

Meranie reaktančného výkonu a účinníka vo fotovoltaických elektrárňach pripojených na napäťovej hladine NN

Koniček Michal · Elektrotechnika

10.02.2014



Príspevok sa zaoberá meraním účinníka a reaktančného výkonu v dvoch reálnych fotovoltaických elektrárňach. V prvej časti je pozornosť zameraná na tarifne prirážky a pokuty, ktoré sa týkajú reaktančného výkonu vo forme nedodržania indukčného účinníka a vo forme nevyžiadanej dodávky reaktančného výkonu do siete. Druhá časť je zameraná na analýzu merania oboch elektrární, kde sa berie do úvahy vplyv počasia na hodnotu reaktančného výkonu. Z nameraných parametrov je vyhodnotená príčina vzniku reaktančného výkonu v oboch elektrárňach. V závere príspevku sa hodnotí elektráreň s väčšími nedostatkami a ich možné odstránenie zo strany prevádzkovateľa danej elektrárne.

1. Úvod

V poslednom období sa v Slovenskej republike výrazne navýšil podiel fotovoltaických elektrární. V súvislosti s nárastom inštalovaného výkonu týchto zdrojov sa zaznamenávajú nové problémy, ktoré je potrebné riešiť a to nezávisle od napäťovej hladiny.

V prvej časti príspevku je pozornosť zameraná na tarifne prirážky a pokuty, ktoré sa týkajú reaktančného výkonu na napäťovej úrovni NN, pričom konkrétne ide o nevyžiadanú dodávku reaktančného výkonu do siete a nedodržanie účinníka. Nedodržanie týchto parametrov v súčasnosti nie je sankcionované pre prípad, že fotovoltaická elektráreň je pripojená na napäťovú úroveň NN. Tarifné prirážky a pokuty sa týkajú len tých FVE, ktoré sú pripojené do vyšších napäťových hladín, t.j. VN a VVN. V príspevku sa v rámci hodnotenia nedodržania účinníka a nevyžiadanej dodávky reaktančného výkonu uvažuje s tarifnými prirážkami pre prípad, kedy sú merané FVE pripojené do VN siete.

Ďalšia časť opisuje meranie, ktoré bolo vykonané na dvoch fotovoltaických elektrárňach s rôznym inštalovaným výkonom na napäťovej úrovni NN. Z výsledkov meraní bola analyzovaná problematika v nadväznosti na nadmernú produkciu respektíve spotrebu reaktančného výkonu, na základe ktorej bol vyhodnotený negatívnejší prípad vplyvu v zmysle prevádzkovania fotovoltaickej elektrárni. V poslednej časti bola vyhodnotená elektráreň s najnegatívnejšími výsledkami.

2. Nevyžiadaná dodávka reaktančného výkonu do DS a nedodržanie účinníka

Ak vo FVE zanedbáme vlastnosti káblovej prípojky, transformátora, chodu meničov naprázdno a filtračných obvodov, tak FVE pracuje principiálne s nulovou zložkou reaktančného prúdu, teda generuje do siete iba činný výkon. To je pre prevádzkovateľa FVE ideálny stav. Realita je obyčajne trochu iná, keďže FVE nikdy nepracuje s ideálnym účinníkom ($\cos \varphi = 1$), Kvôli reaktanciám spomínaných častí FVE. Reaktančné výkony ktoré vznikajú vo FVE sú pomerne malé oproti veľkým činným výkonom ale nie je možné ich podceňiť [1][2].

V prípade malých tokov činného výkonu nemusí byť hodnota v požadovaných hodnotách 0,95 - 1 induktívny charakter. Táto situácia môže nastať aj pri chode transformátora na prázdno. Často sa stáva, že reaktančný výkon vo FVE vykazuje vďaka dlhým kábovým vedením skôr kapacitný charakter čo je taktiež nežiaduce. Dochádza k nevyžiadanej dodávke kapacitného reaktančného výkonu do DS, ktorá je spoplatnená. To znamená, že prevádzkovateľ FVE môže platiť nemalé čiastky v čase keď elektrárňou nevyrába [3][4].

2.1 Technické podmienky a cenník PDS ZSE

V ďalších podkapitolách sú zhrnuté tarifné prirážky a podmienky prevádzkovateľa FVE voči DS. Merané FVE sú pripojené do jednej z regionálnych distribučných sústav v SR, kde na hodnotenie vyššie uvedených parametrov sa vychádzalo z príslušných Technických podmienok a cenníka PDS.

a) Tarifné prirážky za reaktančnú dodávku

Reaktančná dodávka elektriny do danej DS je spoplatnená cenou 0,0166 € kVArh.

b) Nedodržanie účinníka

Meranie pre hodnotenie účinníka

Odber jalovej induktívnej elektriny sa vyhodnocuje 24 hodín denne počas celého roka a vyhodnocuje sa mesačne z odčítaných užívateľov s meraním výkonu. [5]

Vyhodnotenie účinníka

Z mesačne nameraných hodnôt jalovej induktívnej elektriny v kVArh, prípadne zvýšených o jalové straty transformátora a činnej elektriny v kWh v rovnakom čase sa vypočíta príslušný

$$\tan \varphi = \frac{dQ}{dP} = \frac{kVArh}{kWh} \quad (1)$$

a k tomuto pomeru zodpovedajúci účinník ($\cos \varphi$). [5]

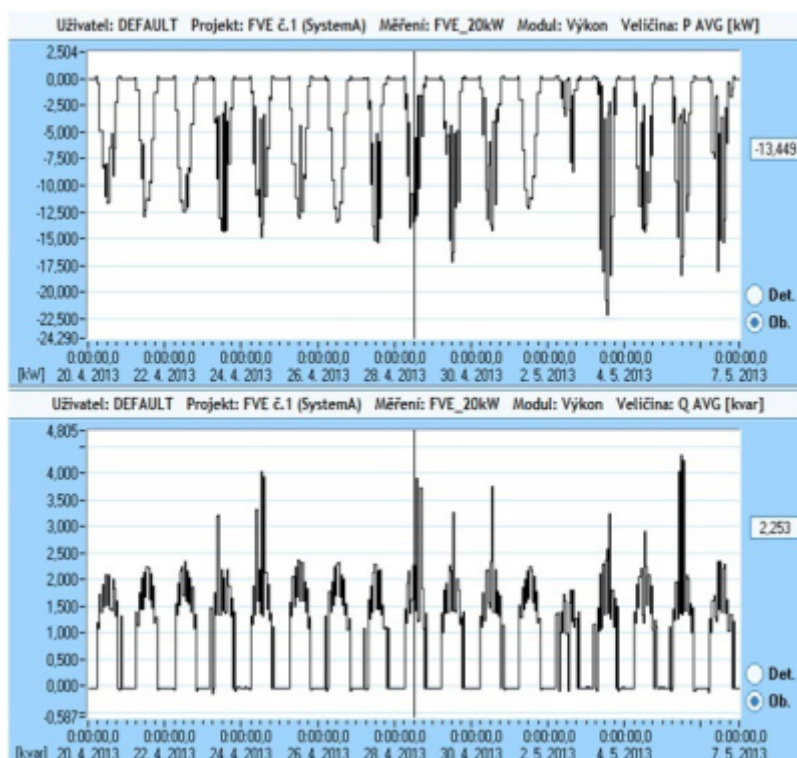
2.2 Meranie na fotovoltaickej elektrárni č.1

- Inštalovaný výkon: 20 kWp
- Počet Striedačov: 1ks

- Max výkon: 31kW
- Účinnosť: 97,5%

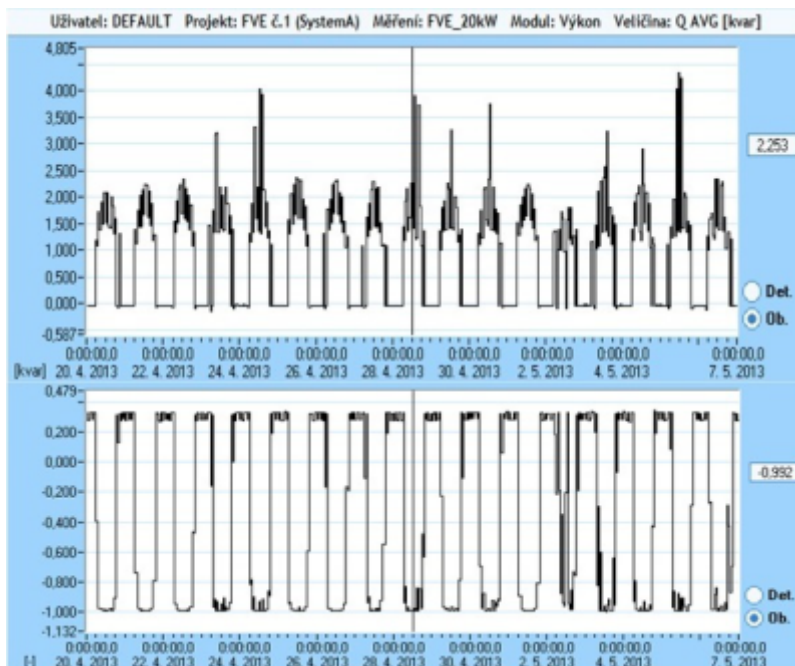
Namerané výsledky

Meranie bolo vykonané na reálnej fotovoltickej elektrárni po dobu 17 dní. Elektrárň je pripojená do NN napäťovej hladiny (0,4 kV). Meranie je pripojené do hlavného rozvádzača odkiaľ je FVE vyvedená do distribučnej siete. Na tvar charakteristiky činného výkonu reaguje aj reaktančný výkon, ako napríklad pri nábehu, dobehu, strate výkonu, vďaka premenlivému počasiu a iným zdrojom ovplyvňujúcich výrobu činného výkonu (Obr. 1.).



Obr. 1. Priebeh činného výkonu (horný graf) a reaktančného výkonu (spodný graf), záporne je dodávka do DS

Pri nabíjaní FVE a pri zmenách činného výkonu si začne FVE spotrebovať reaktančný výkon. Je spotrebovaný meničom, ktorý ho potrebuje na udržanie účinníka na hodnote $\cos\varphi=1$. Účinník má najideálnejšiu hodnotu pri plnom zaťažení striedača, pri priamom dopade slnečného žiarenia na elektrárň. Pri zmene veľkosti výroby sa účinník zhorší čo je aj zrejme na skokovej zmene spotreby reaktančného výkonu. (Obr. 2.) Táto zmena nastane vtedy, keď sa striedač snaží udržať účinník na spomínanej hodnote. Pri veľmi rýchlych zmenách výroby alebo pri veľmi malom zaťažení, striedač nedokáže udržať účinník na požadovanej hodnote a toto býva veľkým problémom. Prevádzkovatelia FVE potom platia sankcie za nedodržanie účinníka 0,95 až 1 inductívneho charakteru.



Obr. 2. Priebeh účinníka (spodný graf) a reaktančného výkonu (horný graf), záporne je dodávka do siete

Meranie nebolo možné vykonať po dobu jedného mesiaca, a preto je vyhodnotený účinník za obdobie merania 17 dní. Hodnoty sú odčítané z meracieho analyzátoru. Krajné hodnoty Q a P vypočíta taktiež analyzátor.

$$\begin{aligned} \tan\varphi &= \frac{dQ}{dP} = \frac{Q_2 - Q_1}{P_2 - P_1} = \frac{(399,1 - 77,4)}{(1763,1 - 344)} = \\ &= 0,22669 \rightarrow \cos\varphi = 0,9753 \end{aligned} \quad (2)$$

Po výpočte je zrejmé, že účinník je v predpísaných medziach a preto vo FVE č.1 nie je potrebné odstraňovať nedostatky. V ďalšej časti je opísaný najideálnejší deň a naopak najnevyhovujúcejší z pohľadu hodnotenia účinníka. Najideálnejší stav počas merania nastal dňa 26.4. kedy má výroba len minimálne výkyvy (Obr. 1.). Minimálne výkyvy sú spôsobené veľmi nízkou oblačnosťou. Tieto odchýlky majú v konečnom dôsledku len minimálny vplyv na účinník. V tomto prípade je celková hodnota reaktančného výkonu induktívneho charakteru. Počas tohto dňa má účinník najvyššiu hodnotu a to:

$$\begin{aligned} \tan\varphi &= \frac{dQ}{dP} = \frac{Q_2 - Q_1}{P_2 - P_1} = \frac{(216,8 - 196,4)}{(994 - 891,3)} = \\ &= 0,1986 \rightarrow \cos\varphi = 0,9808 \end{aligned} \quad (3)$$

Najnevyhovujúcejší deň, čo sa týka hodnoty účinníka bol dňa 2.5. kedy bolo takmer stále zamračené. Je to zrejmé z výroby činného výkonu (Obr.1.) Reaktančný výkon v porovnaní s činným výkonom je veľmi vysoký, v niektorých častiach aj rovnako veľký, čo veľmi zhoršuje hodnotu účinníka. Zhoršenie nastáva preto, lebo striedač je už v maxime so svojou reguláciou reaktančného výkonu. Na tomto príklade je ukázané ako striedač nedokáže pri malom výstupnom výkone udržať hodnotu účinníka. Vyplýva to z Obr. 2. Časté nedodržanie účinníka a veľká spotreba reaktančného výkonu spôsobí, že celkový účinník počas tohto dňa je veľmi nízky. Hodnota účinníka je:

$$\tan\varphi = \frac{dQ}{dP} = \frac{Q_2 - Q_1}{P_2 - P_1} = \frac{(324,6 - 311,8)}{(1446,6 - 1426,9)} =$$

$$= 0,64975 \rightarrow \cos\varphi = 0,8385 \quad (4)$$

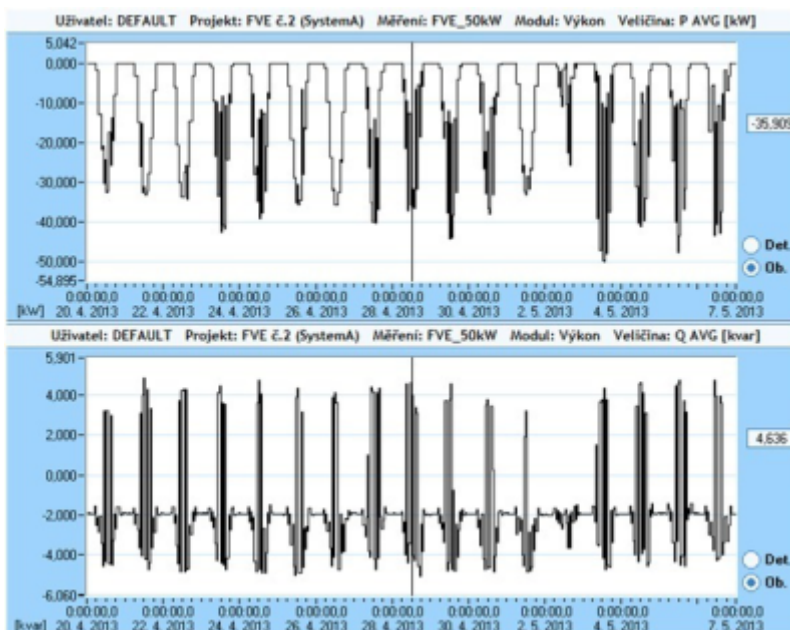
Takáto hodnota účinníka nevyhovuje technickým podmienkam PDS. Ak by FVE mala prístup slnečného žiarenia počas celého mesiaca ako v tomto prípade, potom by prevádzkovateľ musel zaplatiť prirážku z tarify za nedodržanie účinníka. Takáto situácia môže nastať v zimných mesiacoch. Takýto scenár je však málo pravdepodobný. V konečnom dôsledku sa takýmto stavom v meranej FVE neoplatí zaoberať.

2.3 Meranie na fotovoltaickej elektrárni FVE č. 2

- Inštalovaný výkon: 51,105 kWp
- Počet Striedačov: 5 ks
- Max výkon: 4 x 10 kW a 1 x 8,3 kW
- Účinnosť: 4 x 95,4 % a 1x 96,3 %

Namerané výsledky

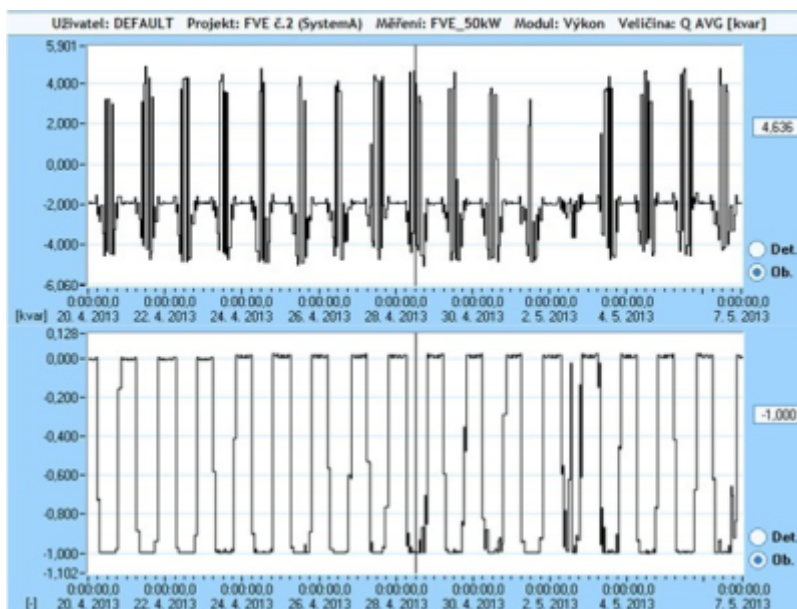
Meranie bolo vykonané na reálnej fotovoltaickej elektrárni po dobu 17 dní. Elektrárň je pripojená do NN napäťovej hladiny (0,4 kV). Meranie je pripojené do hlavného rozvádzača odkiaľ je FVE vyvedená do distribučnej siete. Priebeh činného a reaktančného výkonu znázorňuje Obr. 3. Keďže sú elektrárne od seba vzdialené necelý kilometer na priebehu činného výkonu je vidieť veľká podobnosť.



Obr. 3. Priebeh činného výkonu (horný graf) a reaktančného výkonu (spodný graf), záporne je dodávka do DS

Netýka sa to reaktančného výkonu, ktorý je omnoho premenlivejší. V “sleeping mode” má hodnota reaktančného výkonu záporné znamienko, čo znamená vznik kapacitného reaktančného výkonu. Uvažoval som, že kapacitný reaktančný výkon môže vznikáť na káblovom vedení NAYY-J 4×240. Služi pre vyvedenie výkonu zo striedačov do hlavného rozvádzača s dĺžkou okolo 80 metrov. Podľa katalógu [6] ma tento typ káblového vedenia nulovú hodnotu kapacity (0 [μF/Km]). V schéme zapojenia sa nenachádza iné zariadenie, ktoré by mohlo vytvárať také množstvo kapacitného reaktančného výkonu.

Postupnou analýzou sa prišlo k záveru, že produkciu takéhoto množstva reaktančného výkonu sú schopné iba striedače, ale tie sa v “sleeping mode” automaticky vypínajú. Z tohto vyplýva, že je to pravdepodobne spôsobené už existujúcou kapacitnou kompenzáciou v mieste vyvedenia FVE do DS, keďže ide o priemyselnú budovu. V režime kedy elektráreň vyrába činný výkon je reaktančný výkon veľmi premenlivý a dosahuje záporné aj kladné hodnoty. FVE sa skladá z 5 striedačov, ktoré sa snažia pomocou reaktančného výkonu vyrovať hodnotu účinníka k jednotkovej hodnote.



Obr. 4. Priebeh účinníka (spodný graf) a reaktančného výkonu (horný graf), záporne je dodávka do siete

Z Obr. 4. vidieť, že účinník má nižšiu hodnotu pri malom zaťažení striedačov a naopak pri nominálnom zaťažení sa jeho hodnota blíži k jednej. Navzdory kladným aj záporným hodnotám reaktančného výkonu je celkové Q zápornej hodnoty. Znamená to, že FVE č.2 vykazuje nevyžiadajú dodávku Q do siete s hodnotou:

$$dQ = Q2 - Q1 = 844,1 - 16,8 = 827,3[kVArh] \quad (5)$$

Za meracie obdobie 17 dní: 827.3 kVArh kapacitného charakteru a to je podľa cenníka PDS (0,0166€/kVArh)

$$827,3 \times 0,0166 = 13,733\text{€} \quad (6)$$

čo môže byť mesačne približne 25 € a ročne viac ako 300 €. Množstvo činného vyrobeného výkonu za toto obdobie je :

$$dP = 4031,5 - 19,9 = 4011,6[kWh] \quad (7)$$

Výpočet $\cos \varphi$ je zbytočný, keďže sa sankcionuje iba nedodržanie indukčného účinníka a v tejto FVE je kapacitný. V ďalšej časti je taktiež popísaný deň s najnižšou a najvyššou oblačnosťou. Keďže sú merané FVE od seba vzdialené približne jeden kilometer, deň s najnižšou a najvyššou oblačnosťou je rovnaký. Tieto dni nie sú vyhodnotené.

Vo FVE č.2 nemá príliš veľký vplyv miera oblačnosti na celkové množstvo reaktančného výkonu. Prevládajúce je množstvo kapacitného reaktančného výkonu, ktoré sa drží na strednej hodnote približne $Q = -2\text{kVAr}$. Počas výroby reaktančný výkon klesá aj do kladných hodnôt. Sú to veľmi krátke úseky, aby výrazne vplyvali na prevládajúce dodávané Q . Za každých podmienok bude najvýraznejšia nevyžiadaná dodávka Q do siete v "sleeping mode". Pri nulovom kapacitnom výkone by bol vplyv miery oblačnosti výraznejší a tu by sa riešil problém nedodržania účinníka.

3. Záver

Príspevok sa zaoberá meraním reaktančného výkonu v dvoch fotovoltických elektrárnach na napäťovej úrovni NN. Praktická časť príspevku analyzuje meranie, ktoré bolo uskutočnené na fotovoltických elektrárnach na napäťovej úrovni NN s inštalovaným výkonom 20 kWp (FVE č.1) a 50 kWp (FVE č.2).

Po zhodnotení výsledkov merania na FVE č.1 je možné konštatovať, že táto elektráreň spotrebováva reaktančný výkon zo siete, t.j. kontrolovaný účinník musí byť v intervale hodnôt 0,95 až 1 induktívneho charakteru. Z meraní a výpočtov vyšiel účinník 0,975. Elektráreň splňa predpísaný účinník, čo však neplatí počas dňa s najväčšou oblačnosťou, kedy bola hodnota účinníka 0,838. Pravdepodobnosť, že by takéto počasie pretrvávalo celý mesiac, je však veľmi nízka. Potenciálne pokuty, ktoré by mohli prevádzkovateľovi vzniknúť za takéto prevádzkovanie elektrárne, sú veľmi nízke a tento stav je nepodstatné riešiť. Omnoho väčší význam by to malo pri rozsiahlych poľných fotovoltických elektrárnach, kde sú pokuty omnoho vyššie.

Do FVE č.2 v porovnaní s FVE č.1 je reaktančný výkon do siete dodávaný. Vzniká nevyžiadaná dodávka reaktančného výkonu do siete. Analyzovaná bola situácia vplyvu oblačnosti na celkový charakter reaktančného výkonu, ktorej vplyv je minimálny, keďže prevládajúca hodnota reaktančného výkonu počas „sleeping modu“ je vyššia v porovnaní s malými výkyvmi počas výroby. Počas meraného obdobia 17 dní bolo celkové množstvo dodanej reaktančnej energie 827,3 [kVArh]. Znamená to, že takéto prevádzka môže prevádzkovateľovi elektrárne spôsobiť zvýšenie nákladov až o 300 €/rok.

Na základe vyššie uvedených meraní je možné konštatovať, že väčšie nedostatky preukazuje prevádzka FVE č. 2. Táto elektráreň by sa mala kompenzovať vhodným kompenzačným prostriedkom. Pri súčasných podmienkach je takéto kompenzácia vzhľadom na finančnú úsporu zbytočná keďže FVE je pripojená do NN siete a tam nie sú dané problémy sankcionované. S rastúcou penetráciou FVE sa však v budúcnosti môžu spoplatniť a kompenzácia FVE pripájaných do NN bude mať význam a aj finančnú úsporu.

Podakovanie

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Efektívne riadenie výroby a spotreby energie z obnoviteľných zdrojov (Energoz), ITMS 26240220028, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Použitá literatúra

1. Kompenzace elektrického jalového výkonu. Dostupné na internete:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38682
2. KORENC, V., BŮBELA, T. Problematika regulace jalového výkonu u fotovoltaických elektráren. Odborný článok firmy ELCOM, a.s. 2012. Dostupné na internete:
<http://www.elcom.cz/files.php?id=/5/download/problematika-regulace-jaloveho-vykonu-u-fotovoltaickych-elektren.pdf>
3. KORENC, V. ELCOM, STELCOM – statický regulátor jalového výkonu. Dostupné na internete:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39640
4. KAŠPÍREK, M. Dopad OZE na provoz distribučních NN sítí. In 9th International Conference : Control of Power Systems. Tatranské Matliare High Tatras : FEI STU, 2010. p. 1-7.
5. Cenník za distribúciu elektriny – Západoslovenská distribučná. Dostupné na internete:
http://www.zsdis.sk/documents/840/ZS-DIS_Cennik-distribucie_Firmy-2013_A4_web.pdf
6. Katalóg Murat, s.r.o. Dostupné na internete:
<http://katalog.murat.sk/kl/KK//NAYY.pdf>
7. DIXON, J., MORAN, L., RODRÍGUEZ, J., DOMKE, R. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review, Proceedings of the IEEE, Volume: 93, Issue: 12, 2005, pp. 2144-2164, ISSN 0018-9219. Dostupné na internete:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1545768>

Spoluautorom článku je Anton Beláň, Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovakia