energie z větru

EKIS ČEA

EcoWATT

ENERGIE VĚTRU

Větrná energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie. **Vítr** je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak, rozumí se (i v odborné literatuře) pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

Obrázek 1: Větrný mlýn, Holandsko.

přírodní podmínky

Větrná energie je na předním místě pomyslného žebříčku velikosti dostupného potenciálu obnovitelných zdrojů energie v ČR. Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, který se projevuje významným sezónním kolísáním rychlostí větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

Rychlost větru, která je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, je úměrná **velikosti tlakového rozdílu** a udává se

převážně v m/s. Poblíž zemského povrchu je toto proudění ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Pro rovný terén, kde je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivňována pouze drsností povrchu, lze použít vztah závislosti mezi rychlostí větru a výškou:

$$\overline{w}_h = \overline{w}_o \left(\frac{h}{h_o} \right)^p$$

kde:

w_o je střední rychlost větru ve výšce h_o [m/s]
w_h je vypočítaná rychlost větru [m/s]
h_o je výška, ve které se provádí měření [m]
h je výška umístění osy rotoru [m]
p je exponent závisející na drsnosti povrchu, vertikálním profilu teplot a výšce nad zemským povrchem; vyjadřuje vliv atmosférické turbulence a nabývá hodnot 0 až 1. Při použití průměrných rychlostí větru lze orientačně předpokládat pro vrstvu 0 - 2 m hodnotu p = 0,25, pro vrstvu 2 - 16 m hodnotu p = 0,22 a pro vrstvu 16 - 250 m hodnotu p = 0,20.

Druh povrchu	p
hladký povrch, vodní hladina, písek, led, bláto	0,10 - 0,14
rovinatý terén s nízkým travnatým porostem, ornice, zasněžený terén	0,13 - 0,16
vysoký travnatý porost, nízké obilné porosty	0,18 - 0,19
porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní porosty	0,21 - 0,25
vysoké husté lesy	0,28 - 0,32
předměstí, vesnice, malá města	0,40 - 0,48

Tabulka 1: Orientační koeficienty pro extrapolaci rychlostí větru.

Pozn.: Pozor na rozdíl mezi výškou nad zemským povrchem a výškou nad terénem. Je dobré si uvědomit, že koeficienty v tomto přiblížení platí pro rovinatý terén, a tudíž odrážejí vliv drsnosti podloží vzdušného proudu, ale nikoliv vliv členité orografie. Koeficienty se mění i s výškou vegetace, sněhu, atd. (závisí na ročním období). Drsnost povrchu může být různá i z různých směrů.

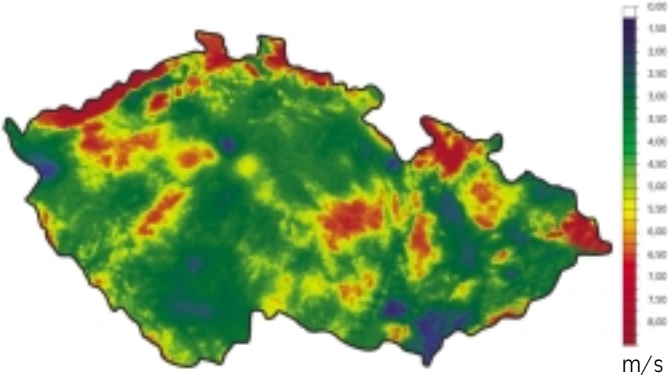
Směr větru (odkud vítr vane) se uvádí převážně v desítkách stupňů azimutu, případně v meteorologii závaznými anglickými zkratkami.

Proudění vzduchu je vždy **turbulentní**, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. Výsledky měření směru a rychlosti větru jsou proto průměrované za určitý časový interval, tzv. **vzorkovací dobu**. Měření rychlosti větru se provádí nejčastěji miskovými **anemometry**.

Pro tato měření jsou mezinárodně přijaty standardy. Pro rychlost a směr větru je to výška 10 m nad zemským povrchem

(pokud ji není možno dodržet, jsou údaje dohodnutým způsobem přepočítávány na tuto výšku).

Bohužel jednotlivé metody nejsou plně srovnatelné, na některých stanovištích jsou mezi naměřenými hodnotami kontinuálním měřením a vypočtenými průměrnými rychlostmi při měření v klimatických termínech rozdíly 10 - 20 %.



Obrázek 2: Větrný atlas České republiky. (Zdroj: ÚFA AV ČR.)

Pro základní výpočet průměrných ročních rychlostí větru vznikl v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR počítačový program VAS (Větrný atlas ČR, za podpory České energetické agentury). Výpočet je prováděn interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění nad naším územím. Umožňuje teoretické rozlišení pro oblast velikosti 2 x 2 km.

možnosti využití

Možnosti využití větrné energie jsou dvě:

- přímá přeměna energie větru na **mechanickou práci**, např. čerpání vody,
- přímá přeměna energie větru na **elektřinu**, kterou je možné dodávat do sítě, nebo využívat v dané lokalitě.

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), **autonomní systémy**, slouží pro lokální zásobování elektřinou (**mikroelektrárny**). Větší autonomní systémy využívají klasické větrné elektrárny se záložními zdroji (bez akumulace) upravené pro ostrovní provoz. V každém případě je kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů.

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on) jsou nejrozšířenější a používají se v oblastech s velkým větrným potenciálem; slouží výhradně pro komerční výrobu elektřiny.

Podobně jako u sluneční energie se jedná o nestálý energetický zdroj, který je většinou doplňkem klasických zdrojů energie. Nevýhodou je obecná závislost na počasí, denní době a ročním období.

základní části zařízení

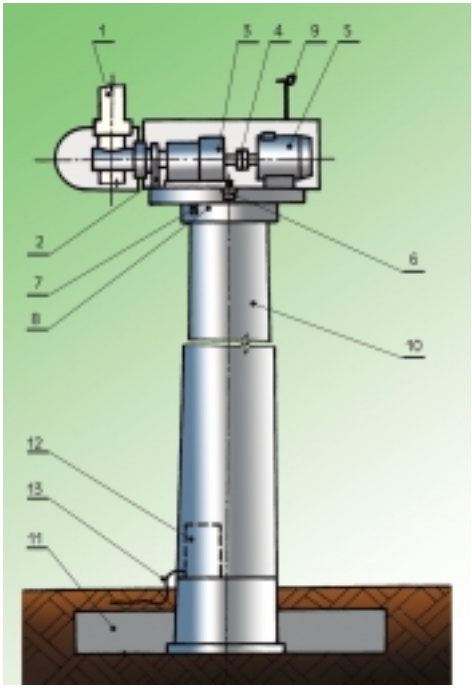


Schéma zobrazení větrné elektrárny.

Popis: 1 - rotor s rotorovou hlavicí, 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 řídícího obvodu, 13 - elektrická přípojka.

přehled zařízení

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 rotoru, typu generátoru a zejména regulace. V současné době převládají dva typy regulace výkonu v závislosti na rychlosti větru:

Regulace Stall (pasivní): Rotor elektrárny má pevné listy a pro regulaci využívá odtržení proudnice vzduchu od listu rotoru při určité rychlosti větru. Po odtržení dojde ke snížení výkonu. Výhody jsou o něco vyšší výroba elektrické energie při vyšších rychlostech větru s větrnými nárazy a nižší pořizovací náklady. V současné době se používá i aktivní varianta regulace typu Stall, která spočívá v mírném pomalém aktivním natáčení listů v závislosti na okamžitých klimatických podmínkách, např. hustotě vzduchu.

Regulace Pitch (aktivní): Využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru tak, aby byl celkový náběh větrného proudu v daném okamžiku optimální (dosažení nejvyšší výroby). Výhodou je vyšší výroba elektrické energie zejména při nižších rychlostech větru, kdy se optimalizace projeví nejvíce. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na **vztlakové** a **odporové**. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s **vodorovnou osou otáčení**. Ty pracují na vztlakovém principu, kdy 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.

Existují také elektrárny se **svislou osou otáčení**, některé pracují na **odporovém principu** (typ Savonius, jako misky anemometru) nebo na **vztlakovém principu** (typ Darrieus). Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztlakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti; není je třeba natáčet do směru převládajícího větru. 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.

Výkony mikroelektráren se pohybují od cca 50 do 1000 W. Elektřina se obvykle vyrábí pomocí synchronních generátorů buzených permanentními magnety, s výstupním napětím 12 nebo 24 V, které napájí malé spotřebiče (světla, TV, chladničky) a slouží pro nabíjení akumulátorů (např. lodní palubní systémy). Elektrárny lze doplnit měničem, který dodává střídavý proud o napětí 220 V.

Elektrárny velkých výkonů (300 až 3000 kW) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě. Mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapólovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Většina elektráren má konstantní otáčky. Některé typy mají obvykle dvě rychlosti otáčení, případně proměnné otáčky podle okamžité rychlosti větru.

V praxi se používají většinou větrné elektrárny s horizontální osou rotace. Velké elektrárny mají průměr rotoru 40 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 tubusu 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 větrné elektrárny mohou kvůli vysokému stožáru a velkému průměru rotoru negativně narušit optický reliéf krajiny. U nových typů je konstrukce podřízena velmi přísným požadavkům omezení hlučnosti, a to jak mechanické (převodová skříň, generátor) tak aerodynamické (rotor).

Obrázek 3: Větrná farma Nan'ao, Čína. (Zdroj: NEG Micon.)

výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

V případě vnitrozemských oblastí, tedy v podmínkách ČR, jsou příhodné lokality převážně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m n. m. V nižších nadmořských výškách je roční průměrná rychlost větru nízká (kolem 2 až 4 m/s).

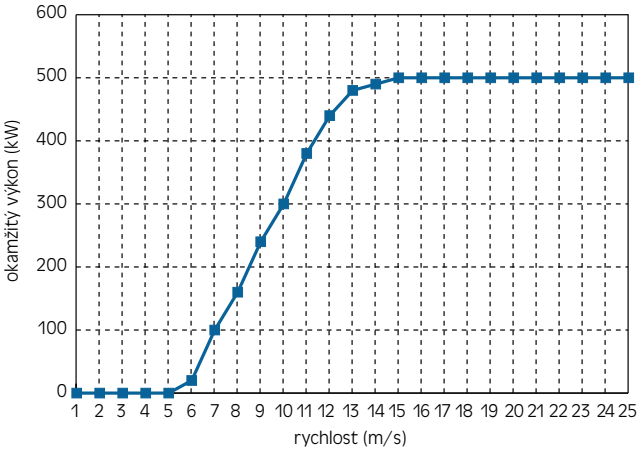
K ohodnocení konkrétní lokality je nejvhodnější stanovení **distribuční charakteristiky**, což je rozdělení četnosti rychlostí větru zjištěné kontinuálním měřením rychlosti ve výšce osy rotoru. Ideální je alespoň roční měření porovnané s dlouhodobými údaji na blízkých meteorologických stanicích. Jednotlivé roky se od sebe mohou značně lišit. Z výše uvedeného vyplývá, že důležité jsou následující vstupní údaje:

- měřené **průměrné rychlosti** větru včetně **četnosti směru**,
- množství a parametry **překážek**, které způsobují turbulenci a brání laminárnímu proudění větru (porosty, stromy, stavby, budovy),
- chod ročních venkovních teplot či jiných nepříznivých **meteorologických jevů** (např. námrazy způsobují odstávku),
- **nadmořská výška** (hustota vzduchu),
- možnost **umístění** vhodné technologie,
- únosnost podloží, kvalita podkladu a seismická situace, **geologické podmínky** pro základy elektrárny,
- **dostupnost lokality** pro těžké mechanismy, případně vhodnost pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
- **vzdálenost od přípojky** Vn nebo VVn s dostatečnou kapacitou,
- **vzdálenost od obydlí**, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem. (Podle hygienických předpisů MZ ČR, vyhl. č. 13/1977 Sb., je nejvyšší přípustná hladina

hluku ve venkovním prostoru na obytném území příměstském u menších sídelních útvarů ve dne 50 dB a v noci 40 dB. Podmínka je většinou splněna při vzdálenosti 200 m od obydlí.),

- **míra zásahu do okolní přírody** - zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky, zásah do vzhledu krajiny (umístění lokality v CHKO velmi komplikuje povolovací řízení),
- **majetkoprávní vztahy** ohledně pozemku, postoj místních úřadů, vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemků.

Z výše uvedených parametrů je možné stanovit množství vyrobené energie, které je nejvíce ovlivněno měřením a má největší vliv na ekonomiku projektu. Vzhledem k tomu, že se výkon elektrárny mění se **třetí mocninou rychlosti větru**, promítne se i malá odchylka v rychlosti větru výrazně.



Obrázek 4: Výkonová charakteristika větrné elektrárny s výkonem 500 kW.

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé elektrárny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním s dvojím vinutím). Při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je potom kolem 2,5 m/s. Aby se větrná elektrárna dostala z rozběhové části výkonové křivky do výrobní, musí být rychlost větru vyšší než startovací (záleží na typu a parametrech elektrárny).

Pro praktické využití energie větru jsou zajímavé výšky 40 m a více nad zemským povrchem. V tomto rozmezí závisí rychlost větru zejména na tvaru okolního terénu. Čím hladší je jeho povrch, tím vyšší je rychlost větru. Zalesněná krajina klade větru v přízemní vrstvě odpor, který se projevuje tvorbou turbulencí.

Obrázek 5: Větrná elektrárna VESTAS na Svatém Hostýně.

Obrázek 6: Větrná farma Cark, Irsko. (Zdroj: NEG Micon.)

použitá a doporučená literatura

[1] Bednář, J., Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academia, Praha, 1985.
[2] Větrná energie. Časopis ČSVE. Vychází 2x ročně. ČSVE, Boční II 1401/1a, 141 31 Praha 4.
[3] Koč, B.: Šance pro vítr. Ekocentrum, Brno, 1996.
[4] Kol. autorů: Katalog firem 2002 - 2003, obnovitelné zdroje energie. EkoWATT, Praha, 2002.
[5] Kol. autorů: Energie - kde ji vzít? EkoWATT, Praha, 1993. ISBN 87-87669-74-1. Dotisk EkoWATT, Praha, 1995.
[6] Nosek, M.: Metody v klimatologii. Academia, Praha, 1972.
[7] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha, 1997.
[8] Sládek, I., Rychetník, V.: Větrná situace v ČR. Praha, 1989.
[9] Šeftěr, J. I.: Využití energie větru. SNTL, Praha, 1991.
[10] Štekl, J. a kol: Perspektivy využití energie větru pro výrobu elektrické energie na území ČR. Výzkumná práce ÚFA AV ČR. Praha, 1993.
[11] Štibranný, P.: Veterná energetika (rok a vydavatel neuvedeni).

Vydal:
EkoWATT, středisko pro obnovitelné zdroje a úspory energie
Bubenská 6, 170 00 Praha 7
tel.: +420 266 710 247
fax: +420 266 710 248
e-mail: ekowatt@ekowatt.cz
http://www.ekowatt.cz, www.energetika.cz

Autoři textů: Jiří Beranovský, Karel Srdečný, Jan Truxa
Spolupráce: Radim Bařinka, František Hrdlička, Evžen Přibyl, Libor Šamánek, Jiří Vašíček, Jaroslav Knápek
Grafický návrh: Irena a Saša Mandić
Realizace: Helvetica & Tempora, spol. s r. o., Pod Kaštany 8, Praha 6

© EkoWATT, 2002

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA), jejichž seznamy jsou uveřejněny např. na internetové adrese http://www.ceacr.cz.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2002 - část A. Byla vydána díky laskavé podpoře České energetické agentury a Nadace Partnerství.