

Větrná energie na území České republiky

J. Štekl: *Wind Energy on the Territory of the Czech Republic. Život. Prostr., Vol. 42, No. 6, p. 302 – 306, 2008.*

The differences between climatological, technical and realizable potential of wind energy are presented. The factors influencing development of wind energy are then analyzed. Estimation of realizable potential over the area of the Czech Republic is based on calculated technical potential. The calculation is carried out for individual areas of regions and districts, and defines the areas having the most importance for development of wind energy production.

Při hodnocení potenciálu větrné energie je vždy nutno rozlišovat, o jaký potenciál se jedná. Ve zcela teoretické rovině je možno definovat tzv. *klimatologický potenciál*. Ten udává celkové množství energie, které je z větru možno získat za určitých předem definovaných podmínek. Jedná se o vysokou, avšak zcela teoretickou hodnotu, ve které nejsou zahrnuty reálné technické možnosti větrné energetiky, ani její zásadní legislativní omezení. Ty jsou zohledněny v tzv. *technickém potenciálu*, který ukazuje, jaký by byl maximální možný rozvoj větrné energetiky při úplném využití současných technických možností a respektování platných legislativních omezení. I tato hodnota je však pouze teoretická, neboť plné využití technického potenciálu není ve skutečnosti zdaleka reálné. Z hlediska aplikačního má největší význam tzv. *realizovatelný potenciál*, tedy potenciál, jehož využití by bylo za současných podmínek skutečně možné.

Určení realizovatelného potenciálu větrné energie musí vycházet z technického potenciálu, jehož násled-

ná redukce závisí na politických a společenských aspektech, mimo jiné na legislativních normách, vlivu sdělovacích prostředků, sociálních aspektech a dalších okolnostech.

Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie je účelné členit na území krajů a okresů. Tento postup má zásadní význam pro určení podílu územních celků na plnění celostátního příspěvku výroby elektrické energie z větru z celkové výroby energie obnovitelných zdrojů. Členění odhadu realizovatelného potenciálu větrné energie na územní celky dává informaci o územích, kde lze očekávat největší nároky na kapacitu sítí a může být podkladem pro strategii energetické politiky správních území, případně pro koncepci územních plánů. Úkolem politiků a odborných týmů určujících strategii energetické politiky státu pak bude vzít v úvahu vliv možných variant řešení na základní pilíře udržitelného rozvoje: ekonomický, environmentální a celospolečenský.

Faktory ovlivňující rozvoj větrné energetiky

Rozvoj větrné energetiky závisí na širokém spektru navzájem provázaných faktorů. V globálním měřítku předurčuje její možnosti především technologický vývoj. K tomuto vývoji by však nemohlo dojít, pokud by neexistovala poptávka po alternativních zdrojích energie vyplývající ze zvyšující se nálehavosti problémů spojených s využíváním klasických zdrojů elektrické energie, zvláště elektráren založených na spalování fosilních paliv.

V regionálním měřítku možnosti větrné energetiky vycházejí ponejvíce z geografických podmínek

Tab. 1. Roční produkce elektrické energie různými typy větrných elektráren firmy VESTAS v lokalitě Dlouhá Louka

Typ VTE	Výkon [kW]	Výška stožáru [m]	Průměr rotoru [m]	Roční produkce [MWh]
V 47	660	60	47	1 940
V 52	850	70	52	2 571
V 66	1 750	80	66	4 572
V 80	2 000	100	80	6 524
V 90	3 000	105	90	9 710

a nastaveného legislativního prostředí, které může výstavbu větrných elektráren podporovat, ale i omezovat. Základním parametrem určujícím možnosti výstavby těchto elektráren je její ekonomická rentabilita vyplývající z výše výkupní ceny elektřiny z větru. V mnoha směrech klíčová je míra politické podpory větrné energetiky, která se odráží jak přímo v nastavení legislativních podmínek, tak i nepřímo v míře podpory jejich výstavby ze strany obyvatel a v úspěšnosti projektů větrných elektráren při povolovacím procesu.

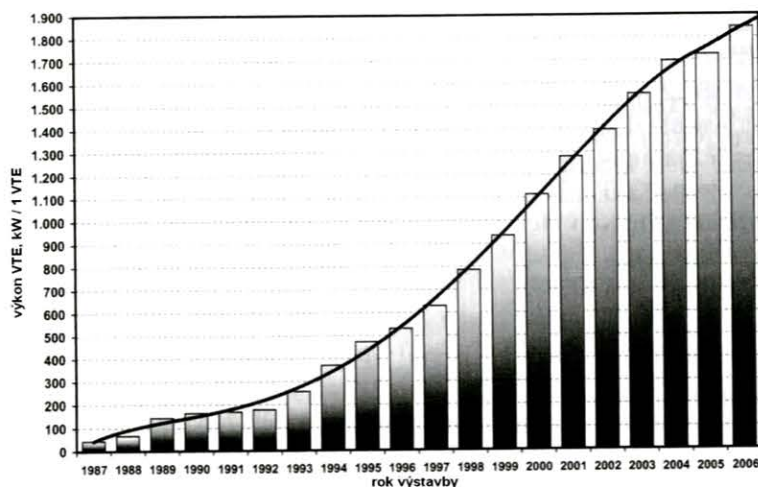
Rozvoj větrné energetiky tak bude do značné míry záviset na formulaci a realizaci *státní energetické politiky* a podílu větrné energie v této koncepci. V Státní energetické politice by měla být zahrnuta i energetická strategie EU, která vychází z rovnováhy mezi udržitelným rozvojem, konkurenceschopností a zabezpečením dodávek, přičemž klade důraz na ochranu klimatu a redukci emisí skleníkových plynů, produkovaných při výrobě elektrické energie. Podle návrhu Směrnice Evropské unie by v ČR měl být v r. 2020 podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů ve výši 13 %.

• **Rozvoj technologie větrných elektráren.** Technologie větrných elektráren prodělaly od r. 1980 mimořádný rozvoj. Tento rozvoj se projevil především:

- zvětšováním jednotkového výkonu větrných elektráren spojeným s růstem průměru rotoru standardních typů těchto elektráren (obr. 1, 2),
- zvětšováním výšky větrných elektráren (a tedy dosažením lepších větrných podmínek ve výšce rotoru),
- zkvalitňováním technologie větrných elektráren spojeným se snižováním její poruchovosti, hlučnosti a dalších negativních dopadů,
- snižováním měrných nákladů na výstavbu a provoz větrných elektráren.

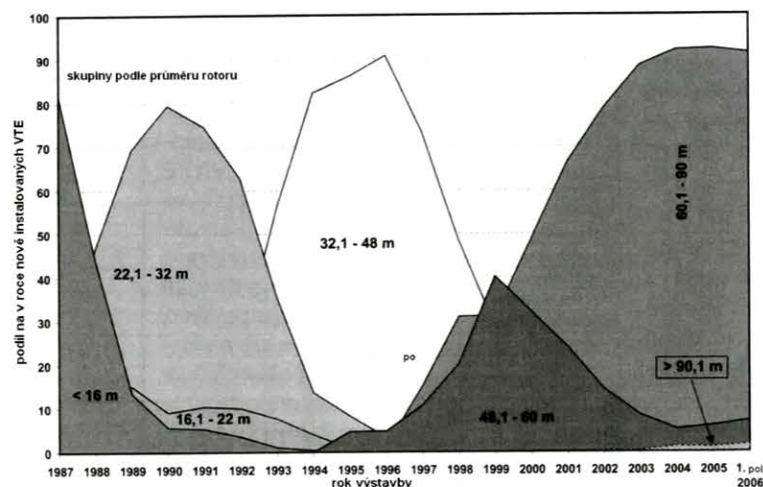
Vývoj technologie větrných elektráren instalovaných na území Německa možno srovnat za období 1987 – 2006 (obr. 1, 2). V první polovině r. 2007 byl průměrný výkon jedné větrné elektrárny postavené na území Německa 1917 kW oproti výkonu 50 kW z r. 1987.

S naznačeným vývojem technologie je spojen růst ročního objemu výroby elektrické energie v lokalitě Dlouhá Louka (tab. 1). Pro výpočet jsme použili řadu



1. Vývoj průměrného instalovaného výkonu jedné větrné elektrárny na území Německa. Zdroj: DEWI, 2008

2. Podíl velikostních tříd průměrů rotorů na nově instalovaném výkonu na území Německa. Zdroj: DEWI, 2008



větrných elektráren od výrobce s dlouhou tradicí. Vycházeli jsme z měřeného profilu rychlosti větru na stožáru o výšce 50 m a teoreticky prodlouženého nad tuto výšku. Lokalita Dlouhá Louka (870 m n. m.) leží v Krušných horách.

Pro doplnění uvádíme, že větrná elektrárna REpower 5M o výkonu 5 MW na tubusu o výšce 120 m, s rotorem o průměru 126 m by vyrobila v lokalitě Dlouhá Louka ročně 14 000 MW a větrná elektrárna Enercon E-126 o výkonu 6 MW s výškou osy turbíny 135 m a průměru

rotoru 126 m ročně 18 000 MW. Tyto typy elektráren jsou však určeny spíše pro mořské podmínky.

• **Ekonomické aspekty provozu větrných elektráren.** Rozvoj větrné energetiky, který podmiňuje investorská činnost, je závislý na rentabilitě podnikání.

Z hlediska makroekonomického je nákladem na provoz větrných elektráren především zvýhodnění výkupní ceny elektřiny a případné druhotné náklady spojené s rozvojem a provozem elektrizační soustavy. Na druhé straně vah pak stojí negativní externí náklady spojené s provozem jiných zdrojů elektrické energie, jako jsou škody na životní prostředí (plynné a tuhé emise, rekultivace ap.), emise skleníkových plynů, jejich vyčerpateľnost či závislost na dovozu ze zahraničí. Z hlediska posledního faktoru může být rozvoj větrné energetiky ČR ovlivněn vyčerpáváním zásob hnědého uhlí, se kterým se počítá po r. 2030, a také nepředvídatelným vývojem cen ropy, uhlí a uranu. Je pravděpodobné, že vzrůst cen primárních surovin a postupné zohledňování externích nákladů na výrobu energie z fosilních paliv povede v budoucnosti ke srovnání ceny energie z větru a z uhelných elektráren.

• **Kapacita distribučních sítí rozvodných energetických společností.** Rozvoj větrné energetiky je závislý na možnosti vstupu vyrobené energie do distribuční sítě. Tyto sítě však byly v minulosti koncipovány na základě lokalizace výroben elektrické energie a míst spotřeby elektrické energie. Například spolu s budováním elektrárny se budovala i struktura distribučních sítí pro přenos vyrobené energie do míst spotřeby. S nástupem větrné energetiky se však objevil napjatý vztah mezi stávající kapacitou distribučních sítí a objemem vyrobené energie z větrných elektráren v regionech s vysokým potenciálem větrné energie. Bude-li celospolečenský zájem využít ve větší míře energii z větru v regionech s nejvyšším větrným potenciálem, bude v těchto oblastech nutné posílit stávající sítě, případně vybudovat sítě nové. Toto řešení však není limitováno pouze ekonomicky, ale i stávající legislativou, kdy vlastnická práva jednotlivců mohou znemožnit výstavbu nového vedení.

Určení potenciálu větrné energie na území ČR

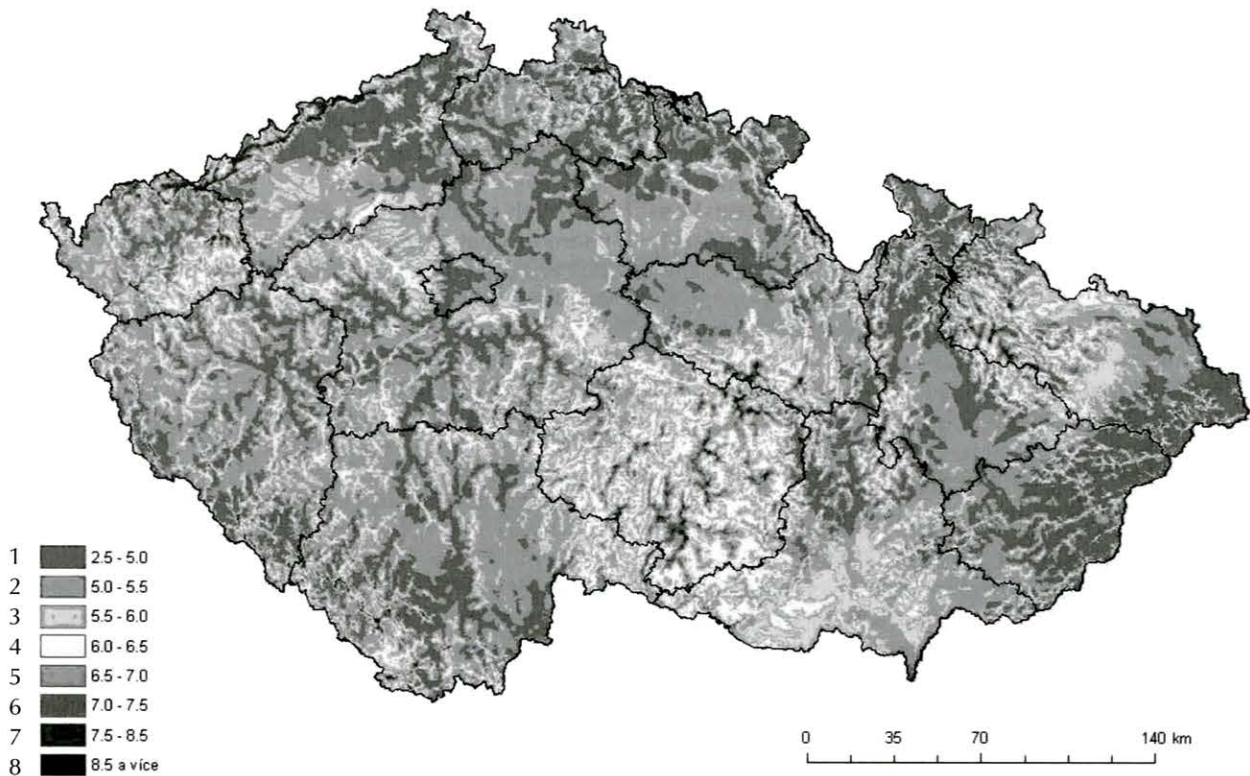
• **Pole průměrné roční rychlosti větru ve výšce 100 m.** Prvním a klíčovým krokem pro správné určení potenciálu větrné energie je zjištění reálných větrných podmínek na území České republiky. Za tímto účelem se zvolilo pole rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem, což je typická výška osy rotoru současných větrných elektráren.

Pro výpočet pole rychlosti větru byla použita kombinace tří modelů – VAS, WAsP a PIAP:

- *Statistický model VAS* byl vyvinut v letech 1994 – 1995 na Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. Je založen na trojrozměrné interpolaci průměrných hodnot rychlosti větru naměřených v síti meteorologických stanic. Tento model dokáže postihnout nárůst rychlosti větru s nadmořskou výškou, neumožňuje však podrobnější zohlednění místních podmínek v okolí měřicí stanice a cílového bodu.
- *Model WAsP* byl vytvořen v Dánsku (1987) speciálně pro potřeby větrné energetiky. Jedná se o široce rozšířený program, zaměřený na detailní přepočty větrných poměrů mezi místem měření větru a blízkými větrnými elektrárnami. Model umožňuje i určení ztrát na výrobě elektrické energie v důsledku vzájemného stínění větrných elektráren. Výhodou modelu WAsP je jeho vysoké prostorové rozlišení a realistický výpočet vertikálního profilu větru. Při větší vzdálenosti mezi místem měření a cílovým bodem je však použití tohoto modelu problematické, zvláště pokud se tato místa nacházejí v podstatně rozdílných nadmořských výškách. Z tohoto důvodu byl v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. sestaven tzv. *hybridní model VAS/WAsP*, který využívá předností předchozích dvou modelů.
- *Model PIAP* je dynamický model proudění v mezní vrstvě atmosféry dlouhodobě vyvíjený na ÚFA AV ČR. Ve srovnání s předchozími modely zahrnuje dokonalejší fyzikální popis reality; daní za tento přístup je však jeho vyšší výpočetní náročnost, která umožňuje – vůči vysokým požadavkům větrné energetiky – jen relativně hrubé prostorové rozlišení.

Přesnost výsledků vedle přesnosti samotných modelů závisí od kvality vstupních dat a způsobu jejich použití. Proto bylo zkoumáno co nejširší spektrum vstupních dat, a to i z některých dříve nedostupných či opomíjených zdrojů (stanice AIM, měřicí stožáry). Dostupné stanice a stožáry však bylo nutno podrobit kritickému zhodnocení, neboť zdaleka ne všechny vyhovovaly z hlediska umístění, vlivu okolních překážek a kvality dat požadavkům na použití v modelu. Výsledné pole rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem ukazuje obr. 3.

Byť modelová řešení odpovídají postupům adekvátním posledním teoretickým poznatkům, jsou zatížena nepřesnostmi, jejichž velikost je úměrná členitosti terénu. Proto na rovinných pláních či v mírně zvlněném terénu jsou chyby významně menší (několik desetin $m \cdot s^{-1}$), naopak, v horských oblastech



3. Pole průměrné roční rychlosti větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] v České republice ve výšce 100 m

s výraznými údolními zářezy (nadmořské výšky nad 800 m) se zvětšují na $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ extrémně až $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z toho důvodu slouží výsledky modelů, zvláště v komplexním horském terénu, na předběžné posouzení větrného potenciálu před výstavbou větrné elektrárny. Rozhodující informaci o skutečném potenciálu větrné energie, pro ekonomické zhodnocení zamýšlené výstavby, může dát až stožárové měření realizované po dobu jednoho roku.

• **Výpočet technického potenciálu.** Pod technickým potenciálem rozumíme souhrn všech možných pozic větrných elektráren, které splňují jednoznačně definované dostatečné větrné podmínky, technická a legislativní kritéria pro výstavbu větrných elektráren. Obtížně vyhodnotitelná technická omezení, jejichž povahu nelze v plošném vyjádření jednoznačně definovat, zahrnutá nejsou.

Prvním krokem k výpočtu technického potenciálu je stanovit území z hlediska větrných poměrů vhodné pro ekonomicky rentabilní výstavbu větrných elektráren. Takové území bylo definováno jako plocha, kde je průměrná rychlost větru ve výšce 100 m v souladu

s vyhláškou Energetického regulačního úřadu č. 475/2005 Sb., nejméně $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z území s dostatečným větrným potenciálem byly následně vyloučeny plochy, kde s ohledem na platnou legislativu a technické důvody nelze výstavbu větrných elektráren realizovat, a to:

- prostory sídel a v jejich okolí do vzdálenosti 500 m od obytných budov (splnění hlukového limitu),
- zvláště chráněná území: národní parky, chráněné krajinné oblasti, (národní) přírodní rezervace a památky,
- vojenské prostory a blízká okolí hlavních letišť,
- ochranná pásma v okolí elektrických vedení velmi vysokého napětí, silniční a železniční sítě.

Na zbývajícím území byly rozmístěny jednotlivé teoretické pozice větrných elektráren.

Pro výpočet výroby elektrické energie a ztrát na výrobě v důsledku vzájemného stínění větrných elektráren byl zvolen typ o průměru rotoru 90 m s výškou osy rotoru 100 m. V závislosti na průměrné rychlosti větru se pak zvolila buď varianta o výkonu 2 MW určená do méně větrných lokalit, nebo varianta

o výkonu 3 MW určená do větrnějších lokalit (alespoň 7 m. s⁻¹).

Při výstavbě větrných farem dochází i při dodržení minimální doporučené vzdálenosti ke snižování dosažené výroby v důsledku vzájemného stínění jednotlivých větrných elektráren. Velikost tohoto stínění byla vypočtena modelem WASP, který byl postupně aplikován na všechny rozmístěné větrné elektrárny. Větrné elektrárny, které se v důsledku stínění dostaly (v přepočtu na průměrnou rychlost větru) pod hranici ekonomické rentability, byly iteračním postupem vyřazeny. *Po této redukci zbylo na území České republiky přibližně 13 000 možných pozic větrných elektráren, což je hodnota, kterou považujeme za technický potenciál větrné energie v ČR.*

Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie

Určení realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR nemá objektivní a jednoznačné řešení, neboť zásadním způsobem závisí na nepředvídatelných politických a sociálně-ekonomických okolnostech. Existuje řada obtížně definovatelných faktorů, jako je politická vůle pro rozvoj větrné energetiky projevující se ve vertikále od úrovně vlády přes kraje až po obce, individuální postoje posuzovatelů vlivu stavby větrné elektrárny na krajinný ráz, vlivu na faunu a další složky životního prostředí, které principiálním způsobem ovlivňují redukci technického na realizovatelný potenciál. V posledních letech se v ČR projevil výrazně negativní postoj k výstavbě větrných elektráren u řady obcí. Hlavním argumentem je subjektivně hodnotitelný faktor – vliv staveb na krajinný ráz.

Odhad úrovně realizovatelného potenciálu je možno realizovat různými postupy. Jako nejvhodnější se jeví vycházet z hodnot technického potenciálu za předpokladu, že z výstavby budou vyloučeny plochy přírodních chráněných území, lesů a plochy zařazené do NATURA 2000. V prvním přiblížení předpokládáme, že na území krajů Karlovarského, Ústeckého a Libereckého jsou větrné poměry obdobné jako na území sousedního Saska. Obdobný předpoklad použijeme pro sousední území Plzeňského kraje a Bavorska a pro území Jihomoravského kraje a země Dolní Rakousy. Předpokládá se, že rozvoj větrné energetiky na územích uvedených sousedních států dosáhl k r. 2007 stavu nasycení. Tento předpoklad sice umožňuje využít dostupné číselné údaje, ale cíleně potlačuje úroveň realizovatelného potenciálu na území ČR. Výpočtem hustoty větrných elektráren na km² na územích sousedních států lze získat odhad možného počtu větrných elektráren na území jmenovaných krajů ČR.

Pro území krajů, na nichž nelze aplikovat výše uvedený postup, jsme použili následující pracovní

hypotézu. Respektování přiměřeného zásahu do krajinného rázu výstavbou větrných elektráren jsme vyjádřili následující úměrou: je-li technický potenciál vysoký, bude redukce na realizovatelný největší (7 – 10 %), je-li technický potenciál nízký, bude redukce menší (40 až 45 %). Korekční faktory odpovídají výsledkům získaným z přepočtů z množství větrných elektráren na území sousedních států. Popsaným postupem se odhadl realizovatelný potenciál pro území jednotlivých krajů a okresů. Nejvyšší instalovaný výkon lze očekávat v okresech Chomutov, Louny, Třebíč, Znojmo a Bruntál. Ke krajům s největší zásobou větrné energie patří Ústecký, Vysočina, Jihomoravský.

Objem výroby elektrické energie byl určen na základě výkonové křivky větrné elektrárny o průměru rotoru 90 m s osou ve výšce 100 m, přičemž v závislosti na větrnosti lokality byla volena varianta s výkonem 2 MW nebo 3 MW. Do výpočtu byl zahrnut vliv hustoty vzduchu, ztráta vzájemným stíněním ve skupinách větrných elektráren a byla provedena redukce teoretické výroby o 10 %.

Popsanou metodou se z technického potenciálu stanovil odhad realizovatelného potenciálu. Je představován zhruba 1 150 – 1 200 větrnými elektrárnami, instalovaným výkonem kolem 2 500 MW a roční výrobou elektrické energie kolem 5 500 GWh.

Děkuji pracovníkům ČEPS, a. s., Praha, za umožnění publikování této studie.

Literatura

- Ender, C: Wind Energy Use in Germany – Status 31. 12. 2007. DEWI magazin, 2008, No. 32, p. 32 – 46.
- Hanslian, D., Hošek, J., Štekl, J: Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR. Výzkumná zpráva pro ČEPS, a. s. Praha: ÚFA AV ČR, v. v. i., 2008, s. 32.
- Svoboda, J., Štekl, J: Mesoscale Modelling of a Flow Modification Caused by Orography. Meteorol. Z., N. F., 1994, 3, p. 233 – 241.
- Sokol, Z., Štekl, J.: Estimation of Annual Mean Ground Wind Speed Over the Territory of the Czech Republic. Meteorol. Z., N. F., 1995, p. 218 – 222.
- Štekl, J. a kol.: Perspektivy využití energie větru pro výrobu elektrické energie na území ČR, 4. část, opoňovaná zpráva pro Energetickou agenturu ČR, 1995, s. 102.
- Troen, I., Petersen, E. L.: European Wind Atlas. Roskilde Riso National Laboratory, 1989.

RNDr. Josef Štekl, CSc., Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., Boční II/1401, 141 31 Praha 4, ste@ufa.cas.cz