Sebestačnosť elektroenergetiky Slovenska

Erik ANDRAŠKO, Dušan MEDVEĎ

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

erik.andrasko@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

***Abstrakt* — Tento príspevok sa zaoberá problematikou sebestačnosti na Slovensku, pričom konkrétne rieši možnosti výroby elektrickej energie pomocou veternej energie na území Slovenska. V úvode je predstavený aktuálny stav danej problematiky a celkové možnosti využitia veternej energie na Slovensku, vzhľadom na súčasné podmienky. Popísaný je aj projekt prvej veľkej veternej elektrárne, ktorý môže zvýšiť elektroenergetickú sebestačnosť a bezpečnosť, no zároveň je spomenutý aj finančný aspekt a možné komplikácie pri procesoch schvaľovania takýchto projektov.**

***Kľúčové slová* — elektroenergetika, sebestačnosť, veterná energia, vietor**

I. Úvod

Byť v dnešnej neistej dobe sebestačný v akomkoľvek odvetví je nenahraditeľná výhoda. Výnimkou nie je ani elektroenergetika a jej sebestačnosť na úrovni štátu, regiónov, miest či obcí. Neustály rast cien energií a najmä zhoršujúci sa stav klimatickej otázky ovplyvňuje aj spôsoby výroby elektrickej energie, kedy sa stále viac a viac do popredia dostáva vďaka vyspelým ekonomikám – najmä na európskom kontinente takzvaná „zelená energia“, a teda elektrická energia vyrobená z obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Vo všeobecnosti sa dá povedať, že cesta sebestačnosti elektroenergetiky na Slovensku vedie práve cez obnoviteľné zdroje energie vzhľadom na to, že Slovenská republika dlhodobo patrí medzi krajiny s vysokou dovoznou závislosťou a väčšinu primárnych energetických zdrojov (PEZ) dováža, a tým pádom nespĺňa jednu zo základných podmienok, ktorá je definovaná pojmom sebestačnosť. V tomto príspevku boli bližšie preskúmané možnosti k dosiahnutiu elektroenergetickej sebestačnosti na Slovensku vďaka veternej energii.

II. Energia Vetra

Veterná energia má pôvod v energii Slnka. Zemský povrch ohrievajú slnečné lúče s rôznou intenzitou, v dôsledku čoho dochádza k teplotným a tlakovým rozdielom. Nerovnomerným zohrievaním vzdušných más pri zemskom povrchu sa vytvárajú tlakové výše a tlakové níže. Vietor vzniká vplyvom tlakových rozdielov a vanie v zásade od tlakovej výše k tlakovej níži špirálovite, tangenciálne k izobarám, okolo výše v zápornom a okolo níže v kladnom smere. Miestna rýchlosť vetra závisí od tvaru zemského povrchu, so vzdialenosťou od mora klesá, s nadmorskou výškou rastie; mení sa s časom a tiež v závislosti od meteorologickej situácie [1].

Najväčší vplyv na využívanie veternej energie má rýchlosť vetra. Energiu vetra je možné definovať ako kinetickú energiu pohybujúcej sa častice vzťahom [2]:

$$E_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [\mathrm{J}] \tag{1}$$

kde: m hmotnosť častice (t.j. vzduchu; pohybujúceho sa média)
v rýchlosť vetra

Pre hmotnosť častice ďalej platí:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad [\mathrm{kg}] \tag{2}$$

kde: ρ hustota telesa alebo častice
A plocha, ktorou vzduch prechádza
s dráha častice

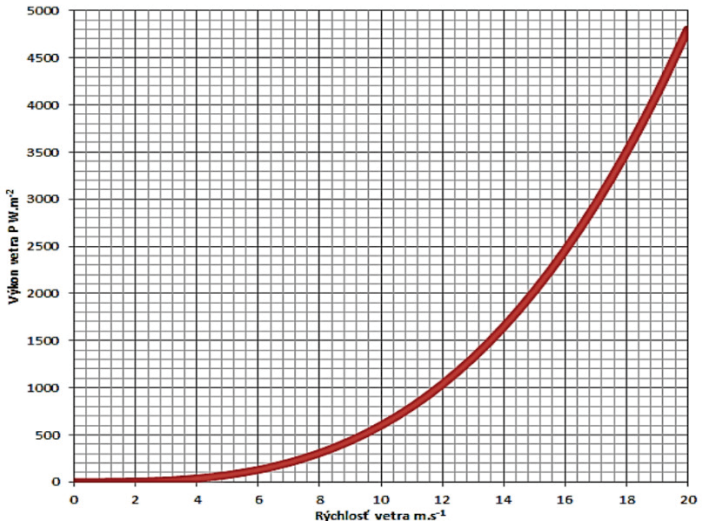
Z definície kinetickej energie pohybujúceho sa telesa môžeme určiť vzorec pre výpočet výkonu vetra P_w, ktorý pôsobí na 1 m^2 plochy [2]:

$$P_w = \frac{E_k}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad [\mathrm{W}] \tag{3}$$

Pričom ďalej platí:

$$v = \frac{s}{t} \quad \left[\mathrm{m \cdot s^{-1}}\right] \tag{4}$$

Podľa vyššie zadefinovanej rovnice (3) sa dá povedať, že výkon vetra je závislý od hustoty vetra ρ a kvadrátu rýchlosti vetra v, čo reprezentuje aj obrázok 1, z ktorého vyplýva, že rýchlosť vetra podstatne ovplyvňuje jeho výkon [2].



Obr. 1 Závislosť rýchlosti vetra v od výkonu vetra P_w [2]

III. Výroba Elektrickej Energie Využitím Energie Vetra

Veterné elektrárne premieňajú energiu prúdenia vzduchu na elektrinu. Vietor sa oprie o vhodne nastavené krídla rotora turbíny a roztočí ich. Točivá sila rotora sa prenáša cez prevodovku alebo priamo na elektrický generátor, ktorý produkuje elektrinu. Generátor môže byť asynchrónny, synchrónny alebo jednosmerný. Generátory s bežným inštalovaným výkonom 500 kW až 3 MW môžu pracovať s konštantnými alebo aj premenlivými otáčkami [1].

Veterné elektrárne vybavené asynchrónnymi generátormi sú určené pre paralelný chod so sieťou. Je vhodné doplniť ich mikroprocesorovým riadiacim systémom, ktorý umožňuje diaľkové ovládanie a sledovanie chodu. Jednotky so synchrónnymi generátormi môžu pracovať nielen paralelne so sieťou, ale i nezávisle od nej. Môžu sa využívať napríklad ako zdroje, ktoré zabezpečujú potrebnú dodávku elektrickej energie do elektrickej siete pri štarte z tmy. Prúd jednosmerného generátora sa môže používať napríklad na elektrolýzu vody a nosičom energie je potom vodík. Z dôvodu nízkych a premenlivých otáčok veternej turbíny je výhodnejšie používať asynchrónne generátory a meniče s jednosmerným medziobvodom, ktorými sa získané napätie najprv usmerní a potom invertuje na požadované striedavé napätie o frekvencii 50 Hz. Na jednej strane, tento statický usmerňovač s invertorom zvyšuje kapitálové náklady, na druhej strane umožňuje vyrábať veľmi kvalitné napätie a zjednodušuje paralelnú prevádzku so sieťou [1].

Veterné turbíny s vertikálnou osou rotácie sú výhodné pri vysokých a stredných rýchlostiach vetra. Pri prekročení optimálnych rýchlostí vetra rýchlo klesá ich účinnosť a dochádza k poklesu výkonu. Sú nezávislé od smeru vetra a lopatky majú nízko pri zemi. Veterné turbíny s vertikálnou osou majú vyššie hranice minimálnych štartovacích rýchlostí (nutnosť pomocného štartéra) a nižšiu účinnosť. Vyžadujú aj väčšiu zastavanú plochu. Veterné turbíny s horizontálnou osou rotácie sú v súčasnej dobe najrozšírenejšie. Najvyššie využitie výkonu je možné dosiahnuť dvoj- a trojlistovými vrtuľami. Aby mohla vrtuľa čo najlepšie zachytiť energiu vetra, je hlava veternej elektrárne, tzv. gondola, umiestnená na stožiari otáčavo. Na nasmerovanie osi vrtule v smere vetra slúži postranné veterné koleso alebo elektromotor [1].

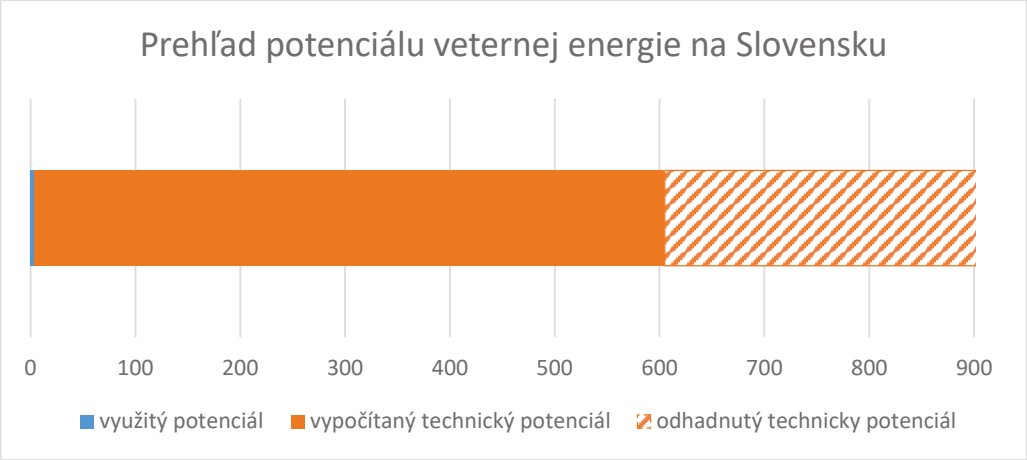
Výkon veternej turbíny je daný vzťahom [3]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_p \cdot S \cdot v^3 \quad [\mathrm{W}] \tag{5}$$

kde: ρ hustota vzduchu
c_p je súčiniteľ výkonu, ktorý je daný pomerom skutočného a teoretického výkonu vetra. Horná hranica súčiniteľa výkonu je tzv. Betzov limit, ktorý určuje maximálny výkon veternej turbíny v pomere 16/27. Je teda zrejmé, že maximálny možný teoretický výkon veternej turbíny je 59,3 % z teoretického výkonu vetra.
S je plocha, ktorú opisujú lopatky turbíny (plocha rotora)
v je rýchlosť prúdenia vzduchu

IV. Analýza Stavu Problematiky Veternej Energie na Slovensku

Naposledy bol technický využiteľný potenciál výroby elektrickej energie z veternej energie vyčíslený v roku 2003 a činil 605 GWh/rok. Odvtedy tento potenciál nebol v dostatočnej miere ďalej zmapovaný, neprebehla žiadna jeho aktualizácia a chýba teda aktuálne číslo technického potenciálu vzhľadom aj k novým technológiám v oblasti veternej energie, ktoré za 19 rokov pribudli. Taktiež je potrebné poznamenať, že potenciál bol vypočítaný za predpokladu použitia turbín s inštalovaným výkonom 0,5 MW až 1 MW. Dnes už existujú turbíny s rádovo vyššími inštalovanými výkonmi, a preto je potrebné uvažovať aj s vyšším technickým potenciálom, pričom nie je vylúčené zdvojnásobenie technického využiteľného potenciálu z roku 2003. Keďže by to bolo len hádanie, berme do úvahy, že vďaka spomenutým aspektom je dnes technicky potenciál o polovicu vyšší ako v roku 2003 a teda je na úrovni cca 900 GWh/rok [3].



Obr. 2 Graf zobrazujúci využitý a vypočítaný, respektíve odhadnutý technický potenciál veternej energie na území Slovenska

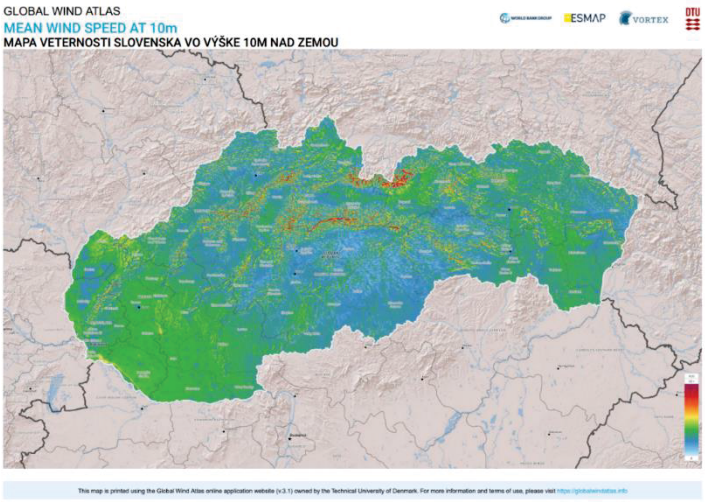
Tu je veľmi jasne vidieť, ako sa veterná energia na Slovensku vôbec nevyužíva, keďže pri vypočítanom technickom potenciáli 605 GWh/rok sa v roku 2020 podľa OKTE vyrobilo len 3,925 GWh, čo je v prepočte na percentá len 0,649%. V prípade odhadnutého potenciálu je to len 0,436 %, čo v spojení s pojmom elektroenergetická sebestačnosť dáva veľký priestor na realizáciu projektov k jej dosiahnutiu.

Pri pohľade na mapu veternosti vo výške 10 m nad zemou je možné pozorovať, že potenciál sa nachádza na Podunajskej nížine a na Záhorí (v menšine aj Zemplín), keďže len tieto oblasti dosahujú hodnoty technického minima, čo je viac ako 3 m/s, no stále je to nedostatočná rýchlosť vetra pre zmysluplnú výrobu elektrickej energie. Z ekonomického hľadiska je potrebné mať vo výške 10 m rýchlosť vetra aspoň 5 m/s, aby prevádzka veternej elektrárne mala zmysel. Červené miesta na mape znázorňujú vysoké hrebene pohorí, kde je však neprípustná akákoľvek výstavba, nie to ešte veterné turbíny. Ako najmenej perspektívna oblasť pre využitie veternej energie sa javí juh stredného Slovenska, Horehronie a Kysuce, kde priemerná rýchlosť vetra v desiatich metroch je len na úrovni 1,5 až 2,5 m/s.

Je dobre známe, že so zvyšujúcou sa výškou rastie aj rýchlosť vetra. Preto aj na prvý pohľad nezaujímavých krajinách, z pohľadu výroby elektrickej energie z vetra (akou Slovensko bezpochyby je), sa inštalovaním veľmi vysokých veterných turbín, dajú dosiahnuť zaujímavé hodnoty produkcie elektrickej energie. Pre úplnosť informácií, rýchlosť vetra vo výške desiatich metrov sa považuje za referenčnú rýchlosť, podľa ktorej sa orientačne počíta rýchlosť vetra v_p v požadovanej výške h_p podľa vzorca [3]:

$$v_p = v_{ref} \cdot \left(\frac{h_p}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \quad \left[\mathrm{m \cdot s^{-1}} \right] \tag{6}$$

kde v_{ref} je rýchlosť vetra vo výške 10 m [m·s^{-1}]
h_p je výška bodu, v ktorom sa meria rýchlosť vetra nad terénom [m]
h_{ref} je výška bodu nad terénom [10 m]
α je koeficient drsnosti terénu (0,1 až 0,45, podľa terénu)



Obr. 3 Mapa Slovenska s vyznačenou veternosťou vo výške 10 m od povrchu (zdroj: globalwindatlas)

Na veternej mape Slovenska boli zvolené 3 lokality z ktorých sa vybrali údaje z veternostných máp vo výške 10 m a 100 m. Následne sa pomocou výpočtu znázorneného vyššie vypočítala rýchlosť vo výške 100 m, ktorá sa porovnala s rýchlosťou vetra podľa mapy, uvedenej na globalwindatlas:

Pri meste Šaľa na Podunajskej nížine 3,59 m/s (10 m) a 6,36 m/s (100 m)

$$v_p = 3{,}59 \cdot \left(\frac{100}{10}\right)^{0{,}25} = 6{,}38\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} \tag{7}$$

Pri meste Skalica na Záhorí 4,97 m/s (10 m) a 7,59 m/s (100 m)

$$v_p = 4{,}97 \cdot \left(\frac{100}{10}\right)^{0{,}25} = 8{,}84\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} \tag{8}$$

Pri meste Poltár na strede južného Slovenska 1,67 m/s (10 m) a 3,21 m/s (100 m)

$$v_p = 1{,}67 \cdot \left(\frac{100}{10}\right)^{0{,}25} = 2{,}97\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} \tag{9}$$

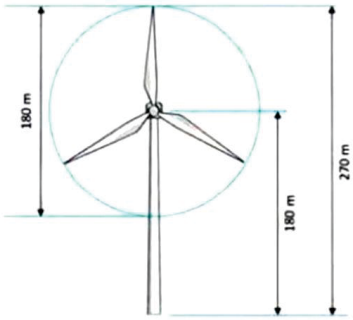
Z týchto výpočtov je možné pozorovať, že pri prípadnej realizácii projektov veterných elektrární je dôležite vybrať si vhodnú lokalitu na území Slovenska. Podľa medzinárodnej stupnice veternostných tried IEC (Iowa Energy Center), patrí Slovensko do veternostnej triedy 2 až 3. To znamená, že pre efektívnu výrobu elektrickej energie z vetra je potrebný väčší priemer rotora turbíny, ktorá musí byť zároveň inštalovaná na vyšších stožiaroch [4].

V. Možnosti pre Dosiahnutie Sebestačnosti Využitím Veternej Energie

Momentálne je analyzovaný zámer prvej veľkej veternej elektrárne v okrese Skalica, ktorá by mala mať inštalovaný výkon 30 MW, respektíve 42 MW, v závislosti či bude realizovaný variant s piatimi veternými turbínami, alebo variant až so siedmimi turbínami. Výkon jednej je dimenzovaný na 6 MW a jej parametre, čo sa týka veľkosti, je možné vidieť na obrázku 4. Ako už bolo spomenuté, aby sa využil potenciál veternej energie na Slovensku, je potrebné použiť turbíny na vysokých stožiaroch, v tomto prípade sa uvažuje s výškou až 180 m a priemer rotora turbíny má mať takisto 180 m (dĺžka jednej lopatky 90 m). To znamená, že celková výška by mala byť až 270 m. V závislosti od realizácie variantov, investícia do takejto veternej elektrárne by mala byť 36 alebo 50,4 miliónov eur, čo pri prepočte na 1 MW vychádza na 1,2 milióna eur. S prevádzkou sa ráta na obdobie 25 rokov[4].

Je potrebné povedať, že v posledných rokoch nevznikla žiadna veľká veterná elektráreň na Slovensku. Značným spôsobom zaostávame za technickým potenciálom. Je viacero príčin, kvôli ktorým nie je spôsob výroby elektrickej energie z vetra preferovaný. Najväčším problémom je nesmierne komplikovaný byrokratický proces schvaľovania a povoľovania realizácie veternej elektrárne. Taktiež neaktuálne dáta o veternosti na Slovensku neprispievajú k ľahšej a rýchlejšej

realizácii potencionálnej veternej elektrárne. Ďalším problémom môže byť tiež nie úplne pozitívny prístup odbornej verejnosti k veternej energii, čo môže v konečnom dôsledku ovplyvniť aj prístup verejnosti k stavbe takejto veternej elektrárne v ich bezprostrednej blízkosti [3].



Obr. 4 Navrhované rozmery veternej turbíny pri Skalici (zdroj: WSB Invest)

Pri realizácii projektu veternej elektrárne je tiež potrebné zhodnotiť investície na výstavbu a zároveň aj prevádzku počas jej celej životnosti, ktorá je zvyčajne 20 až 25 rokov. Definícia opodstatnenej investície hovorí o tom, že je nutné dosiahnuť návratnosť do konca životnosti veternej elektrárne. Pod nerentabilnou investíciou sa rozumie investícia, ktorá nedosiahne návratnosť v rozmedzí 4 až 6 rokov od samotného spustenia. S uvažovaním nákladov na výrobu elektrickej energie podľa indexu LCOE, ktoré sú podľa podmienok veternej energie na Slovensku na úrovni 0,0823 €/kWh, dá sa vypočítať miera návratnosti mysleného projektu s parametrami 1500 €/kW, 3200 h prevádzky na nominálnom výkone. Takáto elektráreň by za rok vyprodukovala 3200 kW/h elektrickej energie za sumu 263,36 €. Pri uvažovanej životnosti 20 až 25 rokov by za svoju životnosť vyrobila elektrickú energiu za 5267,2 až 6584 €. Aby bola takáto elektráreň považovaná za návratnú investíciu, výkupná cena elektriny na Slovensku by musela byť na úrovni 0,1604 €/kWh. Realita je taká, že plánovaná maximálna výkupná cena elektrickej energie pre novo inštalované veterné elektrárne je podľa Ministerstva hospodárstva Slovenskej republiky len 0,08498 €/kWh [3].

VI. Záver

Spolu so všetkými vyššie uvedenými skutočnosťami treba brať do úvahy aj fakt, že vzhľadom na nastavenú výkupnú cenu elektrickej energie je pre väčšinu projektov veterných elektrární investícia nerentabilná, a počas životnosti sa nevráti. V momentálnej situácii dáva zmysel jedine spotreba vyrobenej elektrickej energie v mieste jej výroby alebo prípad, kedy nie je hlavnou prioritou návratnosť, ale skôr sa na projekt hľadí ako na zdroj bezemisnej elektrickej energie, ktorý môže dopomôcť k dosiahnutiu sebestačnosti, respektíve aspoň k jej priblíženiu. Záujem investorov o tento druh výroby elektrickej energie v poslednom období rastie. Ak by sa upravila cenová politika výkupu elektrickej energie a zjednodušila by sa byrokratická časť s rôznymi povoleniami, dá sa predpokladať, že záujem o veternú energiu by ešte viac vzrástol. To by znamenalo masívnejšie využívanie ďalšieho obnoviteľného zdroja na výrobu elektrickej energie na území Slovenska.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka Agentúre na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576, ďalej Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0757/21.

Zdroje

[1] Elektrárne. [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné na internete: <http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3_2.htm#3.2.3>.

[2] Kolcun, M., a kol., „*Elektrárne*“, 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2017. 202 s. ISBN 978-80-553-3119-5.

[3] „*Kvantifikácia reálne využiteľného potenciálu veternej energie na Slovensku*“, [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné na internete: <https://cepa.priateliazeme.sk/images/publikacie/EVS_vystupy/M08_navrh.pdf>.

[4] „*Prvá veľká veterná elektráreň má vyrásť na západnom Slovensku*“. In energie-portal.sk [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné na internete: <https://www.energie-portal.sk/Dokument/prva-velka-veterna-elektraren-ma-vyrast-na-zapadnom-slovensku-106722.aspx>.

[5] Andraško, E., „*Sebestačnosť elektroenergetiky Slovenska*“. Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2022.