

4. Větrná energie

Nerovnoměrným ohříváním vzdušných mas při zemském povrchu se vytvářejí tlakové výše a níže (a celé tlakové pole). Vítr vzniká vlivem tlakových rozdílů a vane v zásadě od výšší k nižší, ne však přímo, nýbrž po spirálách, téměř tangenciálně k izobarám – okolo výšší v záporném a okolo nižší v kladném smyslu.

Místní rychlost větru závisí na tvaru zemského povrchu (terénní útvary, porost, zástavba), se vzdáleností od moře klesá, s nadmořskou výškou roste. Mění se s časem v denních a ročních cyklech a v závislostech na meteorologické situaci. V některých lokalitách převládají větry určitého směru (např. v horských sedlech), v jiných (např. na rovinách) může být směr větru víceméně náhodný.

V soudobých elektrárnách s větrnými motory (VME) lze energeticky využít vítr o rychlostech nad $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.1 Větrné motory (konvertory)

Větrné motory jsou zařízení přeměňující energii větru na mechanickou energii, nebo správněji mechanickou energii větru na mechanickou rotační energii na hřídeli motoru.

- **odporový** (např. větrný mlýn, plachetní větrné kolo a Savoniův rotor) – s teoretickou účinností maximálně 20 % (s VM tohoto typu se pro energetické využití dnes již nepočítá),
- **vztlakový** (vrtule, Darrieův rotor, mnohalopátkový rotor) – s teoretickou účinností maximálně 59,3 % (dnešní VM dosahují účinnosti až 45 %).

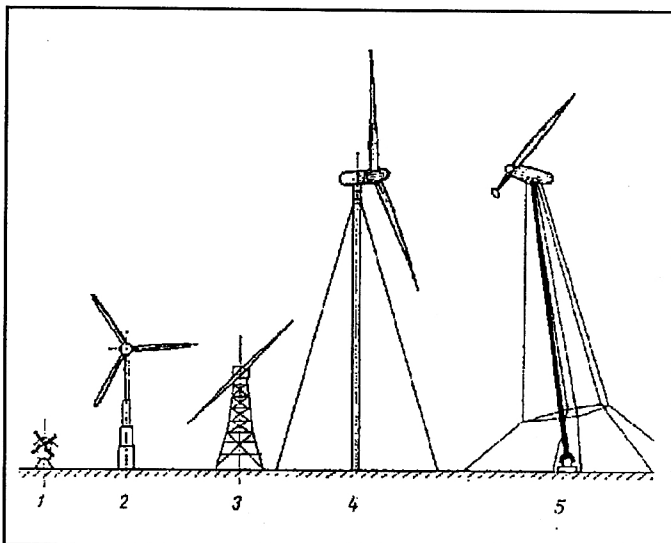
VM s vertikální osou (z uvedených pouze Savoniův a Daurieův rotor) nejsou závislé na směru větru, VM s horizontální osou se musí natáčet proti větru nebo po větru.

Rotor je (svou hlavou) nasazen na hřídeli, který převádí výkon (odebíraný rotorem větru) prostřednictvím převodové skříně zvyšuje otáčky, např. z 50 min^{-1} na $1\,500 \text{ min}^{-1}$ na jediný generátor (může mít dva výkonové stupně) nebo na dvojici generátorů (při nižších otáčkách je připojen (k síti) 1. stupeň jednoho generátoru nebo 1. z dvojice generátorů; při vyšších otáčkách jsou připojeny oba stupně nebo oba generátory).

- **asynchronní generátory** – u malých a středních VME pracujících do sítě,
- **synchronní generátory** s elektronikou „upravující energii“ u velkých VME, a to napojených na síť i pracujících izolovaně.

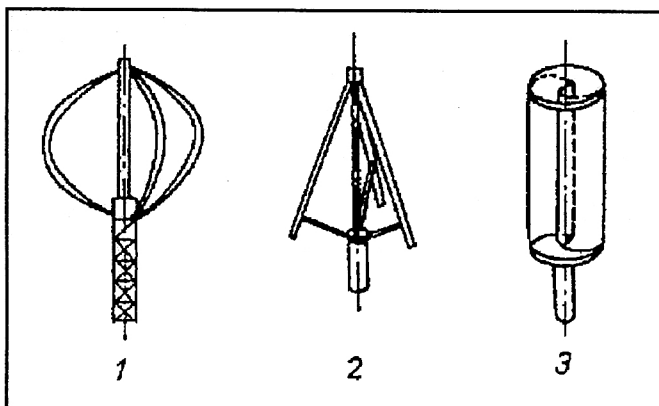
Generátor(y), převodová skříně (s brzdou) a hřídel (s hlavou rotoru) jsou umístěny v kryté gondole, otočné podle svislé osy.

VM s rotorem směřujícím po větru se při změně směru větru samy natácejí do optimální polohy.

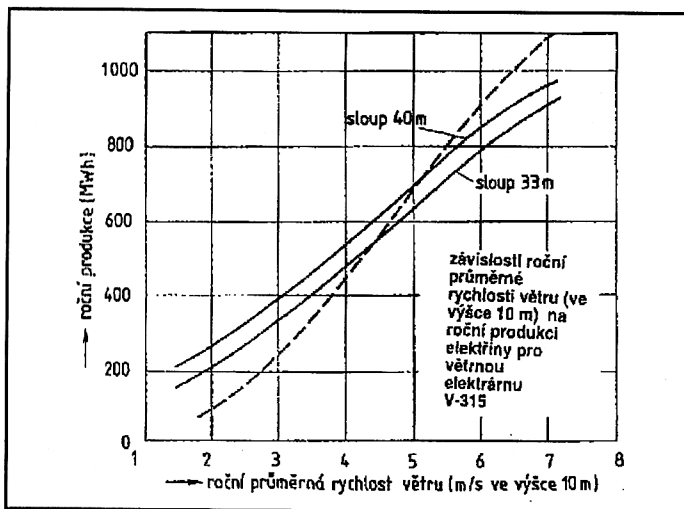


Obr. 1: Příkladů typů větrných elektráren:

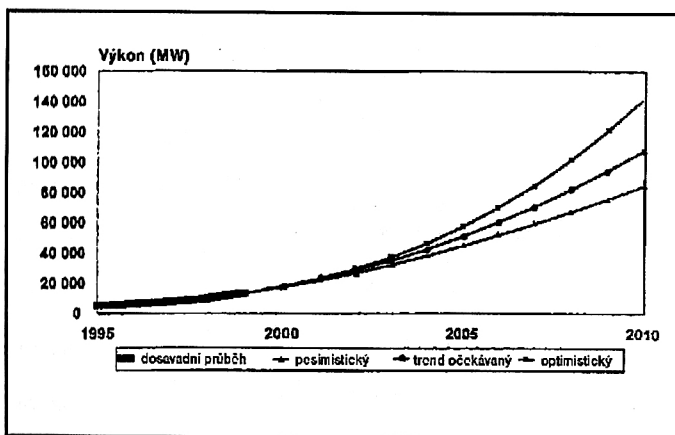
- 1 – malá větrná elektrárna do výkonu 90 kW
- 2 – větrná elektrárna TVIND o výkonu 2 MW (Dánsko)
- 3 – větrná elektrárna v Severní Karolině (USA)
- 4 – větrná elektrárna GROWLAN o výkonu do 2 až 3 MW (SRN)
- 5 – jednokřídlová větrná elektrárna budoucnosti, výkon až 10 MW



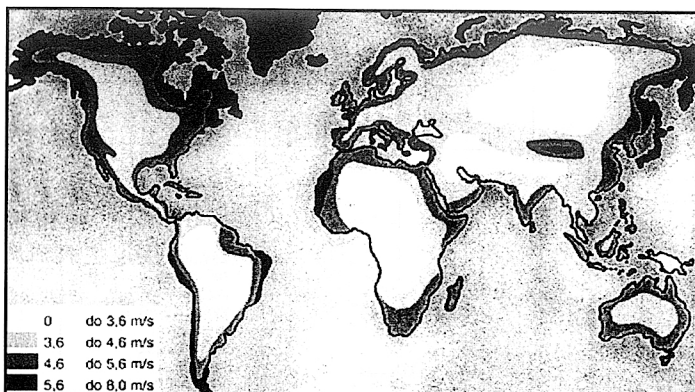
Obr. 2: Rotory větrných elektráren se svislou osou: 1 – typ Darrieus, 2 – typ Darrieus, 3 – Savonius



Obr. 3: Závislost roční výroby na rychlosti větru



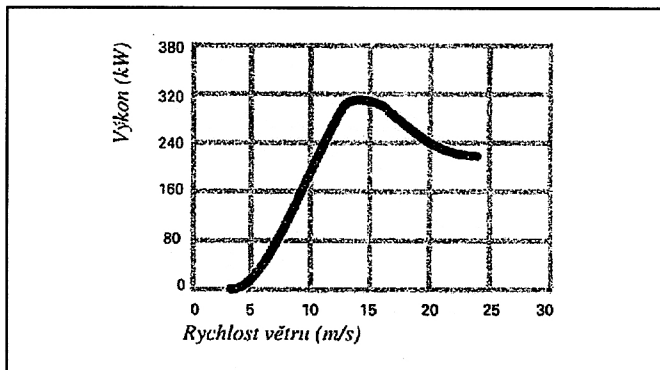
Obr. 4: Světový instalovaný výkon větrných elektráren do roku 2010



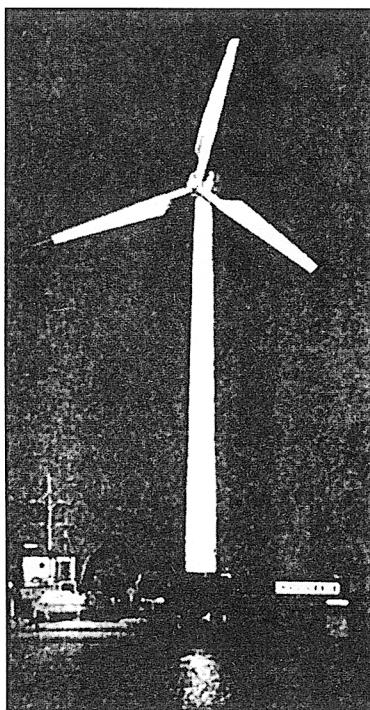
Obr. 5: Rozdělení středních rychlostí větru na povrchu Země

Beaufortův stupeň	Označení a rozpoznávací znaky větru	Rychlost	
		m/s	km/h
0	bezvětří – kouř stoupá kolmo vzhůru	0,0–0,2	1
1	vánek – směr větru je pozorovatelný podle kouře, vítr však nepůsobí na větrnou korouhev	0,3–1,5	1–5
2	slabý vítr – je cítit v tváři, listí stromů šelestí, korouhev se začíná pohybovat	1,6–3,3	6–11
3	mírný vítr – listí stromů v trvalém pohybu, vítr napíná praporky, čeří hladinu vody	3,4–5,4	12–19
4	dost čerství vítr – zvedá prach a útržky papíru, pohybuje slabšími větvemi stromů	5,5–7,9	20–28
5	čerství vítr – keře se hýbou, na stojatých vodách se tvoří vlnky se zpětnými hřebeny	8,0–10,7	29–38
6	silný vítr – pohybuje tlustými větvemi, telegrafní dráty sviští, deštník působí nesnáze	10,8–13,8	39–49
7	prudký vítr – pohybuje celými stromy, znesnadňuje chůzi	13,9–17,1	50–61
8	bouřlivý vítr – ulamuje větve, znemožňuje chůzi	17,2–20,7	62–74
9	vichřice – způsobuje menší škody na stavbách (strhává komíny a krytiny střech)	20,8–24,4	75–88
10	silná vichřice – vyskytuje se na pevnině zřídka, vyvrací stromy, působí škody na obydlích	24,5–28,4	89–102
11	mohutná vichřice – vyskytuje se velmi zřídka, působí rozsáhlé škody	28,5–32,6	103–117
12	orkán – ničivé účinky (odnáší střechy, demoluje těžké objekty)	32,7 a více	118 a více

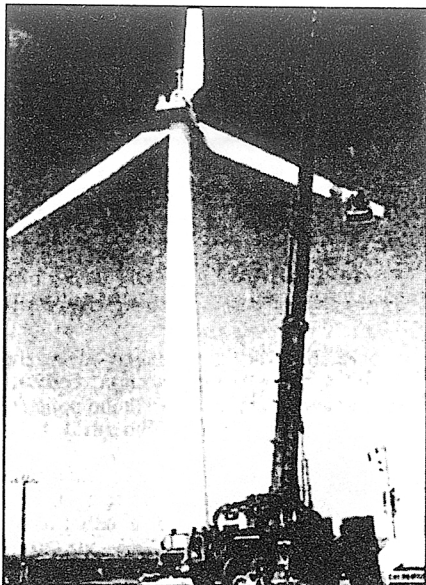
Tab. 2: Beaufortova stupnice síly větru. Podle projevů a účinků na různé předměty stanovil britský admirál sir Francis Beaufort pro pozorování na pevnině 12 stupňů síly větru



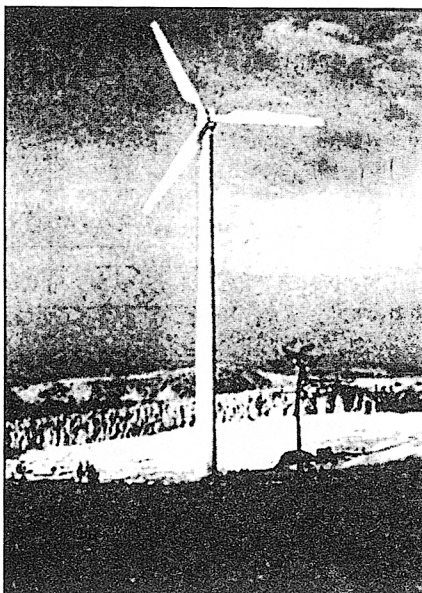
Obr. 6: Výkon v závislosti na rychlosti větru



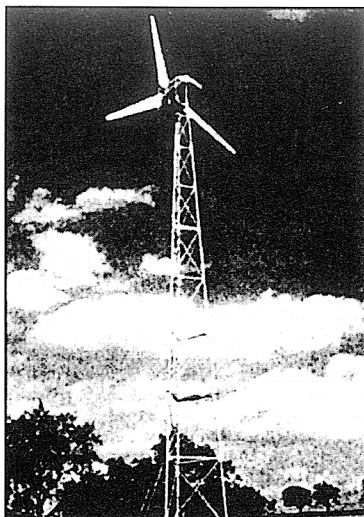
Obr. 7: „Off-Shore“. Svante 1. První větrná elektrárna na světě stojící na mořské plošině, a to od roku 1991. Při výkonu 200 kW má dodávat 500 000 kWh ročně pro 125 domácností bez elektrického vytápění u švédského „větrného“ ostrova Öland. Švédové v rámci hledání alternativních zdrojů počítají s 10 000 obdobími větrného agregátu Svante 1



Obr. 8: Větrná elektrárna EnergoWars EWT 315 (Dlouhá Louka u Oseka)



Obr. 9: Větrná elektrárna Wind-World W-2500 (Mravenečník u Loučné nad Desnou)

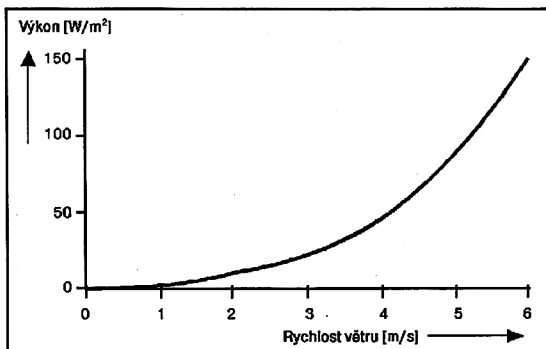


Obr. 10: Větrná elektrárna A.V.E.E. Hranice (výkon 11 kW)





Ochrana proti poškození: Při nadměrném větru se vytočí rotor (i s gondolou) ze směru větru nebo přestaví listy vrtule nebo zastaví (brzdou) rotor.

Regulace podle rychlosti větru zapíná a vypíná VM, hlídá bezpečnostně technické parametry a při práci do sítě (a samozřejmě také při izolovaném – ostrovním – provozu) udržuje konstantní napětí a kmitočet.

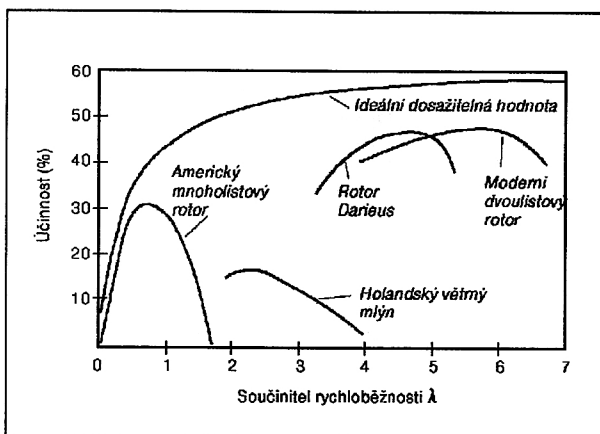
Jednotky první generace běží při konstantních otáčkách generátoru při různých rychlostech větru, což při vysokých rychlostech (vichřice) vede k velkému dynamickému namáhání. Nové jednotky mají generátory s proměnnými otáčkami, a tedy i s proměnným kmitočtem, a proto jsou vybaveny frekvenčním invertorem (mechanické namáhání se tím značně snižuje).



Obr. 11: Výkon větru stoupá s jeho rychlostí podle třetí mocniny. Dvojnásobná rychlost větru znamená osminásobný výkon, protože rovnice pro výkon větru je $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S$, kde P je výkon větru ve wattch (W), ρ je hustota vzduchu v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, v rychlost větru v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ a S plocha v m^2 , kterou vítr proudí

Typ				
	mnoholopátkový rotor	vtule	Savoniův rotor	Darrieův rotor
Hlavní využití	čerpání vody, výroba elektřiny	výroba elektřiny (střídavý a trojfázový proud)	čerpání vody, výroba stejnosměrného proudu	výroba elektřiny (střídavý a trojfázový proud)
Materiál rotoru	tvarovaný plech	laminát se skelnými vlákny, dřevo a ocel	ocelový plech, plasty	hliník, laminát se skelnými vlákny
Počet listů rotoru	až 150	1 až 4	2	2 až 3
Max. průměr rotoru [m]	12	100	3	25
Max. výška věže [m]	30	100	15	47
Max. počet otáček	900 min^{-1} 15 s^{-1}	900 min^{-1} 15 s^{-1}	100 min^{-1} $1,67 \text{ s}^{-1}$	200 min^{-1} $3,33 \text{ s}^{-1}$
Max. elektrický výkon [kW]	15	4000	5	230
Účinnost rotoru [%]	20 až 43 %	max. 45 ([3] uvádí max. 48)	23	36 ([3] uvádí max. 48)
Náběhová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	0,16	3 až 6	2 až 3	5 až 6
Regulace	jednotlivé lopatky se mohou odklonit	nastavení listů, změna počtu generátorů nebo stupně generátoru	mechanická brzda	mechanická brzda
Opatření proti bouři	příčně postavení směrovky vytočí rotor z větru	přestavení listů, vytočení z větru, mechanická brzda	mechanická brzda	mechanická brzda
Zvláštnosti	výkon sloupá se 3. mocninou rychlosti větru (v ostatních případech ovšem také)	nejpoužívanější typ	obvodová rychlost rotoru je větší než rychlost větru, často se používá pro náběh Darrieuova rotoru	vyžaduje pomoc při náběhu

Obr. 12: Přehled větrných motorů



Obr. 13: Součinitel rychloběžnosti

Roční využití VME je nízké, např. ve „větřné“ Kalifornii pouze okolo $1\,200\text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$ [hodin za rok – pozn. redakce]. Přesto některé prameny uvádějí i vyšší hodnoty, např. $2\,000$ až $2\,500\text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$.

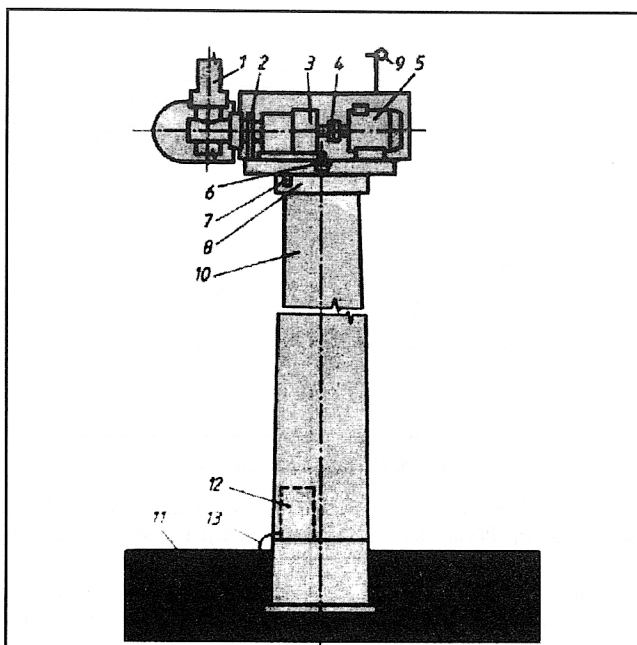
Je třeba si uvědomit, že elektřina z větrných elektráren je k dispozici pouze tehdy, když vítr vane optimálně. **Jde tedy o nezaručený výkon, který musí být zálohován jinými zdroji.**

Rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	VME o výkonu		
	75 kW	200 kW	2000 kW
5,5	171,2 MWh.a ⁻¹ 2 282,1 h.a ⁻¹	176,7 MWh.a ⁻¹ 2 383,6 h.a ⁻¹	3 276,6 MWh.a ⁻¹ 2 730,5 h.a ⁻¹
4,5	117,7 MWh.a ⁻¹ 1 568,7 h.a ⁻¹	337,8 MWh.a ⁻¹ 1 689,2 h.a ⁻¹	2 378,4 MWh.a ⁻¹ 1 982,0 h.a ⁻¹
3,5	57,2 MWh.a ⁻¹ 763,1 h.a ⁻¹	182,1 MWh.a ⁻¹ 910,2 h.a ⁻¹	1 251,6 MWh.a ⁻¹ 1 043,0 h.a ⁻¹

Tab. 3: Roční výroba a roční spotřeba VME o různém výkonu v závislosti na rychlosti větru

Záleží především na stálosti a rychlosti větru, a proto izolovaně pracující VME vyžadují akumulaci (elektrický akumulátor, zásobník tepla, výrobu vodíku aj.) nebo náhradní zdroj (např. dieselagregát).

V zimě se může na listech rotoru vytvořit námraza, takže mohou odletovat kusy ledu. Rotor, převod a generátor působí hluk (při posuzování je třeba vzít v úvahu úroveň ostatního hluku v okolí).



Obr. 14: Schéma větrné elektrárny: 1 – rotor s rotorovou hlavici, 2 – brzda rotoru, 3 – planetová převodovka, 4 – spojka, 5 – generátor, 6 – servopohon natáčení strojovny, 7 – brzda točny strojovny, 8 – ložisko točny strojovny, 9 – čidla rychlosti a směru větru, 10 – několika-dílná věž elektrárny, 11 – betonový armovaný základ elektrárny, 12 – elektrorozvaděče, 13 – elektrická přípojka

S větším výkonem větrných turbín se snižují výrobní náklady (v minulých 10 letech poklesly o 60 % a odhaduje se, že při soustředěné výrobě by mohly klesnout o 30 až 40 % a vyrovnat se výrobním nákladům na uhelné elektrárny). To ovšem platí pouze v místech, kde větrné turbíny mohou pracovat optimálně, např. v Irsku nebo v Dánsku.

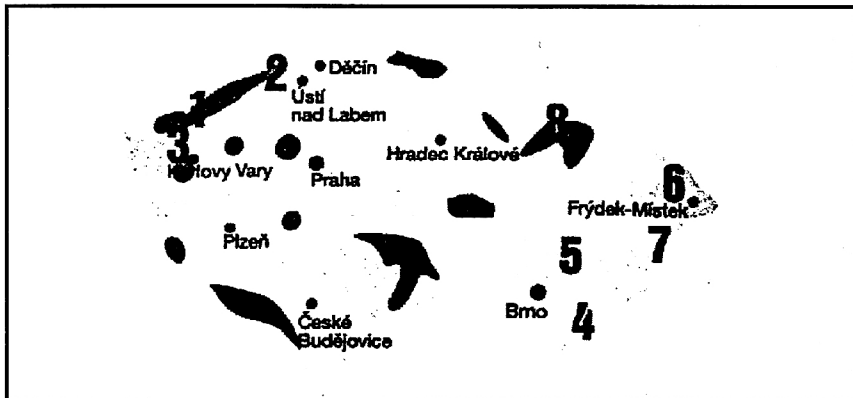
Roční využití instalovaného výkonu větrných elektráren je asi 2 000 h, což odpovídá přibližně ročnímu využití akumulčních vodních elektráren s nepoměrně lepšími regulačními vlastnostmi.

4.2 Současný stav využití větrné energie k výrobě elektřiny a předpokládaný rozvoj

Odhaduje se, že v současné době je ve světě instalováno asi 200 000 větrných elektráren. Největší soustředěný větrný výkon je na větrné farmě Almont Pass v USA o celkovém výkonu 752 MW, s jednotkami o výkonu od 40 do 750 kW. Z celkového počtu 4 702 turbín jich má 3 500 výkon 100 kW. Celkový výkon větrných elektráren ve světě činí v roce 2000 cca 13 500 MW. Jsou instalovány hlavně v SRN (4 400 MW), USA (2 500 MW) a Dánsku (1 750 MW). Roční přírůstek činil 200–300 MW, v roce 1999 však cca 3 700 MW. Pokud jde o regionální rozvoj, je v Evropě největší. V Asii je přírůstek vyvolán hlavně v Indii (celkový výkon 1 000 MW), zatímco v USA přetrvává dlouhodobě stagnace. Rekord v přírůstku dosáhl SRN v roce 1999 (1 550 MW). Podíl na nově instalovaném výkonu činí 42 %, tj. 3 700 MW

V roce 1995 pracovaly ve světě větrné elektrárny o celkovém výkonu 8 500 MW (v Evropě 3 000 MW, v Asii 1 000 MW, v Americe 2 000 MW, v ostatních částech světa 2 500 MW). Předpokládá se, že v roce 2000 bude výkon větrných elektráren asi 17 000 MW (v Evropě 7 100 MW, tj. oproti roku 1995 přírůstek 4 100 MW, v Asii 4 100 MW, tj. přírůstek 3 100 MW, v Americe 3 200 MW, tj. přírůstek 1 200 MW, a v ostatních zemích 2 600 MW, tj. přírůstek 100 MW).

Instalovaný výkon větrných elektráren je v ČR v roce 1996 asi 8 MW a k roku 2005 se předpokládá zvýšení na 35 až 55 MW.



Obr. 15: Číslo přibližně označují místa, kde v současné době (1994) stojí osm větších větrných turbín o instalovaném výkonu nad 50 kW (v závorce výrobce nebo dodavatel):

- 1 Boží Dar v Krušných horách – 75 kW (Vítkovice)
- 2 Dlouhá Louka nad Osekem (okres Litvínov) v Krušných horách – 315 kW (EnergWars z Dobré, okres Frýdek-Místek)
- 3 Hory u Karlových Varů – 75 kW (Vítkovice)
- 4 Hrubá Vrbka u Kuželova v podhůří Bílých Karpat – 175 kW (Winpower, Dánsko)
- 5 Strabence v podhůří Chřibů – 315 kW (Vítkovice) – osud díla nejasný
- 6 Staříč u Frýdku-Místku – různé výkony (zkušební polygon firmy Energowars)
- 7 Bílý Kříž v Beskydech – 60 kW (Tacke, SRN)
- 8 Mravenečník u Loučné nad Desnou v podhůří Jeseníků – 250 kW (Worldwind, Dánsko)