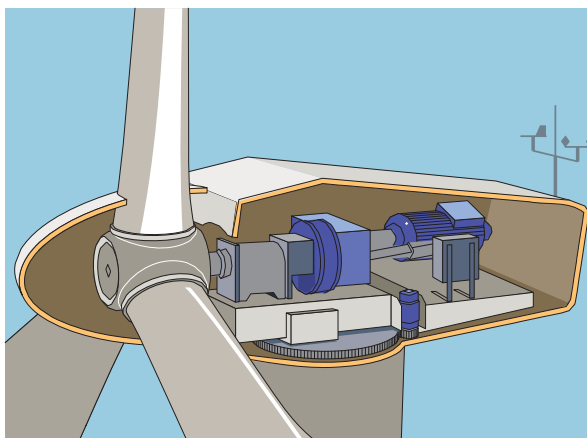


# Kvalita elektrické energie - Průvodce

## *Rozptýlená výroba a obnovitelné zdroje*

### *8.3.2 Větrná energie*



# *Rozptýlená výroba a obnovitelné zdroje*

## *Větrná energie*

Fred Wien  
KEMA Nederland B.V.  
November 2006

**Autoři překladu: Josef Gavlas, Pavel Santarius, Petr Krejčí**  
**FEI Technická univerzita Ostrava, Leden 2007**

### **Leonardo ENERGY**

Leonardo ENERGY je iniciativa řízená European Copper Institute a jeho evropskou sítí, skládající se z 11 úřadů, která se věnuje tvorbě informačních center sloužících projektantům, inženýrům, obchodníkům, architektům, manažerům, pedagogům a studentům, kteří jsou profesionálně nebo jinak spojeni s elektrickou energií. Pomocí různých projektů, včetně projektu Leonardo Power Quality Initiative je zapojeno do programu Leonardo ENERGY přes 130 partnerů z univerzit a průmyslu. WEB stránka [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org) poskytuje rozsáhlou virtuální knihovnu se širokou nabídkou témat z oblasti elektrické energie a poskytuje uživatelům pravidelně inovované články, poznámky, stručné příspěvky, zprávy i interaktivní výuku.

### **Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)**

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými středisky mědi ve světě.

### **Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)**

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činností pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

### **European Copper Institute (ECI)**

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

### **Upozornění**

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný. European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Obsah tohoto materiálu rovněž nemusí plně vyjadřovat názory překladatelů.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB – Technické Univerzity Ostrava. Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE



# Rozptýlená výroba a obnovitelné zdroje

## Větrná energie

### Obecně

Větrné turbíny mohou výrazně přispívat k produkci obnovitelné elektrické energie. Když se objevila ropná krize v 70-tých letech v Evropě, zvýšila se výrazně podpora vývoje a komerčního využití větrných turbín pro výrobu elektrické energie. Využití větrné energie se stále plynule rozvíjí a v poslední dekádě došlo k výraznému rozvoji průmyslu v této oblasti. Turbíny jsou větší, s vyšší účinností a využitelností a větrné farmy jsou stále větší.

Světová spotřeba elektrické energie stále roste. Většina evropských vlád zavedla normy pro redukci emisí oxidu uhličitého, aby se omezilo globální oteplování. Široce akceptovaný názor je, že tyto normy mohou být dosaženy podporou aktivit na úspory energie a širokým využitím výroby v obnovitelných zdrojích.

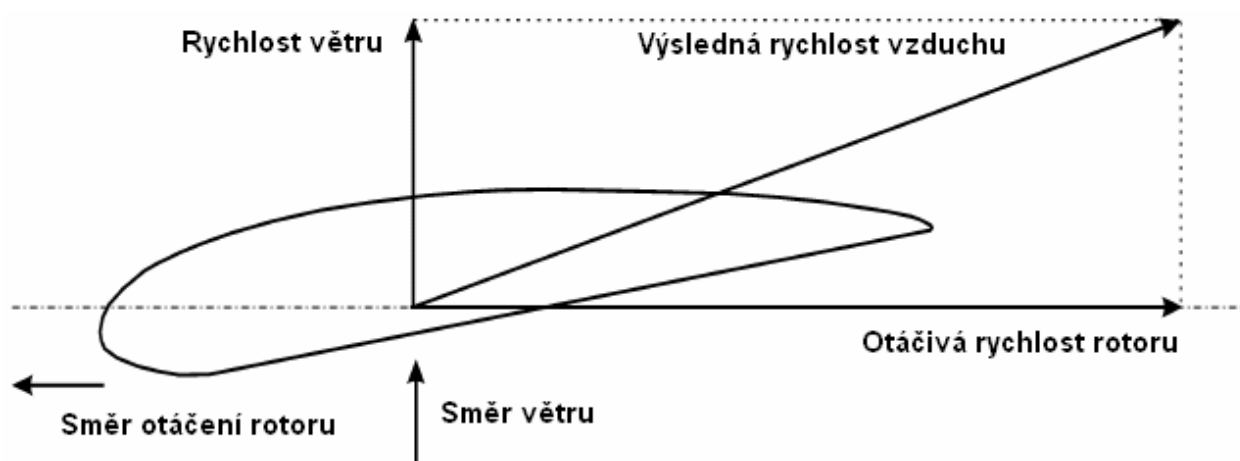
Využití větrných turbín je vhodná volba pro dosažení těchto cílů. Mnohé evropské země mají impozantní plány na instalaci velkého počtu větrných elektráren v následujících letech. Některé evropské vlády podporují tyto aktivity pomocí daní nebo investičních podpor. Severozápadní Evropa s větrným pobřežím a mírně zasmyčkovanou, ale silnou elektrickou sítí poskytuje slibné příležitosti pro investování a rozvoj větrných farem.

### Základní princip

Větrné turbíny využívají energie větru přenosem tažné síly vzduchu procházejícího turbínou přes listy turbíny. Listy turbíny mají profil, jak je ukázáno na průřezu na Obr. 1.

Rotační plochy rotoru jsou nařízeny kolmo na směr větru. Výsledný tok vzduchu (tj. součet vektorů rychlosti větru a místní rychlosti rotoru) přes listy turbíny tvoří rozdílový tlak mezi návětrnou a závětrnou stranou listu. (Tok vzduchu po závětrné straně má delší dráhu, a tak musí pracovat při vyšší rychlosti a následně nižší hustotě a tlaku.)

Tento rozdílový tlak způsobuje tah kolmo k výslednému toku vzduchu. Rozložená složka tohoto tahu vyvolává mechanické otáčky rotoru a hřídele. Výkon na hřídeli může být využit různě. Stovky let byl využíván pro mletí zrna nebo pro pumpování vody, ale dnešní velké stroje s integrovanými generátory přeměňují výkon na hřídeli na elektrickou energii.



Obr. 1 – Průřez listu rotoru ukazující rychlosti a směry

### Výkon a účinnost

Hmota v pohybu nese určitou energii. Tato kinetická energie se mění úměrně součinu hmotnosti a kvadrátu rychlosti. V jednotce času je tato energie rovna výkonu.

Kinetická energie za sekundu je:

# Rozptýlená výroba a obnovitelné zdroje

---

$$P = \frac{1}{2}(m.V^2) \quad (1)$$

kde

$P$  je výkon (Nm/s nebo W)

$m$  je hmotnost za sekundu (kg/s)

$V$  je rychlost větru (m/s)

Tento fyzikální zákon je použitelný pro vzduch v pohybu. Hmotnost vzduchu tekoucího přes rotor může být představena jako válec. Objem válce je dán plochou rotoru a rychlostí větru, tj. délkou válce procházejícího rotorem za jednotku času.

Hmotnost vzduchu procházejícího turbinou rotoru za sekundu je:

$$m = \rho.A.V \quad (2)$$

kde

$\rho$  je hustota vzduchu (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  je povrch rotoru (m<sup>2</sup>)

$V$  je rychlost větru (m/s)

To vede k důležité charakteristice, množství energie je úměrné třetí mocnině rychlosti větru.

$$P = \frac{1}{2}\rho.A.V^3 \quad (3)$$

Například pro rychlost větru 6 m/s je obsah energie 132 W/m<sup>2</sup>. Jestliže je rychlost větru 12 m/s, pak je obsah energie 1053 W/m<sup>2</sup>. Dvojnásobná rychlost větru dává osminásobný výkon.

Ne všechna energie větru může být přeměněna v užitečnou energii na hřídeli rotoru. S využitím fyzikálních výpočtů je možno ukázat, že teoretická maximální účinnost energie větru je okolo 59%.

Tato mez je často nazývána jako výkonový koeficient, nebo hodnota  $C_p$ . Následkem toho musí být upravena rovnice (3) na tvar

$$P = \frac{1}{2}C_p \cdot \rho.A.V^3 \quad (4)$$

kde:

$C_p$  je mechanický výkonový koeficient (na pomalém hřídeli).

( $C_p$  na „pomalém hřídeli“ je definován jako účinnost přeměny energie z „ustálené“ větrné energie na mechanickou točivou energii na hlavním hřídeli rotoru který je umístěn na rotoru před převodovkou. Tento hřídel má točivou rychlost stejnou jako rotor větrné turbíny a proto je přiřazen k „pomalému hřídeli“.  $C_p$  může být definován za převodovkou na rychle se otáčejícím hřídeli generátoru, pak je nazýván „rychlý hřídel“ nebo na výstupu transformátoru, pak je  $C_p$  nazýván „sít“.)

Elektrický výstupní výkon z turbíny  $P_{el}$ , který bere v úvahu mechanickou a elektrickou účinnost, je dán:

$$P_{el} = \frac{1}{2}C_e \cdot \rho.A.V^3 \quad (5)$$

kde

$C_e$  je elektrická účinnost (%)

V současné době jsou velké moderní turbíny schopny dosáhnout celkové účinnosti 42 až 46% s respektováním energie „ustáleného“ větru v kruhovém tubusu s průřezem rovným celkové ploše rotoru.

## Základní srovnání s klasickou výrobou elektrické energie a užitek z energie větru

V minulých letech byly různé důvody pro úspěšné využití větrné energie. Když provedeme srovnání s klasickou výrobou elektrické energie, pak větrná energie je čistá energie bez produkce oxidu uhličitého do ovzduší a bez znečištění vody a půdy při jejich provozu.

Jinou výhodou je, že pohonná látka – vítr - je zdarma a nevyčerpatelné, v hojném množství a nezávislé na politické situaci. Turbíny jsou rychle a jednoduše instalovatelné, velmi spolehlivé s využitelností až 98%. (Jedná se o využitelnost turbíny. Bohužel vítr není vždy k dispozici, a tak provozní využití je značně nižší). Žádná jiná klasická technologie výroby elektrické energie nemá vyšší stupeň využitelnosti.

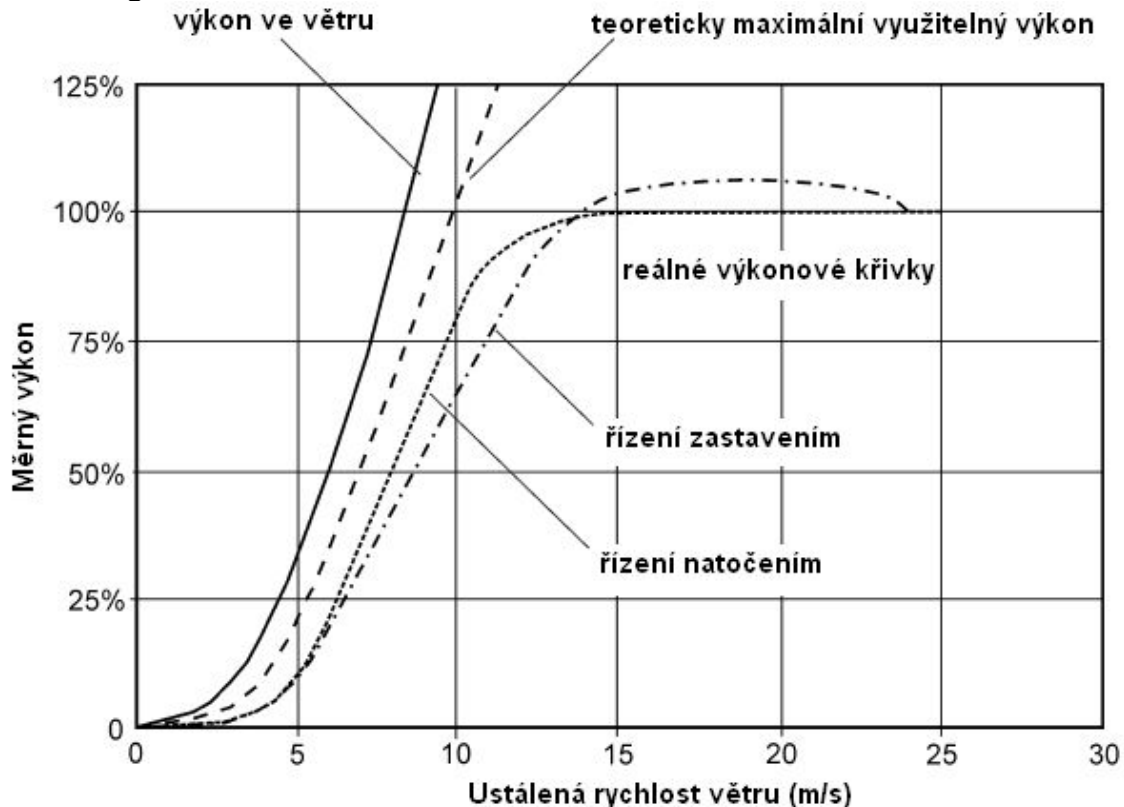
Nevýhodou větrné energie je nepředvídatelnost větru. Bouřkové fronty mohou způsobit náhlý nárůst energie větru. Naopak období s malým větrem dávají malou energii větru.

Dodávka větrné energie do sítě není tak jednoduchá, jak by se zdálo. Aby se zajistila provozní stabilita, je nutná rezerva určitého procenta výkonu vyráběné elektrické energie z konvenčních elektráren. Toto procento je závislé na skladbě a stabilitě sítě. Je-li očekávána nestabilita, může být preventivně využit inteligentní řídicí systém, který spojuje různé výrobní jednotky, spotřebitele a mezihraní sítě. V mnoha evropských zemích provádějí v této oblasti výzkum energetické společnosti, (nezávislá) sdružení a univerzity.

## Využití větrné energie

### Popis typických situací ve kterých může být nebo je vhodné využití větrné energie

Množství elektrické energie vyrobené turbínou závisí na velikosti a typu turbíny a jejím umístění. Obr. 2 ukazuje charakteristiku, která reprezentuje typický výkonový výstup v závislosti na rychlosti větru. Při malých rychlostech větru není vyráběna elektrická energie. Od Beaufortova stupně 2 (asi 3 m/s) a výše se turbína otáčí, asi při Beaufortově stupni 6 (12 – 13 m/s) turbína dodává maximální elektrickou energii.



Obr. 2 Typická charakteristika turbíny; výstupní výkon v závislosti na rychlosti větru

Při rychlosti větru přes 25 m/s se dříve vyrobené větrné turbíny kontrolovaným způsobem odstaví, aby se zamezilo přetížení nebo škodám na zařízení turbíny nebo konstrukci. Pozdější návrhy turbín jsou vybaveny regulací natočení rotorových křídel při extrémním počasí. To umožňuje výrobu dokonce i při špatných povětrnostních podmínkách. Pokud je velká bouře, je stále nutno zastavit turbínu.

Průměrná turbína v ideálním umístění může dodávat roční elektrickou energii asi 850 kWh na m<sup>2</sup> plochy rotoru. Jiné jednoduché pravidlo pro roční produkci elektrické energie větrné turbíny je, že v průměrném větrném místě výroba odpovídá 2000 plně zatížených hodin a v hodně větrném místě průměrně 3000 hodin. Například 1,5 MW větrná turbína v průměru produkuje 3.10<sup>6</sup> kWh, čemuž odpovídá 1500 kW za 2000 hod.

## Náklady na větrnou energii

Aniž by se braly v úvahu daňové úlevy nebo jiné stimuly pro výrobu větrné energie, jsou náklady na větrnou energii sumarizovány v Tab. 1.

V položce „Jiné provozní náklady“ jsou náklady na denní řízení, pojištění, pronájem pozemku, kompenzaci za obtěžování hlukem nebo zhoršení výhledu a daně.

V současné době jsou náklady na větrnou energii nepatrně vyšší, než výkupní tarif za elektrickou energii vyrobenou v konvenčních elektrárnách s pevnými palivy, nebo v jaderných elektrárnách. Nicméně mnohé evropské země mají stimuly pro podporu výroby elektrické energie z větru nebo jiných obnovitelných zdrojů.

I když mnohé země nebo státy využívají svá vlastní pravidla, obecné charakteristiky jsou:

- Daňové úlevy na investice u nových aktiv
- Granty na instalaci nových aktiv
- Nižší úrokové sazby ze „zelených“ fondů pro financování aktiv
- Stimuly pro výrobu (vztaženo na kWh)

Důsledkem těchto stimulů je, že investice do větrné energie jsou výnosné. V minulosti nebyly neobvyklé daňové úlevy do 50% investičních nákladů. V případě tarifů se stimulem 80 až 100 EUR/MWh je doba návratnosti mezi 6 (>2700 hod. plného provozu) až 10 (>1900 hod. plného provozu) lety.

Rozpis nákladů na větrnou energii	2000 hod. plné zatížení [EUR/MWh]	2500 hod. plné zatížení [EUR/MWh]
Investice (12 let splátka při 4%)	40 až 50	30 až 40
Provoz a údržba včetně generálních oprav	12	12
Jiné provozní náklady	8	8
Celkem	60 až 70	50 až 60

Tab. 1 Souhrn nákladů na větrnou energii

## Volba místa pro větrnou energii

Je mnoho problémů, které se musí řešit při volbě místa pro větrný generátor, jako je dostupnost prostoru, přístup pro těžké mechanismy, uvažování vlivu na životní prostředí, blízkost sítě vysokého napětí, ale nejvýznamnějším faktorem je dostupnost dostatečného větru.

Jako základního průvodce mohou konstruktéři a stavitelé využít Evropský atlas větru [2] pro určení dlouhodobé rychlosti větru. Druhým zdrojem jsou data z meteorologických stanic umístěných ve vzdálenosti do 30 až 40 km od daného místa.

Podrobnější určení rychlosti větru v daném místě a predikci výstupu z větrné farmy lze získat pomocí SW produktu WASP [3]. WASP vyžaduje jako vstup dlouhodobé rozdělení rychlosti větru

z nejméně tří okolních meteorologických stanic. Přesnost výsledků vzrůstá, jestliže meteorologické stanice jsou umístěny v blízkosti předpokládaného místa. Následně je modelován co nejpřesněji terén navrhovaného místa a jeho okolí. Výstupem je dlouhodobé „větrné klima“ v navrhovaném místě.

V případě pochybností, zejména u složitých terénů v pahorkaté nebo hornaté oblasti, jsou vyžadována dodatečná měření větru. Perioda měření musí být alespoň jeden rok, je-li to možné až dva roky.

## Rizika projektu

Hlavním rizikem projektu je, že dlouhodobé větrné klima na potenciálním místě je nižší, než bylo předpokládáno během zpracování studie proveditelnosti. Jako výsledek kubického pravidla ve vztahu mezi rychlostí větru a výkonem, relativně malý pokles dlouhodobé rychlosti větru má velký vliv na energetický výstup. Významně nižší energetické využití, např. 10 až 15%, může mít za následek, že doba návratnosti bude 12 až 15 let místo typických 10 let. Výsledkem je projekt produkující ztráty. Je proto účelné použít poněkud menší hodnotu rychlosti větru pro finanční a ekonomické výpočty. Místo hodnoty rychlosti větru, která bude překročena s 50% pravděpodobností, se použije nižší hodnota, která bude překročena s 80 až 90% pravděpodobností. V tomto případě v 8 až 9 letech z 10 let bude rychlost větru a tím i energetický výstup vyšší než předpokládaný.

Při uvažování o stavbě větrné turbíny je nutno uvažovat následující:

- Musí zde být dostatek prostoru a hojnost větru. Odchytky, které jsou zapříčiněny například svahy pahorků nebo překážkami v blízkosti, mohou působit na výkonový výstup
- Oblast musí mít povolení pro provoz větrných farem. V praxi to znamená, že může být využita většina míst, která jsou označována jako průmyslové plochy. Jinak je nutno žádat o změny v lokálních územních plánech
- Místo musí být dostupné. Během vztyčování větrné turbíny je dostupnost nutná pro velké zvedací jeřáby
- Větrná turbína musí být prakticky a ekonomicky připojitelná do elektrické sítě. Napětíová úroveň může být mezi 10 až 30 kV pro připojení do lokální distribuční sítě. V případě větrných farem, kde je výkon značně vyšší, je nutné připojení na vyšší napětí do přenosové sítě.

## Řízení výkonu větrné turbíny

Výstupní výkon stoupá s rychlostí větru podle kubického pravidla. Většina větrných turbín dosáhne maximálního výkonu, též zvaný jmenovitý výkon, při rychlosti větru mezi 12 až 14 m/s. Při vyšší rychlosti větru se výkon drží konstantní, aby se nepřetížila větrná turbína, nebo elektrické připojení.

Jsou tři metody, které mohou být použity pro řízení výstupního výkonu v situaci, když rychlost větru překročí navrhovanou jmenovitou hodnotu. Tyto metody jsou diskutovány níže (viz také Obr. 2).

## Regulace s blokováním rotorem

V počátcích technologie moderního využívání větru bylo blokování nejvíce využívaným systémem řízení výkonu. Rotor má konstantní rychlost a většinou asynchronní generátor je připojen k 50 nebo 60 Hz veřejné síti, aniž se použije měnič nebo jiná výkonová elektronika. Řízení výkonu je na aerodynamickém principu, jestliže úhel náběhu toku vzduchu dosáhne určitého limitu (bod uvíznutí), zvedací síla a následně i otáčky rotoru se stabilizují, nebo dokonce klesají. Hlavní výhodou tohoto principu je jednoduchost, nejsou potřebné mechanické nebo elektronické systémy pro omezení výkonu, protože je to úplně pasivní systém.

Systém s blokováním je nyní méně často využíván, protože u turbín větších než 1 až 1,5 MW, to může vést k rezonancím rotorových listů a pohonných soustav. Jinou nevýhodou je relativně špatná kvalita elektrické energie produkované těmito turbínami.

## Rotory s proměnlivými otáčkami

Ačkoli tato koncepce byla již známa a používána v omezené míře v osmdesátých a devadesátých letech, byla dále rozvíjena a nyní je široce využívána. Otáčky rotoru jsou proměnlivé a vzrůstají úměrně rychlosti větru. Při otáčkách rotoru je produkován jmenovitý výkon, který je udržován na konstantní hodnotě natáčením listů vůči větru, čímž se snižuje úhel náběhu, vztlková síla a otáčky rotoru. Synchronní generátor je připojen k síti s využitím měniče nebo jiné výkonové elektroniky, takže může pracovat při různých kmitočtech. Výhodou tohoto regulačního mechanismu je, že může být využit pro VN větrné turbíny aniž by vznikaly nežádoucí rezonance. Využití regulace natáčením listů s dalšími současnými technikami regulace možná poskytuje příležitost i pro nižší konstrukční náročnost a slouží jako dobrý start pro další rozvoj. Nakonec moderní technologie návrhu měničů s využitím IGBT nebo IGCT prvků zvyšuje kvalitu generované elektrické energie.

## Pokročilejší řešení regulace výkonu

V posledních dvou dekadách byly využívány různé metody regulace výkonu založené na výše uvedených principech. Někteří výrobci využívali regulaci s tzv. „aktivním blokováním“, která kombinuje regulaci s blokováním rotorem, včetně konstantní rychlosti rotoru s regulací natáčením listů, aby se optimalizovala blokovácí charakteristika. Jinou kombinací je regulace blokovácí/konstantní rychlosti s využitím výkonové elektroniky, aby se optimalizovala kvalita generované elektrické energie. Více podrobností lze nalézt v [1].

## Využití větrné energie a možnosti v různých sektorech

Vlastník nebo provozovatel větrné turbíny obvykle prodává elektrickou energii energetickým společnostem. Vlastníkem nebo provozovatelem mohou být:

- Fyzické osoby nebo společnosti, které financují větrné projekty ze svých vlastních zdrojů nebo z vypůjčeného kapitálu. Pro společnosti mohou být využitelná mnohá daňová pravidla
- Společenství, ve kterých fyzické osoby tvoří legální struktury pro společné budování větrných turbín nebo větrných farem. Akcionáři se podílejí na zisku podle účinnosti podniku
- Energetické společnosti, které jsou obzvláště zainteresovány na velkých větrných farmách a budou se pravděpodobně podílet na rozvoji větrných farem v moři (offshore).

## Současný stav větrné energie

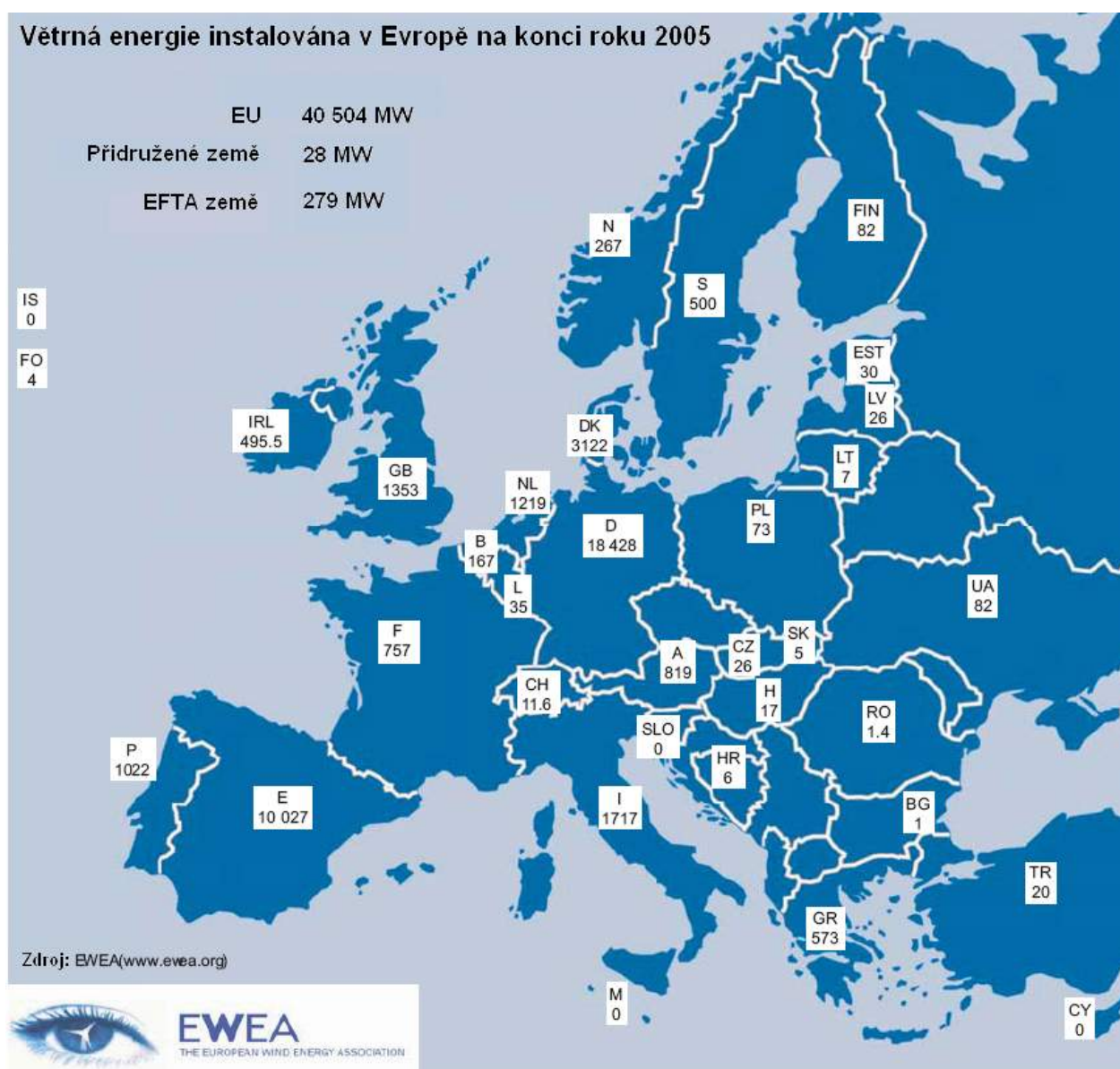
Výroba komerčních větrných turbín započala v osmdesátých letech s vedoucí dánskou technologií. Od jednotek 40-60 kW s průměrem rotoru okolo 10 m, se zvětšil výkon generátorů větrných turbín přes 5 MW a průměry rotoru přes 120 m.

Postupné zdokonalování dává schopnost větrným turbínám zachytit co nejvíce energie z větru. Výsledkem je, že zaměstnanost v evropském sektoru větrné energie rapidně roste. Například v Dánsku počet lidí zaměstnaných přímo nebo nepřímo ve výrobě větrných turbín vzrostl z 2900 v roce 1991 na 21 000 v roce 2002. Odhady dle EWEA ve studii „Wind Force 12“ ukazují, že zaměstnanost v Evropě může do roku 2020 narůst na 200 000, a až dvojnásobek pro celkovou zaměstnanost. Jiná fakta o větru ve světě a v Evropě jsou:

- Celosvětově bylo na konci roku 2005 instalováno 60 000 MW

# Větrná energie

- V několika posledních letech byl celkový roční nárůst asi 25%. V roce 2004 bylo instalováno 7 500 MW a v roce 2005 11 600 MW větrné energie
- Odhaduje se, že v roce 2006 bude celosvětově instalováno 15 000 MW
- Mimo Evropu je nejvíce větrné energie instalováno v USA, výrazně roste instalovaný výkon v Číně a v Indii
- Větrná energie rostla nejvíce v Evropě, s 27-násobným nárůstem kapacity v dekádě mezi lety 1992 a 2002
- Vedoucí země ve větrné energii jsou Německo, Španělsko, Dánsko a Holandsko, které představují 84% celé evropské kapacity. Mimořádná potřeba na trhu je v Rakousku, Itálii, Portugalsku, Švédsku a UK. Deset vedoucích zemí EU v květnu 2004 stanovily cíle pro úroveň obnovitelné energie, které má být dosaženo
- V Německu byl v posledním roce obrat ve větrném průmyslu 4,2 miliard EUR.



Obr. 3 Mapa Evropy s instalovaným výkonem (MW) větrné energie v zemích EU

## Trendy

V posledních letech byly z hledisek ekonomických a technických 3 hlavní trendy u větrných turbín připojených do sítě:

### Turbíny se zvětšily

Průměrný výkon turbín instalovaných v Německu a Dánsku vzrostl z přibližně 200 kW v roce 1990 na skoro 1,5 MW v roce 2002. Turbíny v rozmezí 1,5 až 2,5 MW zdvojnásobily pokrytí trhu – od 16,9% v roce 2001 k 35,3% v roce 2003.

### Investiční náklady klesaly

Průměrný náklad na kW instalovaného výkonu větru v současné době kolísají mezi 900 EUR/kW a 1200 EUR/kW. Vlastní turbína představuje 80% celkových nákladů. Hlavní zbytek nákladů jsou základy, elektrická instalace a připojení do sítě. Další náklady jsou pozemek, příjezdové cesty, náklady na konzultace a finance.

### Účinnost turbín vzrostla

Kombinace vlivu větších turbín, zlepšených prvků a lepšího umístění má za následek zvýšení účinnosti o 2-3% ročně v posledních 15 letech.

Dále k výše zmíněným trendům přibyl fakt, že větrné turbíny v moři (offshore) jsou větší co do velikosti i počtu. Na počátku byly větrné turbíny v moři budovány jako mořské aplikace pozemních technologií se zvláštní ochranou proti soli. Současná řešení obsahují podstatné změny, jako je vyšší obvodová rychlost rotoru a vestavěné zařízení pro údržbářské práce. Turbíny musí být pevně umístěny na mořském dně, což vyžaduje precizní návrh. Musí být vedeno mnoho kilometrů kabelů mezi jednotlivými turbínami a zpět na pobřeží pro přivedení generované elektrické energie do sítě. Pro zajištění vysoké spolehlivosti větrných turbín je velice důležité zajistit efektivní údržbu turbín. To vyžaduje servisní plavidla, která mohou převést údržbáře v extrémním počasí k plošinám turbín.

Do konce roku 2003 bylo vybudováno 600 MW větrných turbín v moři na evropském pobřeží v Dánsku, Švédsku, Holandsku a UK.

## Technologie větrných turbín

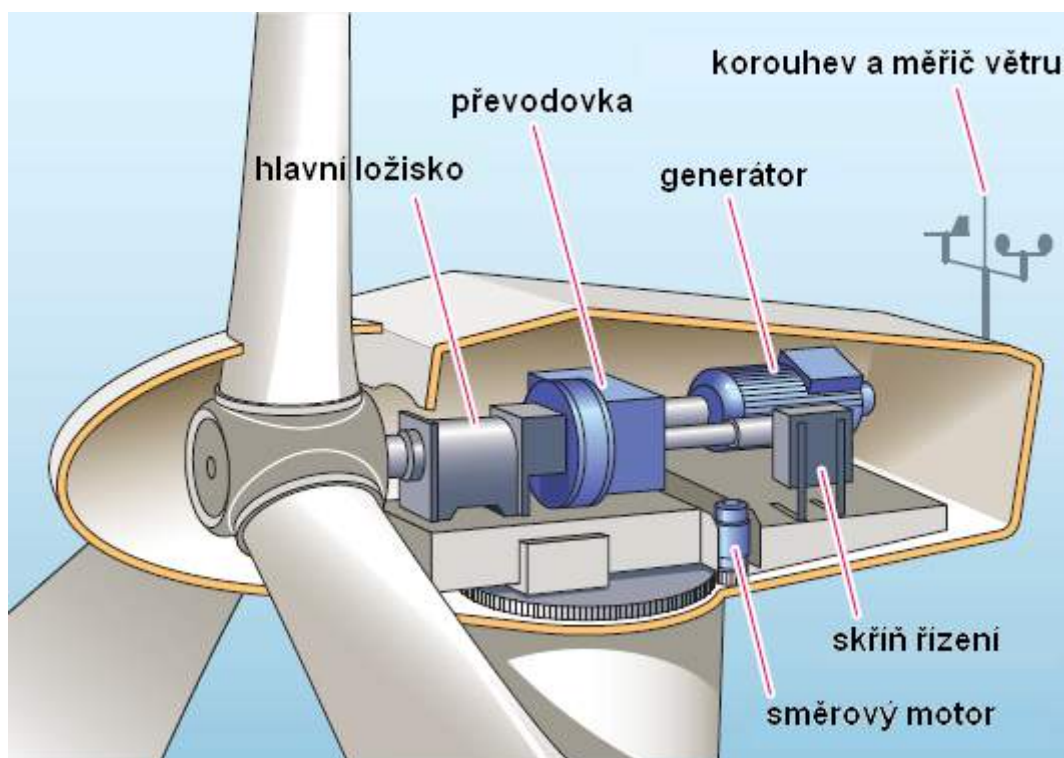
### Technologie

Technologie moderních větrných turbín se v posledních dvou dekadách rychle rozvíjela. Základní princip větrné turbíny zůstal téměř beze změn a sestává ze dvou procesů přeměny fungujících s těmito hlavními komponentami:

- Rotor, který využívá kinetickou energii větru a přeměňuje ji na točivý moment generátoru
- Generátor, který mění tento točivý moment na elektrickou energii a dodává ji do sítě. Ačkoli to zní jednoduše, je větrná turbína komplexní systém, ve kterém jsou aplikovány znalosti aerodynamiky a mechaniky, elektrotechniky a řízení.

### Rotor a listy

Moderní větrné turbíny mají dvě, vhodněji tři listy nebo křídla. Listy jsou vyrobeny z polyesteru zesíleného skleněným nebo karbonovým vláknem. Na komerční bázi jsou k dispozici listy od 1 m až po 100 m i více. Listy jsou montovány na ocelovou konstrukci, zvanou náboj. Jak bylo zmíněno dříve, některé listy jsou nastavitelné při regulaci natáčením.



Obr. 4 Řez větrnou turbínou

## Gondola

Gondolu můžeme považovat za strojovnu turbíny. Tato skříň je konstruována tak, aby se mohla otáčet na (ocelové) věži tak, že rotor je kolmý ke směru větru. To je spojeno se zcela automatickým systémem řízení pomocí korouhve na skříni turbíny. Strojovna turbíny je přístupná z věže a obsahuje všechny hlavní prvky jako hlavní hřídel s ložiskem, převodovku, generátor, brzdy a otáčecí systém. Hlavní hřídel přenáší otáčky rotoru k převodovce.

## Převodovka

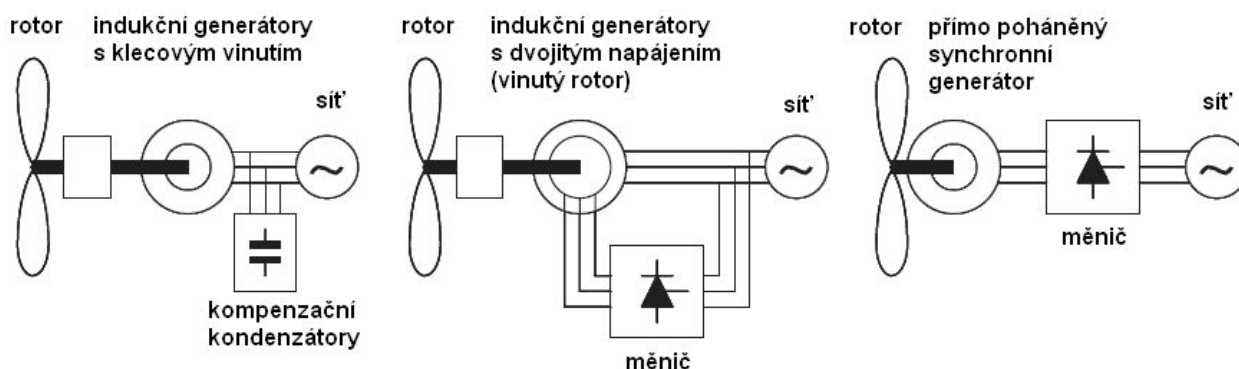
Převodovka je potřebná pro přeměnu relativně pomalé rychlosti rotoru (okolo 20 otáček za minutu s poloměrem 52 m) na otáčky, které vyžaduje generátor (1500 ot/min.).

## Generátor

V současné době jsou k dispozici tři hlavní typy větrných turbín. Hlavní rozdíl mezi těmito koncepcemi obsahující generátor je způsob, jakým je aerodynamická účinnost rotoru omezena při rychlosti větru nad nominální hodnotu, aby se zamezilo přetížení. Skoro všechny větrné turbíny v současné době využívají následující systémy generátorů (viz obr. 5):

- Indukční generátory s klecovým vinutím
- Indukční generátory s dvojitým napájením (vinutý rotor)
- Přímě poháněný synchronní generátor

Větrné turbíny první generace používaly indukční generátory s klecovým vinutím. Protože zde je velký rozdíl mezi otáčivou rychlostí turbíny a generátoru, je nutno použít pro jejich spojení převodovku. Statorové vinutí je připojeno do sítě. Tato koncepce se nazývá větrná turbína s konstantní rychlostí, ačkoliv indukční generátor s klecovým vinutím dovoluje malé změny rychlosti rotoru (asi 1%).



Obr. 5 Obvykle využívané systémy generátorů u větrných turbín

Jelikož indukční generátor s klecovým vinutím spotřebovává jalový výkon, který je nežádoucí, zvláště ve slabých sítích, je nutná kompenzace jalového výkonu.

Ostatní dva systémy generátorů dovolují dvojnásobnou změnu rychlosti rotoru mezi minimem a maximem. Při této rozdílné rychlosti se pomocí výkonové elektroniky oddělují rotorová a síťová frekvence.

Indukční generátor s dvojitým napájením využívá výkonovou elektroniku pro injektování proudu do rotorového vinutí generátoru. Frekvence rotorového proudu je měněna tak, aby frekvence statorového proudu byla shodná se síťovou, ke které je generátor přímo připojen. Převodovka je nutná pro přizpůsobení rychlosti rotoru a generátoru.

Přímo poháněný synchronní generátor nemá převodovku. Generátor a síť jsou plně odděleny pomocí výkonové elektroniky. Rychlost generátoru je mnohem menší, než u nepřímých systémů, takže musí být použity speciální nízkootáčkové generátory, které jsou rozpoznatelné pro své relativně velké rozměry a jejich těsnou blízkost u rotoru turbíny.

Jako závěr tohoto popisu je, že je zde základní rozdíl mezi větrnými elektrárnami a konvenčními termálními nebo jadernými elektrárnami, u větrných elektráren nejsou synchronní generátory přímo připojeny do sítě.

## Brzdňý systém

Větrné turbíny jsou vybaveny robustním bezpečnostním systémem včetně aerodynamického brzdňého systému. Z bezpečnostních důvodů nebo pro parkování turbíny při údržbě je obvykle montována (kotoučová) brzda.

## Řídící systém

Větrné turbíny mají detailně propracovaný počítačový řídicí systém, který může poskytovat detailní informace o stavu turbíny. Často jsou tyto informace sbírány a některé řídicí funkce prováděny dálkově pomocí komunikačních spojení.

## Další vývoj

V současné době (2006) jsou větrné turbíny s vyzkoušenou technologií dostupné v rozsahu od 1,5 do 3 MW. V západní Evropě je zaměřena pozornost většinou na turbíny v rozsahu 2 až 3 MW. Všichni hlavní výrobci mají jednu nebo více větrných turbín v tržním sektoru několika MW.

V některých regionech, jako např. jižní Evropa, Asie a jižní Amerika s méně rozvinutou přenosovou strukturou, nebo kde jsou dominantní pohoří, jsou vhodnější menší větrné turbíny. Z tohoto důvodu jsou široce vyžadovány větrné turbíny v rozsahu 0,8 až 1,3 MW.

Prototypy větrných turbín až do 5 až 6 MW jsou k dispozici a očekává se, že budou komerčně dostupné od roku 2006. Tyto turbíny mají výšku stožáru 120 m a více, průměr rotoru více než 110 m. Nehledě na stále vysoké náklady na instalovaný MW těchto turbín 5 MW a více, je hlavním problémem váha a rozměry jednotlivých prvků, které jsou obtížně transportovatelné přes západoevropskou silniční síť. Mnozí výrobci řeší tento problém tím, že nabízejí turbíny pro instalaci v moři (offshore), nebo pro místa dosažitelná po vodě. Jiným řešením tohoto dopravního problému je produkce a instalace věží z betonových prefabrikátů nebo betonáž věže na místě místo trubicových ocelových segmentů.

V technologii větrných turbín je připravován další rozvoj, nebo je předpokládáno:

- Pokrytí trhu technologií s proměnlivou rychlostí rotoru, včetně moderní výkonové elektroniky, bude stoupat
- V segmentu do 1 MW je slabým místem převodovka, která vyžaduje častou údržbu nebo nákladnou renovaci nebo náhradu. Někteří výrobci nabízejí větrné turbíny bez převodovek s využitím velkých (s průměrem do 5 m) vícepólových synchronních generátorů. Jsou i hybridní řešení, např. jednostuňová převodovka za méně robustním vícepólovým generátorem. V příštích 5 až 10 letech se předvídá rozvoj těchto různých koncepcí
- Vývoj u turbín nad 1 MW bude zaměřen na úspory váhy, aby se zajistila jednoduchá doprava a omezila se vyžadovaná nosnost stavebních jeřábů na místě. Cesty k dosažení těchto cílů jsou optimalizace řídicí strategie vedoucí k méně zatíženým a tím i méně masivním prvkům. Jinou strategií je zvýšení úrovně integrace prvků a systémů, která povede k méně nebo více kompaktním částem
- Současné větrné turbíny v moři (offshore) jsou buď podobné nebo odvozené od turbín na pevnině, ale v blízké budoucnosti bude každý typ vyvíjen tak, aby se přizpůsobil požadavkům prostředí. Větrné turbíny v moři (offshore) se soustředí na spolehlivost, dálkové řízení a velký instalovaný výkon na jednotku (až do 10 MW nebo více). Větrné turbíny na pevnině (onshore) se soustředí na nízké a přijatelné rušení (např. hluk) okolí, vysokou účinnost, jednoduchou a levnou dopravu na místo, instalaci s jednoduše dostupnými jeřáby a omezený výkon (do 6 až 8 MW).

## Náklady a zisky

### Náklady na větrnou energii

Cena nákladů na větrnou energii významně závisí na umístění turbíny. Rychlost větru a náklady na připojení k síti se mohou měnit podle umístění. Pro komerční využití (rozpočet a amortizace za deset let) se cena nákladů mění od 5 Eurocentů/kWh v dobrém větrném místě až po 8 Eurocentů/kWh ve vnitrozemí. Pro srovnání je cena nákladů elektrické energie vyrobené z pevných paliv asi 4 Eurocenty/kWh. Platba za dodanou elektrickou energii se skládá z ušetřených nákladů na palivo, částečně z ekologické daně (granty na zelenou energii) a z části, která je podmíněna trhem s obnovitelnou elektrickou energií.

Ceny větrné energie uvedené výše jsou založeny na následujících předpokladech:

- Nové větrné turbíny o výkonu 850 – 2500 kW
- Náklady na provoz a údržbu v průměru 1,2 Eurocenty/kWh při době životnosti 20 let. Souhrnné provozní náklady (pronájem pozemku, daně, pojištění, denní provoz, údržba) jsou asi 2 Eurocenty/kWh.

V posledních dvaceti letech klesly investiční náklady na větrnou energii na přibližně 80% mezi 900 až 1200 EUR na instalovaný kW. Očekává se, že tento trend bude pokračovat se snižováním o několik procent za rok.

Další hlavní náklady jsou náklady na provoz a údržbu. Samozřejmě zde nejsou náklady na palivo. Náklady na provoz a údržbu obsahují náklady na pravidelnou údržbu, opravy, pojištění, náhradní díly a administrativu. Protože je pouze několik strojů starších než 20 let, nejsou pro srovnání spolehlivá data. U nových strojů náklady na provoz a údržbu mohou být v průměru během doby životnosti okolo 20-25 % celkových amortizovaných nákladů na vyrobenou kWh. Výrobci se snaží významně snížit tyto náklady návrhem nových turbín, které budou vyžadovat méně servisních návštěv, a u kterých se sníží doba nepoužitelnosti. Trendy k vývoji velkých turbín tedy snižují náklady na provoz a údržbu na vyrobenou kWh.

Následující náklady musí být brány v úvahu a přidány k investičním nákladům a nákladům na provoz a údržbu:

- Projektová příprava
- Příprava staveniště
- Základy turbíny
- Připojení do sítě
- Místní daně.

## Zisky z větrné energie

Vlastník větrné elektrárny prodává elektrickou energii energetické společnosti. Hodnota větrné energie z hlediska energetické společnosti je dána ekvivalentními náklady na výrobu elektrické energie z uhlí nebo plynu. Pokud bude vlastník větrné farmy kompenzován pouze z této nabídky, nemůže se jednat o ekonomický návrh využití větrné energie.

Energetické společnosti platí za garantovanou dodávku elektrické energie. „Podpurný“ výkon není potřebný, jestliže dodávaný výkon má vysoký stupeň dostupnosti. Statisticky bylo ukázáno, že větrná energie může při malých rychlostech větru představovat přibližně 25% garantovaného výkonu.

## Budoucnost nákladů

Může větrná energie soutěžit se stávajícími konvenčními elektrárnami? V tomto srovnání větrná energie nemá výhodu, protože stávající elektrárny jsou částečně odepsány.

Reálnou otázkou je, jak elektrická energie vyrobená ve větrných elektrárnách bude srovnávána řekněme v době deseti let s elektrickou energií vyrobenou v nově postavené klasické elektrárně na pevná paliva? V této době můžeme očekávat, že všechny spaliny budou muset být čištěny a pravděpodobně všechny emise CO<sub>2</sub> budou odloučeny. Protože zdroje pevných paliv se vyčerpávají, je zde reálná šance, že ceny pevných paliv budou vysoké. Naopak se očekává trvalý pokles cen energie větru.

Bude-li pokračovat pozitivní rozvoj větrné energie v příštích letech, bude pravděpodobně vážným konkurentem konvenčním zdrojům elektrické energie.

## Daně a stimuly

Ve většině evropských zemí nemá větrná energie šanci ekonomicky přežít bez podpory od vlády. Hlavním důvodem pro poskytování stimulů je to, že energie větru jako (téměř) čistý zdroj elektrické energie nemá skoro žádné vedlejší náklady. Evropská unie konstatuje, že „vnější náklady jsou způsobeny tehdy, když sociální nebo ekonomické aktivity jedné skupiny ovlivňují jinou skupinu, a když tento vliv není zcela kompenzován nebo se s ním nepočítá“. Například konvenční elektrárna produkuje SO<sub>2</sub>, což způsobuje potíže s dýcháním astmatiků a škody na stavebních materiálech. Nicméně vlastník elektrárny nemusí platit za zvláštní lékařskou péči nebo za opravy budov, vlastník přenáší tyto náklady na jiné – daňové poplatníky nebo vlastníky budov. EU chce zavést ekologickou daň na pokrytí těchto škod, čímž následně vzroste cena elektrické energie o 2 až 7 Eurocenty/kWh.

Naopak zdroje čisté elektrické energie mohou být podpořeny stimuly, čímž se vyhnou sociálním a enviromentálním nákladům. Tyto subvence jsou poskytovány, pokud nejsou podporovány EU. V některých evropských zemích je například větrná energie podpořena subvencí 8 nebo 9 Eurocentů/kWh v závislosti na tom, zda je umístěna na pevnině, nebo v moři.

## Postupy a předpisy

### Předpisy, postupy a direktivy EU, týkající se větrné energie

Protože zdroje pevných paliv se vyčerpávají, jejich cena, která se mění v závislosti na dovozu nafty, se stává hlavní nevýhodou. Pro životní prostředí se stávají hlavním problémem například emise CO<sub>2</sub> a ukládání jaderného odpadu.

Mnohé průmyslové země vynakládají značné úsilí na rozvoj zdrojů obnovitelné energie, zvláště solární, biomasy, vodní a větrné energie. Firma Shell očekává, že do roku 2050 bude třetina veškeré spotřeby elektrické energie zajištěna výrobou ve zdrojích obnovitelné energie.

Někteří členové EU mají své individuální cíle (například) na výrobu 9% veškeré elektrické energie do roku 2010 z obnovitelných zdrojů, z čehož může být polovina z větru.

Tyto ambice jsou velmi zdrženlivé ve srovnání s cíli, které byly dány v EU jako celku. Většina zemí EU má již vyšší pokrytí výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů jako vodní energie, biomasa a větrná energie. Do roku 2010 v EU-15 musí být 22% z celkové elektrické energie vyrobeno v obnovitelných zdrojích. EU stále podněcuje nové členy (EU-25) a dřívější členy pro dosažení tohoto cíle.

## Místní účinky větrné energie

Větrná energie má nežádoucí účinky na místní prostředí, která může být omezena na přijatelnou míru při pečlivém plánování.

### Ptáci

Ptáci se mohou srazit s listy rotoru nebo se chytit do pasti turbulence za rotorem. Odhad počtu „obětí kolizí“ je relativně malý na přibližně 21 000 obětí na instalovaný výkon 1000 MW za rok (v Holandsku). Ačkoliv se to zdá vysoké, je počet relativně nízký ve srovnání s počtem ptáků zabitých každoročně v dopravě (2 miliony), nebo kteří zemřou na energetických vedeních (1 milion) [9].

Většina nehod u větrných turbín je v noci, během soumraku nebo při špatném počasí. Ptáci znají své potravní a odpočinkové území, ti se vyhnou větrným turbínám. Při instalaci turbín je nutno pečlivě poznat rozmnožovací a potravní oblast ptáků.

### Ryby

Větrné elektrárny v moři (offshore) mají pozitivní vliv. Rybolov ve velké míře je všeobecně známý problém a ohrožuje zásoby mnoha druhů ryb. I když plachetnice a tím i rybaření jsou v okolí větrných farem zakázány, mořští biologové očekávají, že tyto oblasti se vyvinou v rozmnožovací oblasti pro mnoho druhů ryb. Dřívější výzkum v sousedství větrných farem potvrzuje pozitivní vliv na zásoby ryb.

### Hluk

Větrné turbíny produkují hluk. Rotor vytváří hukot a slyšitelný je také mechanický hluk od generátoru a převodovky. Pečlivý návrh rotorových listů, omezení otáčivé rychlosti a zajištění efektivního odhlučnění převodovky a generátoru může omezit produkci hluku. Při dodržení dostatečné vzdálenosti od obytných oblastí a jiných oblastí citlivých na hluk, můžeme se vyhnout znečištění hlukem.

## Stín

Otáčivé listy turbíny tvoří pohyblivý stín, který může způsobit nepříjemnosti, když například stín z nízkého zimního slunce padá do oken. Vhodné umístění turbíny při respektování bytové výstavby může dostatečně předcházet tomuto problému. Je-li tento problém omezen na několik hodin v roce, může být v této době turbína zastavena bez nadměrné ztráty elektrické energie.

## Vhodnost v krajině

Větrné turbíny jsou zásahem do struktury krajiny. Mohou být vytvořeny v místech kde splynou, jako například když jsou uspořádány podél charakteristických přírodních jevů, jako hráze nebo vodní cesty. Výzkumy ukazují, že umístění větrných turbín je více přijatelné ve skupinách, a když je lidem v okolí vyjasněno, že tím může být získán užitek. Zda seskupení různých turbín je přijatelné nebo ne, vždy to bude věc vkusu. Významnější je vztah mezi výškou hřídele a průměrem rotoru. Jiným významným problémem je rozměr rotoru – rotory s větším průměrem jsou pomalejší a proto tišší.

## Shrnutí

Tisíce let byla větrná energie využívána k různým účelům. Od doby ropné krize se podstatně rozvinuly větrné elektrárny a byly realizovány impozantní projekty.

Větrná technologie se stále rozvíjí. Turbíny jsou stále účinnější, jmenovité výkony se zvyšují a je využívána inteligentní výkonová elektronika. Mezitím jsou realizovány impozantní větrné farmy v moři.

Trvalé snižování investičních nákladů a nákladů na údržbu větrných turbín dělá tuto technologii zajímavou pro investory a stavitele větrných farem.

## Odkazy a literatura

[1] Ackermann, T, (editor), 'Wind Power in Power Systems', John Wiley & Sons, Ltd, 2005, ISBN 0-470-85508-8.

[2] Troen, I, and Petersem, E L, *European Wind Atlas*, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, ISBN 87-550-1482-8.

[3] *WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program)*, Version 8, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.

[4] Beurskens, J, and van Kuik, G, 'Alles in de wind', *Questions and answers concerning wind power*, October 2004.

[5] 'Wind Power Technology', *Operation, commercial developments, projects, grid distribution*, EWEA, December 2004.

[6] 'Wind Power Economics', *Wind energy costs, investment factors*, EWEA, December 2004.

[7] 'The Current Status of the Wind Industry', *Industry overview, market data, employment, policy*, EWEA, December 2004.

[8] 'Windenergie Winstgevend', *Ministry of the Flemish Community, Department of Renewable Sources and Energy*, 1998.

[9] [www.mileucentraal.nl](http://www.mileucentraal.nl).

## Reference & Founding\* Partners

European Copper Institute* (ECI) <a href="http://www.eurocopper.org">www.eurocopper.org</a>	EPRI Solutions Inc <a href="http://www.epri.com/eprisolutions">www.epri.com/eprisolutions</a>	Laborelec <a href="http://www.laborelec.com">www.laborelec.com</a>
ABB Power Quality Products <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <a href="http://www.etsii.upm.es">www.etsii.upm.es</a>	MGE UPS Systems <a href="http://www.mgeups.com">www.mgeups.com</a>
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) <a href="http://www.agh.edu.pl">www.agh.edu.pl</a>	Fluke Europe <a href="http://www.fluke.com">www.fluke.com</a>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <a href="http://www.uni-magdeburg.de">www.uni-magdeburg.de</a>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) <a href="http://www.citcea.upc.edu">www.citcea.upc.edu</a>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <a href="http://www.htw-saarland.de">www.htw-saarland.de</a>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <a href="http://www.miedz.org.pl">www.miedz.org.pl</a>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <a href="http://www.ceiuni.it">www.ceiuni.it</a>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <a href="http://www.pih.be">www.pih.be</a>	Socomec Sicon UPS <a href="http://www.socomec.com">www.socomec.com</a>
Copper Benelux* <a href="http://www.copperbenelux.org">www.copperbenelux.org</a>	International Union for Electricity Applications (UIE) <a href="http://www.uie.org">www.uie.org</a>	Università di Bergamo* <a href="http://www.unibg.it">www.unibg.it</a>
Copper Development Association* (CDA UK) <a href="http://www.cda.org.uk">www.cda.org.uk</a>	ISR - Universidade de Coimbra <a href="http://www.isr.uc.pt">www.isr.uc.pt</a>	University of Bath <a href="http://www.bath.ac.uk">www.bath.ac.uk</a>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <a href="http://www.kupferinstitut.de">www.kupferinstitut.de</a>	Istituto Italiano del Rame* (IIR) <a href="http://www.iir.it">www.iir.it</a>	The University of Manchester <a href="http://www.manchester.ac.uk">www.manchester.ac.uk</a>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <a href="http://www.ecd.it">www.ecd.it</a>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <a href="http://www.kuleuven.ac.be">www.kuleuven.ac.be</a>	Wroclaw University of Technology* <a href="http://www.pwr.wroc.pl">www.pwr.wroc.pl</a>

## Editorial Board

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	<a href="mailto:david.chapman@copperdev.co.uk">david.chapman@copperdev.co.uk</a>
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	<a href="mailto:angelo.baggini@unibg.it">angelo.baggini@unibg.it</a>
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	<a href="mailto:ahernandez@etsii.upm.es">ahernandez@etsii.upm.es</a>
Prof Ronnie Belmans	UIE	<a href="mailto:ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be">ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be</a>
Dr Franco Bua	ECD	<a href="mailto:franco.bua@ecd.it">franco.bua@ecd.it</a>
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	<a href="mailto:jean-francois.christin@mgeups.com">jean-francois.christin@mgeups.com</a>
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	<a href="mailto:adealmeida@isr.uc.pt">adealmeida@isr.uc.pt</a>
Hans De Keulenaer	ECI	<a href="mailto:hdk@eurocopper.org">hdk@eurocopper.org</a>
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	<a href="mailto:jan.desmet@howest.be">jan.desmet@howest.be</a>
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	<a href="mailto:marcel.didden@laborelec.com">marcel.didden@laborelec.com</a>
Dr Johan Driesen	KU Leuven	<a href="mailto:johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be">johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be</a>
Stefan Fassbinder	DKI	<a href="mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de">sfassbinder@kupferinstitut.de</a>
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	<a href="mailto:hanzel@uci.agh.edu.pl">hanzel@uci.agh.edu.pl</a>
Stephanie Horton	ERA Technology	<a href="mailto:stephanie.horton@era.co.uk">stephanie.horton@era.co.uk</a>
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:antoni.klajn@pwr.wroc.pl">antoni.klajn@pwr.wroc.pl</a>
Kees Kokee	Fluke Europe BV	<a href="mailto:kees.kokee@fluke.nl">kees.kokee@fluke.nl</a>
Prof Dr rer nat Wolfgang Langguth	HTW	<a href="mailto:wlang@htw-saarland.de">wlang@htw-saarland.de</a>
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl">henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl</a>
Carlo Masetti	CEI	<a href="mailto:masetti@ceiuni.it">masetti@ceiuni.it</a>
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	<a href="mailto:mmcgranaghan@eprisolutions.com">mmcgranaghan@eprisolutions.com</a>
Dr Jovica Milanovic	The University of Manchester	<a href="mailto:jovica.milanovic@manchester.ac.uk">jovica.milanovic@manchester.ac.uk</a>
Dr Miles Redfern	University of Bath	<a href="mailto:eesmar@bath.ac.uk">eesmar@bath.ac.uk</a>
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	<a href="mailto:tom.sels@esat.kuleuven.ac.be">tom.sels@esat.kuleuven.ac.be</a>
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	<a href="mailto:Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de">Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de</a>
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	<a href="mailto:sumper@citcea.upc.edu">sumper@citcea.upc.edu</a>
Roman Targosz	PCPC	<a href="mailto:cem@miedz.org.pl">cem@miedz.org.pl</a>
Dr Ahmed Zobaa	Cairo University	<a href="mailto:azmailinglist@link.net">azmailinglist@link.net</a>



Fred Wien



KEMA Nederland B.V.  
Utrechtseweg 310  
6812 AR Arnhem  
The Netherlands

Tel: 00 31 26 3566061  
Email: fred.wien@kema.com  
Web: www.kema.com



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper Promotion Centre  
Képiró u. 9  
H - 1053 Budapest  
Magyarország  
Tel.: 00 361 266 4810  
Tel.: 00 361 266 4804  
E-mail: hcpc@euroweb.hu  
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB-TU Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
17. listopadu 15  
CZ 708 33 Ostrava-Poruba  
Tel.: +420 597324279  
Tel.: +420 596919597  
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz  
Website: homen.vsb.cz/~san50/



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Website: www.eurocopper.org