

Numerická metoda zpracování pravděpodobnosti četnosti větrného proudění a výpočet výroby elektrické energie pro různé druhy větrných elektráren

Ondřej Mitrenga

¹ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav Energetiky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Přednáška se bude zabírat teoretickým návrhem větrné turbíny pro bližší nespecifikovanou lokalitu, a sice na téma “Numerická metoda zpracování pravděpodobnosti četnosti větrného proudění a následný výpočet odhadované výroby elektrické energie pro různé druhy větrných elektráren”. Jedná se o program nabízející pravděpodobnostní tabulku, která bere v potaz technické vlastnosti moderních větrných elektráren, mající za cíl vytvoření univerzálního schématu, pro široké spektrum výrobně a ekonomicky efektivního využití v rámci různých geologických a také legislativně odlišných lokalit. Zároveň přiblížím problematiku predikce větrného proudění a konkrétní zpracování včetně uvažovaných ztrát vlivem jak fyzikálních, tak okolních podmínek.

Klíčová slova: Větrná elektrárna, numerické řešení, pravděpodobnostní tabulka, četnost proudění, ekonomická návratnost

1 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit ideální výrobně-ekonomický rámec výstavby větrné elektrárny, který se opírá o data daného prostředí, a tedy i uvažované proudění v závislosti na roce a ročním období. Jako model poslouží smyšlená modelová řada povětrnostních údajů pro bližší nespecifikovanou lokalitu. Výpočetních dat bude 8 760, s trváním jeden rok a kadencí po jedné hodině, což lze vyjádřit pomocí rovnice 365 dní * 24 hod. Tato modelová data jsou získána pomocí softwaru WASp/ WENg, který je užíván pro přesné simulace proudění v jednotlivých oblastech na základě poskytnutých dat z blízkých měřicích stanic. Data proudění získaná touto metodou se mohou dopouštět jisté míry odchylky, nicméně tu zde nebudeme uvažovat, neboť pro daný případ je poněkud komplikované ji stanovit, pakliže nenakládáme s daty měřenými anemometrem v dané lokalitě.

2 Úvod do problematiky

Vítr jako zdroj energie je historicky využíván v různých formách, přičemž v dnešní době se zabýváme především jeho mechanickým potenciálem, převeditelným na energii elektrickou. Vzhledem k nepravidelnosti a komplikovanosti vítr predikovat je toto téma hojně propírané. Existují zde tedy dvě roviny predikce, a sice ta měřicí/ softwarová (modelová) a predikce na základě již získaných dat, tedy statistická. Cílem této práce je tedy si přiblížit tu numerickou část vyhodnocení potenciálu větru.

2.1 Energie větru

Vítr můžeme definovat jako masu vzduchu, která proudí určitou rychlostí v daným směrem. Hmotnost větru m [kg] si vypočítáme pomocí objemu V [m³] a hustoty vzduchu ρ [kg/m³]. Objem určíme na základě anabáze a připodobnění proudění větru ke klasickému čtverci o délce hrany

a. Tato plocha definuje základnu větrného tělesa, přičemž výška s [m] je definována integrací jednotky času t [s], respektive rychlostí v [m/s].

Pro vyjádření kinetické energie větru za jednotku času tedy použijeme následující vzorec:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} m v^2 \\ &\rightarrow m = \rho V \\ &\rightarrow V = sA = vtA = 1vA = vA \\ &\gg E = \frac{1}{2} A \rho v^3 \end{aligned}$$

Z tohoto vztahu je patrné, že energie proudění větru je přímo úměrná třetí mocnině rychlosti. ^[1]

2.2 Betzův zákon

Betzův zákon je fyzikální zákon, uveden německým fyzikem Albertem Betzem, který říká, že v praxi nelze využít více než 16/27 kinetické energie větru, což procentuálně odpovídá asi 59,3 %. Kinetickou energii větru navíc nelze využít beze zbytku, pokud by to bylo možné, turbína by uměla pohltit veškeré proudění větru na ni působící a za turbínou samotnou by tedy docházelo k akumulaci vzduchu. Pokud tedy vycházíme z Betzova idealizovaného stavu, bude maximální dosažitelná energie větru, převeditelná na energii elektrickou odpovídat:

$$E = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} A \rho v^3 \right) = \frac{8}{27} A \rho v^3$$

ρ - hustota prostředí [kg/m³]

A - pracovní plocha rotoru [m²]

v - rychlost proudění větru [m/s]

Vzhledem k faktu, že se jedná o stav plně idealizovaný, v reálné praxi tohoto stavu nikdy nemůžeme dosáhnout. Na účinnost větrné turbíny má také významný vliv tření lopatek turbíny o vzduch, tření převodových mechanismů a také drobné, ale i větší víry vznikající za turbínou. Na základě zkušenosti tedy docházíme k reálné odpovídající účinnosti 85 % Betzova limitu, což odpovídá celkové účinnosti lehce přes 50 %. Na samotnou účinnost má také vliv instalovaný výkon větrné turbíny. ²

3 Zpracování dat

3.1 Obecné výpočty

Úvodem je potřeba vyplnit vstupní informace, a sice nadmořskou výšku v dané lokalitě, na základě toho přepočítat atmosférický tlak a tedy i hustotu prostředí. Zároveň podle přepočtového vzorce určit rychlost ve výšce středu rotoru daného rotoru:

$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n$$

v^* - průměrná rychlost větru ve výšce h nad zemským povrchem [m/s]

v_0^* - průměrná rychlost větru v referenční výšce h_0 [m/s]

n - exponent korekčního vztahu závisící na drsnosti povrchu [-]

h - uvažovaná výška [m]

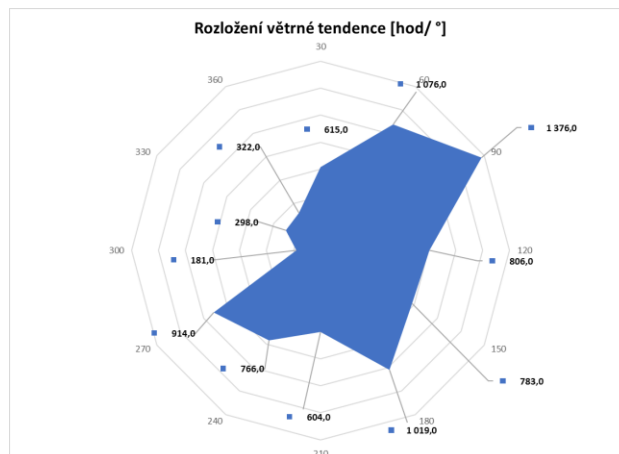
h_0 - referenční výška [m]

Druh povrchu	n
a - hladký povrch – vodní hladina, písek	0,14
b - louka s nízkým travnatým porostem nebo oranice	0,16
c - vysoká tráva, nízké obilniny	0,18
d - porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesy	0,21
e - lesy	0,28
f - vesnice, malá města	0,48

Tabulka 1: Specifikace druhu povrchu

3.2 Modelová data

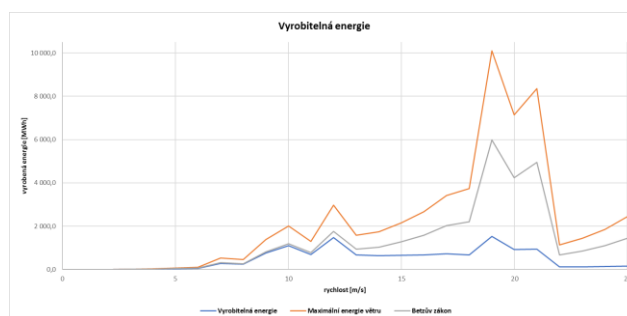
Z poskytnutých dat se vytvoří pravděpodobnostní tabulku, která bude zahrnovat rychlosti od 0 m/s do 25 m/s. Vyšší hodnoty rychlosti nás nezajímají, neboť to jsou rychlosti, při nichž by mohlo dojít k poškození větrné turbíny a tudíž zde dochází k automatickému vypnutí systému. Na druhou stranu budeme zahrnovat i nižší rychlosti, neboť každá z mnou uvažovaných větrných turbín má jinou tzv. najíždějící rychlost. Na základě pravděpodobnostní tabulky si vytvoříme tzv. větrnou růžici:



Graf 1: Rozložení větrné tendence [hod/°]

Odtud získáme ucelený přehled o intenzitě proudění v dané lokalitě. Vzhledem k tzv. technologii yaw drive bude výpočtová tabulka zahrnovat veškerá proudění v rámci 360°, neboť tento komponent umožňuje natáčení gondoly vždy v kolmém směru vůči proudění větru, a to až do maximálně čtyř otáček v jednom směru, tj. 1 440°, s tímto doplňkem jsou nicméně také spjaty jisté ztráty, tzv. yaw error.

Budeme-li uvažovat ideální, bezztrátový provoz větrné turbíny, bude potenciálně vyrobitelná elektrická energie v poměru ku maximální energii větru a hodnotě Betzova maxima následující:



Graf 2: Vyrobitelná energie

V součtu se tedy bavíme o teoretických hodnotách, definovaných v poměru:

Maximální energie větru [MWh]	58 844,2	100,00%	
Betzův stav [MWh]	34 870,6	59,30%	100%
Vyrobitelná energie (bez ztrát) [MWh]	12 611,4	21,40%	36,20%

Tabulka 2: Suma vyrobitelné energie v závislosti na potenciálu větru, Betzova zákonu a reality bez započtení ztrát

3.3 Ztráty

Při výpočtu reálného potenciálu vyrobitelné elektrické energie je potřeba se taktéž zabírat možnými ztrátami, které zde vznikají. Ať se již jedná o fyzikálně definovaný Betzův zákon, naklápění lopatek a nebo tzv. yaw error, všechny tyto aspekty mají vliv na výrobu elektrické energie.

Yaw error je tedy definován jako ztráta výkonu větrné turbíny [W] v závislosti na natočení gondoly o úhel α při

rychlosti větru v , přičemž rychlost větru, jak již bylo definováno, je úměrná třetí mocnině.³

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \cos^3(\alpha)$$

ρ - hustota prostředí [kg/m³]

A – pracovní plocha rotoru [m²]

v - rychlost proudění větru [m/s]

α - úhel pootočení gondoly

4 Závěrečné shrnutí

Na základě měření a odečtu vlivů způsobujících ztráty jsem měl možnost porovnat množství vyrobitelné elektrické energie u šesti různých typů větrných turbín, napříč různými výrobci, specializujícími se na toto odvětví. Jedná se především o výrobce jako jsou Vestas a Enercon, které jsou nejvyužívanější v aplikaci pro podmínky charakterizované příslušnou třídou, tzv. wind class a wind zone.

Výsledné hodnocení práce a další možnosti využití těchto dat budou předmětem mé detailní přednášky během konference Studentská tvůrčí činnost 2019.

Literatura

[1] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, Žitná 4, 166 35 Praha 6: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.

[2] EDENHOFER, Ottmar, Ramón PICHS-MADRUGA a Youba SOKONA. *Renewable energy sources and climate change mitigation: Summary for policymakers and technical summary*[online]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011, 2012, 246 s. [cit. 2019-03-17]. ISBN 978-92-9169-131-9. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_FD_SPM_final-1.pdf

[3] HANSEN, A. C. *Yaw Dynamics of Horizontal Axis Wind Turbines Final Report*. University of Utah. Salt Lake City, Utah: NREL- National Renewable Energy Laboratory, 1992. ISBN DE-AC02-83CH10093.