

KLIMATICKÝ POTENCIÁL VĚTRNÉ ENERGETIKY

Mgr. David Hanslian

Oddělení pro větrnou energii, Ústav fyziky atmosféry AV ČR

Jako většina využitelné energie na Zemi má i vítr svůj původ na Slunci. Sluneční záření dopadá na zemský povrch a vzduch nad ním se nerovnoměrně zahřívá a v důsledku toho vznikají rozdíly v tlaku vzduchu (teplý vzduch je lehčí). Vítr je pak projevem vyrovnávání těchto rozdílů.

Lze vyčlenit více principů vzniku proudění:

- *globální cirkulace* – jedná se o vítr vznikající v důsledku různého zahřívání velkých celků (polární oblasti vs. rovníkové, různé chování kontinentů a oceánů). V mírných a chladných šířkách se tak vytvářejí výrazné tlakové útvary (výše, níže). Rychlost větru je přibližně úměrná velikosti gradientu mezi těmito útvary. Tento typ proudění je rozhodující pro větrnou energetiku.
- *místní cirkulace* – vzniká v důsledku místních rozdílů (např. bríza – rozdíly mezi pevninou a vodními plochami; horské, svahové, údolní větry – rozdílné teplotní poměry v členitých oblastech). Zpravidla se jedná o pravidelné, ale relativně slabé proudění.
- *termická turbulence a konvekce* – vzniká v důsledku velkého zahřívání zemského povrchu a nižších vrstev atmosféry vůči vyšším vrstvám atmosféry. Termická turbulence je malého rozměru a zvyšuje nárazovitost proudění. Konvekce může být i velkého rozsahu (bouřky) a může způsobovat náhlé krátkodobé zesílení větru. Větrným elektrárnám obojí spíše škodí.
- *zvláštní efekty (bóra, fén ap.)* – vyskytují se při určitých situacích v místech se specifickým orografickým uspořádáním. Mohou být dosti intenzivní, ale bývají prostorově a časově omezené. Jen ojediněle hrají ve větrné energetice významnější roli.

Větrné poměry (větrné klima) jsou statistickým souhrnem větrných podmínek v určitém místě za klimatologicky významné období. Zpravidla se vztahují k ose rotoru větrné elektrárny. Jsou dány *četnostním rozdělením rychlostí větru* v prostoru rotoru a *větrnou různicí směru větru*. Reálné (naměřené) četnostní rozdělení rychlostí větru bývá pro potřeby výpočtů často nahrazováno teoretickým *Weibullovým rozdělením*.

Větrné poměry daného místa vznikají jako výsledek společného působení *vlivů velkého rozměru a místních vlivů*. Vlivy velkého rozměru souvisejí především s globální cirkulací atmosféry a formují nenarušené proudění ve velkých výškách nad zemským povrchem. V menších výškách se začínají projevovat místní vlivy a se snižující se výškou nad zemským povrchem jejich význam roste. Jedná se především o:

- *tření o zemský povrch* – závisí na drsnosti zemského povrchu (je dána tzv. *parametrem drsnosti z_0*). Čím vyšší je drsnost povrchu, tím více je rychlost větru

v menších výškách nad zemí tlumena. Krajina s velkým zastoupením lesů či osídlení má drsnost povrchu vysokou, holá zemědělská krajina či vodní plochy naopak nízkou.

- *vlivy orografie* – vítr přetéká či obtéká terénní nerovnosti. Dochází pak (zjednodušeně) k zesílení větru nad výšinami a k jeho zeslabení nad sníženinami a současně i k modifikaci směru proudění v důsledku obtékání nejrůznějších terénních prvků.
- *vlivy jednotlivých velkých překážek* (budovy, větrolamy ap.) specificky deformují proudění v jejich okolí (tj. opět spíše v menších výškách).

S rostoucí výškou nad zemí tedy zpravidla roste průměrná rychlost a klesá nárazovitost větru a postupně se vyrovnávají rozdíly mezi různými pozicemi. **Větší výška větrné elektrárny je proto téměř vždy výhodou.**

Výkon a energie větru

Kinetická energie větru = energie pohybující se hmoty vzduchu ($E_k = \frac{1}{2} m u^2$, m – hmotnost; V – objem; u – rychlost větru)

Hustota výkonu větru [W/m^2] = výkon, který by bylo možno získat stoprocentním využitím kinetické energie větru proudícího jednotkovou plochou kolmou na směr proudění ($P = \frac{1}{2} \rho u^3$, ρ – hustota vzduchu)

Výkon větrné turbíny [W] ($P = \frac{1}{2} c_p S \rho u^3$; S – plocha opisovaná rotorem; c_p – součinitel výkonu: teoretická maximální hodnota $c_{p,max} = 0,593$, reálné do 0,5)

Výroba elektrické energie [kWh , MWh , GWh] – zpravidla se vztahuje k období 1 roku (potom jednotky MWh/rok apod.). Závisí na větrných poměrech v prostoru rotoru, výkonové křivce větrné elektrárny a technických a dalších okolnostech (poruchy, údržba, námraza ap.).

Závislost výroby elektrické energie na rychlosti větru určuje *výkonová křivka*. Typická elektrárna začíná vyrábět při rychlostech kolem 4 m/s, pak výkon prudce roste až do dosažení plného (jmenovitého) výkonu mezi 10 a 15 m/s. Při rychlostech nad 25 m/s (které však nastávají velmi zřídka) se větrná elektrárna odstavuje. Poměr mezi množstvím skutečně vyrobené energie a teoretickou výrobou elektrické energie v případě, že by elektrárna vyráběla nepřetržitě na plný výkon se nazývá *kapacitní faktor*. Jeho hodnoty se v našich podmínkách pohybují nejčastěji mezi 20 a 25 %, v případě moderních větrných elektráren ve větrnějších lokalitách i 30 % a více.

Měření větru je při správném provedení přesná, ale nákladná a časově náročná metoda zjištění větrných poměrů. Je prováděno různými způsoby a za různým účelem.

Standardní meteorologické a klimatologické stanice na našem území zajišťuje většinou meteorologická služba (ČHMÚ). Jedná se o dlouhodobá systematická měření ve výšce 10 m. Měření nejsou primárně určena pro účely větrné energetiky, proto jejich umístění obvykle nebývá příliš optimální.

Stožárová měření jsou prováděna účelově v blízkosti plánovaných větrných elektráren. Měření probíhá standardně 1 rok (možno i déle), poté je prodlouženo na dlouhodobý normál. Měření bývají obvykle prováděna ve více úrovních na stožárech 30–70 m vysokých. Do výšky větrných elektráren jsou výsledky extrapolovány pomocí modelů. Vyšší stožáry bývají výjimkou, jsou totiž extrémně nákladné.

Měření dopplerovským sodarem využívá odrazu zvukových vln od atmosféry. Měří se tak profil větru až do výšky několika stovek metrů. Jedná se o velmi nákladné a provozně náročné zařízení, proto tak bývají prováděna spíše krátkodobá doplňující měření. Existují i další distanční metody (balony, lidar ap.).

Měření větru bývá prováděno i *na strojnách větrných elektráren*, to však slouží především pro regulaci provozu elektrárny. Využití těchto dat pro vyhodnocení větrných poměrů je problematické.

Pro potřeby větrné energetiky jsou extrémně přísné požadavky na přesnost a odolnost přístrojů. Existují různé typy přístrojů na měření větru, například:

- *robinsonův kříž* – standardně používaný přístroj, měří pouze rychlost větru
- *akustický anemometr* – využívá vlastností šíření zvukových vln
- *vrtulka (propeller)* – „větrná elektrárnička“
- *tlakové čidlo* (Pitotova trubice), *žhavený drát* a jiné – používány spíše v laboratorních podmínkách
- *směrovka* – na určení směru větru

Modelování větru je mnohem operativnější ve srovnání se zdlouhavým měřením a navíc umožňuje výpočet v místech, kde měření není možné. Na druhou stranu jsou jeho výsledky méně přesné než dobře provedené měření, neboť možnosti modelů jsou limitovány složitostí reálných podmínek a kapacitou výpočetní techniky. Výpočetní modely se používají například pro předběžné určení větrných poměrů lokality, vytváření plošných „větrných map“, zjišťování větrného potenciálu území nebo přesné výpočty v rámci větrné farmy (přepočet z místa stožárového měření na jednotlivé elektrárny, určení výroby). Existuje řada modelů, každý má své výhody/nevýhody. Na ÚFA AV ČR jsou používány tyto modely:

Statistický model VAS pouze interpoluje měření větru v síti meteorologických stanic v závislosti na nadmořské výšce.

Dynamický model proudění PIAP je numerický model mezní vrstvy atmosféry. Dobře vystihuje vliv terénu, ale je náročný na výpočet.

Model WAsP je model a program vyvinutý v Dánsku pro potřeby větrné energetiky. Mimo jiné umožňuje vyhodnotit vlivy nejbližšího okolí či ztráty způsobené vzájemným stíněním větrných elektráren, vyžaduje však existenci blízkého měření.

Hybridní model VAS/WAsP kombinuje výhody modelů VAS (schopnost kvalitní velkoprostorové interpolace) a WAsP (vyhodnocení místních podmínek).

Hlavními problémy, se kterými se výpočetní modely potýkají, jsou:

Použitelnost referenčních stanic: Většina používaných modelů vychází z měření na meteorologických stanicích. Ta však bývají často problematická, což bývalo dříve podceňováno. Velkou roli hrají například překážky v okolí stanice, jejichž vliv dokáže eliminovat pouze model WAsP, a to jen do určité míry. U modelu WAsP však dochází ke zkresleným výsledkům, pokud je pro výpočet použito měření ze vzdálené stanice.

Výpočetní náročnost složitějších modelů, která nedovoluje provádět výpočty v dostatečně husté síti výpočetních bodů. Lokální rozdíly jsou těmito modely shlazeny (např. u modelu PIAP). Výpočetní náročností je limitována i úplnost fyzikálního popisu reality v modelech. Některé zákonitosti tak musí být zanedbávány, což také vede k nepřesnostem v modelových výpočtech.

Potenciál větrné energetiky se rozlišuje na

- *klimatologický (teoretický) potenciál* – v celosvětovém měřítku řádově převyšuje energetickou potřebu lidstva (to nejspíš v menším platí i pro území ČR),
- *technický potenciál* – kolik energie by bylo možno získat za současných technických a legislativních podmínek,
- *realizovatelný potenciál* – jaký potenciál lze reálně očekávat k realizaci.

Velikost technického, resp. realizovatelného potenciálu je problematické odhadovat, neboť silně závisí na řadě parametrů, jako jsou výkupní cena elektřiny, technický vývoj větrných elektráren, zahrnutí či nezahrnutí možnosti větrných elektráren v lese, v přírodních parcích ap. Podle autorova subjektivního odhadu se technický potenciál větrné energie v České republice pohybuje v řádu 5–10 GW instalovaného výkonu. V současné době je zpracovávána studie mající za cíl objektivnější stanovení technického potenciálu. Realizovatelný potenciál větrné energetiky však bude z nejrůznějších důvodů podstatně nižší. Lokality vhodné pro výstavbu větrných elektráren se vyskytují především v oblastech plochých pohoří a pahorkatin s rozlehlými nelesnými plochami (např. Krušné hory, Nízký Jeseník, Vysočina či pahorkatina jižní Moravy), které jsou často postiženy i nedostatkem rozptýlené vegetace – což je ovšem z hlediska větrné energetiky skutečnost příznivá.