



Energie větru



Centrum pro
obnovitelné
zdroje a úspory
energie

EKIS ČEA

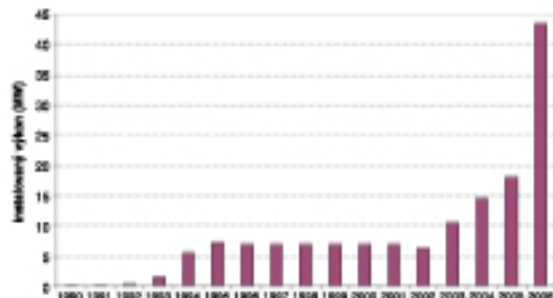
Energie větru

Vitr je jen jedna z forem sluneční energie, vzniká díky tomu, že Slunce zahřívá Zemi nerovnoměrně. Pod pojmem vítr rozumíme horizontální složku proudění vzduchu, ve vrstvě několika desítek metrů nad zemí jsou stoupavé vzdušné proudy nevýznamné.

Výhodou větrné energie je, že ji poměrně snadno, na rozdíl třeba od energie biomasy, dokážeme přeměnit na žádanou elektřinu. Využívání větru tak může napomoci splnění národního cíle – produkovat v roce 2010 z obnovitelných zdrojů 8 % celkové spotřeby elektřiny. Potenciál větrné energie v ČR se odhaduje na 4 000 GWh ročně. To je asi 4 % naší celkové spotřeby elektřiny. V bilanci celkové energetické spotřeby jde asi o jedno procento. V poslední době u nás větrných elektráren přibývá. Důvodů je více: zejména poměrně příznivé výkupní ceny a hlavně zákonem daná garance, že tyto ceny budou pevné po dobu 20 let od spuštění. Dalším důvodem může být možnost získání dotace, i když většina velkých větrných elektráren se u nás staví i bez dotace. Obcím navíc provozovatelé obvykle nabízejí roční příspěvky ve výši několika desítek tisíc Kč za jednu elektrárnu.

EU celkem 48 062 MW			
Německo	20 622	Belgie	193
Španělsko	11 615	Polsko	153
Dánsko	3 136	Finsko	86
Itálie	2 123	Maďarsko	61
Velká Británie	1 963	Litva	55
Portugalsko	1 716	Česká republika	45
Francie	1 567	Lucembursko	35
Nizozemsko	1 560	Estonsko	32
Rakousko	965	Bulharsko	32
Řecko	746	Lotyšsko	27
Irsko	745	Slovensko	5
Švédsko	572	Rumunsko	3

Instalovaný výkon větrných elektráren koncem roku 2006 v evropských zemích. Zdroj: EWEA

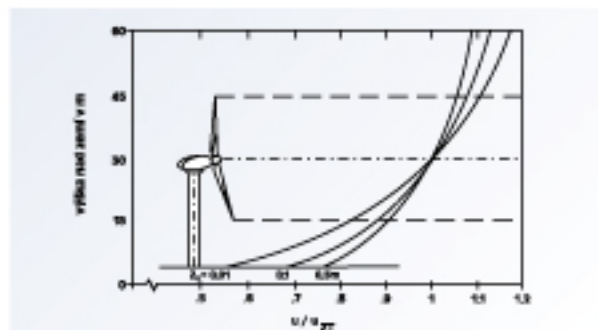


Instalovaný výkon větrných elektráren v ČR. Zdroj: EkoWATT

Přírodní podmínky

Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, které se projevuje významným sezónním kolísáním rychlosti větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

Rychlost větru je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, udává se převážně v m/s. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno členitostí terénu – vítr je zpomalován terénními překážkami – stavbami, kopcí, a také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh apod.). S rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. 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 **anemometry** (mechanické či elektronické). V nejjednodušším přiblížení je možno vertikální profil rychlosti větru přiblížit následujícím příkladem.



Schématizované vertikální profily rychlosti větru v přibližné vrstvě při různých parametrech drsnosti. Zdroj: časopis Větrná energie

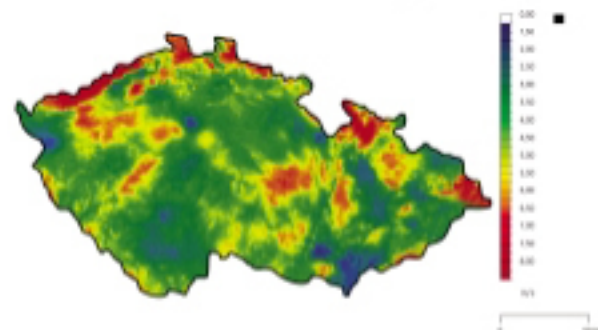
Pro měření rychlosti větru existují mezinárodní standardy. Pro rychlost a směr větru je to výška 10 m nad zemským povrchem (pokud ji není možno dodržet, jsou údaje dohodnutým způsobem přepočítávány na tuto výšku).

Pro **velmi hrubou představu** o rychlosti větru lze použít běžně dostupná měření meteorologických stanic. Měření rychlosti a směru větru se spolu s jinými klimatickými údaji provádí v ČR síti cca 200 meteorologických stanicích ČHMÚ, včetně stanic **synoptických a klimatologických**. Výsledky měření jsou odborně kontrolovány, archivovány a jsou k dispozici za úhradu buď ve formě nezpracovaných dat, nebo ve formě výsledků analýzy těchto dat prováděných pro různé účely.

Pro základní výpočet průměrných ročních rychlostí větru vznikl v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (ÚFA) počítačový program VAS. Umožňuje výpočet rychlosti větru na libovolném místě v ČR, který je prováděn interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu prou-

dení nad našim územím. Umožňuje teoretické rozlišení pro oblast velikosti 2 x 2 km.

V praxi se pro základní odborné posouzení lokalita hodnotí třemi různými počítačovými modely: modelem VAS, dánským modelem WASP a modelem PIAP. S těmito modely pracují ÚFA i ČHMÚ. Toto posouzení může sloužit pro rozhodování o podnikatelském záměru a při rozhodování o umístění větrné elektrárny.



Větrný atlas České republiky. Zdroj: ÚFA AV ČR

Jsou-li nepřímo získané údaje o rychlosti větru příznivé, je nutné provést měření rychlosti větru přímo v dané lokalitě. Měření by mělo trvat alespoň rok, měřicí přístroj by měl být v ideálním případě umístěn ve výšce osy budoucího rotoru elektrárny (vrtule).

Možnosti využití

Dnes se z větru získává zejména elektřina. Velká zařízení dodávají elektřinu do sítě. Drobná zařízení mohou sloužit i pro zásobování odlehklých objektů nepřipojených k síti – horských chat, lodí apod. Historicky se energie větru převáděla přímo na mechanickou práci. Dnes jsou funkční větrné mlýny spíše jen kuriozitou. Občas se můžeme setkat s větrnými čerpadly na vodu, např. na pastvinách. Větrné elektrárny jsou i lákavým turistickým cílem, např. poblíž Vídně můžeme navštívit elektrárnu, která má pod vrtulí i vyhlídkovou plošinu. Setkat se můžeme i s využitím větrné elektrárny jako reklamního poutače.



Elektrárna s vyhlídkovou gondolou láká turisty (Rakousko). Foto: EkoWATT

Autonomní systémy

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), tedy autonomní systémy, slouží objektům, které nemají možnost se připojit k rozvodné síti. Zde se obvykle používají mikroelektrárny s výkonem od 0,1 do 5 kW. Součástí autonomního systému jsou i akumulátory a řídicí elektronika. V objektu pak může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím (12 nebo 24 V), nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu 230 V. Podle toho je nutno objekt vybavit energeticky úspornými spotřebiči. Autonomní systémy bývají často doplněny fotovoltaickými panely pro letní období, kdy je méně větru, ale více sluníčka. Pro větší výkony se používají větrné elektrárny se synchronními generátory.

Můžeme se také setkat s myšlenkou využít větrnou energii k vytápění rodinného domu nebo chaty. Toto využití je trochu problematické. Dům pro bydlení by měl stát na místě chráněném před větrem. Větrná elektrárna naopak potřebuje větru co nejvíce. Nízko nad zemí je vzduch brzděn stromy, domy a dalšími překážkami, takže je nutno umístit turbínu na co nejvyšší stožár. Kabel mezi domem a elektrárnou zvyšuje náklady; pokud by měl vést přes cizí pozemky, může jít o nepřekonatelnou překážku.



Elektrárny zásobující českou polární stanicí v Antarktidě. Foto: Kamil Lásko

Dalším problémem je dostatečná rychlost větru. Malé stroje začínají pracovat již při rychlostech okolo 4 m/s (14,4 km/h), ale jejich výkon je velmi malý. Energie větru totiž roste se třetí mocninou rychlosti, takže např. vítr o rychlosti 5 m/s má dvakrát více energie než při rychlosti 4 m/s. Problémem je ale i příliš vysoká rychlost větru – při rychlosti kolem 20 m/s je obvykle nutno elektrárnu zastavit (zabrzdit vrtuli), aby nedošlo k havárii. Plného (jmenovitého) výkonu dosahuje elektrárna při rychlostech větru kolem 10, někdy až 15 m/s – podle typu a výrobce. Takto silný vítr fouká jen zřídka, elektrárna tedy většinu provozní doby poběží na nižší výkon.

Cena energie získané z autonomního systému je dost vysoká, obvykle vyšší než je cena elektřiny ze sítě. Elektrárna, připojovací kabel a akumulátory pro teplo (event. elektřinu) představují investici v řádu stovek tisíc Kč. Jistou překážkou je i malá nabídka elektráren s výkonem od 5 do 50 kW.

Systémy připojené k síti

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

Trendem je výstavba stále větších strojů (průměr rotoru 40 až 100 m a stožár o výšce více než 100 m). Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití lokalit, kterých je omezený počet. Ve vnitrozemí se staví stroje s výkonem 100 až 2000 kW. Na moři (poblíž pobřeží) se využívají turbíny s výkonem až 5 MW. Naopak starší vnitrozemské elektrárny s výkony do 200 kW se demontují a nahrazují silnějšími, i když jsou ještě provozuschopné. Nabízejí se pak k vývozu i do ČR. Pozor: garantované výkupní ceny platí pouze pro zařízení, která nejsou starší než 2 roky.

Elektrárna uvedená do provozu	Výkupní cena elektřiny do sítě Kč/kWh	Zelené bonusy Kč/kWh
po 1. 1. 2008	2,460	1,870
po 1. 1. 2007	2,520	1,930
po 1. 1. 2006	2,570	1,980
po 1. 1. 2005	2,820	2,230
po 1. 1. 2004	2,960	2,370
před 1. 1. 2004	3,280	2,690

Výkupní ceny za elektřinu z větrných elektráren pro r. 2008. Zdroj: ERÚ

Velké větrné elektrárny 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 mnohápólovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Většina elektráren má konstantní otáčky – s rostoucí rychlostí větru se zvyšuje zátěž generátoru.

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé turbíny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním generátorem 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.

K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren), tzv. větrných farem.

Technické řešení

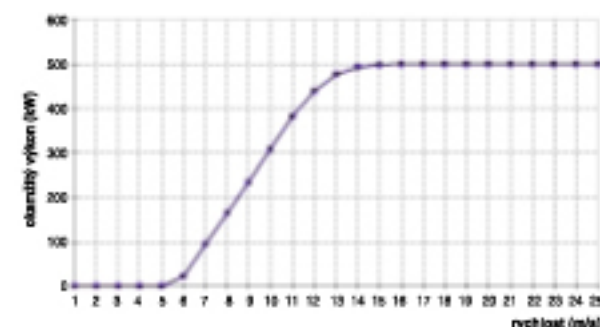
Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na **vztlakové** a **odporové**. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s **vodorovnou osou otáčení**, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná

kola vodních čerpadel (tzv. **americký větrný motor**). Po experimentech s jedno-, dvou- i čtyřlístovými rotory již všechny velké moderní elektrárny používají rotory třílístové, které mají nejlepší parametry.

Existují také elektrárny se **svislou osou otáčení**, které pracují na **odporovém principu** (typ Savonius) nebo na **vztlakovém principu** (typ Darrieus). Výhodou vztlakových elektráren se svislou osou je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení, a tím i vyšší účinnosti. Pracují tedy i při nižší rychlosti větru a není třeba je natáčet podle směru větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se donedávna v praxi příliš nepoužívaly. Důvodem bylo jejich mnohem vyšší dynamické namáhání, a tedy i nižší životnost. Tento problém se však podařilo do určité míry konstrukčně vyřešit. Pro výše uvedené výhody a také menší hlučnost se začínají v Británii a USA využívat přímo v městské zástavbě. Stále jde však o menší zařízení s nižšími výkony.

Výběr lokality a zásady dimenzování

V případě vnitrozemských oblastí, tedy i v 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). **Rychlost větru** je zásadní parametr, neboť energie větru roste se třetí mocninou jeho rychlosti. Při zdvojnásobení rychlosti větru vzroste jeho energie osmkrát. I malá odchylka v rychlosti větru se tedy výrazně projeví na množství získané elektřiny.



Výkonové charakteristiky větrné elektrárny s výkonem 500 kW. Zdroj: EkoWATT

K ohodnocení konkrétní lokality je nejuhodnější 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. Před rozhodnutím o stavbě elektrárny je tedy třeba znát následující vstupní údaje:

- **měřené průměrné rychlosti** větru včetně **četnosti směru**, ideálně roční měření,

- 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 odstávky),
- **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, možnosti pro vybudování potřebné komunikace,
 - **vzdálenost od přípojky** VN nebo VVN s dostatečnou kapacitou,
 - **vzdálenost od obydlí**, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem (limit pro obytné území je 50, v noci 40 dB),
 - **míra zásahu do okolní přírody** – zátěž při výstavbě elektrárny a budování přípojky, zásah do vzhledu krajiny (umístění v CHKO nebo v oblasti NATURA 2000 komplikuje povolovací řízení),
 - **majetkoprávní vztahy** k pozemku, postoj místních úřadů a občanů.

Pro vlastní stavbu elektrárny je nutno získat v první řadě územní rozhodnutí a následně stavební povolení. Často je nutno změnit také územní plán příslušné obce či území. Stavební úřad bude v souladu se zákonem vyžadovat stanoviska různých dotčených orgánů státní správy, zejména státní ochrany přírody, ale třeba i Armády ČR. Mimoto je nutno vyřešit i jiné problémy:

- Pokud přípojka elektrárny k síti nepovede pouze po pozemcích investora, je třeba získat svolení pro instalaci a vedení po všech soukromých či veřejných pozemcích (ev. zřídit věcná břemena k těmto pozemkům)
- Posouzení vlivu na životní prostředí (EIA) – zjišťovací řízení je zákonem vyžadováno u plánovaných instalací s výkonem nad 500 kW nebo se stožárem vyšším než 35 m. Úřad rozhodne, zda uloží provést úplné posouzení (tzv. „velká EIA“) – vyžadováno je především u projektu více elektráren. Hodnocen je především vliv na krajinný ráz, ptactvo a hluk. Plné posouzení EIA může trvat rok i déle.

Chceme-li dodávat elektřinu do sítě, je třeba mimo jiné:

- Získat licenci k výrobě elektřiny (případně k přenosu) podle energetického zákona 458/2000 Sb.
- Splnit technické podmínky pro připojení k síti a získat souhlas příslušného provozovatele distribuční soustavy (veřejné sítě).

Řešení většiny těchto problémů je časově a administrativně náročné.

Větrné elektrárny a životní prostředí

I když jsou větrné elektrárny často symbolem ekologické výroby elektřiny, jsou jim vytýkána i některá negativa. Obvykle neprávem – současné elektrárny jsou mnohem modernější, než byly před deseti lety.

Hlučnost současných strojů je poměrně nízká. Elektrárny jsou navíc stavěny v dostatečné vzdálenosti od obydlí. Hluková studie bývá součástí dokumentace nutné ke stavebnímu povolení. U existujících instalací lze provést měření a na jeho základě případně omezit jejich provoz. Nevhodně umístěná elektrárna přesto může působit nepříjemnosti. Malé větrné elektrárny jsou rychloběžné, a proto jsou poměrně hlučné. Jejich umístění přímo v zástavbě může narušit dobré sousedské vztahy.

Stroboskopický efekt (vrhání pohyblivých stínů, je-li Slunce nízko nad obzorem) není v praxi závažný, zejména právě kvůli vzdálenosti instalací od lidských obydlí. Podobně i **odraz slunce** na lopatkách je díky matným nátěrům již minulostí.

Rušení zvířat podle praktických zkušeností nenastává. Dokladem jsou ovce a krávy, ale i divoká zvěř pasoucí se v těsné blízkosti elektráren. Podle některých studií se v okolí elektráren zvýšil i počet hnízdicích ptáků. Vysvětluje se to jednak tím, že elektrárny jsou dobrým orientačním bodem v krajině, a jednak tím, že rotory mohou rušit dravé ptáky. Podobně se nepotvrdilo ani to, že by rotující listy zabíjely proletující ptáky. Ke kolizím dochází poměrně vzácně, zejména v noci a za mlhy. Výjimkou byly případy, kdy elektrárna stála v místě migračního tahu ptáků. Těmto oblastem se však dá vyhnout.



Odstup elektráren od zástavby je někdy překvapivě malý (Rakousko). Foto: EkoWATT

Rušení televizního signálu může nastat. Závisí na pozici televizního vysílače, elektrárny a domů, které mají anténu. Týká se opět jen blízkého okolí elektrárny. V ČR je většina lokalit dále od osídlení.

Narušení krajinného rázu je nejspíše nejproblematičtější. Někomu se

elektrárny líbí, někomu ne. V české krajině lze jen s obtížemi najít panorama nerušené stožáry elektrického vedení či vysílači. Větrné elektrárny představují další, zatím nezvyklý prvek. Paradoxně se zde někdy dostává do konfliktu požadavek státní ochrany přírody na „nenápadnost“ elektrárny s požadavkem bezpečnosti leteckého provozu na její dobrou viditelnost (zábleskové zařízení). Trend stavět stále větší stroje vede k tomu, že elektráren může být méně, ale současně budou více vidět. Elektrárny ale mohou také pomoci snížit počet různých stožárů v krajině. Na stožár elektrárny lze umístit několik různých telekomunikačních zařízení, které bohužel často mají každý svůj vlastní stožár. Díky umístění ve větší výšce mohou pak vysílače pokrýt větší území. Vzhledem k ekonomické životnosti elektrárny 20 let může jít jen o dočasnou stavbu, která snadno zmizí.

Použitá a doporučená literatura

- [1] Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům. ERA, Brno, 2004.
- [2] Bednář, J., Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academia, Praha, 1985.
- [3] Crome, H.: Technika využití energie větru – svépomocná stavba větrných zařízení. HEL, Ostrava 2002.
- [4] Hallenga, U.: Malá větrná elektrárna. 2. vydání HEL, Ostrava 2006.
- [5] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha, 1997.

Vydal:

EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie

Svábky 2	Žižkova 1 (budova PVT)
180 00 Praha 8	370 01 České Budějovice
tel.: +420 266 710 247	tel.: +420 389 608 211
fax: +420 266 710 248	fax: +420 389 608 213

e-mail: info@ekowatt.cz
www.ekowatt.cz, www.energetika.cz

Foto na titulní straně: větrné elektrárny u Znojma a u Vidně;

Foto: EkoWATT

Texty: EkoWATT – Jiří Beranovský, Monika Kašparová, František Macholda, Karel Srdáčný, Jan Truxa

Grafický návrh: Irena a Saša Mandič

Sazba a tisk: Sdružení MAC, spol. s r.o., © EkoWATT, 2007

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA). Seznam středisek je uveřejněn na: www.i-ekis.cz.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2007 – část A – PROGRAM EFEKT.

Publikace vyšla díky laskavé podpoře České energetické agentury.

