

Vplyv pripojenia nového zdroja energie na vybrané ukazovatele v elektrickej sieti

¹Daniel PÁL, ²Lubomír BEŇA, ³Jakub URBANSKÝ

^{1,2,3} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

¹daniel.pal@tuke.sk, ²lubomir.bena@tuke.sk, ³jakub.urbansky@tuke.sk

Abstrakt — Článok sa zaoberá témou pripojiteľnosti obnoviteľných zdrojov elektrickej energie a vyšetruje, aké vplyvy majú na existujúcu sieť. Objasňuje, ako sa menia kľúčové parametre elektrickej siete ako napätia a straty, ak sú do nej pripojené nové zdroje s nepredikovateľnou výrobou. To je v súčasnosti veľmi aktuálna téma, s ohľadom na neustály nárast dopytu po elektrickej energii. Rozšírenie výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov má vplyv na existujúcu elektrickú sieť. Vzniká potreba neustále identifikovať, či sú tieto vplyvy pozitívne alebo negatívne. Prvá časť článku je venovaná téme obnoviteľných zdrojov energie a popisuje, ako narastali celosvetovo inštalované výkony obnoviteľných zdrojov od roku 2010. Nasledujúca časť opisuje model siete, na ktorej bola realizovaná simulácia. Záverečná časť vyhodnocuje výsledok simulácie, zmenu strát a napätia v sieti.

Kľúčové slová — obnoviteľné zdroje energie, simulácia, straty.

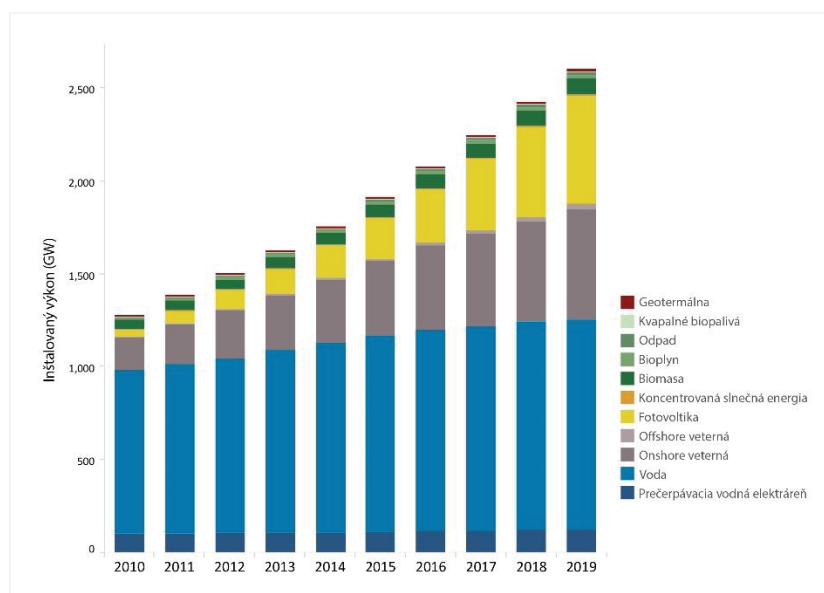
I. ÚVOD

Európska únia (EÚ) kladie v posledných rokoch veľký dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE) oproti konvenčným zdrojom. EÚ sa zaviazala do konca roku 2020, pokryť 20 % z konečnej spotreby energie pomocou OZE. Na rok 2030 sa zaviazala EÚ pokrývať až 32 % konečnej spotreby z OZE. V roku 2023 sa bude daný cieľ prehodnocovať, avšak jedine na ešte vyššiu hodnotu s ohľadom na ratifikáciu Parížskej dohody [1][2][3].

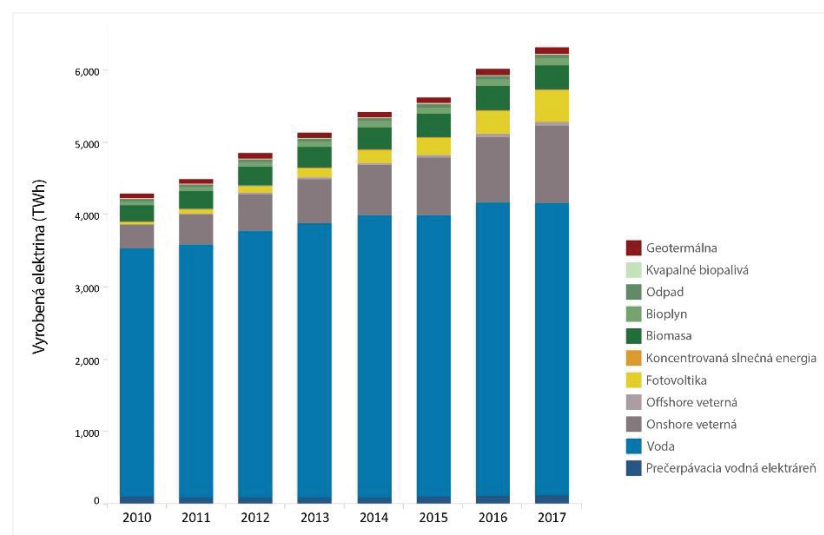
Medzi najčastejšie využívané OZE patrí:

- slnečná energia,
- veterná energia,
- vodná energia,
- geotermálna energia,
- biomasa.

Zvyšovanie celosvetového inštalovaného výkonu a množstvo vyrobenej elektrickej energie z OZE od roku 2010 znázorňuje Obr. 1 a Obr. 2. Obrovský nárast OZE vyžaduje to, aby sa elektrická sieť stala flexibilnejšou a dokázala reagovať na variabilitu a neistotu prevádzkových podmienok v rôznych časových rámcoch. Na Obr. 1 je možné vidieť, že sa inštalovaný výkon OZE na svete od roku 2010 každým rokom zvyšuje v priemere o 150 až 250 GW. Obr. 2 znázorňuje elektrickú energiu vyrobenú z OZE, ktorá sa s ohľadom na ročný prírastok inštalácií logicky taktiež zväčšuje.



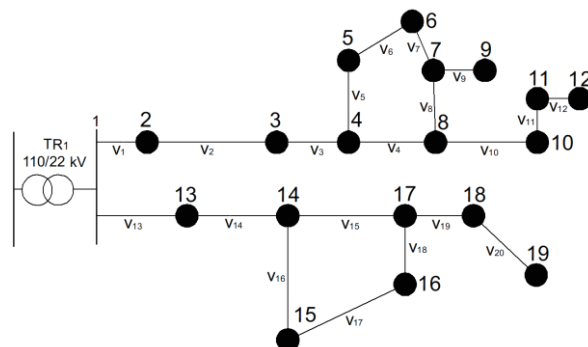
Obr. 1 Inštalovaný výkon obnoviteľných zdrojov energie (OZE) vo svete [4]



Obr. 2 Výroba elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie (OZE) vo svete [4]

II. VYŠETROVANÝ PŘÍKLAD

Vyšetrovaná sieť je zobrazená na Obr. 3. Sieť je napájaná z jedného bodu (transformátor TR₁ 110/22 kV). Najhorší stav nastane v prípade poruchy na vedení č. 1 alebo č. 13, kedy dochádza k úplnému zastaveniu dodávky do zvyšných častí siete. To možno označiť za najväčšiu nevýhodu topológie danej siete. Napríklad v prípade výpadku vedenia č. 10 ostanú bez dodávky len uzly č. 10, č. 11 a č. 12. Výpadok vedenia č. 10 nebude mať vplyv na zvyšnú časť siete s výnimkou vyššie spomenutých uzlov.



Obr. 3 Vyšetrovaná sieť

Parametre vetiev a uzlov sú uvedené v Tab. 1 a Tab. 2.

Tabuľka 1
 Parametre vetiev

Číslo vetvy	Rezistencia (Ω)	Indukčná reaktancia (Ω)	Číslo vetvy	Rezistencia (Ω)	Indukčná reaktancia (Ω)
1.	0,148	0,134	11.	2,037	0,769
2.	0,923	0,835	12.	2,425	0,915
3.	0,738	0,668	13.	0,886	0,802
4.	0,886	0,802	14.	0,959	0,868
5.	1,002	0,690	15.	1,033	0,935
6.	1,164	0,439	16.	2,004	1,380
7.	1,455	0,549	17.	1,940	0,732
8.	1,002	0,690	18.	1,202	0,828
9.	1,940	0,732	19.	1,455	0,549
10.	1,202	0,828	20.	2,425	0,915

Tabuľka 2
 Parametre uzlov

Číslo uzla	Odoberaný činný výkon v kW	Odoberaný jalový výkon v kVAr	Číslo uzla	Odoberaný činný výkon v kW	Odoberaný jalový výkon v kVAr
1.	0	0	11.	700	140
2.	2500	600	12.	1700	350
3.	1800	400	13.	2500	600
4.	2000	500	14.	2700	600
5.	500	400	15.	1500	350
6.	2000	500	16.	300	0
7.	500	300	17.	1000	200
8.	1000	200	18.	1500	350
9.	1000	0	19.	1300	300
10.	1000	200			

III. VYŠETROVANÉ PRÍPADY

Pri zvyšovaní inštalovaného výkonu z OZE dochádza k decentralizácii výroby elektrickej energie s ohľadom na výrobu v miestach spotreby (napr. malé inštalácie na rodinných domoch, administratívnych budovách, malé fotovoltické parky a pod.). Tento príspevok vyšetroje vplyv decentralizovanej výroby na vybrané ukazovatele v sieti. Ukazovatele, ktoré boli vyšetrované v príspevku boli napätia v uzloch a celkové činné a jalové straty, ktoré vznikajú pri prevádzke siete.

Úlohou tohto príspevku je preskúmať zmenu napätí v uzloch a celkové činné a jalové straty, v prípade pripojenia OZE do jednotlivých uzlov. Na pripojenie OZE boli vybrané uzly č. 7 a č. 16. Dôvodom výberu daných uzlov bolo optimálne umiestnenie OZE s ohľadom na zlepšenie parametrov celej siete. V prípade umiestnenia na začiatku by sa parametre na konci vedenia zlepšili len minimálne. Z dôvodu topológie siete napätie smerom na koniec vedenia vždy klesne z hodnoty, ktorá bola na začiatku.

V simulácii bol uvažované, že do uzla č. 7 je možné pripojiť len taký OZE, ktorý buď dodáva do siete iba činný výkon s výkonom 1,5 MW, buď dodáva do siete iba jalový výkon s výkonom 0,8 MVar alebo dochádza k ich kombinácii (napr. fotovoltický panel v kombinácii s vhodným striedačom, ktorý dokáže dodávať aj jalový výkon). V uzle č. 16 bol predpoklad pripojenia zdroja, ktorý vyrába iba činný výkon s hodnotou 1,3 MW.

S ohľadom na pripojenie vyššie spomenutých zdrojov bola sledovaná zmena strát a napätí v sieti. Stanovených bolo 8 variantov (Tab. 1), pričom prvý z nich odkazuje na súčasný stav. Zvyšných 7 stavov rieši kombinácie v prípade pripojenia č. 7 a č. 16.

Tabuľka 3
 Vyšetrované prípady

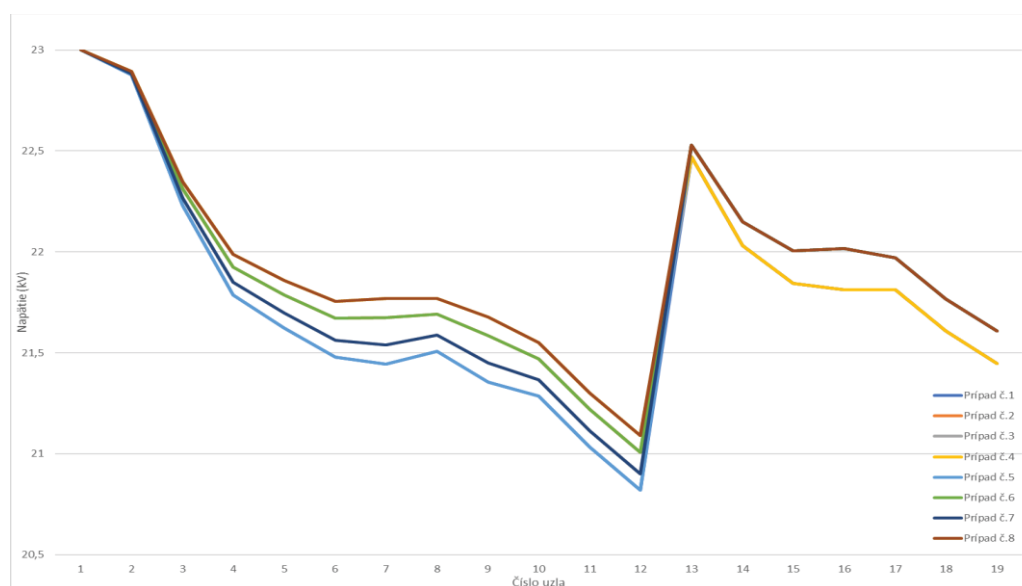
Prípad č. 1	Súčasný stav	Prípad č. 5	16P
Prípad č. 2	7P	Prípad č. 6	7P + 16P
Prípad č. 3	7Q	Prípad č. 7	7Q + 16P
Prípad č. 4	7P + 7Q	Prípad č. 8	7P + 7Q + 16P

$7P \rightarrow$ v uzle č. 7 je iba výroba činného výkonu
 $7Q \rightarrow$ v uzle č. 7 je iba výroba jalového výkonu
 $7P + 7Q \rightarrow$ v uzle č. 7 je výroba činného a jalového výkonu
 $16P \rightarrow$ v uzle č. 16 je iba výroba činného výkonu
 $7P + 16P \rightarrow$ v tomto prípade dochádzalo už ku kombinácii. Bolo uvažované, že v uzle č. 7 je vyrábaný iba činný výkon, ale do siete vyrába aj zdroj, ktorý je pripojený do uzla č. 16.
 $7Q + 16P \rightarrow$ v uzle 7 je iba výroba jalového výkonu a súbežne do siete je pripojený zdroj v uzle 16.
 $7P + 7Q + 16P \rightarrow$ všetky zdroje súbežne vyrábajú do siete.

IV. VÝSLEDKY SIMULÁCIE

Výsledky simulácie sú znázornené na Obr. 4 a Obr. 5. Pri používaní zdroja, ktorý je pripojený do uzla č. 7 nebol zaznamenaný vplyv na druhú stranu siete. To je možné pozorovať aj na Obr. 4, kde od 13. uzla sú viditeľné len 2 krivky kvôli prekryvaniu sa jednotlivých hodnôt. Na ukážku boli vybrané niektoré uzly a výsledky napätia sú uvedené v Tab. 4. Je možné pozorovať, že niektoré hodnoty sú rovnaké, ako bolo vysvetlené vyššie. Taký prípad nastal v prípade použitia iba zdroja v uzle č. 1, pričom to nemalo vplyv na druhú stranu siete. Napríklad v Tab. 4 v uzle č. 16 sú len 2 hodnoty. Ak nebol používaný zdroj v uzle č. 16, vtedy hodnota bola 21,8133 kV, ale ak už sa uvažovalo s novým zdrojom (od 5. prípadu), vtedy sa hodnota zvyšovala na 22,0179 kV.

Z Obr. 4 je tiež vidno, že napätia sú v súčasnosti najhoršie. Akonáhle dochádza k pripojeniu nového zdroja, tak sa napätie v príslušnej časti zvyšuje. Najlepší variant je v prípade ak sú pripojené oba zdroje (do uzla č. 7 a č. 16). Rozdiel medzi napätiami v danom prípade bol v rozmedzí 0,2 – 0,3 kV.

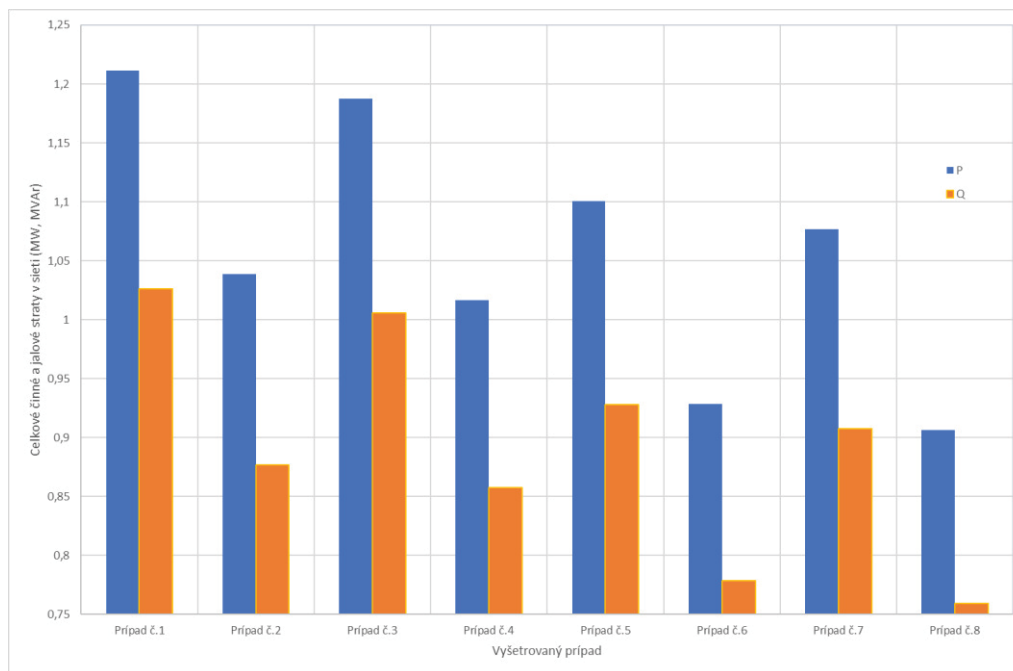


Obr. 4 Vplyv vyšetovaných prípadov na napätia v uzloch

Tabuľka 4
Vplyv vyšetovaných prípadov na napätia vo vybraných uzloch

	Číslo uzla					
	6.	7.	8.	15.	16.	17.
<i>Prípad č. 1</i>	21,4779	21,4456	21,5072	21,8431	21,8133	21,8126
<i>Prípad č. 2</i>	21,6715	21,6752	21,6902	21,8431	21,8133	21,8126
<i>Prípad č. 3</i>	21,5610	21,5395	21,5869	21,8431	21,8133	21,8126
<i>Prípad č. 4</i>	21,7530	21,7679	21,7692	21,8431	21,8133	21,8126
<i>Prípad č. 5</i>	21,4779	21,4456	21,5072	22,0048	22,0179	21,9717
<i>Prípad č. 6</i>	21,6715	21,6752	21,6902	22,0048	22,0179	21,9717
<i>Prípad č. 7</i>	21,5610	21,5395	21,5869	22,0048	22,0179	21,9717
<i>Prípad č. 8</i>	21,7530	21,7679	21,7691	22,0048	22,0179	21,9717

Pripojenie nového zdroja do siete má vplyv aj na celkové straty v sieti. V prípade pripojenia nového zdroja dôjde vždy k poklesu strát. V najnižšej miere klesnú vtedy, ak v uzle č. 7 pripojený zdroj dodáva iba jalový výkon (prípád č. 3). To nastáva z dôvodu celkového odberu jalového výkonu, ktorý je na úrovni 6 MVar. Celkový odber činného výkonu je 25,5 MW. Preto pripojenie zdroja s činným výkonom má väčší vplyv na straty. Vždy ak pripojený zdroj dodával iba činný výkon, vtedy straty klesli najviac. To bol prípad č. 2, 4, 6 a č. 8. Najlepšie výsledky boli zaznamenané v prípade pripojenia oboch zdrojov. Rozdiel medzi najhorším a najlepším výsledkom v prípade činných strát bol 0,3 MW a v prípade jalových strát 0,25 MVar.



Obr. 5 Vplyv vyšetovaných prípadov na celkové činné a jalové straty v sieti

V. ZÁVER

Príspevok sa venoval zmene strát a napätí v prípade, ak sa do centralizovanej siete pripájajú OZE. S ohľadom na rozsah obnoviteľných zdrojov pripojených do siete, ktorých vplyv je nutné neustále prehodnocovať je to vysoko aktuálna téma.

V príspevku bola sledovaná sieť s celkovým odberom činných výkonov v uzloch na úrovni 25,5 MW a celkovým odberom jalových výkonov 6 MVar. V sieti sa sledovala zmena napätí a strát s ohľadom na pripojenie zdrojov do uzlov č. 7 a č. 16. Najlepšie výsledky s porovnaním so súčasným stavom vznikli vtedy, ak boli zdroje pripojené do oboch uvažovaných uzlov (č. 7 a č. 16) súčasne a zdroj v uzle č. 7 vyrábala činný aj jalový výkon. V porovnaní s celkovým odberom, výkon týchto pripojených zdrojov je veľmi malý, len 2,8 MW a 0,8 MVar. To je len 10 % z celkového výkonu. Dokázali však znížiť celkové činné a jalové straty o 25 % a tiež napätia v uzloch priemerne zvýšili o 0,2 – 0,3 kV. S ohľadom na výsledky simulácie je možné konštatovať nutnosť odsimulovať pripojenie nového zdroja do siete z dôvodu zistenia, či jeho pripojenie nespôsobuje preťaženie vetvy a tiež zvýšenie napätia nad dovoľenú hodnotu.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] Energia z obnoviteľných zdrojov [online]. [cit. 2020.05.25]. Dostupné na internete: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/sk/sheet/70/energia-z-obnovitelnych-zdrojov>
- [2] Renewable energy directive. [online]. [cit. 2020.05.25]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en
- [3] Parižská dohoda [online]. [cit. 2020.05.20]. Dostupné na internete: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)>](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01)>)
- [4] Solar energy. [online]. [cit. 2020.05.17]. Dostupné na internete: <https://www.irena.org/solar>