělávání	Učivo
Žák: - kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- orientuje se v tepelně izolačních stavebních materiálech a porovná jejich vlastnosti - zvolí vhodný typ materiálu pro jednotlivé konstrukce - sleduje a hodnotí z různých hledisek nové možnosti využívání energeticky vhodných stavebních materiálů	2. Materiály - přehled a vlastnosti tepelně izolačních materiálů - volba materiálu
- vysvětlí význam snižování energie z ekonomických a ekologických hledisek - uvede příklady snižování energetické náročnosti domácností, finančně je zhodnotí - uvede základní principy pasivního využívání solární energie pro energetické úspory včetně konkrétních příkladů - uvede příklady snižování energetické náročnosti v průmyslových a zemědělských provozech ze stavebního hlediska	3. Snižování energetické náročnosti průmyslových provozů a domácností - význam - ekonomické a ekologické aspekty
- vysvětlí význam zateplování budov, zdůvodní ho z hledisek ekologických a ekonomických - charakterizuje zásady pro rekonstrukci budov z hledisek energetických úspor	4. Úspora energie ve stavebnictví - zateplování budov - rekonstrukce budov - nízkoenergetické domy

a objasní význam dodatečné izolace ve všech souvislostech (úspora, ochrana konstrukcí, apod.) - zvolí způsob zateplení podle účelu jednotlivých konstrukcí - vysvětlí a dodržuje technologické postupy při jednotlivých způsobech zateplení - vysvětlí principy a odlišnosti mezi způsobem výstavby nízkoenergetických a pasivních domů a úsporami při provozu objektů - provádí práce spojené s výstavbou nízkoenergetických a pasivních domů	- pasivní domy
- zhodnotí význam dřevěných staveb z hlediska energetického, ekonomického a sociálního i vzhledem k umístění v krajině k podmínkám prostředí	5. Ekologicky šetrné stavby - dřevostavby
- orientuje se v předpisech týkajících se energetických úspor souvisejících se stavebnictvím - vysvětlí roli stavebních úřadů - uvede účastníky investiční výstavby - zpracuje žádost na stavební úřad pro ohlášení stavby nebo stavební povolení	6. Legislativa - právní předpisy (Stavební zákon č.183/2006Sb., ve znění pozdějších předpisů) - přímí a nepřímí účastníci investiční výstavby
- využívá informace o energetických úsporách spojených se stavebnictvím k propagaci a k jednání s veřejnou správou a s veřejností - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	7. Podpora a osvěta pro energetické úspory spojené se stavebnictvím - propagace - předpisy BOZP

VĚTRNÁ ENERGIE

Výsledky vzdělávání	Učivo
Žák: - kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- vysvětlí význam, možnosti a obecné podmínky pro využití větrného zdroje energie a její podíl ze všech energetických zdrojů zejména u nás, ale i ve světě - stručně popíše i historický vývoj využití větrné energie	2. Význam a využití větrné energie - přehled a podmínky pro využití větrné energie
- vysvětlí princip různých typů VTE, jejich funkce a vlastnosti - charakterizuje podmínky vhodné pro stavbu VTE (přírodní, technické, ekonomické a environmentální) - charakterizuje provoz a podmínky provozu větrné elektrárny včetně jejího výkonu a výroby ve vztahu k provozním podmínkám a efektivitě - provádí montážní práce	3. Větrné elektrárny (VTE) - typy větrných elektráren - podmínky pro stavbu a provoz VTE
- využívá informace o větrné energii k její propagaci v jednání s veřejnou správou a veřejností - řídí se právními předpisy - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	4. Podpora a osvěta pro využívání větrné energie - propagace - právní předpisy - předpisy BOZP

VODNÍ ENERGIE

Výsledky vzdělávání	Učivo
Žák: - kategorizuje energetické zdroje, objasní význam a perspektivy využívání obnovitelných zdrojů energie - vyjmenuje a stručně charakterizuje všechny druhy obnovitelných a nevyčerpatelných zdrojů energie: slunce, voda, vítr, zdroje živé přírody - biomasa, energie akumulovaná v prostředí, hlubinné geotermální zdroje apod. - vysvětlí obecné výhody a nevýhody využívání obnovitelných zdrojů energie pro udržitelný rozvoj - zdůvodní význam energetických úspor ve vztahu k udržitelnému rozvoji, tj. k ochraně prostředí i k hospodářskému a sociálnímu rozvoji a objasní význam hledání nových energetických zdrojů	1. Význam a přehled využití obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - rozdíl mezi neobnovitelnými, nevyčerpatelnými a obnovitelnými přírodními zdroji - přehled obnovitelných a nevyčerpatelných energetických zdrojů - vztah energetiky k řešení současných globálních a regionálních problémů
- vysvětlí význam, možnosti a obecné podmínky pro využití energie z vodních zdrojů a jejich podíl ze všech energetických zdrojů zejména u nás, ale i ve světě - stručně popíše i historický vývoj využití vodních zdrojů energie - hodnotí perspektivy využívání vodní energie i nové možnosti využívání (moře)	2. Význam a využití vodních zdrojů energie - přehled a podmínky pro využití energie z vodních zdrojů
- vysvětlí princip funkce a možnosti využití různých typů vodních turbín a vodních motorů	3. Vodní turbíny a motory - funkce a využití
- popíše přípravu stanoviště pro montáž - vysvětlí postup sestavování jednotlivých dílů - vysvětlí průběh a zásady montáže turbíny - orientuje se v technických podkladech - charakterizuje způsoby vyhledávání různých druhů závad - vysvětlí sestavení technologie oprav - objasní důvod provádění údržbářských, inspekčních a opravárenských prací na strojních součástech	4. Montáž turbín - příprava stanoviště - montáž turbín - závady a jejich vyhledávání - opravy a opravárenské práce - údržba - evidence dat

- charakterizuje způsob ošetřování a údržbu příslušného vybavení a strojů - eviduje technická data o průběhu a výsledcích práce	
- vysvětlí princip funkce vodních elektráren - charakterizuje přírodní podmínky vhodné pro stavbu vodní elektrárny - uvede optimální parametry/ukazatele (včetně ekonomických, ekologických, hygienických, bezpečnostních atd.) vhodné pro stavbu vodní elektrárny - charakterizuje provoz a podmínky provozu vodní elektrárny včetně jejího výkonu a výroby ve vztahu k provozním podmínkám a efektivitě vodní elektrárny - vypočítá dle zadání výkon a výrobu vodní elektrárny - provádí montážní práce - charakterizuje vztah vodních elektráren k ochraně organismů - popíše význam MVE z ekologického hlediska zejména ve vztahu k ochraně organismů	5. Vodní elektrárny - vodní elektrárny s výkonem nad 10 MWh - vodní elektrárny s výkonem do 10 MWh (MVE)
- využívá informace o vodní energii k její propagaci v jednání s veřejnou správou a veřejností - řídí se právními předpisy - zná a dodržuje předpisy a zásady BOZP	6. Podpora a osvěta pro využívání vodní energie - propagace - právní předpisy - předpisy BOZP

POZNÁMKY:

POZNÁMKY:



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky