



# Bezpečnost větrných elektráren je v rukou diagnostiků

**Obnovitelné zdroje patří k zakládajícím moderní doby zejména ve spojitosti s realizací koncepce udržitelného rozvoje. Řečeno s největším českým géniem Járrou Cimrmanem: „Můžeme s tím sice nesouhlasit, ale to je tak vše, co s tím můžeme dělat.“**

Vedle vodní energie a spalování biomasy patří větrné elektrárny patří mezi klíčové technologie obnovitelných zdrojů. Z pohledu energetického mixu České republiky takové tvrzení zdaleka neplatí (obnovitelné zdroje tvoří 4,5%, z toho větrná energetika 0,9%) pohled Evropské unie už je výrazně odlišný. Podle údajů Evropské asociace pro větrnou energii (EWEA) tvoří větrná energetika až 8% evropského energetického mixu s nejvyšším podílem meziročního nárůstu.



Výroba větrných elektráren si právem zasluhuje pozornost investorů. Objem dodávek roste od roku 1995 v průměru o 30% ročně a odhaduje se, že celková výrobní potřeba do roku 2020 je kryta výrobní kapacitou jen asi z 35%. Podle údajů německého BWE (Bundesverband Wind Energie) je v sektorech provázaných s větrnou energetikou zaměstnáno více než 90tis. lidí při ročním obratu kolem 9 bilionů €. Dokonce i v krizovém roce 2009, podle odhadů výzkumné organizace DEWI ze Saska z října 2009, nedojde k výraznému poklesu výroby a instalace větrných elektráren. Větrná elektrárna a její technologická část (generátor, rotorový systém, převodovka) patří ke špičce strojírenské výroby s vysokými nároky na přesnost a kvalitu.

Větrná energetika však nemá jen výhody ekonomicky a ekologicky zajímavého produktu má také své limity spojené s vhodným umístěním elektráren, ekonomikou výstavby a provozu a částečně i s odmítavým vztahem veřejnosti. Z hlediska energetického je největším problémem časová nestabilita větrného zdroje. Výpadky výroby energie musí být nahrazovány jinými druhy rychle dostupných a trvale zálohujících zdrojů. Máme ještě na paměti, co dovede způsobit přebytek vyráběné energie v tak rozsáhlé energetické síti, jakou disponuje sousední Německo. Z hlediska časové výtěžnosti se jako perspektivnější jeví umístění VE na mořském pobřeží s převládajícím větrným prouděním o vyšší rychlosti.



## Jak s vyvíjely technické prostředky a možnosti větrné energetiky ?

**Podívejme se na základní technické parametry VE a jejich vývoj v čase :**

Rok	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2008
Výkon (kW)	30	80	250	600	1 500	3 000	6 000
Průměr rotoru (m)	15	20	30	46	70	90	126
Výška stožáru (m)	30	40	50	78	100	105	135
Roční výkon (MWh)	35	65	400	1 250	3 500	3 900	20 000

*Zdroj: BWE*

Vývoj větších větrných elektráren souvisí s jejich ekonomikou – např. 144 metrů vysoká VE o výkonu 3.6 MW vyrábí dvakrát více než 100 metrová o výkonu 2MW a to při pouhých 88% nákladů na vyrobenou kWh. Vývoj však přináší i řadu nových technických problémů. Stačí si představit, že větrná elektrárna o výkonu několika MW představuje několik desítek tun energetických zařízení s mimořádnými nároky na přesnost výroby a provozní prostředí. To vše umístěno ve výšce více než sto metrů a vystaveno nárazům větru, změnám teplot a ostatní klimatické zátěži. Při hodnocení složitosti problémů použil jeden z expertů přirovnání k technologií určené pro cestu na Měsíc.

Existuje tedy dost důvodů, proč se o oblast větrné energetiky zajímat i z pohledu provozní bezpečnosti a údržby.

Z technického hlediska tvoří VE základový díl, sloup, gondola a vrtulový systém. Uvnitř gondoly je umístěn vlastní energetický zdroj podle konstrukce vybavený buď převodovkou nebo přímým náhonem (u pomaloběžných strojů). Pomaloběžné systémy zaznamenaly rostoucí trend především díky menší mechanické zátěži konstrukce a odpadající potřebě chladicích a olejových systémů.

Z hlediska provozu je větrná elektrárna složitý komplex několika strojních a energetických zařízení (rotor, systém natáčení lopatek, hnací hřídel, převodovka, generátor), který je vystaven mnohem většímu dynamickému namáhání rotačních částí než běžně instalované plynové nebo parní turbíny. Vítr je nepravidelná a rychle se měnící síla a dynamické namáhání soustrojí, ložisek i nosné části je přirozeným důsledkem. Nezanedbatelným faktorem není ani vnější prostředí ať už je to námraza lopatek, působení rozdílů teplot nebo korozní vlivy.

Přes překotný rozvoj výroby a dodávek VE byla oblast sledování jejich provozních hodnot a diagnostiky dlouho mimo hlavní okruh zájmu výrobců i provozovatelů. Výrazná pozornost byla věnována především stavební části tj. základům, sloupu a jeho dynamické a statické odolnosti a vrtulím. Význam větrné energetiky však stoupal s jejím podílem v energetickém mixu a tak odstávky způsobované opravami a servisem strojních zařízení přinášely stále větší potíže nejen provozovatelům, ale i pojišťovnám.

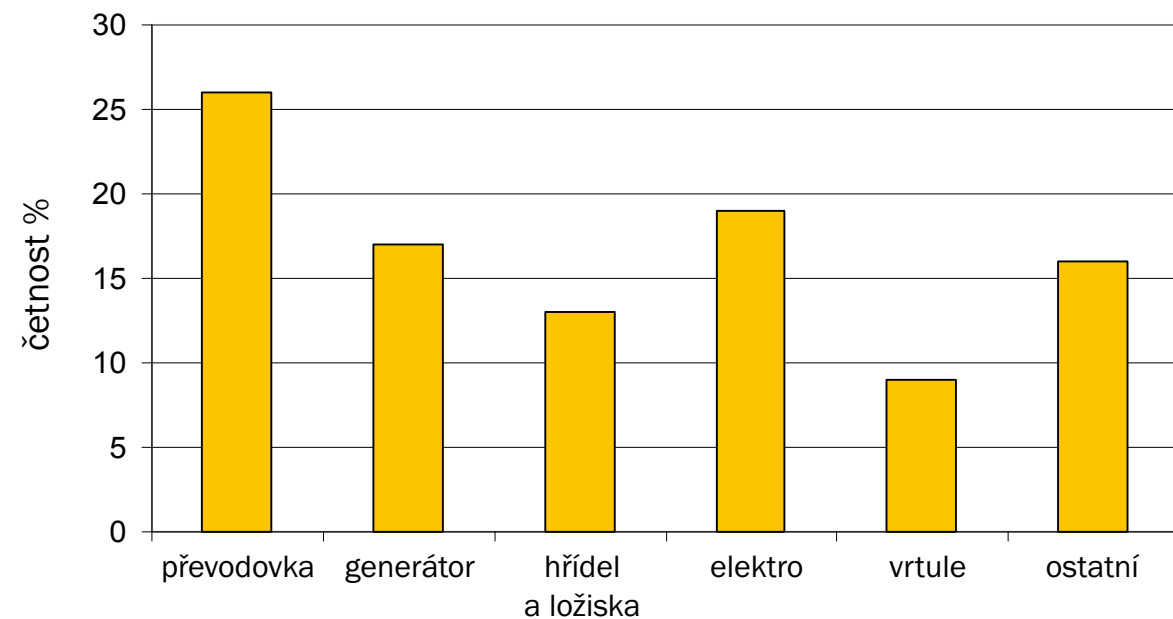
Pro představu o nákladech na opravu a úsporách uvedeme příklad firmy GEO:

Vada hlavního ložiska na elektrárně 1,5 MW identifikovaná diagnostickým systémem vyžadovala náklad na výměnu ložiska 3 444,- € a odstávku v délce 31 hodin. Srovnatelný náklad při poruše hlavního ložiska znamená náklady ve výši 238 000,- € (včetně nákladů na speciální jeřáb) odstávku v délce 546 hodin.

Jen málokdo si uvědomí, že pro práce na rotoru VE ve výšce kolem 100 m je pro manipulaci s rotorem o váze více než 50 tun zapotřebí speciálního jeřábu. Do celkových nákladů patří také doba po kterou není možné z důvodu opravy vyrábět elektrický proud – např. pro Českou republiku se roční objem využitelné doby pro výrobu el. energie u VE pohybuje mezi 1500 – 2200 hodin. Odstávka v délce 546 hodin tak má pro výtěžnost VE závažné následky.



**Příčiny poruch VE**



Laminátové lopatky rotoru představují nejzranitelnější část větrné turbíny. Blesky, rozvážení lopatek nebo kontakt s věží mohou vyústit v extrémně závažné poruchy vedoucí k destrukci celé elektrárny. Také chyby návrhu a výrobní vady se mohou vyvíjet v praskliny na hranách, na koncích nebo u náboje.

Mezi nejčastější vady převodovky patří vydírání povrchu a změny tvaru kontaktních ploch zubů. Prokluzování nebo opotřebenění ložisek generátoru mohou způsobit protáčení vnitřního kroužku ložiska na hřídeli až do bodu, kdy začne docházet ke kontaktu rotoru se statorem.

Hlavní ložisko nese zátěž celého rotorového systému je výrazně dynamicky zatíženo vnějšími vlivy a rázy větru. Poškozené nebo vyerodované oběžné plochy ložiska vyúsťují v prasknutí kroužků ložiska. Protáčení vnitřního kroužku ložiska může v některých případech vyústit až v prasknutí hřídele a způsobit totální ztrátu turbíny. Vady hlavního ložiska rotoru mohou následně indukovat vady oběžných drah následných vysokootáčkových ložisek, růst jejich teploty až k úplnému zničení.

Překvapivý vliv na opotřebenění systému má také natáčecí a brzdny systém VE. V souvislosti se snahou udržet optimální natočení vrtulového systému vůči větru a dynamickými rázy při jeho natáčení a brzdění vzrůstá opotřebenění hřídelového systému a snižuje se životnost nosných prvků.



Tady už je na diagnostiku pozdě ...

zdroj: IWA G

V roce 2003 představila pojišťovna Allianz pod heslem : „Trvalým monitorováním provozního stavu předcházíme škodám“ vlastní technické požadavky na zařízení sledující provozní stav VE a jeho změny. Vybavení VE zařízením pro průběžnou diagnostiku se stalo podmínkou pojištění. Pojišťovna vyžadovala buď úplnou výměnu všech ložisek a kritických částí systému po 40 000 hodinách provozu, 5 let záruky nebo doložení stavu stroje trvalým diagnostickým sledováním.

Požadavek změny v přístupu k diagnostice byl jasný - přejít od formy pasivního vyčkávání (reaktivní přístup) k moderní formě předcházení poruchám indikací jejich příčin a včasný zásah (prediktivní/ proaktivní údržbová metoda). Nástrojem jsou moderní měřicí metody, čidla a prostředky zpracování měřených údajů, nasazené trvale a v rozsahu umožňujícím komplexní posouzení stavu VE. Takové systémy jsou označovány jako „Condition monitoring systems“ (CMS).

Bezpečnost provozu větrných elektráren se tak plně ocitla v rukou diagnostiků.

**Pracovníci technického centra Allianz – AZT sestavili požadavky na měřená místa do jednoduché tabulky a přispěli tak (možná neúmyslně) k vytvoření jednoho z nejcitovanějších technických dokumentů v oboru:**

Měřicí místo	Monitorovaný prvek	Požadováno
Akcelerometr hlavního ložiska	Hlavní ložisko rotoru	Ano
Akcelerometr ložisek a planetárních převodů převodovky	Převodovka	Ano
Akcelerometr ložisek a středních převodů převodovky	Převodovka	Ano
Akcelerometr ložisek a vysokorychlostních převodů převodovky	Převodovka	Ano
Akcelerometr vnitřního ložiska generátoru	Generátor	Ano
Akcelerometr vnějšího ložiska generátoru	Generátor	Ano
Akcelerometr vychýlení gondoly	Měření náklonu gondoly od kolmice	Ne, ale doporučeno. (Požadováno pro certifikovaný systémem Allianz)
Otáčkoměr	Měření otáček rotoru	Ano
Otáčkoměr	Měření otáček turbíny	Ano
	Elektrické veličiny výkonu	Ano. Získávají ze SCADA nebo řídicího systému.
	Směr natočení gondoly	Ano. Získávají ze SCADA nebo řídicího systému.
	Rychlost větru	Ano. Získávají ze SCADA nebo řídicího systému.

Zdroj: Allianz AZT

Možnost ověřování systémů CMS neušla ani certifikačním společností. Už na přípravných fázích koncepce nasazení CMS byl znát výrazný podíl odborné účasti Germanische Lloyd. GL se také podílel na tvorbě požadavků pro zařízení a byl tvůrcem prvních postupů pro certifikaci systémů CMS pro větrné elektrárny.

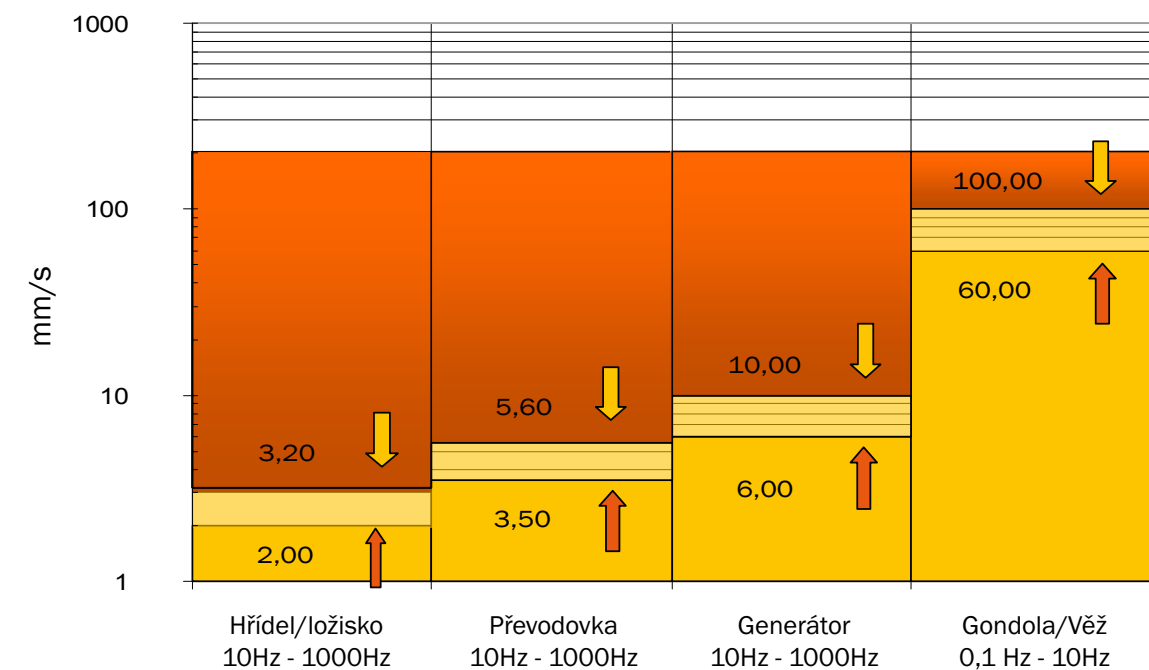
Díky podpoře certifikačních autorit, výzkumným pracím universit, účasti výrobců systémů měření vibrací a tlaku pojištěn, se podařilo ve velmi krátké době zavést do oblasti VE povědomí o nutnosti předcházení provozním haváriím znalostmi o skutečném provozním stavu stroje. Velká iniciativa certifikačních společností a rozhodující vliv pojištěn měla i svoje stinné stránky. Hlavním hlediskem byla minimalizace pojistných nákladů, vycházelo se z pojistných statistik a nepochybně byla věnována vysoce odborná péče rozboru příčin jak ze strany GL tak i specializovaných pracovišť pojištěn (AZT). Statisticky jistě správné hodnocení příčin poruch soustřeďovalo pozornost především na problémy převodovek. Statisticky méně čtené poruchy jako je např. rozvážení rotoru však mohou způsobit úplnou destrukci celé větrné elektrárny, jak ukázalo několik případů v poslední době (Hornslet Dánsko, Altona USA).

Do komplexního pojetí condition monitoringu patří sledování všech veličin podstatných pro posouzení stavu stroje, ale i schopnost rychlé reakce na prudké zhoršení stavu. Příčinou jsou jevy související např. s únavovými mechanismy v materiálech, mechanickým poškozením rotujících částí nebo s rozvážením námrazou. V takových případech zákazník logicky očekává schopnost systému CMS rozeznat výraznou odchylku od běžného chodu a reagovat např. rychlým zabrzděním rotoru. Nadšení z možností elektronického a programového zpracování signálu však někdy přinášelo složitá a časově velmi náročná zpracování sekundárních projevů poruch v komplexním signálu. Zapomnělo se trochu na možnosti hledání jednoduchých řešení s čidly sledující primární projevy poruch. K nedostatkům metodik CMS VE patřilo také nedostatečné provázání s metodikou norem rotačních strojů (hodnoty z různých systémů nebylo možné porovnávat).

Z hlediska zákazníka byly výsledkem vývoje sofistikované systémy umožňující hluboké a náročné analýzy některých částí VE. Chyběly však nástroje pro diagnostiku dalších částí VE, rozeznávání jiných typů poruch a jednoduchá informace o celkovém stavu stroje. Zákazník byl odkázán na odborné hodnocení specialisty diagnostika, bez kterého nebyl schopen ani základního posouzení, zda se vůbec stav VE nějak mění. Firmy, samozřejmě, nabídly zpracování dat ve vlastních odborných servisních pracovištích, to je ale při prudkém nárůstu počtu nasazených systémů cesta do pekel.



### VDI 3834



Logickým důsledkem souvisejícím s místem tvorby certifikačních požadavků byla i snaha vytvářet si stanovování požadavků „nový trh“ pro vlastní aktivity. Např. požadavek GL na pravidelné re-certifikování každého typového zařízení CMS po dvou letech je, přinejmenším, podivný při pohledu na ostatní požadavky, jaké jsou na výrobce měřících a automatizačních zařízení kladeny z pohledu evropských norem, bezpečnosti výrobků, jakosti a speciálních výrob (ATEX, SIL apod.). Ostatně, srovnání požadavků se skutečnými parametry zařízení certifikovaných GL ukazuje, že v mnoha případech je výsledkem certifikace spíše technická racionalita obou stran než rigidní dodržení všech stanovených pravidel. Začínalo to vypadat, že obor diagnostiky VE, jakkoliv specifický, je tak trochu oborem stojícím mimo ostatní diagnostiku strojů.

Diagnostika je naštěstí profese zvyklá pružně reagovat na nové výzvy. V roce 2007 došlo k přehodnocení definice požadavků GL na certifikování systémů condition monitoringu pro VE. Změna přístupu umožnila nově i certifikaci diagnostických zařízení jiných částí VE. Ovoce přinesla i snaha zařadit požadavky diagnostiky VE do normativní báze norem diagnostiky točivých strojů. Projevilo se to v základních normách pro VE řady ISO 61 400 a zejména vydáním normy VDI 3834 v roce 2009. Ve VDI 3834 se propojila základní normativní řada pro posuzování přípustných hodnot provozních stavů točivých strojů ISO 10 816 s respektováním specifických podmínek VE. Norma VDI 3834 poprvé v celé historii condition monitoringu VE stanovuje mezní přípustné hodnoty pro každou relevantní část VE samostatně:

Stanovení mezí a měřících metod je jen zdánlivě maličkovitostí v celém souboru problémů diagnostiky větrných elektráren. Díky němu je totiž možné automaticky a bez zpoždění informovat provozovatele o zhoršení provozních vlastností stroje. Zároveň se otevírá prostor pro vzájemné srovnání provozních údajů z jednotlivých větrných

elektráren a ověřování normativně definovaných přípustných mezí při uvádění nové větrné elektrárny do provozu a po jejich opravách. Diagnostici vývojem norem dostali do rukou poslední chybějící nástroj.

Velkou výzvou jsou také větrné elektrárny postavené před rokem 2005, nebo elektrárny menších výkonů, které většinou nejsou vybaveny ani dílčí diagnostikou částí – tím méně moderními systémy CMS. Přitom s ohledem na míru jejich provozního opotřebení je taková technika více než na místě. Zařízení určená pro dodatečnou vestavbu musí však respektovat mechanické a konstrukční omezení existující VE. Navíc úplně vybavení systémem CMS není z hlediska místních podmínek a někdy ani ekonomiky provozu ve všech případech vhodné. Je proto zapotřebí přijít s komplexním řešením vhodně kombinujícím revizní prověrky s trvale instalovanými prostředky. Výrazným přínosem mohou být speciální jednoúčelová čidla sledující např. akustickou emisi ložiska nebo nevyváhu rotoru.

Využití moderní měřicí techniky v propojení s individuální potřebou zákazníka a v úzké vazbě na požadavky norem je reálnou cestou k vyšší provozní bezpečnosti větrných elektráren. Na základě svých dlouholetých zkušeností s výrobou a dodávkou zařízení pro diagnostiku se po této cestě vydala i společnost AURA a.s. Po působení v programu licenční výroby větrných elektráren typu Vensys v ČKD NOVÉ ENERGO a po zastavení tohoto výrobního programu AURA nabízí zákaznický orientovaná řešení a spolupráci všem uživatelům, výrobcům a vývozcům větrných elektráren v České republice. ■