

## Větrné elektrárny - mnoho otazníků

Větrné elektrárny. Společně s vodní energií patří energie větru mezi ty člověkem nejdéle využívané. Po stovky a tisíce let to byly dokonce jediné dva zdroje energie, jejichž sílu měl člověk k dispozici vedle síly své a hospodářských zvířat. Teprve devatenácté a zejména dvacáté století přineslo radikální změnu a připravilo tyto energie o jejich do té doby dominantní postavení. Vodní energie si díky určitým charakteristickým znakům, mezi něž patří zejména vysoká pohotovost, zachovala určité postavení v oblasti výroby elektrické energie, avšak využívání větrné energie na dlouhá desetiletí prakticky zaniklo. Teprve v posledních letech jsme svědky poměrně výrazné renesance ve využívání větrné energie, a to právě v oblasti výroby elektrické energie. Zejména v některých státech západní Evropy se masivně budují větrné elektrárny. Zároveň jsme však také svědky značných rozporů a vášnivých debat, které tento trend vyvolává. Nikdo nechce vynášet jednoduché soudy, ale nemalou část viny na tomto stavu mají mnohdy až fanatičtí zastánci větrné energie rekrutující se často z řad různých takzvaně „ekologických“ hnutí. Jejich naprosto nekritické prosazování větrné energie totiž opomíjí jisté technické i ekonomické obtíže, které jsou s jejím využíváním spojené, a to se musí zákonitě setkávat s negativními reakcemi z řad energetických odborníků. Jak je to tedy s větrnou energií? Je to čistá a laciná energie pro budoucnost a nebo nespolehlivá drahá hračka? Dosavadní zkušenosti jsou zatím spíše rozporuplné a i v Česku větrné elektrárny většinou dosud výrazně zaostaly za projektovými předpoklady.

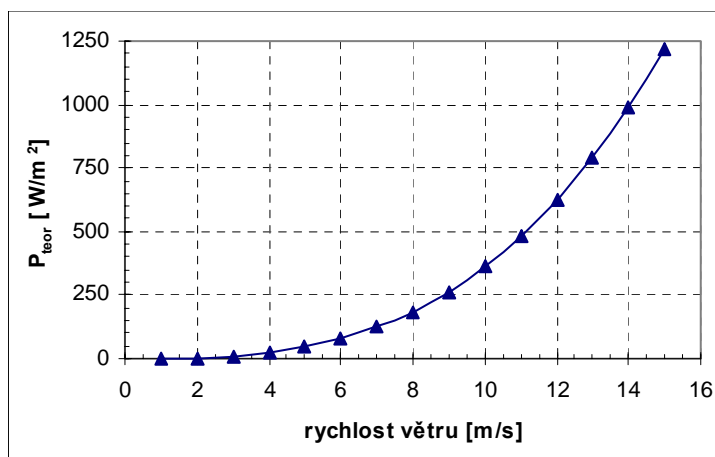
### Trochu teorie

Získávání energie z větru je velmi teoreticky jednoduché. Vítr, tedy proudící vzduch, se opírá o lopatky větrné turbíny a předává jim část své pohybové energie. Ta se mění na mechanickou energii v podobě otáčivého pohybu rotoru a následně pak v generátoru na elektrickou. Z toho lze následně jednoduše stanovit výkon, který lze z větru získat, neboť ten je přímo závislý na pohybové energii proudícího vzduchu. V případě jednotkové plochy platí následující vztah:

$$P_{\text{teor}} = k_B \cdot v \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0,59 \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2}$$

kde  $k_B$  je koeficient vyplývající z Betzova pravidla.

Německý fyzik Albert Betz v roce 1919 odvodil, že na rotoru větrného zařízení nelze z proudícího vzduchu získat veškerou pohybovou energii, ale že lze přeměnit maximálně asi 59% této energie. Závislost využitelného výkonu na rychlosti větru je znázorněna na grafu 1.



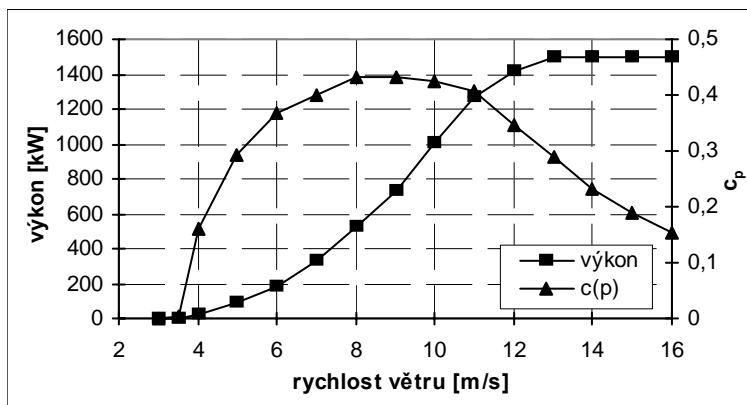
Graf 1: Závislost teoreticky využitelného výkonu na rychlosti větru

Pro výkon větrné turbíny s rotorem o průměru  $D$  se však nejčastěji používá následujícího vztahu:

$$P = \rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot c_p = 0,125 \cdot \rho \cdot \pi \cdot v^3 \cdot D^2 \cdot c_p$$

kde  $c_p$  představuje součinitel výkonnosti, který udává kolik energie z proudícího vzduchu se využívá na turbíně, a jeho maximální hodnota může teoreticky podle Betzova pravidla dosáhnout 0,59. Reálně se ovšem dosahují hodnoty o něco nižší (<0,5). Tento součinitel navíc není konstantní, jak ukazuje křivka na grafu 2, kde je znázorněn jednak průběh tohoto součinitele a také výkonová křivka turbíny REpower MD 70, která byla nedávno spuštěna v Nové Vsi v Horách. Je patrné, že se vzrůstající rychlostí větru se součinitel snižuje, neboť listy rotoru se natáčejí tak, aby výkon plynule dosáhl

nominální hodnoty a pak se již nezvyšoval. Nižší hodnoty jsou bohužel také u nižších rychlostí, což ještě více snižuje výkon turbíny při malých rychlostech větru.



Graf 2: Výkonová křivka a součinitel výkonnosti větrné turbíny

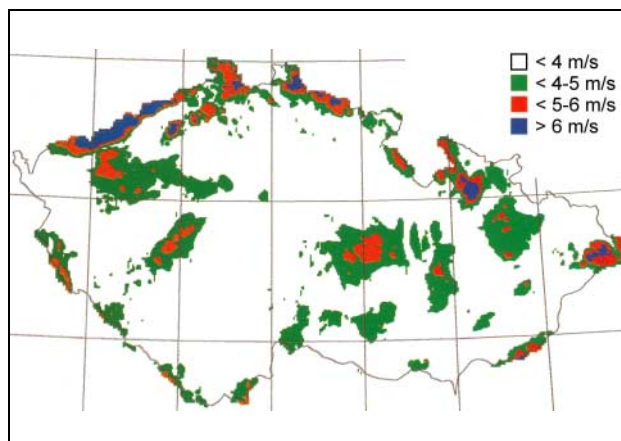
### Problémy při využívání větrné energie

Již v úvodu byl připomenut fakt, že využívání větrné energie s sebou nese určité problémy a obtíže. Pro tentokrát ponechme stranou otázky týkající se vlivu na životní prostředí jako je ohrožování ptactva, možné rušivé zvuky a stroboskopické světelné efekty, narušování rázu krajiny, atd. Tyto vlivy jsou pouze lokální. Zásadnější problémy se jeví v oblasti technicko-provozní a ekonomické.

### Technicko-provozní problémy

Prvním obecně známým problémem je skutečnost, že vítr patří mezi zdroje, které sice mají jako celek poměrně velký potenciál, ale jeho využitelnost je značně omezena nízkou hustotou výkonu. To znamená, že z jednotky plochy můžeme získat jen malý výkon a pro získání větších výkonů musíme budovat velká a poměrně drahá zařízení. Tento nedostatek je velmi dobře patrný z grafu 1, na kterém je v závislosti na rychlosti větru vynesena průběh výkonu, který lze teoreticky získat z 1 m<sup>2</sup> plochy. Křivka je velmi silně deformována kubickou závislostí na rychlosti větru. Pro nižší rychlosti je tento výkon dokonce menší nežli 100 W/m<sup>2</sup>. Pro vyšší rychlosti blízké se nominální hodnotě sice tento výkon stoupá k 1000 W/m<sup>2</sup>, avšak tato hodnota je stále relativně nízká, a to zejména pokud uvážíme, že v klasických či jaderných energetických zařízeních pracujeme s výkonovými toky o intenzitě v řádu desítek až stovek kW/m<sup>2</sup>.

Je sice hezké, že moderní větrná turbína je natolik kvalitní, že pro její spuštění a přifázování do sítě stačí obvykle rychlost větru 3 - 4 m/s, avšak její výkon je v takovém případě velmi malý a se zesilujícím větrem narůstá zpočátku jen pozvolna, jak je vidět na grafu 2. Na tomto grafu je patrné, že solidního využití instalovaného výkonu se dosahuje až při rychlosti větru okolo 10 m/s (36 km/h) a výše. Pokud se ovšem podíváme na Beaufortovu stupnici síly větru, tak zjistíme, že od 39 km/h je vítr klasifikován stupněm 6, což znamená silný vítr. Zřejmě málokdo by si patrně přál, aby se podobné větrné počasí vyskytovalo pravidelně. V české kotlině je ovšem situace víceméně opačná, a pro větrnou energetiku tudíž krajně nepříznivá. Při pohledu na obrázek 1 zobrazující větrnou mapu naší republiky je zřejmé, že většina našeho území má průměrnou rychlost větru menší nežli 4 m/s, přičemž tato hodnota se obvykle uvádí jako limitní pro stavbu větrných elektráren, a tudíž zde prakticky nemá význam uvažovat o jejich výstavbě. Pouze výrazně menší část našeho území tuto podmínku splňuje, i když ani zde to není s rychlostí větru žádná sláva. Oblasti s možným využitím energie větru se omezují zejména na výše položené a hřebenové partie hor a vrchovin v nadmořských výškách zpravidla nad 650 metrů nad mořem. Vhodné lokality se nacházejí především v oblastech severních pohraničních hor.



autoři: RNDr. Josef Štekl, RNDr. Zbyněk Sokol, UFA-AVČR

Obrázek 1: Větrná mapa českého území

Dalším problémem, který spadá do technicko-provozní oblasti, je nestabilita výkonu. Výkon větrných elektráren nejen že je poměrně malý, ale díky výrazné závislosti na rychlosti větru je navíc ještě značně nestálý, protože vítr coby přírodní živěl je zcela logicky značně proměnlivý. Tento problém se na rozdíl od nedostatečného výkonu může citelněji projevit zejména při takových rychlostech větru, kdy je křivka závislosti výkonu na rychlosti větru nejstrmější. Jako příklad lze použít opět turbínu REpower MD 70. Při rychlosti 10 m/s dává tato turbína výkon 1006 kW. Pokud však rychlost větru poklesne resp. vzroste o pouhý 1 m/s, výkon klesne na 728 resp. stoupne na 1271 kW. Změna činí 543 kW, což představuje 36% nominálního výkonu. Je zřejmé, že za určitých okolností může i relativně malá změna síly větru způsobit velké změny ve výkonu elektrárny. Při počtu několika málo strojů to zatím vcelku nevádí, ale zcela jiná situace může nastat s případným masivnějším rozvojem větrné energetiky a nárůstem instalovaného výkonu do stovek MW či výše. Výkonové fluktuace jednotlivých strojů či celých farem se sice mohou navzájem vyrovnávat, ale rozhodně na to nelze spoléhat, protože tomu může být i naopak. A v takovém případě by už vzniklé výchylky mohly být dost vysoké na to, aby to minimálně v dané lokalitě způsobovalo potíže při regulaci elektrizační soustavy. Elektřinu nelze skladovat, a tak musí být výkon elektráren a spotřeba elektřiny stále přibližně v rovnováze. Stabilní výkon lze však u větrné elektrárny očekávat nejdříve při rychlosti větru 15 - 20 m/s. To ovšem odpovídá 7. až 8. stupni Beauforta, což znamená prudký až bouřlivý vítr, a tedy už nic příjemného.

Příkladem může být sousední Německo, kde došlo v uplynulých letech k masivnímu rozvoji větrné energetiky. Instalovaný výkon německých větrných elektráren činil na konci roku 2002 přibližně 12000 MW a další stroje byly ve výstavbě. Právě Německo uvádějí různí aktivisté jako vzor, ale už taktně mlčí o problémech. Němečtí energetici se totiž dalšího nárůstu výkonu větrných elektráren počínají obávat, protože jejich nestabilita už začíná při takto velkém instalovaném výkonu ohrožovat stabilitu tamní elektrizační soustavy, neboť fluktuace výkonu se mohou pohybovat až v řádu tisíců MW. Ukazuje se, že regulace sítě, v níž je dnes zapojeno přes 14 tisíc malých zdrojů, jejichž výkon se může nahodile měnit každým okamžikem, je problém i pro tak technicky vyspělý stát.

Na našem území ještě stojí za zmínku i další dva rizikové faktory, a to je poměrně častý výskyt námraz a blesků. Přičemž v zahraničí se tyto problémy v takové míře nevyskytují, neboť jsou dány specifickými podmínkami našeho území. Zkušenosti z provozu demonstrační elektrárny Dlouhá Louka v Krušných horách vypovídají o velkém riziku námrazy v období od října do dubna, o čemž svědčí i fakt, že elektrárna byla v období 1994 - 1997 skoro 11 % času neschopná provozu právě z důvodu námrazy. Toto vysoké riziko je bohužel typické pro většinu vhodných výše položených lokalit obecně. O nebezpečí atmosférické elektřiny pak vypovídá skutečnost, že tato demonstrační elektrárna byla dvakrát přímo zasažena bleskem. Všechny výše uvedené technicko-provozní problémy nejsou či nebudou neřešitelné, ale pokud bude jejich zvládnutí náročnější, tak to bude pochopitelně znamenat také větší náklady na elektřinu vyrobenou ve větrných elektrárnách.

## **Ekonomické problémy**

Zásadní nevýhodou větrných elektráren je relativně vysoká cena jimi vyráběné elektrické energie. Při laickém pohledu se může získávání elektrické energie z větru jevit jako velmi výhodné. Postavíme elektrárnu, vítr je zadarmo a údržba kvalitního dobře fungujícího zařízení by také neměla vyžadovat příliš velké finanční prostředky. Problém ovšem je v tom, že stavba takové větrné elektrárny je zatím poměrně drahá. V Evropě se podle dostupných údajů v loňském roce pohybovala cena v pásmu 1000 až 1100 €/kW. U nás byly v poslední době spuštěny dvě elektrárny a jejich ceny se bohužel dost liší. Již zmíněná elektrárna v Nové Vsi vychází asi na 33000 Kč/kW, což vcelku odpovídá evropským cenám. Naproti tomu mediálně asi nejvíce známá elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem se dvěma větrnými turbínami Enercon E40, každá o výkonu 600 kW, vychází na více než 51000 Kč/kW, a je tedy nákladnější nežli tolik kritizovaný Temelín. Cena technologií od jednotlivých výrobců větrných elektráren se přitom výrazněji neliší. Není však úkolem tohoto článku pátrat po tom proč vlastní projekt v Jindřichovicích vyšel o tolik dražší. Tak či onak jsou ceny větrných elektráren stále poměrně vysoké a to je jádro problému.

Větrné elektrárny vycházejí investičně bezmála srovnatelné s jadernými, ale využití instalovaného výkonu je u nich mnohem nižší. Zatímco dobře fungující jaderná elektrárna běžně pracuje více jak 7000 hodin ročně a dosahuje bez problémů koeficientu využití 80 - 90 %, u větrných elektráren se tato hodnota pohybuje pouze někde mezi 20 - 30 %. Důvodem je ona výrazná závislost výkonu na rychlosti větru, kterému ovšem prozatím neumíme poručit, aby foukal ve správnou dobu a potřebnou silou. A tak se i ve vybraných lokalitách stává, že elektrárna nepracuje kvůli příliš slabému nebo naopak musí být zastavena kvůli příliš silnému či nárazovitému větru. A i při provozu často vítr není dost silný, a tak i když elektrárna pracuje, dává pouze část výkonu. Výsledkem potom je pochopitelně nízké využití instalovaného výkonu a s tím související růst ceny produkované elektřiny.

To, že nízké využití větrných elektráren je obecný problém, potvrzují i údaje ze zahraničí. Například podle dostupných údajů z Německa se roční využití instalovaného výkonu pohybuje v pásmu 1700 - 2500 h/rok, v závislosti na větrnosti lokality. Mohou se ovšem vyskytnout i extrémní případy, jako třeba v Severním Porýní-Vestfálsku, kde se stalo, že bylo kvůli nedostatku větru z instalovaných 4600 MW odebráno pouze 200 MW, což by odpovídalo koeficientu využití necelých 5 %. V následující tabulce je přibližné srovnání různých větrných elektráren a jaderné elektrárny Temelín.

Ekonomické i provozní parametry větrných elektráren se mohou značně lišit, jak je patrné z tabulky 1. U obou českých projektů je však příliš brzy na hodnocení, neboť obě elektrárny jsou v provozu teprve několik měsíců a bude třeba alespoň dvou či tří sezón, aby se ukázalo, zda byly předpoklady produkce správné a také jak se na provozu projeví riziko námraz. Náklady na provoz a údržbu se u nových strojů obvykle odhadují jako 1,5 - 2% ceny technologie za rok, což znamená v průměru 0,20 - 0,30 Kč/kWh. Větrná energie tedy není ani z provozního hlediska tak úplně zadarmo. Je zřejmé, že cena energie z větru je zatím poměrně vysoká a jen těžko může konkurovat ceně z normálních elektráren. Jak je tedy možné, že se větrné elektrárny stavějí a provozují?

Tabulka 1: Srovnání některých parametrů VE s ETE

elektrárna	investiční náklady [Kč/kW]	využití instal. výkonu [h/rok]	investiční náklady [Kč/kWh] <sup>1)</sup>
VE Jindřichovice (Enercon E40)	51000	1700 <sup>2)</sup>	1,50
VE Nová Ves (REpower MD70)	33000	2850 <sup>2)</sup>	0,58
průměrná VE	33000	2200	0,75
JE Temelín	50000	5800 <sup>3)</sup>	0,29

1) Informativní přepočítání investičních nákladů na 1 kWh elektřiny vyrobené za dobu životnosti.

2) U obou českých projektů předpoklad podle větrnosti lokality.

3) Projektový předpoklad. JE běžně dosahují více (např. Dukovany cca 7500 h/rok).

Odpověď na výše uvedenou otázku je bohužel prostá. Platíme to my jako spotřebitelé elektřiny a někdy i jako daňoví poplatníci. Jako příklad obojího poslouží Jindřichovice. Celková investice činila 62 milionů korun. Z toho ovšem činí 28 milionů nevratná dotace a dalších 25 milionů nízkou úročenou půjčku od SFŽP. Pouze zbývajících 9 milionů zajišťovala obec. To se to pak ekologicky podniká. Toto je však bohužel jenom jedna z absurdit. Tou další je skutečnost, že rozvodné společnosti musí elektřinu z těchto zdrojů povinně vykupovat za státem nařízenou cenu 3 Kč/kWh, přičemž výkupní cena od normálních výrobců se v průměru pohybuje lehce nad 1 Kč/kWh. Tato absurdita má hned několik rovin. Rozvodná společnost musí platit nesmyslně vysokou cenu za elektřinu, jejíž dodávky jsou přitom přetržité a výkonově nestálé. Musí tuto z hlediska elektrizační soustavy „nekvalitní“ elektřinu odebírat bez ohledu na to, zda jí zrovna potřebuje či nepotřebuje. Bylo by samozřejmě naivní se domnívat, že se nic z tohoto neprojeví na koncové ceně elektřiny pro spotřebitele.

Dotace a povinnost pro rozvodné společnosti vykupovat za garantovanou cenu však nejsou jediná negativa ovlivňující ekonomiku energetiky. Ta další totiž souvisí s již diskutovanou nespolehlivostí větru coby zdroje energie. Elektřinu nelze skladovat, a tak musí v každé elektrizační soustavě být k dispozici určitá rezerva instalovaného výkonu tak, aby bylo možné zajistit dodávky energie v patřičné výši, a to i v případě, že některé zdroje budou v daném okamžiku mimo provoz z technických či jakýchkoliv jiných důvodů. Větrné elektrárny však v tomto případě představují problém, protože se nelze spolehnout, že elektřina z nich bude k dispozici ve chvíli, kdy jí bude skutečně potřeba. Výkon instalovaný ve větrných elektrárnách tedy musí být z velké části jištěn dalšími záložními zdroji, které jej nahradí v případě, že bude v kritické chvíli kvůli nepříznivým podmínkám nedostatečný. Tyto záložní zdroje pochopitelně dále ekonomicky zatěžují výrobu elektřiny, neboť je nutné nejen investovat do jejich výstavby, ale také je udržovat v provozuschopném stavu, přičemž jejich využití je zpravidla poměrně malé. Je to ovšem nezbytné, neboť jinak mohou nastat problémy se zásobováním elektrickou energií. Jak to může dopadnout, když skutečně nefouká a záložní zdroje nestačí pokrýt poptávku, se letos v lednu ukázalo v Německu. Nedošlo snad sice k výpadkům v zásobování, ale nedostatek elektřiny vyhnal v některých chvílích její cenu na burze až do vpravdě astronomických výšek. Podobných výkyvů je ovšem lépe se vyvarovat.

Dalším problémem větrných elektráren, který má určitý vliv na ekonomiku energetiky, je kromě nespolehlivosti větru rovněž jeho proměnlivost. Vzhledem k nemožnosti skladovat elektřinu je nutné, aby výkon elektráren byl stále přibližně v rovnováze s celkovou spotřebou. V případě konvenčních zdrojů je to jednoduché, neboť ty mohou změnit svůj výkon podle potřeb regulátora soustavy. Problém ovšem nastane, pokud je v síti výraznější podíl větrných elektráren. Jejich výkon je v určitých režimech velmi strmě závislý na rychlosti větru a ta se mění zcela nahodile, takže tyto zdroje nejenže nemohou reagovat podle potřeb regulátora sítě, ale mohou působit i opačně nežli by bylo v dané chvíli třeba. S těmito výkyvy se elektrizační soustava zvládne vyrovnat jen do určité úrovně a pak je budou patrně muset pomoci vyrovnávat ostatní zdroje, a to pochopitelně povede ke vzrůstu nákladů spojených s regulací soustavy.

## Závěr

Jak je to tedy s větrnými elektrárnami? Na tuto počáteční otázku nelze použít ani jednu z extrémních variant odpovědi. Na straně jedné je třeba uznat, že vývoj větrných elektráren jde stále kupředu. Rostou jejich výkony, účinnost a technická spolehlivost a dochází k pozvolnému poklesu nákladů na jimi produkovanou elektřinu. Na straně druhé ovšem je nutné připomenout, že navzdory tomu vycházejí větrné elektrárny stále ještě výrazně dražší nežli normální zdroje. Povinnost výkupu elektřiny za garantované ceny se neslučuje s pravidly volného trhu a ve větším měřítku by se projevila zdražováním elektřiny. Zřejmě těžko bude kdy možné odstranit jejich závislost na vrtošivosti větru a s tím spojené obtíže, atd. Podle mínění odborníků lze usuzovat, že větrné elektrárny, zejména pokud bude nadále klesat jejich cena, naleznou v budoucnosti své uplatnění jako doplňkové lokální zdroje elektrické energie. Ovšem bylo by zatím více než nerealistické počítat s nimi jako s náhradou velké uhelné či jaderné energetiky. Takováto ekologie za každou cenu by mohla být hodně drahá.

Václav Železný