

Ing. Karol Kósa

Vplyv veterných elektrární na podporné služby v podmienkach Slovenska

Článok sa zaoberá kvantifikáciou vplyvu veterných elektrární na jednotlivé druhy podporných služieb obstarávaných v rámci regulačnej oblasti Slovenska. Posudzovaný je vplyv na primárnu, sekundárnu a terciárnu reguláciu výkonu. V rámci posudzovania vplyvu na spomínané druhy podporných služieb je stanovený aj jeden z možných prístupov ako určovať hraničnú hodnotu inštalovaného výkonu veterných elektrární v regulačnej oblasti.

Kľúčové slová: Veterná elektrárňa, podporné služby, primárna regulácia výkonu, sekundárna regulácia výkonu, terciárna regulácia výkonu, inštalovaný výkon.

I. ÚVOD

V súčasnej dobe sme svedkami neustáleho rozmachu využívania veternej energie na výrobu elektriny. V rámci sveta tak dochádza k výraznému nárastu inštalovaného výkonu veterných elektrární (VTE). Rozvoj tohto druhu odvetia energetiky v rámci Európy je ovplyvnený viacerými faktormi. Jedným zo základných faktorov sú národné akčné plány pre energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov energie (OZE) jednotlivých členských štátov Európskej únie. V týchto plánoch sa členské štáty zaväzujú do roku 2020 zabezpečiť pokrývanie stanoveného podielu z celkovej hrubej domácej spotreby energie jej výrobou z OZE, čím sa zároveň dosiahne zredukovanie tvorby skleníkových plynov a úspora spotreby neobnoviteľných primárnych zdrojov. V národnom akčnom pláne Slovenska pre energiu vyrobenú z OZE sa okrem iného uvádza, že do roku 2020 sa Slovensko zaväzuje pokrývať celkovú hrubú domácu spotrebu elektriny 24% podielom elektriny vyrobenej z OZE. V rámci tohto podielu sa okrem iných OZE uvažuje aj s VTE, a to s celkovým inštalovaným výkonom 350 megawattov (MW) do roku 2020. Takáto hodnota inštalovaného výkonu VTE očakávaná do roku 2020 na území Slovenska je realistická, nakoľko sa hodnota reálne využiteľného potenciálu veternej energie, stanoveného ešte v roku 2002 a následne modifikovaného v roku 2007, pohybuje okolo hodnoty 1 200 gigawatthodín (GWh) za rok [1]. Takémuto energetickému potenciálu pri uvažovaní ročného využitia cca 2000 hodín zodpovedá inštalovaný výkon VTE 600 MW.

Vzhľadom na niektoré charakteristické vlastnosti VTE, ako sú napríklad veľká fluktuácia výroby a závislá lokalizácia veterných elektrární od poveternostných podmienok (väčšinou vzdialené od miesta spotreby), je potrebné ešte pred pripojením týchto zdrojov do sústavy vykonať analýzu ich vplyvu na elektrizačnú sústavu (ES) Slovenska. Ide hlavne o overenie vplyvu VTE na napäťové a výkonové pomery v ES SR, t.j. overenie dostatočnosti existujúcej infraštruktúry a o overenie dostatočnosti podporných služieb (PpS) v regulačnej oblasti Slovenska. Takýto prístup je potrebný z toho dôvodu, že každá ES sa vyznačuje inými špecifikami, ako sú skladba zdrojovej základne, poloha v rámci nadnárodne prepojených sústav, topológia, mohutnosť, saldo, diagramy zaťaženia a pod., ktoré je nutné zohľadniť. V mnohých krajinách s výrazným rozvojom VTE boli takéto analýzy vypracované a zo záverov týchto analýz vyplynuli odporúčania pre prevádzkovateľov ES ako aj pre prevádzkovateľov VTE.

Ako je už z doposiaľ vykonaných štúdií a analýz známe, VTE sú zdrojom elektriny, ktorých ovládanie nie je plne v rukách dispečerov, ale je silne závislé od okamžitých poveternostných pomerov. Z toho vyplýva, že vyrábaný výkon z VTE nie je stále k dispozícii podľa okamžitých potrieb ES. Tieto fluktuácie dodávaného výkonu môžu spôsobiť neočakávané situácie v ES, ktoré je potrebné v predstihu eliminovať. Fluktuácie vyrábaného výkonu rádovo stoviek MW môžu v sústave ako je ES Slovenska spôsobiť niektorým odberateľom závažné problémy s dodávkou elektriny požadovaných parametrov.

II. PODPORNÉ SLUŽBY A SPÔSOB URČOVANIA POTREBNÝCH OBJEMOV PODPORNÝCH SLUŽIEB

Podporné služby sú definované ako služby, prostredníctvom ktorých prevádzkovateľ prenosovej sústavy (PS) zabezpečuje jednotlivé druhy systémových služieb, ktoré sú nevyhnutné pre zabezpečenie prevádzkyschopnosti ES, kvality a spoľahlivosti dodávky elektriny z PS a obnovy synchronnej prevádzky pri rozpade ES v prípade poruchy.

Za stanovenie potrebného objemu jednotlivých druhov PpS na Slovensku zodpovedá v súčasnosti prevádzkovateľ PS. Tieto objemy stanovuje v súlade s dokumentom „Metodika stanovenia potrebných objemov jednotlivých druhov PpS“ [2], ktorý je uverejnený na jeho internetovej stránke. V tomto článku je očakávaný vplyv VTE na objemy jednotlivých druhov PpS v regulačnej oblasti SR posúdený vhodnou modifikáciou existujúcej metodiky. Takto upravenú metodiku by bolo možné použiť aj pre stanovenie potrebných rozsahov jednotlivých druhov PpS pre prípad integrácie VTE do ES Slovenska.

Pri stanovovaní potrebných rozsahov jednotlivých druhov PpS, sú vo všeobecnosti dôležitými východiskovými údajmi očakávané zaťaženie regulačnej oblasti, priebeh zaťaženia v sledovanom časovom úseku, hodnota inštalovaného výkonu zdrojov s veľkou fluktuáciou výroby (v našom prípade VTE, ale môžu to byť napr. aj fotovoltické elektrárne, a pod.), zmeny vyrábaného výkonu zdrojov s veľkou fluktuáciou výroby v rámci hodiny, minúty a sekundy, predikčné nástroje a štatistické údaje používané pri príprave prevádzky ES.

III. VPLYV VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ NA PRIMÁRNU REGULÁCIU VÝKONU

Úlohou primárnej regulácie výkonu je zabrániť vzniku neprípustnej odchýlky frekvencie v prepojenej elektrizačnej sústave v priebehu niekoľkých sekúnd [2]. Z podstaty primárnej regulácie výkonu vyplýva, že veľké odchýlky v bilancii medzi výrobou a spotrebou spôsobené výpadkom veľkých zdrojov sú kompenzované v rámci sekúnd. Pre zabezpečenie funkčnosti primárnej regulácie je potrebné držať v rámci prepojenej nadnárodnej siete ENTSO-E sumárnu výkonovú rezervu $\pm 3\,000$ MW [3].

Zmeny dodávaného výkonu všetkých VTE v prepojenej sústave v časovom rozsahu primárnej regulácie výkonu by teda mohli byť príčinou aktivácie primárnej regulačnej rezervy. Tieto zmeny môžu byť spôsobené výpadkom VTE alebo fluktuáciou rýchlosti a smeru vetra.

Vzhľadom k tomu, že výkon VTE nie je sústredený do jednej lokality, ale je rozložený na viaceré miesta, a že menovitý výkon jednotlivých veterných turbín je omnoho menší ako menovitý výkon konvenčných jednotiek, okamžitý výpadok výkonu VTE v časovom rozsahu pracujúcej primárnej regulácie výkonu je nemysliteľný. Taktiež, vzhľadom na veľký počet veterných turbín, sú zmeny dodávaného výkonu spôsobené fluktuáciou rýchlosti a smeru vetra v časovom rozsahu primárnej regulácie dostatočne vyhladené. Dokonca ani zmeny dodávaného výkonu v rámci veľkého veterného parku nie sú tak výrazné ako výpadky konvenčných jednotiek, a dokonca ani ako fluktuácie zaťaženia v časovom rozsahu pár sekúnd. Tento fakt je znázornený na nasledujúcom príklade.

Za predpokladu veľkej priemernej štandardnej odchýlky fluktuácie výkonu jednej veternej turbíny vypočítanej podľa vzťahu (1), je štandardná odchýlka všetkých n veterných turbín odhadnutá podľa vzťahu (2) [4]. Závislosť štandardnej odchýlky n veterných turbín od inštalovaného výkonu VTE a taktiež porovnanie tejto odchýlky so štandardnou odchýlkou zaťaženia ENTSO-E je znázornené na Obr. 1.

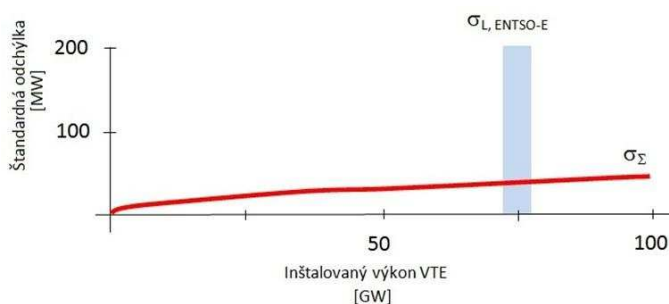
$$\sigma_i = 10\% \cdot P_n \quad (1)$$

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{n} \cdot \sigma_i \quad (2)$$

P_n je nominálny výkon veternej turbíny, v našom prípade 2 MW,

σ_i je štandardná odchýlka priemernej fluktuácie výkonu jednej veternej turbíny,

σ_Σ je štandardná odchýlka n veterných turbín.



Obr. 1. Závislosť štandardnej odchýlky n veterných turbín v časovom horizonte primárnej regulácie výkonu od celkového inštalovaného výkonu VTE.

Z Obr.1 je zrejmé, že σ_Σ je o jeden rád menšia ako štandardná odchýlka zaťaženia ENTSO-E $\sigma_{L, ENTSO-E}$ a dokonca o dva rády menšia ako v súčasnosti požadovaná primárna regulačná rezerva 3 000 MW. Preto nie je potrebné z dôvodu fluktuácie výroby VTE klásť zvýšené požiadavky na primárnu regulačnú rezervu v synchronne prepojenej ES.

Vyššie uvedené skutočnosti platia rovnako aj pre regulačnú oblasť Slovenska. To znamená, že fluktuácia výroby VTE v ES Slovenska nebude vyžadovať dodatočnú primárnu regulačnú rezervu pre regulačnú oblasť Slovenska. Primárna regulačná rezerva sa aj naďalej bude určovať na základe podielu netto vyrobenej elektriny v regulačnej oblasti Slovenska ku celkovej vyrobenej elektrine v rámci ENTSO-E. To znamená, že objem primárnej regulačnej rezervy pripadajúci na regulačnú oblasť Slovenska bude v období implementácie VTE do ES Slovenska jednoznačne závislý len od jednotlivých scenárov výroby elektriny na území Slovenska.

Najväčší dôraz sa teda bude klásť na dodatočné zabezpečenie sekundárnej a terciárnej regulácie činného výkonu, nakoľko výrazné zmeny vo výrobe väčšieho počtu VTE sa uskutočňujú v rámci minút a hodín.

IV. VPLYV VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ NA SEKUNDÁRNU REGULÁCIU VÝKONU

Každá regulačná oblasť v rámci synchronne prepojenej nadnárodnej sústavy ENTSO-E si v súčasnosti udržiava vlastnú sekundárnu regulačnú rezervu, ktorá je automaticky aktivovaná sekundárnym regulátorom činného výkonu. Hlavnou funkciou sekundárnej regulácie je udržiavanie vopred dohodnutých výmen elektriny [2]. Počas normálnej prevádzky ES musí byť odchýlka salda, spôsobená fluktuáciou zaťaženia alebo výpadkami zdrojov elektriny, vyregulovaná do 15 minút. U sekundárnej regulácii výkonu (SRV) nie je možné zanedbať zmeny vo výrobe VTE v porovnaní so zmenami zaťaženia tak, ako u primárnej regulácii výkonu. Táto skutočnosť bola potvrdená aj reálnymi meraniami v elektrizačnej sústave Dánska, kde je inštalovaných okolo 3500 MW vo VTE.

V súčasnosti sa výsledná hodnota sekundárnej regulácie výkonu v regulačnej oblasti Slovenska počíta podľa vzťahu (3) ako súčet minimálnej odporúčanej hodnoty ENTSO-E ($SRV_{ENTSO-E}$) a zložky, ktorá zohľadňuje dynamické zmeny zaťaženia ($SRV_{DYN,L}$). Hodnota výkonu je symetrická.

$$SRV_{VYS} = \pm (SRV_{ENTSO-E} + SRV_{DYN,L}) \quad (3)$$

VTE spôsobujú dodatočné fluktuácie vyrábaného výkonu v regulačnej oblasti. Tento nežiaduci jav má priamy dopad aj na zvýšenie potrebnej sekundárnej regulačnej rezervy. Viacero zahraničných systémových analýz preukázalo fakt, že po implementácii VTE sa dynamické výkyvy a gradient nárastu/poklesu nepokrytého zaťaženia zvýšili. Vzhľadom na poslanie sekundárnej regulácie výkonu, ktorej úlohou je vyrovnávať dynamickú nerovnováhu medzi naprogramovanou výrobou a očakávaným zaťažením a tým dodržiavať plánom stanovené saldo regulačnej oblasti, bude potrebné zaviesť do výpočtu potrebného objemu SRV ďalšiu zložku sekundárnej regulačnej rezervy - $SRV_{DYN,VTE}$.

Dodatočné zložky sekundárnej regulačnej rezervy ($SRV_{DYN,L}$ a $SRV_{DYN,VTE}$) zohľadňujú fluktuácie zaťaženia a výroby VTE. Nakoľko medzi spomínanými zložkami neexistuje priamy súdobý vzťah a ani závislosť, nie je možné ich priamo aritmeticky sčítať.

Aritmetickým sčítaním by sa neúmerne zvýšila hodnota celkovej sekundárnej regulačnej rezervy. Jedným zo spôsobov, ako tieto dve navzájom nekorelujúce zložky zohľadniť, je použitie funkcie, ktorá vypočíta geometrický priemer hodnôt. Výsledná hodnota sekundárnej regulačnej rezervy je symetrická a vypočíta sa podľa vzťahu (4).

$$SRV_{VYS\ S\ VTE} = \pm (SRV_{ENTSO-E} + \sqrt{SRV_{DYN,L}^2 + SRV_{DYN,VE}^2}) \quad (4)$$

$SRV_{DYN,VE}$ je pre ES Slovenska možné určiť podobným spôsobom, ako je v súčasnosti určovaná $SRV_{DYN,L}$. Jediným, ale zásadným rozdielom je to, že pre určenie $SRV_{DYN,L}$ je možné využiť poznatky zo štatistických záznamov z minulých rokov. Pre určenie $SRV_{DYN,VE}$ pre ES Slovenska neexistujú žiadne štatistické záznamy, ktoré by boli vhodné pre tento účel. Preto je možné $SRV_{DYN,VE}$ určiť na základe určitých prijatých predpokladov a zjednodušení podľa vzťahu (5).

$$SRV_{DYN,VE} = \frac{R_\Phi}{2} + \sigma \quad (5)$$

σ je smerodajná odchýlka,

R_Φ je aritmetický priemer 10 minútových rozdielov maximálneho a minimálneho celkového výkonu VTE za celé uvažované obdobie. Vypočíta sa podľa vzťahu (6).

$$R_\Phi = \sum_i^n \frac{(MAX_{10min} - MIN_{10min})}{n} \quad (6)$$

MAX_{10min} je maximálna výroba v i-tom intervale,

MIN_{10min} je minimálna výroba v i-tom intervale,

n je počet sledovaných 10 minútových intervalov.

Smerodajná odchýlka σ opisuje šírku chyby, v rozsahu ktorej sa nasledujúca hodnota nachádza s veľkou pravdepodobnosťou. Vypočíta sa podľa vzťahu (7).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_\Phi)^2}{n-1}} \quad (7)$$

R_i je rozdiel maximálnej a minimálnej výroby na i-tom intervale,

n je počet sledovaných 10 minútových intervalov.

Základom pre kvantifikáciu zložky $SRV_{DYN,VE}$ je hodinová vzorka predpokladaného priebehu sumárneho vyrábaného výkonu VTE na Slovensku. Vzorky je možné zostrojiť prostredníctvom generátora náhodných čísel pri rešpektovaní dvoch vstupných podmienok. Prvou podmienkou je maximálna povolená zmena vyrábaného výkonu za 1 minútu a druhou podmienkou je povolená zmena vyrábaného výkonu VTE za 1 hodinu. Druhá podmienka je sledovaná trendovou čiarou, ktorá je zostrojená lineárnou regresiou cez body, ktoré vygeneroval generátor náhodných čísel pri rešpektovaní prvej podmienky.

Po vyhodnotení takto zostrojených hodinových vzoriek vyrábaného výkonu VTE pre rôzne hodnoty sumárneho inštalovaného výkonu VTE je možné konštatovať, že zložka $SRV_{DYN,VE}$ predstavuje cca 15% zo sumárneho inštalovaného výkonu VTE. Zohľadnením zložky $SRV_{DYN,VE}$ v celkovej dynamickej zložke SRV bude dochádzať pri uvažovaní $SRV_{DYN,L} = 30$ MW k percentuálnemu nárastu potrebného objemu sekundárnej regulačnej rezervy podľa TABULKY I.

TABULKA I

Prírastky sekundárnej regulačnej rezervy pre jednotlivé varianty inštalovaného výkonu VTE

$SRV_{DYN,L}$ (MW)	30					
P_{inst} (MW)	100	200	300	400	500	600
$SRV_{DYN,VE}$ (MW)	15,3	31,2	45,8	59,9	74,6	88,8
$SRV_{DYN,VE}$ (% z P_{inst})	15,3	15,6	15,3	15,0	14,9	14,8
$SRV_{DYN,VE}$ (MW)	33,7	43,3	54,8	67,0	80,4	93,7
Prírastok SRV (MW)	3,7	13,3	24,8	37,0	50,4	63,7
Prírastok SRV (% z P_{inst} , VTE)	3,7	6,7	8,3	9,2	10,1	10,6

V. VPLYV VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ NA TERCIÁRNU REGULÁCIU VÝKONU

Charakter terciárnej regulácie výkonu (TRV) je iný ako charakter sekundárnej regulácie. Kým sekundárna regulácia vyrovnáva dynamickú nerovnováhu medzi naprogramovanou výrobou a očakávaným zaťažením, terciárna regulácia vyrovnáva nedostatky/chyby v programe výroby vyvolané väčšími nepresnosťami v odhade zaťaženia a výpadkami zdrojov [2].

Za terciárnu reguláciu činného výkonu sa považuje každá požadovaná manuálna alebo automatická zmena činného výkonu elektroenergetických zariadení za účelom presunu ich pracovných bodov, s cieľom zaručiť dostatočnú rezervu pre SRV, ktorá zodpovedá potrebe z hľadiska veľkosti v danom čase. Požadovaná manuálna alebo automatická zmena činného výkonu sa môže uskutočniť pripojením, odpojením alebo zmenou činného výkonu zariadení poskytujúcich PpS, zmenou programu salda medzi účastníkmi prepojenej sústavy alebo riadením odberu spotreby elektriny u odberateľov. Teda na rozdiel od SRV môžu do TRV prispievať aj odberatelia, ktorí dokážu svojou činnosťou znižovať resp. zvyšovať svoje zaťaženie tak, aby zodpovedalo aktuálnym potrebám sústavy.

Potrebná výkonová rezerva pre zabezpečenie TRV môže byť na rozdiel od SRV rôzna pre obidva regulačné smery a preto ju delíme na:

- rezerva terciárnej regulácie výkonu kladná,
- rezerva terciárnej regulácie výkonu záporná.

Rezervovaný výkon držaný v rámci TRV je v súčasnosti rozdelený do troch, od seba nezávislých, časových kategórií. Podľa toho rozlišujeme nasledovné druhy TRV:

- 3 minútová TRV (TRV3MIN+, TRV3MIN-)
- 30 minútová TRV (TRV30MIN+, TRV30MIN-)
- 120 minútová TRV (TRV120MIN)

Každý z uvedených druhov TRV slúži k vyrovnávaniu rôznych druhov nepresností a neočakávaných udalostí, ktoré neboli zohľadnené pri zostavovaní prípravy prevádzky ES Slovenska na konkrétne obdobie.

Najčastejšou príčinou aktivácie TRV3MIN+ je výpadok prevádzkovaného bloku spôsobený poruchou. Z toho vyplýva, že sa táto hodnota stanovuje pri uvažovaní možnosti výpadku najväčšieho prevádzkovaného bloku v regulačnej oblasti.

Príčinou aktivácie TRV3MIN- je výpadok odberu spôsobený poruchou. Z toho vyplýva, že sa táto hodnota stanovuje pri uvažovaní možnosti výpadku najväčšieho odberu v regulačnej oblasti.

Na základe vyššie uvedených vzťahov pre výpočet TRV3MIN+ a TRV3MIN- je zjavné, že implementácia VTE do ES Slovenska

nebude mať vplyv na zmenu objemu rezervovaného výkonu pre tento druh TRV v kladnom ani v zápornom smere.

Najčastejšími príčinami aktivácie TRV30MIN sú v súčasnosti:

- nepresnosť odhadu zaťaženia a vplyv teploty,
- náhodná zmena zaťaženia,
- náhrada SRV po výpadku zariadenia na výrobu elektriny – platí len pre TRV30MIN+,
- vyrovnanie vplyvu obchodu s elektrinou.

Pri uvažovaní výroby VTE so záporným znamienkom je možné túto výrobu priamo pripočítať k zaťaženiu ako jej dodatočnú zložku, čím sa v zaťažení zohľadní dodatočná fluktuácia VTE. Vzhľadom k tomu, že sa u TRV30MIN v súčasnosti zohľadňuje nepresnosť odhadu zaťaženia a náhodná zmena zaťaženia, bude vplyv implementácie VTE do ES Slovenska zohľadnený práve u tohto druhu TRV.

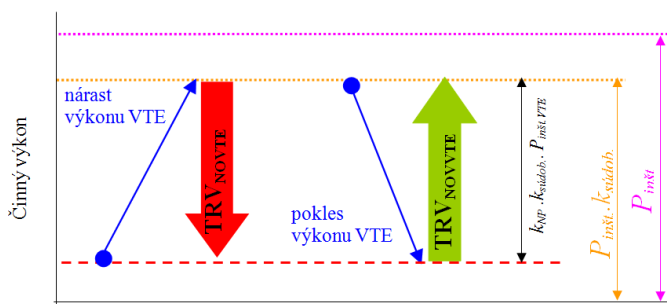
Pri výpočte celkového potrebného objemu regulačného výkonu pre TRV30MIN bude potrebné zahrnúť aj príčinu aktivácie TRV30MIN spôsobenú prevádzkou VTE. Touto príčinou aktivácie TRV30MIN je bez pochyb nepresnosť odhadu výroby VTE, ktorá zahŕňa aj prípadné náhodné zmeny výroby VTE spôsobené poveternostnými výkyvmi.

Aj pri vysoko sofistikovaných metódach určovania predpovede počasia a následného odvodenia predpovede výroby VTE nie je možné vylúčiť situácie, kedy sa skutočná výroba VTE môže líšiť od jej predpovede až o takmer 100% tak v kladnom, ako i zápornom smere. Túto skutočnosť je možné zohľadniť dodatočnou zložkou TRV_{NOVVTE} , vypočítanou podľa vzťahu (8).

$$TRV_{NOVVTE} = k_{NP} \cdot k_{súdob.} \cdot P_{inšt.VTE} \quad (8)$$

k_{NP} je koeficient nepresnosti predpovede výroby VTE, $k_{súdob.}$ je koeficient zohľadňujúci súdobosť výroby VTE, nakoľko ide o rozptýlený zdroj elektriny a poveternostné podmienky nie sú rovnaké vo všetkých miestach, kde sú inštalované VTE, $P_{inšt.VTE}$ je hodnota sumárneho inštalovaného výkonu VTE v regulačnej oblasti v MW.

Grafická interpretácia dodatočnej zložky TRV_{NOVVTE} , ktorá zohľadňuje nepresnosť odhadu výroby VTE, je zobrazená na Obr. 2.



Obr. 2. Interpretácia terciárnej zložky TRV_{NOVVTE} vyvolanej prevádzkou VTE pri zohľadnení koeficientu nepresnosti predpovede a koeficientu súdobosti výroby VTE.

Vzhľadom na nepredvídateľné fluktuácie výroby VTE, ktoré sa môžu vyskytovať v ľubovoľnom časovom okamihu a nezávisle od zmien zaťaženia, je potrebné k doteraz uvažovanej TRV30MIN bez vplyvu VTE aritmeticky pripočítať TRV_{NOVVTE} . Potom sa celkové objemy regulačného výkonu pre TRV30MIN vypočítajú nasledovne:

Pre kladný smer:

$$TRV30MIN_{sVTE}^+ = TRV30MIN_{bezVTE}^+ + TRV_{NOVVTE} \quad (9)$$

Pre záporný smer:

$$TRV30MIN_{sVTE}^- = TRV30MIN_{bezVTE}^- + TRV_{NOVVTE} \quad (10)$$

Využívanie energie vetra na výrobu elektriny na území Slovenska bolo doposiaľ zanedbateľné. Z toho vyplýva, že v súčasnosti nie sú k dispozícii praktické skúsenosti z prevádzkovania väčšieho množstva VTE na území Slovenska. Z tohto dôvodu by mal prevádzkovateľ PS SR, ktorý je podľa súčasnej legislatívy zodpovedný za udržiavanie rovnováhy medzi výrobou a spotrebou v každom okamihu v reálnom čase, pristupovať k tejto záležitosti spočiatku opatrne a viac konzervatívne. To znamená, že pri stanovovaní dodatočného objemu regulačného výkonu pre TRV30MIN by mali byť koeficienty k_{NP} a $k_{súdob.}$ spočiatku nastavované opatrnejšie, t.j. ich hodnoty by sa mali pohybovať v rozsahu 0,9 až 1. Odhliadnuc od nedostatku štatistických údajov s prevádzkou VTE v regulačnej oblasti SR je takýto opatrný prístup zvolený z toho dôvodu, aby prevádzkovateľ PS Slovenska vedel v každom okamihu, aj po implementácii VTE, garantovať prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť ES Slovenska.

Na základe uvedeného je pri uvažovaní koeficientu súdobosti $k_{súdob.} = 0,9$ a koeficientu nepresnosti predpovede $k_{NP} = 0,9$ pri jednotlivých prešetrovaných variantoch inštalovaného výkonu VTE potrebné pre TRV30MIN zabezpečiť dodatočný regulačný výkon vo výške 81% zo sumárneho inštalovaného výkonu VTE, viď TABUĽKA II.

TABUĽKA II

Dodatočné hodnoty TRV30MIN pre rôzne hodnoty inštalovaného výkonu VTE pri $k_{NP} = 0,9$ a $k_{súdob.} = 0,9$

$P_{inšt.VTE}$ (MW)	100	200	300	400	500	600
TRV_{NOVVTE} (MW)	81	162	243	324	405	486

Najčastejšou príčinou aktivácie TRV120MIN je napr. pokrytie zaťaženia v prípade veľkých chýb pri predpovedi zaťaženia, príp. nárast zaťaženia odberateľov neuvažovaných pri príprave prevádzky, pripojenie ostrovných častí, výpadok závodných elektrární.

Hodnota TRV120MIN sa určuje len pre kladný smer, t.j. ako kladná regulačná energia a je zaokrúhľovaná na celé desiatky smerom nadol [2].

Na základe vyššie uvedených príčin aktivácie TRV120MIN sa dá predpokladať, že po integrácii VTE do ES Slovenska dôjde k navýšeniu aj tohto druhu TRV. Nakoľko sa TRV120MIN stanovuje na základe dlhodobých štatistík, tak dodatočný objem pre TRV120MIN bude možné stanoviť až po vyhodnotení viacročnej prevádzky VTE.

Inicializačná hodnota dodatočného objemu pre TRV120MIN by preto mohla byť stanovená ako 10% z celkového inštalovaného výkonu VTE.

$$TRV120MIN = 0,03 \cdot L_{max.rok} + 0,1 \cdot P_{inšt.VTE} \quad (12)$$

Takýmto prístupom by bolo v prípade neočakávaného výpadku výroby VTE k dispozícii až 90% z celkového inštalovaného výkonu VTE (cca 80% v rámci TRV30MIN+ a 10% v rámci TRV120MIN). V prípade VTE je 90% krytie výpadku ich výroby postačujúce, nakoľko je veľmi malá pravdepodobnosť súčasného dosiahnutia inštalovaného výkonu u všetkých VTE.

VI. ROZHODUJÚCI UKAZOVATEĽ PRE STANOVENIE INŠTALOVANÉHO VÝKONU VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Existuje viacero názorov, že je možné obstaráť kladnú aj zápornú terciárnu regulačnú rezervu aj nákupom zo zahraničia z iných regulačných oblastí. Limitom pre zabezpečovanie PpS zo susedných regulačných oblastí je však dostupnosť prenosovej kapacity na konkrétnych cezhraničných profiloch. Takéto zabezpečovanie PpS je navyše spojené so značnou neurčitou, nakoľko nie je garantované, že aj v ďalších obdobiach sa podarí obchodne zabezpečiť PpS zo zahraničia. V súčasnosti je na prevádzkovateľov PS vyvíjaný nesmierny tlak, aby čo najrýchlejšie odstránili úzke miesta v PS a umožnili tak účastníkom trhu realizovať svoje obchodné zámery. Vytváranie bezpečnostných rezerv na profiloch pre zabezpečovanie PpS zo zahraničia je teda práve z pohľadu tlaku na odstraňovanie úzkych miest obmedzujúcich cezhraničnú výmenu elektriny nesprávnym prístupom prevádzkovateľa PS. Preto by mal byť každý prevádzkovateľ PS z pohľadu PpS schopný zabezpečiť ich potrebné objemy predovšetkým vo vlastnej regulačnej oblasti.

Určujúcim obdobím pre stanovenie maximálneho inštalovaného výkonu VTE pre regulačnú oblasť Slovenska bude obdobie letného minima, kedy je zaťaženie ES najnižšie a teda aj bázové body zdrojov elektriny sú znížené. Všeobecne je v letnom období nižší dopyt po elektrine, čo má priamy dopad na zmenu skladby prevádzkovaných zdrojov elektriny v letnom období. V prevádzke sú hlavne tie zdroje, ktorých výrobná cena je najnižšia. Sú to hlavne vodné, jadrové a niektoré typy tepelných elektrární. Nakoľko sú v letnom období vo väčšine prípadov znížené bázové body výrobných blokov, tak dochádza k znižovaniu regulačného rozsahu v zápornom smere pre jednotlivé druhy PpS.

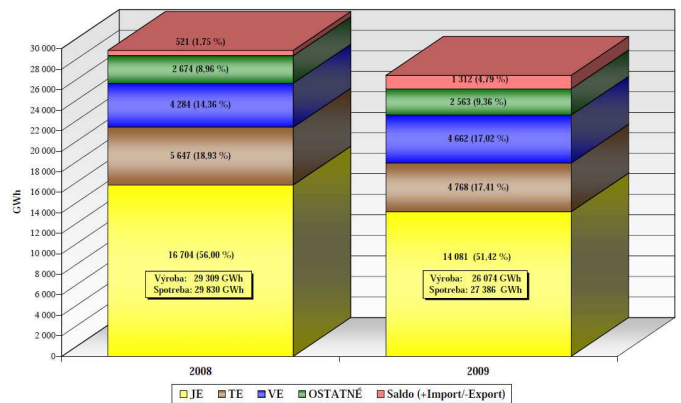
Jednou zo základných povinností prevádzkovateľa PS je zabezpečenie prevádzkovej bezpečnosti ES v každom okamihu a pre každý prevádzkový režim, v ktorom sa sústava môže nachádzať, teda aj pre obdobie letného minima. Vzhľadom na túto skutočnosť je nevyhnutné, aby bola spočiatku po implementácii VTE do ES Slovenska navýšená kladná aj záporná TRV30MIN o cca 80 % zo sumárneho inštalovaného výkonu VTE. TRV30MIN nie je časovo obmedzená a ponúkaný činný výkon je k dispozícii počas celého zmluvne dohodnutého obdobia.

Určujúcou podmienkou pre stanovenie maximálneho inštalovaného výkonu VTE bude na základe vyššie uvedení skutočností hodnota dostupnej dodatočnej TRV30MIN- vyvolanej prevádzkou VTE, ktorú bude možné zaobstaráť v regulačnej oblasti SR.

Charakteristickým znakom pre regulačnú oblasť Slovenska je, že jadrové elektrárne majú približne 50 až 56% podiel na ročnej výrobe elektriny, vid' Obr. 3.

Takáto bilancia výroby je z pohľadu implementácie zdrojov elektriny s veľkou fluktuáciou výroby (VTE, fotovoltaické elektrárne) nie príliš priaznivá, nakoľko sú regulačné schopnosti takejto regulačnej oblasti výrazne obmedzené. Ďalším dôležitým faktom je, že elektrina vyrobená z VTE (a z ostatných druhov OZE) je

uprednostňovaná prostredníctvom povinného výkupu zo strany prevádzkovateľa sústavy pred ostatnými zdrojmi elektriny [5].



Obr. 3 Podiel zdrojov na ročnej brutto výrobe elektriny.

Regulácia, prípadne odpájanie veľkých jadrových blokov je vzhľadom na používanú technológiu jadrových blokov, charakter ich vyžívania a nastavenej ekonomiky prevádzkovania blokov počas ich životnosti neefektívna. Taktiež regulácia vodných elektrární na úkor vyrobenej elektriny z VTE nie je veľkým prínosom pre regulačnú oblasť, nakoľko aj vodné elektrárne patria do veľkej rodiny obnoviteľných zdrojov elektriny. Ak by tomu tak bolo, potom by sme si museli položiť otázku: „Ktorý zdroj elektriny - veterný alebo vodný je viac obnoviteľným zdrojom elektriny?“. Ďalším typom zdroja elektriny, ktorý je možné regulovať, resp. odpájať od sústavy podľa aktuálnej výroby VTE, sú tepelné elektrárne. Tieto elektrárne sú však na druhej strane výraznými poskytovateľmi PpS, ktoré sú pre chod ES nevyhnutnou súčasťou. Preto pri stanovení hraničnej hodnoty inštalovaného výkonu VTE bude potrebné vychádzať z existujúcej zdrojovej základe, prípadne i z novo avizovaných regulačných zdrojov elektriny, ktoré budú s veľkou pravdepodobnosťou do 5 rokov postavené.

Rozhodujúcim ukazovateľom pre stanovenie inštalovaného výkonu VTE je teda hodnota terciárnej zložky TRV_{NOVVET} u TRV_{30MIN-} , ktorú je možné v rámci regulačnej oblasti Slovenska zaobstaráť. Zložka TRV_{NOVVET} bola na základe vyššie uvedenej analýzy stanovená pri $k_{súdob.} = 0,9$ a $k_{NP} = 0,9$ na hodnotu podľa vzťahu (13).

$$TRV_{NOVVET} = 0,81 \cdot P_{inšt.VTE} \quad (13)$$

Po vykonaní prieskumu schopnosti regulačnej oblasti Slovenska fyzicky poskytnúť dodatočný regulačný výkon o hodnote TRV_{NOVVET} v rámci TRV_{30MIN-} , je možné na základe predchádzajúcej rovnice jednoducho určiť hraničnú hodnotu inštalovaného výkonu VTE podľa vzťahu (14).

$$P_{inšt.VTE} = \frac{TRV_{NOVVET}}{0,81} \quad (14)$$

Optimalizácia stanoveného podielu VTE je možná, a to najmä upresňovaním hodnôt koeficientov k_{NP} a $k_{súdob.}$ na základe štatistických údajov získaných z viacročnej prevádzky VTE v ES Slovenska. Avšak aj po optimalizácii stanoveného podielu VTE je

nevyhnutné, aby bola naďalej dodržaná základná podmienka prevádzkovej bezpečnosti ES Slovenska, a to je jej regulovateľnosť.

ZÁVER

VTE patria medzi pomerne nové zdroje elektriny, pri ktorých dochádza k neustálemu a rýchlemu vývoju technológie. Ich hlavnou nevýhodou však je nestálosť primárneho zdroja, ktorý u nich výrazne ovplyvňuje výrobu elektriny. Z tohto dôvodu vznikajú oprávnené obavy z integrácie VTE hlavne u prevádzkovateľov PS, ktorí sú zodpovední za riadenie ES v reálnom čase a za udržiavanie vyrovnanej bilancie medzi výrobou a spotrebou v každom okamihu.

Nakoľko prevádzkovatelia PS a distribučných sústav (DS) v regulačnej oblasti Slovenska nemajú doposiaľ s prevádzkovaním VTE praktické skúsenosti, je potrebné, aby spočiatku pristupovali k predmetnej problematike opatrnejšie. Až po vyhodnotení viacročnej prevádzky VTE bude môcť byť vykonaná korekcia nastavenia počiatočných parametrov, prostredníctvom ktorých prevádzkovatelia PS a DS zabezpečujú prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť svojich sústav.

Najzávažnejším problémom VTE je ich fluktuácia výroby, čo vyvoláva potrebu zabezpečenia dodatočného objemu jednotlivých druhov PpS na elimináciu týchto fluktuácií. V prípade, že sa v budúcnosti nebude pristupovať k VTE tak ako k ostatným zdrojom elektriny, t.j. výroba VTE nebude regulovaná podľa potrieb ES, tak do ES Slovenska bude môcť byť pripojených len toľko VTE, koľko bude prevádzkovateľ PS v každom okamihu počas roka schopný bezpečne vyregulovať.

Vzhľadom na skutočnosť, že už v súčasnosti prevádzkovatelia PS a DS evidujú na Slovensku pomerne značný záujem o výstavbu fotovoltaických elektrární s celkovým inštalovaným výkonom rádovo v stovkách MW, je nevyhnutné, aby bol vplyv VTE na ES Slovenska posudzovaný spolu s vplyvom fotovoltaických elektrární. Nakoľko sú možnosti využívania veterného a slnečného potenciálu na území Slovenska obmedzené bude nevyhnutné, aby bol v budúcnosti medzi VTE a fotovoltaickými elektrárnami zvolený rozumný pomer pre čo možno najefektívnejšie využitie hraničného inštalovaného výkonu týchto zdrojov elektriny s veľkou fluktuáciou výroby.

Pre potvrdenie takéhoto prístupu bude musieť byť v budúcnosti spracovaná komplexná štúdia vplyvu s využitím údajov z niekoľkoročnej prevádzky všetkých dovtedy inštalovaných VTE a fotovoltaických elektrární, v ktorej bude posúdený spoločný vplyv VTE a fotovoltaických elektrární na ES Slovenska. Až na základe výsledkov takejto štúdie bude môcť byť stanovený optimálny pomer

medzi inštalovaným výkonom VTE a fotovoltaických elektrární v rámci spoločnej hraničnej hodnoty inštalovaného výkonu zdrojov s veľkou fluktuáciou výroby.

Dôležitým technickým faktorom, ktorý aj v budúcnosti bude výrazným spôsobom limitovať tieto zdroje, je dostupnosť jednotlivých druhov PpS. Nie je vylúčené, že vplyvom silne presadzovaných OZE dôjde v budúcnosti ku zmene obstarávania PpS alebo ku zmene štruktúry poskytovaných PpS, čo môže mať zásadný vplyv na prehodnotenie spoločnej hraničnej hodnoty inštalovaného výkonu OZE s veľkou fluktuáciou výroby elektriny.

Ďalšie zvyšovanie hodnoty hraničného inštalovaného výkonu OZE s veľkou fluktuáciou výroby v budúcnosti bude závisieť hlavne od výsledkov výskumnej činnosti v oblasti začleňovania OZE medzi zdroje poskytujúce PpS a v oblasti efektívneho skladovania elektriny vyrobenej z OZE.

LITERATÚRA

- [1] www.mhvsr.sk: Stratégia vyššieho využitia OZE.
- [2] www.sepsas.sk: Technické podmienky prístupu a pripojenia, pravidiel prevádzkovania prenosovej sústavy, Dokument F - Metodiky.
- [3] www.entsoe.eu: UCTE Operational handbook.
- [4] GUNDOLF, D.: Power Reserve in Interconnected Systems with High Wind Power production, Porto Power Tech Conference, September 2001.
- [5] Zákon o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [6] Zákon o energetike a o zmene niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
- [7] PARSONS, B., K., WAN, Y., KIRBY, B.: Wind Farm Power Fluctuations, Ancillary Services, and System Operating Impact Analysis Activities in the United States, NREL, July 2001.
- [8] *Modeling and Dynamic Behavior of Wind Generation as It Relates to Power System Control and Dynamic Performance*, Cigre Working Group C4.601, August 2007, ISBN: 978-2-85873-016-2.
- [9] JANÍČEK, F. a kol.: Model trhu s elektrinou, Technické aspekty výroby, prenosu a distribúcie elektriny v Slovenskej republike, STU v Bratislave, 2009, ISBN 978-80-89402-11-3.
- [10] KOLCUN, M., GRIGER, V., BEŇA, L. a kol.: Prevádzka elektrizačnej sústavy, Technická univerzita v Košiciach, 2007, ISBN 978-80-8073-837-2.
- [11] ERIKSEN, P., B., ORTHS, A. G.: The Challenges and Solutions of Increasing from 20 to 50 Percent of Wind Energy Coverage in the Danish Power System until 2020, 7th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems, Madrid, Spain, 2008.

ADRESY AUTOROV

Ing. Karol Kósa, Bratislavská 700/1, Most pri Bratislave, SK 900 46, Slovenská Republika, kosa_karol@post.sk