

**UNIVERZITA KARLOVA  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
ÚSTAV PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

**ZÁKLADNÍ ASPEKTY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN  
JAKO PODKLAD PRO STUDII ŽIVOTNÍHO CYKLU**

**Bakalářská práce**

**Jaromír Čtrnáctý**

**Praha, červen 2006**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré informace budou řádně citovány.

*Jan Čížek*

V Praze, 1. června 2006

## OBSAH

PŘEDMLUVA.....	5
ÚVOD.....	6
ČÁST A - ZÁKLADNÍ ASPEKTY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	
1. SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ.....	7
2. LOKALITA	
2.1. Větrné podmínky.....	8
2.2. Morfologie terénu.....	9
2.3. Klimatické podmínky.....	9
2.4. Ostatní faktory.....	10
3. PARAMETRY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	
3.1. Výkon.....	10
3.2. Základní parametry.....	11
3.3. Připojení k síti.....	11
3.4. Stožár elektrárny.....	11
3.5. Vzájemné postavení elektráren ve větrné farmě.....	12
4. TECHNOLOGIE	
4.1. Stall regulace (pasivní).....	12
4.2. Pitch regulace (aktivní).....	12
4.3. Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky.....	13
4.4. Jednorychlostní a vícerychlostní systémy.....	13
5. VÝVOJOVÉ TRENDY	
5.1. Průměr rotoru.....	14
5.2. Výkon a výška.....	14
5.3. Celkové trendy.....	15
6. DOPRAVA A STAVBA.....	15
7. PROVOZ A ÚDRŽBA.....	16
8. DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	
8.1. Vizuální dopad.....	16
8.2. Hluk.....	17
8.3. Zábor půdy.....	17

8.4. Dopad na ptactvo.....	18
8.5. Odpady a znečištění prostředí.....	18
9. DODATKY	
9.1. Proměnlivost produkce a nutnost zálohování.....	20
9.2. Vývoj větrné energetiky v Evropě.....	21
9.3. Stav větrné energetiky v České republice.....	21
ČÁST B - ROZVRH PRVNÍ ČÁSTI ANALÝZY ŽIVOTNÍHO CYKLU	
1. STANOVENÍ CÍLE.....	22
2. STANOVENÍ ROZSAHU.....	22
3. STANOVENÍ FUNKČNÍ JEDNOTKY.....	24
4. UVEDENÍ KLÍČOVÝCH PŘEDPOKLADŮ.....	24
SEZNAM LITERATURY.....	25
PŘÍLOHY.....	26

## **PŘEDMLUVA**

Předkládaná bakalářská práce sleduje dva dílčí cíle.

Prvním cílem je stručný souhrn a popis nejdůležitějších aspektů týkajících se větrných elektráren. Větší část práce se proto zabývá výběrem vhodných lokalit pro stavbu větrných elektráren, jejich výrobou a montáží, nároky na provoz a údržbu, používanými technologiemi a dopady na životní prostředí. Přestože tato část práce tvoří poměrně autonomní celek, jsou jednotlivé kapitoly vybírány tak, aby měly vztah k hodnocení životního cyklu větrné elektrárny. Některá témata, která doplňují souhrn nejdůležitějších aspektů spojených s větrnými elektrárnami, avšak nesouvisí přímo s hodnocením životního cyklu, jsou uvedena v poslední kapitole první části.

Druhý dílčí cíl vychází z toho, že tato bakalářská práce slouží jako výchozí podklad k možné budoucí studii životního cyklu zadané v rámci diplomové práce. Závěr bakalářské práce proto tvoří přibližný koncept první části metody hodnocení životního cyklu aplikované na větrnou elektrárnu s tím, že podrobně rozpracovat ji bude možné až pro hodnocení životního cyklu konkrétní elektrárny v rámci diplomové práce.

### **Poděkování**

Za zadání a vedení bakalářské práce děkuji panu RNDr. Rudolfu Přibilovi, CSc. Děkuji také panu doc. Ing. Jaroslavu Knápkovi, CSc. za ochotu a množství poskytnutých materiálů a paní Ing. Květě Remtové, CSc. rovněž za ochotu a konzultaci ohledně metody hodnocení životního cyklu.

## ÚVOD - METODA LCA

Metoda LCA neboli metoda posuzování životního cyklu (z anglického Life Cycle Assessment) je důležitým nástrojem environmentálního managementu. Používá se k určení negativních vlivů libovolného výrobního systému (výrobku nebo služby) na životní prostředí, a to během celého jeho životního cyklu. V úvahu se tak berou energetické a materiálové vstupy a výstupy ovlivňující životní prostředí, spojené s výrobou, provozem i konečnou likvidací či recyklací daného výrobního systému.

Tematikou environmentálního managementu se zabývá řada norem ISO 14000, vydaná postupně Mezinárodní normalizační organizací. Samotná metoda je pak popsána v normách 14040 až 14043.

Metoda LCA se skládá ze čtyř částí, a to:

- stanovení cílů a vymezení rozsahu
- inventarizační analýza
- stanovení dopadů na životní prostředí
- celkové vyhodnocení

Klíčovým pojmem celé metody LCA je „životní cyklus“. Norma ISO 14040 jej definuje jako „po sobě jdoucí provázaná stadia výrobního systému od získávání surovin nebo tvorby přírodních zdrojů ke konečnému zneškodnění“. Je velmi důležité rozlišovat mezi pojmy „výrobek“ a „životní cyklus výrobku“. Jeden a tentýž výrobek může totiž mít různé dopady na životní prostředí, liší-li se jednotlivé části životního cyklu (například způsob výroby či likvidace).

# ČÁST A - ZÁKLADNÍ ASPEKTY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN

## 1. SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ

Větrná elektrárna se skládá ze tří základních částí, a to rotoru, gondoly a stožáru. Jako součást vlastní elektrárny můžeme brát i její betonové základy.

Rotor elektrárny sestává většinou ze tří listů a hlavice rotoru. V minulosti byly pokusy vyrábět listy z oceli či hliníku, oba tyto materiály se však neosvědčily pro svou přílišnou hmotnost respektive nedostatečnou odolnost při námaze. Starší a menší typy elektráren mají listy rotoru z polyesterových sklolaminátů, větší a modernější z epoxidových sklolaminátů. V poslední době se do listů větších typů elektráren přidávají pro zpevnění a odlehčení uhlíková vlákna. Někteří výrobci produkují již listy čistě jen z uhlíkových vláken a zdá se, že jde o trend, který bude pokračovat.

Gondola obsahuje technické zařízení elektrárny. Páteř tvoří hlavní hřídel, která je napojená na hlavici rotoru a přenáší otáčky do převodovky, odkud jsou přes spojku přenášeny do generátoru. Kromě těchto zařízení jsou zde další součásti, jako brzda rotoru, čidla rychlosti a směru větru a transformátor.

Tubus elektrárny je dutý ocelový stožár z dvouvrstvé oceli, který se zužuje směrem nahoru. Pouze výjimečně se u největších typů elektráren používá betonových sloupů nebo příhradových stožárů. Základy elektrárny tvoří do země zapuštěné betonové těleso.

## 2. LOKALITA

Při rozhodování o umístění větrné elektrárny hraje roli mnoho faktorů. Především jsou to:

### 2.1. Větrné podmínky

Pro zhodnocení větrného potenciálu v dané lokalitě je klíčový vzorec

$$P_s = 1/2 c_p S \rho u^3, \text{ kde}$$

$u$  je průměrná rychlost větru ve výšce osy rotoru

$\rho$  je hustota vzduchu závislá na nadmořské výšce

$S$  je plocha rotoru větrné elektrárny

$c_p$  je výkonový součinitel elektrárny, který závisí na tom, do jaké míry listy rotoru snižují rychlost protékajícího vzduchu. Udává, jaký podíl kinetické energie větru dovede větrná elektrárna využít. Maximální možná hodnota výkonového součinitele je 0,593 (hodnota známá jako tzv. Betzův limit) a nejmodernější typy elektráren se této hodnotě velmi blíží (EWEA 2004).

Jak je z uvedeného vzorce zřejmé, pro určení větrného potenciálu (využitelné energie větru) je zdaleka nejdůležitější rychlost větru. Celková energie totiž roste se třetí mocninou rychlosti větru, takže i malé rozdíly v rychlosti hrají velikou roli. Na správném odhadu průměrné rychlosti větru pak přímo závisí odhad produkce energie a tím pádem i ekonomická rentabilita elektrárny. Proto je měření rychlosti větru věnována mimořádná pozornost. V současné době se za mezní hodnotu pro ČR považuje hodnota rychlosti větru 5,5 m/s ve výšce 30 m (Štekl et. al. 2004).

Výkon větru v závislosti na hustotě vzduchu je funkcí nadmořské výšky a neperiodického střídání teplých a studených vzduchových hmot. Orientačně se dá říci, že vezme-li se za základ výkon větrné elektrárny u hladiny moře, pak ve výšce 500 m je tento výkon slabší o 5 %, ve výšce 800 m o 7 % a ve výšce 1200 m o 11 % (Štekl 2003). V podmínkách ČR leží většina vhodných lokalit v nadmořské výšce nad 600 m.

Při vymezení plochy vhodné pro stavbu větrné elektrárny jsou v zásadě dva možné postupy. Při prvním se pracuje s hustotou výkonu větru ve výšce osy rotoru. Tu získáme, když ve vzorci (1) položíme  $c_p = S = 1$  a dostaneme tak vztah  $P_s = 1/2 \rho u^3$ . Na základě ekonomické analýzy je stanovena dolní hranice hustoty výkonu větru [ $W/m^2$ ]. Například pro Krušné hory byla stanovena hodnota  $210 W/m^2$  (Štekl et al. 2004). Lokality kde je tato hodnota překročena jsou potom brány jako vhodné pro stavbu elektrárny. Jednodušším a častějším způsobem hodnocení větrných podmínek v dané lokalitě je ale určení průměrné rychlosti větru, přičemž se zanedbává vliv hustoty vzduchu. Obdobně jako v předchozím případě se na základě ekonomické analýzy stanovuje mezní hodnota. Ta v současné době činí pro území ČR 5,5 m/s ve výšce 30 m (Štekl et al. 2004).

Důležité je také určení převažujícího směru větru.

## 2.2. Morfologie terénu

Kromě rychlosti větru v dané lokalitě je potřeba přihlížet i k morfologii terénu. Kontakt s povrchem totiž ovlivňuje větrné proudění, a to dvěma základními způsoby:



Při kontaktu větru s povrchem a různými překážkami dochází ke snižování rychlosti větru v blízkosti povrchu vlivem tření. Rychlost větru tedy není ve výškovém profilu stejná, ale mění se s výškou nad povrchem terénu. Základní tvar rychlostního profilu je mocninný, velice však záleží na drsnosti povrchu, velikosti a počtu překážek (např. nad holou plání bude zcela jiný profil než nad vzrostlými stromy). Je proto žádoucí postavit elektrárnu dostatečně vysokou, aby se zpomalení rychlosti větru vlivem tření projevilo jen minimálně. Pro praktické využití energie větru jsou zajímavé výšky 40 m a více nad zemským povrchem (Beranovský, Truxa 2003).

Kromě toho, že snižují rychlost, narušují hlavně větší překážky (stromy, kopce, budovy) laminární proudění vzduchu a způsobují turbulence. Vliv turbulencí na průměrný výkon větrné elektrárny je nejednoznačný. Bylo experimentálně dokázáno, že výkon větrné elektrárny se při nízkých rychlostech větru zvyšuje s rostoucí intenzitou turbulence, při vysokých rychlostech větru naopak s rostoucí intenzitou turbulence klesá.

### **2.3. Klimatické podmínky**

Místní klimatické podmínky mohou ovlivnit průměrný výkon elektrárny. Problémem může být například příliš častý nárazový vítr. Výkon elektrárny totiž roste s rostoucí rychlostí větru jen do určité míry a překročí-li okamžitá rychlost větru tzv. brzdou rychlost, rotor elektrárny se automaticky zastaví. Dochází tak vlastně ke ztrátám, protože proudění o velmi vysokém potenciálu nemůže být využito.

V našich podmínkách jsou ale mnohem častějším problémem námrazy. Většina vhodných lokalit pro stavbu elektráren se totiž nachází ve větších nadmořských výškách, kde si silné námrazy mohou v zimě vynutit dlouhodobé přerušení provozu. V některých lokalitách tak v zimních měsících výroby energie klesají na pouhou desetinu předpokládaného výtěžku (Beranovský, Truxa 2003) Ekonomické ztráty jsou o to větší, že zimní období bývá na horách největrnější částí roku.

Při příliš nízkých teplotách je také nutné z bezpečnostních důvodů omezit provoz elektrárny. Konkrétní hodnoty závisí na konkrétním typu elektrárny a instrukcích výrobců, zpravidla je však při teplotách nižších než  $-15^{\circ}\text{C}$  až  $-20^{\circ}\text{C}$  nutné provoz úplně zastavit (Beranovský, Truxa 2003).

## 2.4. Ostatní faktory

- lokalita musí být dostupná pro těžkou stavební techniku (je zde možnost vybudovat zpevněnou příjezdovou komunikaci)
- dobrá návaznost na rozvodnou síť, lokalita není příliš vzdálena od vedení vysokého napětí
- pro stavbu je zde vhodné geologické podloží
- jsou vyřešeny vlastnické vztahy pozemků pod elektrárnou i příjezdovou komunikací
- jsou vyřešeny střety zájmů ohledně ochrany přírody a krajiny
- lidská sídla se nacházejí v dostatečné vzdálenosti. Podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví je nejvyšší přípustná hodnota hluku ve venkovním prostoru v obytném území 50 dB. Podmínka je většinou splněna při vzdálenosti elektrárny 200 m od obydlí (Beranovský, Truxa 2003).

## 3. PARAMETRY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

### 3.1. Výkon

Při hodnocení efektivity větrné elektrárny je nutné rozlišovat mezi pojmy instalovaný a reálný výkon, respektive očekávaná a reálná roční produkce. Je-li instalovaný výkon například 2 MW (2000 kW), znamená to, že při ideálních větrných podmínkách (rychlost větru mezi nominální a brzdou rychlostí) koná elektrárna práci 2 MJ/s , resp. 7200 MJ/h. Následujícím výpočtem získáme očekávanou roční produkci energie:

$$(1 \text{ MW} = 3600 \text{ MJ/h}, \Rightarrow 1 \text{ MWh} = 3600 \text{ MJ})$$

Očekávaná produkce za hodinu: 2 MWh

Očekávaná roční produkce:  $2 \times 24 \times 365 = 8760 \text{ MWh}$  (8,79 GWh)

Vydělíme-li skutečně vyrobené množství energie za rok očekávanou roční produkcí, získáme koeficient ročního využití  $k_r$  , který udává, do jaké míry je v průběhu roku využíván instalovaný výkon větrné elektrárny. Maximální hodnoty 1 (100% využití) by teoreticky bylo dosaženo, pokud by elektrárna pracovala po celý rok na nominální výkon, tzn. pokud by nedocházelo k žádným poruchám ani odstávkám a vítr by nepřetržitě dosahoval nominální rychlosti. Ve skutečnosti jsou tyto hodnoty výrazně nižší. Například větrná elektrárna Vestas na vrchu Hostýn u Kroměříže, což je z hlediska větrných podmínek velmi vhodná lokalita,

dosahuje koeficientu ročního využití 0,18, nepříliš vhodně umístěná větrná farma v Ostružné v Jeseníkách dokonce pouze 0,05 (Internet 1).

### **3.2. Základní parametry**

Výška osy rotoru - neboli výška stožáru elektrárny

Průměr rotoru - většinou činí přibližně dvě třetiny výšky stožáru elektrárny

Startovací rychlost - minimální rychlost větru, při níž se rotor uvede do chodu

Nominální rychlost - rychlost větru, při níž je dosaženo instalovaného výkonu

Brzdná rychlost - rychlost větru, při níž se rotor elektrárny automaticky zastaví

Rychlosti rotoru (startovací, nominální, brzdná) jsou konstrukčně přizpůsobovány průměrným rychlostem větru v dané lokalitě. Na velmi větrných místech (pobřeží, přímořské roviny) se instalují typy s vysokými nominálními a brzdými rychlostmi, aby nedocházelo ke zbytečným odstávkám a větrný potenciál byl maximálně využit.

### **3.3. Připojení k síti**

Podle připojení k síti rozlišujeme dva základní typy systémů. Jednak jsou to elektrárny nezávislé na rozvodové síti (tzv. grid-off systémy) - jedná se většinou o jednotlivé elektrárny o menším výkonu, které zásobují energií pouze své nejbližší okolí vlastní rozvodní sítí (tzv. ostrovní provoz). Daleko větší význam mají však elektrárny a větrné farmy s přípojkou k rozvodné síti (tzv. grid-on systémy), které slouží výhradně pro komerční výrobu elektřiny.

### **3.4. Stožár elektrárny**

Nejběžnější je ocelový stožár z dvouvrstvé oceli, který se zužuje směrem nahoru. U největších typů elektráren s výškou stožáru přes 100 m se objevuje i stožár betonový. Třetím možným typem je příhradový stožár, rovněž z oceli. Spotřeba oceli je zde o 20 % menší než u klasických ocelových stožárů. I montáž je jednodušší, doprava jednotlivých dílů je snadnější, což je výhoda hlavně při stavbách v horském prostředí. Příhradové stožáry jsou však většinou hodnoceny negativně pro svůj vzhled v porovnání s klasickými stožáry.

### **3.5. Vzájemné postavení elektráren ve větrné farmě**

Do širšího okruhu parametrů větrné elektrárny lze zařadit vzájemné postavení jednotlivých elektráren ve větrné farmě. Detaily se mohou lišit lokalitu od lokality, v zásadě ale platí, že vzdálenost jednotlivých elektráren ve směru převládajícího větru by neměla být menší než pětinasobek průměru rotoru (EWEA 2004). V opačném případě hrozí, že se budou jednotlivé elektrárny navzájem stínit a vzniklé turbulence sníží výkon farmy jako celku. Tento problém je spolu se špatným odhadem průměrné rychlosti větru příčinou problémů naší zatím největší větrné farmy v Ostružné v Jeseníkách, která vyrábí méně než poloviční množství předpokládaného množství energie (Štekl 2003).

## **4. TECHNOLOGIE**

Protože se vzrůstající rychlostí větru roste vztlková síla na listy rotoru se druhou mocninou a energie vyprodukovaná generátorem se třetí mocninou, je nutné nějakým způsobem regulovat výkon rotoru, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení elektrárny. V současné době existují dva základní způsoby regulace výkonu:

### **4.1. Stall regulace (pasivní)**

Listy elektráren se „stall“ regulací jsou tvarovány tak, aby při určité rychlosti větru došlo k odtržení proudnice vzduchu od listu rotoru. Vzduch potom obtéká list rotoru pod větším úhlem a vztlková síla větru tak poklesne. Přitom se předpokládá stabilní rychlost rotoru (elektrárny se stall regulací jsou většinou jednorychlostní, viz dále).

Stall regulace je velmi jednoduchá a nenáročná na údržbu.

### **4.2. Pitch regulace (aktivní)**

Narozdíl od pasivní regulace se zde pro snížení vztlkové síly větru používá aktivního natáčení celých listů rotoru podél své osy. Systém se řídí podle výkonu generátoru. Kdykoli je překročen nominální výkon generátoru, změní listy rotoru automaticky úhel nastavení vůči směru proudění. Pro všechny rychlosti větru vyšší než nominální rychlost se tedy listy rotoru nastaví tak, aby generátor dával právě nominální výkon. Systémy s pitch regulací poskytují oproti systémům se stall regulací tyto základní výhody:

- dovoluje aktivní kontrolu v celém rozsahu rychlosti větru
- nepotřebuje silné brzdy pro náhlé zastavení rotoru
- snižuje zatížení listů rotoru při zvýšení rychlosti větru nad nominální rychlost

#### **4.3. Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky**

Větrná elektrárna s převodovkou představuje klasické řešení, kdy je kinetická energie větru přenášena hlavní hřídelí do převodovky a přes spojku do generátoru. Spojka zde zajišťuje převod pomalých otáček rotoru a tedy hlavní hřídele na mnohem rychlejší otáčky generátoru. U největších typů větrných elektráren vykoná rotor v závislosti na rychlosti větru 10-30 otáček za minutu. Požadované otáčky běžného čtyřpólového generátoru však činí 1500 otáček za sekundu. Obecnými nevýhodami tohoto řešení jsou vznik mechanického hluku, větší poruchovost a vyšší nároky na údržbu. Technický pokrok však tyto problémy výrazně zmenšil. Mechanický hluk nepředstavuje již u moderních typů elektráren větší problém a moderní převodovky jsou schopné dosáhnout dvaceti let životnosti, přičemž výměna mazacího oleje nemusí být častá (Štekl 2003).

Úspěšně používanou alternativou je bezpřevodkové řešení, které využívá nízkorychlostní multipólové generátory. Nízká rychlost otáček je zde kompenzována velkým množstvím pólů, aby proud vycházející z generátoru měl patřičnou frekvenci, „převod otáček“ se tak stěhuje ze spojky do generátoru samotného. Výhodou tohoto řešení je celkové zjednodušení stavby strojovny, resp. gondoly, snížení hluku i nároků na údržbu, odpadá potřeba mazacích olejů. Tyto výhody jsou však vykoupeny většími rozměry generátoru, jež představuje jeden kompaktní celek o velkém průměru. Zvláště u velkých megawattových typů tak mohou vznikat komplikace při dopravě. Celý bezpřevodkový systém bývá také většinou těžší než klasický převodkový.

Zatím není jasné, převládne-li některá z obou uvedených technologií. Oba dva typy jsou použitelné, záleží na konkrétním výrobcí, kterému z nich dá přednost. Co se týče bezpřevodkových systémů, je nejvýznamnějším producentem a vývojářem německá firma Enercon, světová dvojka na trhu větrných technologií (hned po dánské firmě Vestas).

#### **4.4. Jednorychlostní a vícerychlostní systémy**

V současné generaci megawattových elektráren jsou typy s jedinou rychlostí otáček rotoru již vzácností. Nevýhodou bylo mimo jiné nedokonalé využití větrného potenciálu a zbytečné zatížení listů rotoru. Podle studie Evropské asociace pro větrnou energii z roku

2003 byly z 52 typů elektráren s výkonem nad 1 MW od různých výrobců pouze tři jednorychlostní (tzv. fixed speed), sedmnáct mělo rychlosti dvě a zbylé typy byly vícerychlostní či typy s plynulou regulací otáček (EWEA 2004).

Přirozenou schopnost plynulé regulace rychlosti mají především bezpřevodkové systémy s multipólovými generátory, ale i klasické systémy s převodovkou jsou schopny zajistit široké rychlostní spektrum. Při proměnlivých rychlostech otáček je produkována elektrina o různé frekvenci, pomocí transformátoru připojeného za generátor je pak upravena tak, aby odpovídala frekvenci v rozvodné síti.

## 5. VÝVOJOVÉ TRENDY

### 5.1. Průměr rotoru

Od začátku osmdesátých let, kdy se začalo s komerčním využíváním větrné energie, vzrostl průměr rotoru z 15-20 m na více než 100 metrů u dnešních megawattových typů. Zvětšování listů rotoru znamená zvýšení efektivity. Elektrárna s větším průměrem rotoru je schopna lépe využít větrného potenciálu, a to ze dvou doplňujících se důvodů: větší průměr rotoru znamená větší plochu listů  $S$  a zároveň znamená větší výšku stožáru elektrárny (osy rotoru). Protože s rostoucí výškou klesá vliv tření vzdušného proudění o povrch, roste s výškou zpravidla i průměrná rychlost větru  $u$ . Ve vzorci pro výpočet výkonu elektrárny tak rostou hned dvě proměnné, výsledný výkon elektrárny s větším rotorem je tedy vyšší. Největší elektrárny s listy rotoru delšími než 50 m představují plochu 10 200 m<sup>2</sup>, což je přibližně rozloha dvou fotbalových hřišť. List takového rotoru vykoná podle rychlosti větru 10-30 otáček za minutu.

### 5.2. Výkon a výška

S růstem výšky a průměru rotoru souvisí i růst výkonu nově instalovaných elektráren. Oproti typům o výkonu v řádu desítek kW, běžným na začátku 80. let, jsou dnes již standardem elektrárny o výkonu v řádu MW. Největší dosud postavenou elektrárnou na pevnině je 114 m vysoká elektrárna firmy Enercon o instalovaném výkonu 4,5 MW, postavená v Německu u Magdeburgu. S ještě většími typy o výkonu přes 5 MW se počítá pro provoz mořských větrných farem. Výška stožáru nad hladinou moře zde může být poměrně menší než na pevnině, protože tření vzdušného proudění o vodní hladinu je menší než tření o pevný povrch a průměrná rychlost větru tak dosahuje potřebných hodnot v menších

výškách. Potřebná výška stožáru tak má jen zajistit, aby listy rotoru nepřišly do kontaktu s vodní hladinou ani při vysokých vlnách.

### **5.3. Celkové trendy**

Obecně se dá trend zhodnotit jako posun od jednorýchlostních (fixed speed) pasivně regulovaných (stall) typů s převodovkou k vícerychlostním aktivně regulovaným (pitch) typům bez převodovky. Neplatí to však bez výjimky. I přes značný rozvoj typů bez převodovky není zatím jasné, zda některá z obou variant nakonec převáží tak výrazně, jako převážila např. aktivní regulace nad pasivní.

Při výrobě listů rotoru se užívá téměř výhradně epoxidových sklolaminátů a v rostoucí míře se užívají ke zpevnění a odlehčení uhlíkatá vlákna, přičemž někteří výrobci produkují již listy celé z uhlíkatých vláken. Kromě toho se vývoj soustřeďuje na další zdokonalování strojního zařízení tak, aby byla na minimum snížena poruchovost a potřeba údržby. V tomto směru představuje velkou výzvu zdokonalování převodovky. Snaha je i o celkové odlehčení strojního zařízení a celé gondoly.

## **6. DOPRAVA A STAVBA**

Po zvolení vhodné lokality je třeba zajistit možnost příjezdu těžké techniky, což většinou znamená stavbu nové komunikace.

Na místě samém je prvním krokem při stavbě elektrárny zapuštění betonových základů, které jsou po dokončení stavby zpravidla překryty zeminou. Základy jsou projektovány tak, aby udržely elektrárnu i při extrémních poryvech větru, bývají dimenzovány na rychlosti 45-70 m/s. Běžný rozměr základů je 13 m na úhlopříčce a dva metry hloubky (EWEA 2004). Stavba základů trvá řádově týden až dva.

Následuje montáž vlastní elektrárny. Na místo stavby se zpravidla dopravují těžkými nákladními auty jednotlivé díly stožáru, strojního zařízení, listů a hlavice rotoru. Montáž se provádí za pomoci speciálních, pro tyto účely vyvinutých jeřábů.

Poslední věcí, kterou je vždy nezbytné vybudovat, je přípojka k rozvodné síti. Jde většinou o pod zemí vedený kabel. Za generátorem (buď přímo v gondole nebo u paty stožáru elektrárny) je instalován transformátor, který upravuje frekvenci pro potřeby rozvodné sítě.

Stavba větrné elektrárny na místě trvá řádově dva měsíce. Po ukončení provozu může být rozebrána a odvezena během několika dnů.

## **7. PROVOZ A ÚDRŽBA**

Náklady na provoz a údržbu větrné elektrárny sestávají z několika položek, z nichž nejdůležitější jsou běžná údržba, opravy poruch a dodávky náhradních dílů. Připočteme-li k nim ještě náklady na pojištění a administrativu, činí náklady na provoz a údržbu průměrně 25 % podílu ceny produkce jedné kWh (EWEA 2004). Proto se na eliminaci těchto nákladů zaměřuje značné úsilí. Do nároků na provoz je možno započítat i spotřebu energie vlastní elektrárnou na provoz elektronických zařízení, nutné osvětlení apod. Například na provoz jedné elektrárny o instalovaném výkonu 1,8 MW plánované v lokalitě Hřebečná v Krušných horách se počítá s roční spotřebou 2000-3000 kWh (Křivka 2004).

Je-li větrná elektrárna jednou v provozu, nároky na její údržbu jsou poměrně malé. Průměrná elektrárna vyžaduje přibližně 40 hodin servisu ročně. V případě velkých větrných farem či alespoň veliké koncentrace elektráren bývá na každých 20-30 elektráren potřeba dvou pracovníků údržby (EWEA 2004). Kromě kontroly elektronických a mechanických zařízení je třeba občas doplňovat mazací olej u převodovek a ložisek. Celkem se dá říci, že za předpokladu vhodných větrných podmínek je elektrárna po více než 95 % doby své životnosti schopna výroby elektřiny.

## **8. DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

### **8.1. Vizualní dopad**

Větrné elektrárny se z povahy věci staví především na vyvýšených místech nebo nekrytých rovinách a představují tak výrazné dominanty v krajině. Zvláště v poslední době, kdy se stávají běžnými typy s gondolou ve výšce kolem 100 m a právě tak velkým průměrem rotoru. Hodnocení vizuálního vlivu na krajinu je velice subjektivní, pro někoho je představa například Krušných hor posázených větrnými elektrárnami synonymem ničení krajinného rázu, pro jiného vítaným obohacením krajiny a symbolem snahy o udržitelný rozvoj. Pro posouzení vizuálního dopadu na krajinu neexistuje univerzální a objektivní kritérium, lze jmenovat jen několik dílčích pravidel, jak dopad elektráren na krajinný ráz zmírnit:

- při přípravě projektu využívat počítačových simulací, zapojit do rozhodování o konečné podobě elektráren místní obyvatelé se vztahem k místní krajině
- udržovat elektrárny i jejich bezprostřední okolí v dobrém stavu



- je-li to možné, vyhnout se jakýmkoli výrazným barvám (obzvláště rušivě mohou působit varovné červené nátěry na listech rotorů)
- zabránit odleskům slunečního záření (tzv. flickering) na listech rotoru

## 8.2. Hluk

Zvuky vydávané větrnými elektrárnami jsou dvojího původu: jednak mechanický hluk vydávaný otáčejícími se částmi strojního zařízení v gondole (převodovka, generátor) a za druhé proudění vzduchu kolem listů rotoru. Mechanický hluk se u moderních typů podařilo již výrazně eliminovat, buď zdokonalením relativně nejhlučnější části - převodovky - nebo její úplnou eliminací u bezpřevodkových typů. Aerodynamický hluk závisí hodně na koncové rychlosti resp. rychlosti otáček, ale dá se účinně snižovat úpravou povrchu a tvaru listů rotoru. Mezi nejnápadnější inovace v tomto směru patří zahnuté špice listů rotoru u některých elektráren firmy Enercon.

Klíčové je dodržování hygienických limitů pro hluk. Hranice hluku pro venkovní prostředí v obytných zónách je v ČR 50 dB. Běžný akustický výkon turbín o výkonu přes 1MW se pohybuje mezi 100 a 106 dB přímo u zdroje, přičemž u paty stožáru bývá většinou kolem 50 až 60 dB. Aby byl dodržen limit hlučnosti 50 dB, musí být elektrárna vzdálena alespoň 200 až 300 m od nejbližších obydlí (Internet 2).

Pro hodnocení hluku způsobeného větrnou farmou je důležité, že stupnice hluku udávaná v decibelech je logaritmická, stejně jako lidské vnímání hlasitosti zvuku. Hladiny hluku jednotlivých elektráren se tak nesčítají. Má-li například jedna elektrárna akustický výkon 104 dB, způsobí přistavění druhé elektrárny o stejném výkonu nárůst celkové hladiny hluku o pouhé 3 dB a třetí o další 2 dB (EWEA 2004).

## 8.3. Zábor půdy

Zábor půdy větrnou elektrárnou je minimální. Představuje vlastně jen nejbližší okolí stožáru elektrárny. Samy betonové základy jsou překryty zeminou a zábor půdy nezpůsobují. Také vedení přípojky k rozvodné síti je většinou podzemní. Půda kolem větrných elektráren může být většinou bez problémů využívána k původním účelům, většinou zemědělským, zcela běžné jsou například pastviny dobytka ve větrných farmách.

Významnější položku záboru půdy tvoří příjezdová komunikace, jedná-li se o stálou stavbu. Staví se ale i pouze dočasné komunikace z panelů, které se po dokončení stavby opět odstraní.

#### **8.4. Dopad na ptactvo**

Negativní dopady na ptactvo bývají v souvislosti s větrnými elektrárnami často zmiňovány. Jedná se především o úmrtí ptáků způsobená srážkami s listy rotoru, narušení přirozených migračních cest, rušivý vliv při hnízdění a narušení původního prostředí. Správně postavené a především vhodně umístěné elektrárny však tyto nepříznivé vlivy minimalizují. Podle studie Britské královské společnosti pro ochranu ptáků, která provedla měření na větrných farmách ve Walesu, připadají na každou vrtuli přibližně dvě smrtelné srážky s ptáky za rok. K obdobně nízkým hodnotám dospěly i další studie, hodnota pro USA činila 2,19 a pro Španělský stát Navarra dokonce 0,13 (EWEA 2004). Také ostatní obavy z negativních dopadů na ptactvo a ostatní živočichy se nepotvrdily. Při výběru lokalit a stavbě elektráren je však třeba dodržet především tyto zásady:

- vyhýbat se významným migračním trasám i územím se zvýšeným výskytem ptáků
- přípojky k rozvodné síti vést pokud možno pod zemí

Každá navrhovaná stavba větrné elektrárny musí projít procesem posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), jehož nedílnou součástí je i hodnocení dopadu na volně žijící živočichy včetně ptáků.

#### **8.5. Odpady a znečištění prostředí**

Vznik odpadů a znečištění prostředí je v životním cyklu větrné elektrárny rozložen velmi nerovnoměrně. V první řadě je třeba vzít v úvahu spotřebu energie a materiálu při samotné výrobě elektrárny. Podle studie provedené v Dánsku v roce 1997 pro elektrárnu o výkonu 600 kW činí energetické nároky této fáze životního cyklu 1,9 TJ (EWEA 2004). Další fází cyklu je doprava a stavba.

Staveniště lze považovat za přechodný zdroj znečištění ovzduší, a to jak plošný (staveniště, výkopové práce), tak liniový (stavba obslužné komunikace, doprava nákladů). Kromě emisí výfukových plynů ze stavební techniky se zvyšuje prašnost a hlučnost, je nutná skrývka svrchní vrstvy půdy a přemístění zeminy po výkopu základů. Při samotné stavební a montážní činnosti vznikají různé další druhy odpadů.

Tab. 1. Odpady při stavbě větrné elektrárny

Poř. č.	název odpadu	kód	kategorie	zdroj odpadu
1	směsné obaly	15 01 06	O	obaly od použitých materiálů
2	směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek a keramických výrobků neuvedené pod číslem 17 01 06	17 01 07	O	nadbytečný nebo náhodně znehodnocený základový beton
3	dřevo	17 02 01	O	odpadní stavební dřevo (bednění základových desek)
4	plasty	17 02 03	O	odpadní plasty z montáže technologických celků věže
5	kabely neuvedené pod 17 04 10	17 04 11	O	instalace kabelů
6	železo a ocel	17 04 05	O	armování základových desek

Zdroj: Oznámení záměru stavby farmy větrných elektráren Abertamy, 2004

Podle již zmíněné dánské studie je energetická náročnost této fáze životního cyklu 0,495 TJ, tedy výrazně méně než výroba jednotlivých součástí. Samotná doprava tvoří z této hodnoty poměrně zanedbatelnou část.

Další fází cyklu je provoz a údržba již instalované větrné elektrárny. Je charakteristické, že v této fázi dochází již jen k minimálním emisím a produkci odpadu. Prakticky nulová je produkce odpadních vod a emisí skleníkových či jiných škodlivých plynů.

Tab. 2. Emise a odpady z provozu větrné elektrárny

Poř. č.	název odpadu	kód	kategorie
1	nechlorované hydraulické minerální oleje	13 01 10	N
2	nechlorované minerální motorové, převodové a mazací oleje	13 02 05	N
3	kovové obaly	15 01 04	O
4	směsné obaly	15 01 06	O
5	obaly obsahující zbytky nebezpečných látek nebo obaly těmito látkami znečištěné	15 01 10	N
6	absorpční činidla, filtrační materiály, čisticí tkaniny a ochranné oděvy znečištěné nebezpečnými látkami	15 02 02	N

7	železo a ocel	17 04 05	O
8	směsné kovy	17 04 07	O
9	kabely neuvedené pod 17 04 10	17 04 11	O
10	papír a lepenka	20 01 01	O
11	zářivky a jiný odpad obsahující Hg	20 01 21	N

Zdroj: Oznámení záměru stavby farmy větrných elektráren Abertamy, 2004

Náročnost této fáze cyklu činí 0,774 TJ pro předpokládanou dobu provozu 20 let. Celkově se tedy podle zmíněné dánské studie vynaloží na výrobu, montáž a provoz větrné elektrárny (nepočítáme-li demontáž a recyklaci) 3169 TJ energie.

## 9. DODATKY

### 9.1. Proměnlivost produkce a nutnost zálohování

Větrná energie je z povahy věci zdroj nestálý, okamžitý výkon závisí na okamžité rychlosti větru. Je tedy nutné nějakým způsobem předcházet výpadkům v dodávkách energie v případě nepříznivých větrných podmínek. Zvláště naléhavá je tato potřeba v případech, kdy podíl instalovaného výkonu větrných elektráren na celkové produkci energie dosahuje značných hodnot (např. v Dánsku činil tento podíl 14,8 % v roce 2002 a nadále se zvyšuje). Nepříznivým účinkům nečekaných výpadků dodávek energie lze částečně předcházet zdokonalením předpovědí rychlosti větru a odhadem očekávané produkce na nejbližší hodiny a dny. Samotné výpadky však musí být nějak kompenzovány.

Klasickým způsobem je zálohování zdrojů, kdy pro případ výpadku produkce jsou připraveny jiné zdroje energie, schopné okamžitě výpadek produkce nahradit. K tomuto účelu mohou sloužit jak konvenční zdroje (uhelné a jaderné elektrárny), tak zdroje obnovitelné, především velké hydroelektrárny.

Jiným způsobem, jak předcházet výpadkům dodávek energie, je co nejširší propojení distribučních sítí tak, aby lokální nepřízeň počasí mohla být kompenzována dodávkami energie ze vzdálenějších lokalit. Tento způsob je používán v Dánsku, jehož distribuční síť je napojena jednak na síť v severním Německu (kde jsou větrné elektrárny také významným

zdrojem energie), jednak na velké norské hydroelektrárny, které jsou na okamžitých změnách počasí prakticky nezávislé.

## **9.2. Vývoj větrné energetiky v Evropě**

Větrná energetika prochází bouřlivým vývojem. Zatímco ještě na začátku devadesátých let nedosahoval celkový instalovaný výkon v tehdejší Evropské unii ani hodnoty 2000 MW a byl tak prakticky zanedbatelný, na konci roku 2003 byl již celkový instalovaný výkon v zemích „evropské patnáctky“ přes 28 000 MW a meziroční nárůst instalované kapacity dosahoval 30 % (EWEA 2004). Evropa je zároveň hlavním světovým hráčem na poli větrné energetiky, neboť hodnota 28 000 MW představovala 72 % světové instalované kapacity.

Třemi evropskými zeměmi s nejrozvinutější větrnou energetikou jsou Dánsko, Španělsko a především Německo, na jehož území byl koncem června 2004 instalován výkon 15 329 MW, což znamenalo podíl 6,55 % na energetické spotřebě země.

## **9.3. Stav větrné energetiky v České republice**

I více než patnáct let poté, co se na přelomu osmdesátých a devadesátých let začaly ve Frýdku-Místku vyrábět první české prototypy větrných elektráren, je u nás větrná energetika v začátcích a její význam je naprosto zanedbatelný. V polovině roku 2003 bylo u nás v provozu pouze 12 elektráren s instalovaným výkonem větším než 50 kW, přičemž jejich celkový instalovaný výkon činil necelých 7 MW (navíc výroba českých typů větrných elektráren skončila už roku 1996). Dosud největším typem je elektrárna v Nové Vsi v Krušných horách s instalovaným výkonem 1,5 MW, výkony ostatních elektráren se pohybují v řádech desítek či stovek kW (Štekl 2003).

Neutěšená situace na poli větrné energetiky má příčiny jednak v dosud velmi vlažné podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a také v tom, že naše země není v porovnání s některými jinými evropskými zeměmi pro větší rozvoj větrné energetiky příliš vhodná. Území s dostatečným větrným potenciálem je u nás relativně málo, nejvíce vhodných lokalit se nachází na hřebenech Krušných hor, v některých oblastech Českomoravské vrchoviny, v Jeseníkách, Beskydech a Krkonoších. Ne všechny lokality jsou však použitelné, například kvůli střetu se zájmy ochrany přírody. Celkově lze říci, že i přes případný budoucí rozvoj zůstane větrná energetika v České republice pravděpodobně pouze doplňkovým odvětvím.

## **ČÁST B - ROZVRH PRVNÍ ČÁSTI ANALÝZY ŽIVOTNÍHO CYKLU**

První částí analýzy životního cyklu je stanovení cíle a vymezení rozsahu. Podle normy ISO 14040 se tato část metody skládá ze čtyř kroků:

### **1. STANOVENÍ CÍLE**

Stanovení cíle je úplně prvním krokem celé studie LCA. Je třeba zde vymežit, proč se studie vypracovává, pro koho je určena a k čemu má sloužit. Tento krok bude možno specifikovat až při případném zadání vlastní diplomové práce.

### **2. STANOVENÍ ROZSAHU**

Celý výrobní systém se rozdělí do řady tzv. jednotkových procesů, což jsou identifikovatelné a rozlišitelné části životního cyklu navzájem spojené energetickými a materiálovými toky (toky meziproductů). Do každého jednotkového procesu navíc vstupují ještě samostatné vstupní toky a vystupují z něj toky výstupní. Například pro jednotkový proces „montáž větrné elektrárny“ jsou vstupními meziproducty předem vyrobené součástky, vstupním tokem je energie (nafta) spotřebovaná strojním zařízením při montáži a výstupním tokem emise plynů vzniklých spálením této nafty. Jednotlivé údaje lze rozdělit do tří kategorií: energetické a surovinové vstupy, výrobky (meziproducty) a emise do životního prostředí. Ideální je, jsou-li jednotkové procesy spojeny navzájem toky meziproductů a se životním prostředím elementárními toky. Při rozhodování, které toky do systému zahrnout a které lze vynechat, se zohledňují tři kritéria:

- a) hmotnost - do studie by měly být zahrnuty všechny údaje, které podstatně přispívají k celkové hmotnosti vstupů
- b) energie - obdobně jako u hmotnosti, energetický tok, který se výrazně podílí na celkovém energetickém toku, by měl být zahrnut do studie.
- c) environmentální závažnost

Schéma vymezení rozsahu budoucí studie je do značné míry limitováno tím, že konkrétní podoba je závislá na konkrétním typu větrné elektrárny a jejích parametrech. V této

fázi lze rozvrhnout pouze jednotlivé jednotkové cykly a orientačně určit jednotlivé vstupy a výstupy, jejichž upřesněním a kvantifikací se bude možno zabývat až při vlastní studii.

**a) Výroba částí stožáru**

Vstupy: energie a suroviny

Výstupy: emise způsobené výrobou spotřebované energie, odpady z výroby oceli  
(tyto dva body jsou obdobné i pro další dva jednotkové systémy)

**b) Výroba listů a hlavice rotoru**

**c) Výroba zařízení gondoly**

**d) Přeprava**

Vstupy: pohonné hmoty přepravní techniky

Výstupy: emise z pohonných hmot

**e) Stavba komunikace**

Vstupy: plocha zabraná stavbou, pohonné hmoty, štěrk jako podklad vozovky, asfalt

Výstupy: emise z pohonných hmot, stavební odpad

**d) Stavba základů**

Vstupy: plocha, pohonné hmoty, beton

Výstupy: vytěžená zemina a štěrk, emise, stavební odpad

**f) Stavba přípojky k distribuční síti**

Vstupy: materiál na kabel (měď, izolace)

**g) Montáž elektrárny**

Vstupy: pohonné hmoty, elektrická energie

Výstupy: emise, stavební odpad

**h) Provoz, údržba a opravy**

Vstupy: hydraulické a mazací oleje, elektrická energie, náhradní díly

Výstupy: elektrická energie, provozní odpad (viz tab. 2)

**i) Demontáž**

obdobné jako při montáži

**j) Úprava terénu**

**k) Recyklace**

záleží na konkrétním typu

### **3. STANOVENÍ FUNKČNÍ JEDNOTKY**

Podle normy ISO 14040 je funkční jednotka „kvantifikovaný výkon výrobního systému“, neboli jednotka funkce, pro níž je daný systém určen. Funkcí větrné elektrárny je výroba elektrické energie, vhodnou funkční jednotkou bude tedy například 1 kWh, případně její násobky.

### **4. UVEDENÍ KLÍČOVÝCH PŘEDPOKLADŮ**

Jde o základní předpoklady, z nichž studie vychází a jejichž případná změna či neplatnost by měla na výsledek studie veliký vliv.



## SEZNAM LITERATURY

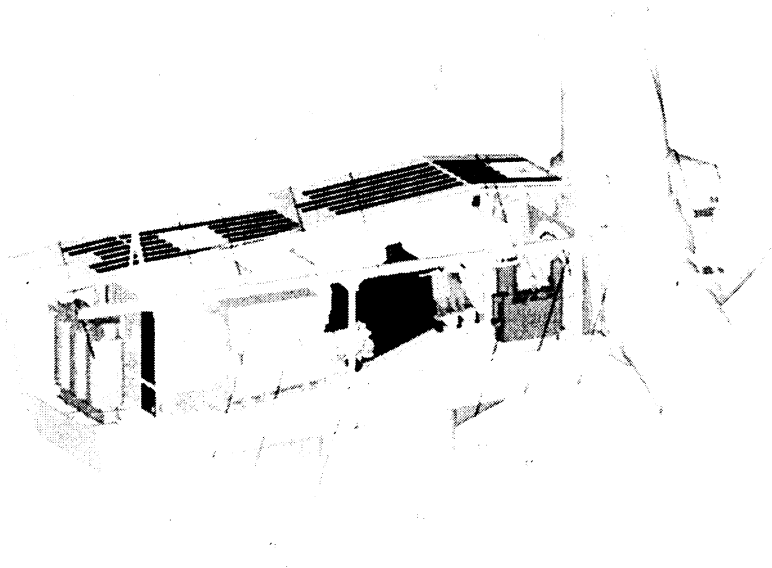
- 1) BERANOVSKÝ, J., TRUXA, J. (2003) Alternativní energie pro váš dům. Vydavatelství Era. Str. 31-48
- 2) ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT (1998) ČSN EN ISO 14040 - Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Základy a osnova
- 3) ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT (1999) ČSN EN ISO 14041 - Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza
- 4) THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA) (2004) Wind Energy - The Facts. 325 str.
- 5) GUINÉE, J., B. (2002) Handbook on Life Cycle Assessment. Kluwer Academic Publishers Dodrecht. Str. 21-41.
- 6) KŘIVKA, V. (2004) Farma větrných elektráren Abertamy - oznámení záměru. Obec Abertamy, okres Karlovy Vary, Karlovarský kraj. 35 str.
- 7) REMTOVÁ, K. (2003) ISO Normy. MŽP. 14 str.
- 8) REMTOVÁ, K. (2003) Metoda LCA - Posuzování životního cyklu. MŽP. 14 str.
- 9) SVOBODA, J., ČERMÁK, J. (2004) Závislost výkonové křivky na hustotě turbulence. Větrná energie 1/2004. Str. 11-14.
- 10) ŠTEKL, J. et al. (2003) Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR. ČEZ. Str. 59-82
- 11) ŠTEKL, J. et al. (2004) Potenciál větrné energie v Krušných horách. Větrná energie 1/2004. Str. 8-10.

## INTERNETOVÉ ODKAZY

- 1) [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- 2) [www.hnutiduha.cz](http://www.hnutiduha.cz).
- 3) [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
- 4) [www.enercon.de](http://www.enercon.de)
- 5) [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
- 6) [www.vetrnyserver.cz](http://www.vetrnyserver.cz)

## PŘÍLOHY

obr. 1. Stavba strojovny elektrárny s převodovkou (typ Vestas V 80, 2 MW)



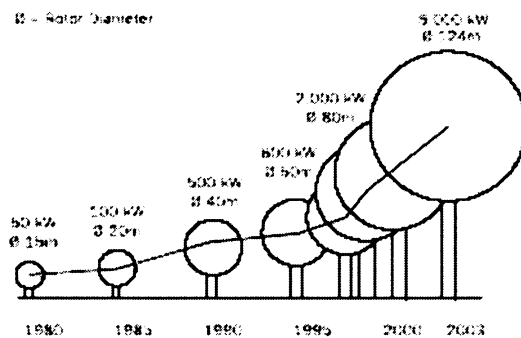
### LEGENDA

- |                        |                          |                         |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1. řízení listů rotoru | 8. servisní jeřáb        | 15. základní rám        |
| 2. pitch válec         | 9. transformátor         | 16. otáčivý věnec       |
| 3. hlavní hřídel       | 10. rotorová hlava       | 17. generátor           |
| 4. chlazení oleje      | 11. ložisko listu rotoru | 18. chlazení generátoru |
| 5. převodovka          | 12. list rotoru          | 19. anemometr           |
| 6. elektronické řízení | 13. aretace              |                         |
| 7. disková brzda       | 14. hydraulická jednotka |                         |

Zdroj: Internet 3

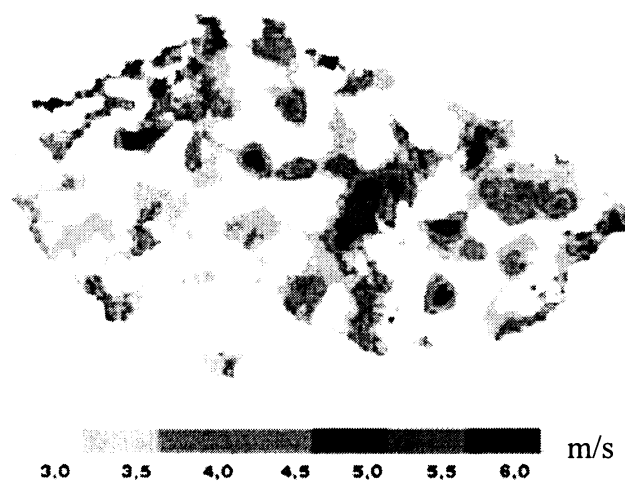
obr. 2. Růst výkonu a rozměrů větrných elektráren

Figure 1: Growth in Size of Commercial Wind Turbine Designs



Zdroj: EWEA 2004

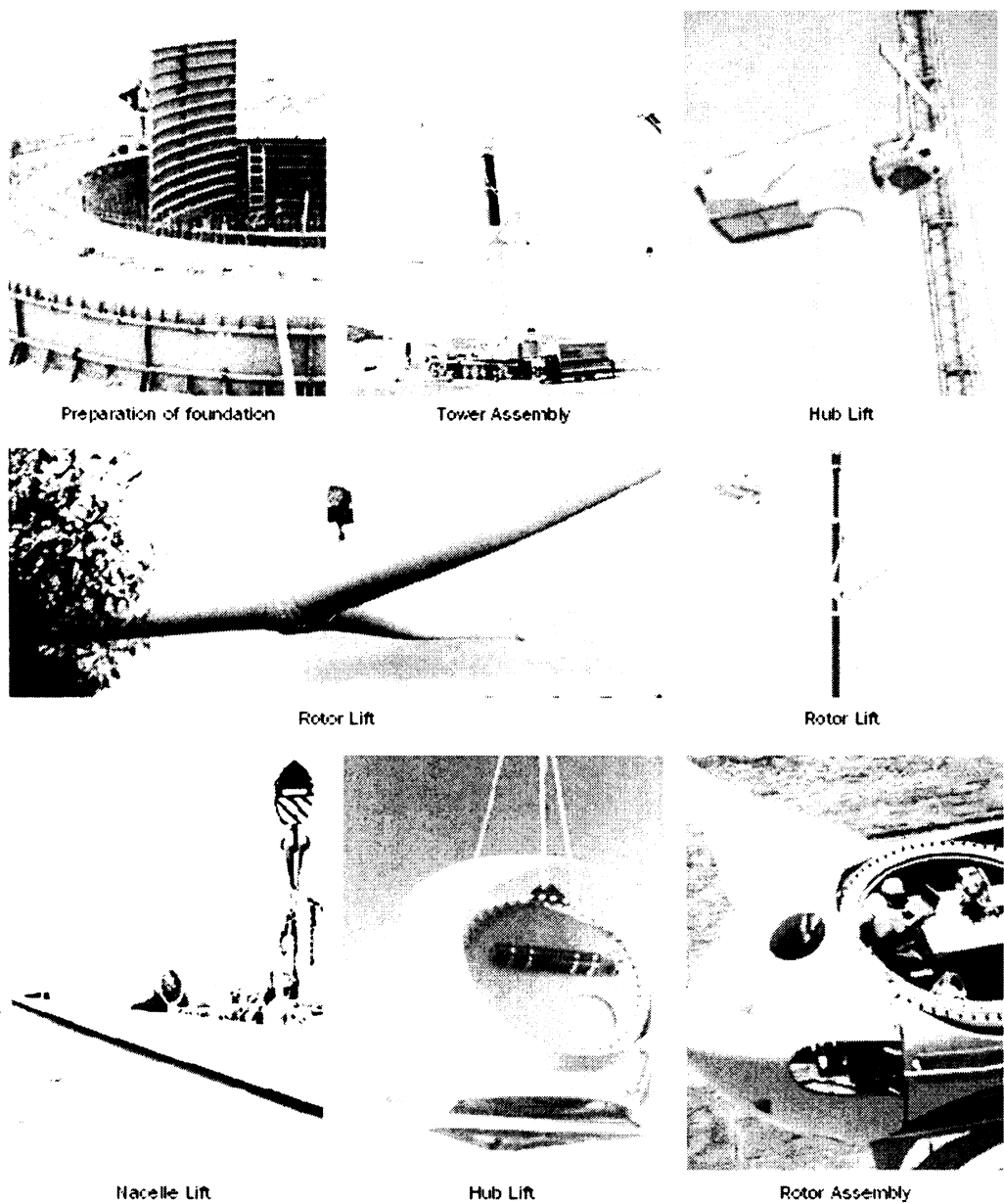
obr. 3. Větrná mapa České republiky



Zdroj: Štekl, J. et al (2003)

obr. 4. Fáze montáže větrné elektrárny

Figure 1.11: Typical Erection Procedures for Land-Based Wind Turbines



Zdroj: EWEA 2004