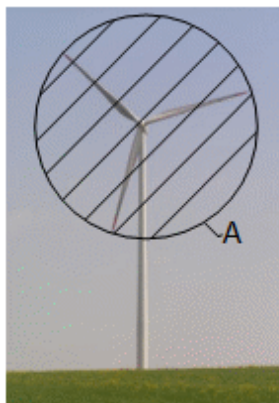


Betze, který tento limit definoval. Pomocí Betzova limitu lze tedy stanovit orientačně výkon větrné turbíny s tím, že skutečný výkon bude o něco menší.

217 Přibližný výkon větrné turbíny



$$\dot{m}_{\text{ref}} = A \cdot \rho \cdot c_i$$

$$P_{\text{ref}} = \dot{m}_{\text{ref}} \frac{c_i^2}{2}$$

$$P_i = C_P \cdot P_{\text{ref}}$$

$$C_{\text{Betz}} = \frac{P_{\text{opt}}}{P_{\text{ref}}} = \frac{16}{27} = 0,593 \geq C_P$$

© 2006 Jiří Škorpík

\dot{m}_{ref} [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] referenční průtok vzduchu rotorem turbíny; A [m^2] plocha rotoru; ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] hustota vzduchu; c_i [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] rychlost větru před rotorem (v neovlivněné vzdálenosti od rotoru); P_{ref} [W] referenční výkon větrné turbíny; P_i [W] skutečný výkon rotoru větrné turbíny; C_P [-] výkonový koeficient větrné turbíny, který zohledňuje ztráty a reálný průtok vzduchu rotorem; P_{opt} [W] optimální výkon rotoru větrné turbíny.

593 Úloha

Vypočítejte kolikrát se změní referenční výkon větrné elektrárny, když rychlost větru z $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ klesne třikrát na rychlost $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Řešení úlohy je uvedeno v Příloze 593, s. 18.

• Vliv vybrané lokality na výkon větrné turbíny

Změna rychlosti větru s výškou

Jestliže chceme předpovědět výkon větrné elektrárny, pak musíme znát rychlost větru ve vybrané lokalitě. V jakémkoliv místě se rychlost větru s výškou nad povrchem mění, a to přibližně exponenciálně (viz přibližný Vzorec 590). Tato změna v blízkosti povrchu souvisí s odpory (stavby, les apod), turbulencí a třením proudu vzduchu o povrch, ve vyšších vrstvách se projevuje i inverze.

590 Přepočítání rychlosti větru podle výšky

$$c_{z_2} = c_{z_1} \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

c_{z_2} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] rychlost větru v požadované výšce; c_{z_1} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] rychlost větru ve výšce, ve které byla hodnota rychlosti měřena; z_1 [m] výška měření rychlosti c_{z_1} ; z_2 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] požadovaná výška, ve které je rychlost větru c_{z_2} ; a [-] exponent jehož velikost se odvozuje od reliéfu krajiny – odvozeno od třídy drsnosti zemského povrchu viz Tabulka 591. Zdroj [13].

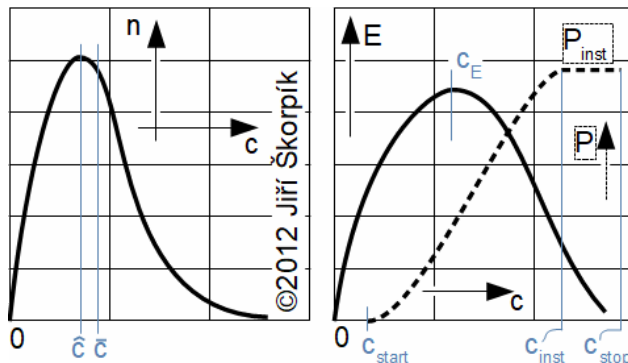
591 Třídy drsnosti zemských povrchů

t.d. charakter krajiny	a
0 otevřené pobřeží bez jakýkoliv překážek s větrem směřujícím k pobřeží	0,12
1 otevřená krajina s ojedinělými volně stojícími keři a stromy (pobřeží, prairie)	0,15
2 zemědělská krajina s rozptýlenými budovami a křovinami	0,18
3 uzavřená krajina s porostem stromů, mnoha křovinami a sousedícími budovami	0,24

t.d. třída drsnosti krajiny. Zdroj [13].

Určení četnosti rychlosti větru pro požadovanou lokalitu

1100 Stanovování průměrné roční rychlosti větru a potenciál výroby elektřiny za rok



vlevo průměrná rychlost větru stanovená z absolutní četnosti rychlosti větru v dané lokalitě; vpravo roční energetický potenciál větru jednotlivých rychlostí větru v dané lokalitě. E [kWh] předpokládané množství vyrobené energie při dané rychlosti větru za rok; n [dny] četnost; c^{\wedge} [$m \cdot s^{-1}$] modus, což je nejčastěji naměřená hodnota rychlosti větru; c_E [$m \cdot s^{-1}$] ekonomická rychlost větru (rychlost větru, která má nejvyšší podíl z vyrobené elektrické energie za rok); P [W] výkon generátoru při dané rychlosti větru; c_{start} [$m \cdot s^{-1}$] rychlost větru, při které generátor začíná vyrábět elektřinu; c_{inst} [$m \cdot s^{-1}$] rychlost větru, při které generátor dosahuje maximálního instalovaného výkonu P_{inst} ; c_{stop} [$m \cdot s^{-1}$] rychlost větru, při které se elektrárna odstavuje. O sestavování četnosti např. [14, s. 43].

Rozdělení rychlosti větru podle Rayleighova rozdělení pravděpodobnosti

Aerodynamický návrh lopatek se provádí pro rychlost c_E

Obvyklý provozní rozsah větrných elektráren

Křivka četnosti rychlosti větru je velmi blízká Rayleighovu rozdělení pravděpodobnosti, takže dokážeme-li odhadnout průměrnou hodnotu rychlosti větru, pak lze pomocí vzorců Rayleighova rozdělení odhadnout absolutní četnost rychlosti větru. Tento postup se aplikuje zejména v případech, kdy chybí podrobné dlouhodobé měření rychlosti větru v dané lokalitě, viz Úloha 592, s. 6.

Všimněte si, že v oblasti s průměrnou rychlostí $4,5 m \cdot s^{-1}$ by elektrárna s instalovaným výkonem při rychlosti $15 m \cdot s^{-1}$ dosahovala tohoto výkonu jen několik hodin za rok. Na druhou stranu, protože výkon turbíny roste s třetí mocninou rychlosti větru (Vzorec 217), může při mnohem vyšší rychlosti vyrobit za tuto kratší dobu stejné množství elektřiny jako za mnohem delší dobu při nižší rychlosti. Z těchto důvodů se aerodynamický tvar lopatek navrhuje na rychlost větru, při které se vyrobí nejvíce elektrické energie, což je rychlost c_E (kombinace výkonu elektrárny při dané rychlosti a četnosti této rychlosti větru). To je dáno tím, že nelze zkonstruovat generátor účinně a spolehlivě pracující v širokém rozsahu výkonů.

Většina typů větrných elektráren startuje až při rychlosti větru 4 až $5 m \cdot s^{-1}$ a maximálního výkonu dosahují při $15 m \cdot s^{-1}$ (při rychlostech vyšších, než je povolená rychlost větru, je větrná