

VPLIV DODATNE INŠTALACIJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV NA PRIHRANKE ENERGIJE V DELU MARIBORSKEGA SREDNJENAPETOSTNEGA OMREŽJA

Nevena SREČKOVIĆ, Gorazd ŠTUMBERGER

POVZETEK

Z vse večjo penetracijo razpršenih virov v distribucijsko omrežje je treba ovrednotiti, kakšne vplive na obratovalne razmere ti povzročajo. Prispevek analizira vpliv generacije delovne in jalove moči dodatnih fotonapetostnih (PV) sistemov, priključenih v del srednjenapetostnega omrežja na levem bregu reke Drave v Mariboru. Na osnovi ocene PV potenciala streh v centru Maribora so bile izbrane najbolj ustrezne strehe za postavitev PV sistema. Nato je bil ovrednoten njihov vpliv na letne prihranke energije. Rezultati prikazujejo dosežene prihranke energije, na račun zmanjšanja prenosnih izgub zaradi priključitve dodatnih proizvodnih enot. Ovrednoten je prihranek energije, ki ga možno doseči z ustrezno generacijo jalove moči.

ABSTRACT

With higher penetration of distributed generation units in the distribution network, it has become important to evaluate their influence on network operating conditions. The paper analyzes the influence of active and reactive power generation of additional photovoltaic (PV) units in the part of the middle-voltage network in Maribor. Based on assessment of buildings' roof PV potential, the most suitable roofs for PV system installation and their influence on yearly energy savings have been determined. The results show the energy savings achieved, due to the power loss reduction, obtained by the additional PV unit installation. Furthermore, energy savings achieved through proper reactive power generation are evaluated as well.

1. UVOD

Področje energetike predstavlja ključen faktor pri težnji k zagotavljanju trajnostnega razvoja. Enega izmed številnih kazalnikov, uporabljenih za ovrednotenje le tega, predstavlja delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije (OVE) [1]. Posledično se z vse večjim številom priključenih razpršenih virov (RV), distribucijska omrežja (DO) spreminjajo iz pasivnih v aktivne elemente elektroenergetskega sistema. Zato je treba ovrednotiti vse vplive, ki jih prinašajo na novo priključeni elementi in z ustreznimi nadgradnjami sistemov vodenja zagotoviti, da se koristi, ki jih ti omogočajo maksimalno izrabijo.

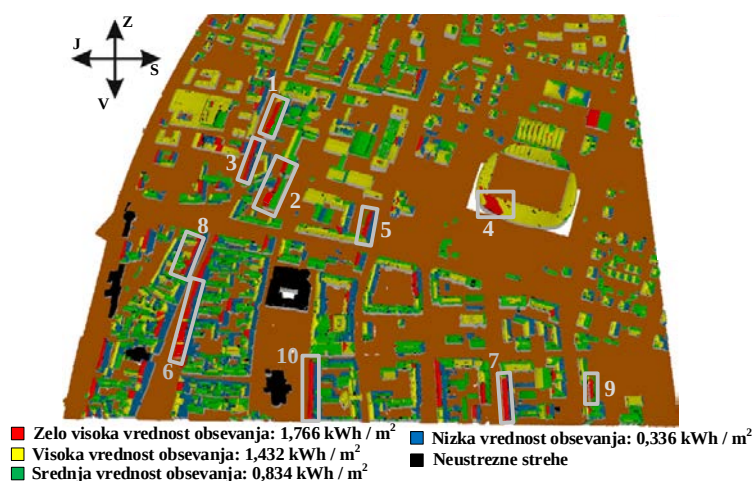
Izmed vseh trenutno razpoložljivih RV, fotonapetostni (PV) sistemi, kljub zmanjšanju subvencij, še vedno vzbujajo veliko pozornosti. Pretvorniki PV sistemov čez dan obratujejo z maksimalno močjo le v kratkih časovnih intervalih in je zato preostalo razpoložljivo moč možno uporabiti za regulacijo napetosti z ustrezno generacijo jalove moči [2], [3]. Tako lahko zmanjšamo prenosne izgube in hkrati zmanjšamo obratovalne stroške [4]. Primer, kako lahko z ustrezno kombinacijo geografskih, ekonomskih in tehničnih vidikov ustrezno umestimo PV sisteme v DO, je prikazan v [5].

V prispevku je predstavljena analiza vključevanja dodatnih PV sistemov, v del srednjenapetostnega (SN) omrežja na levem bregu reke Drave v Mariboru. Podoben primer je bil obravnavan v [6], s to razliko, da sta bila v [6] ovrednotena vpliva generacije delovne in jalove moči na prenosne izgube ter na napetostne razmere, upoštevana je bila maksimalna proizvodnja dodatnih PV sistemov in različne stopnje obremenitve, upoštevano pa je bilo tudi drugačno število izbranih lokacij za postavitev PV sistemov. V tem prispevku pa so na osnovi časovnih profilov porabe in proizvodnje ovrednoteni celoletni prihranki energije, ki jih je mogoče doseči z generacijo delovne in potrebam omrežja prilagojeno generacijo jalove moči dodatnih sončnih elektrarn, postavljenih na najbolj ustrezne lokacije, gledano s stališča sončnega obsevanja. Prispevek je sestavljen iz šest poglavij. V drugem poglavju je prikazano ovrednotenje fotonapetostnega potenciala. Izbranih je deset lokacij, ki so najbolj ustrezne za postavitev PV sistema. V tretjem poglavju je opisan obravnavani del SN DO Elektro Maribor, na levem bregu reke Drave, v četrtem poglavju pa je predstavljen postopek izračuna in pridobitve vhodnih podatkov porabe in proizvodnje. V petem poglavju je podan opis dobljenih rezultatov ovrednotenja prihrankov energije z upoštevanjem generacije delovne in različnih stopenj generacije jalove moči. V šestem poglavju je podan sklep.

2. OVREDNOTENJE FOTONAPETOSTNEGA POTENCIALA

Lukač in soavtorji [7] so prikazali uspešno metodo za ovrednotenje streh glede ustreznosti za postavitev PV sistemov. Na osnovi detajlnih topografskih podatkov LiDAR (ang. Light Detection And Ranging), ter podatkov sončnega obsevanja izmerjenih s piranometrom je bila ocenjena vrednost PV potenciala streh. Pri izračunu so upoštevani tudi vplivi lokacije, orientacije in naklona streh, oblačnosti, okoliškega terena ter senčenja zaradi sosednjih objektov in vegetacije.

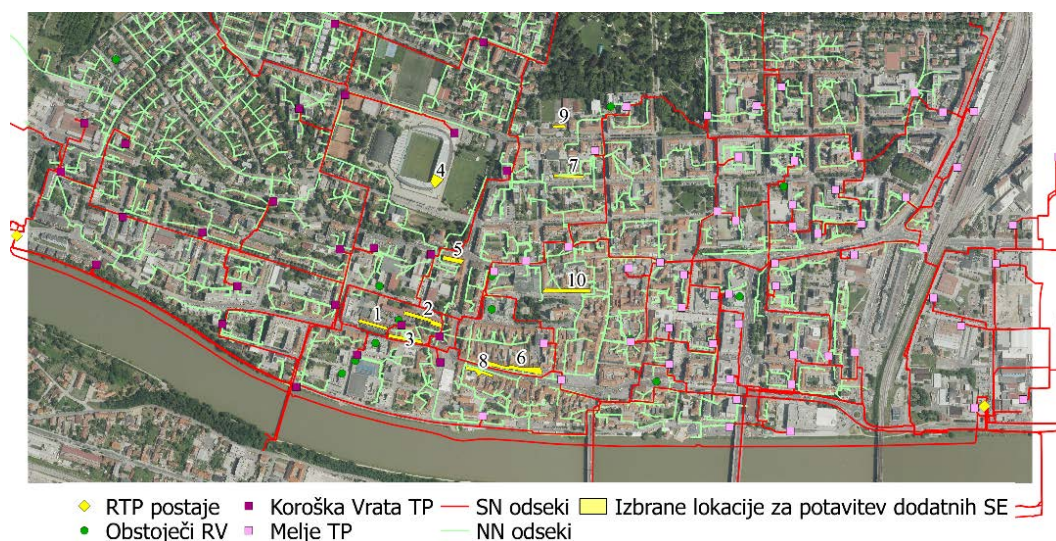
Rezultati povprečnega sončnega obsevanja, določenega za strehe v centru Maribora, so prikazani na sl. 1. Z različnimi barvami so označene kategorije streh, glede na ustreznost za postavitev PV sistemov. Na osnovi določenih vrednosti PV potencialov je izbrano deset streh (oz. skupin streh), ki pripadajo kategoriji z zelo visoko vrednostjo sončnega obsevanja in so posledično najbolj ustrezne za postavitev PV sistemov.



Slika 1: Kategorizacija streh v Mariboru, glede na vrednosti sončnega obsevanja [7]

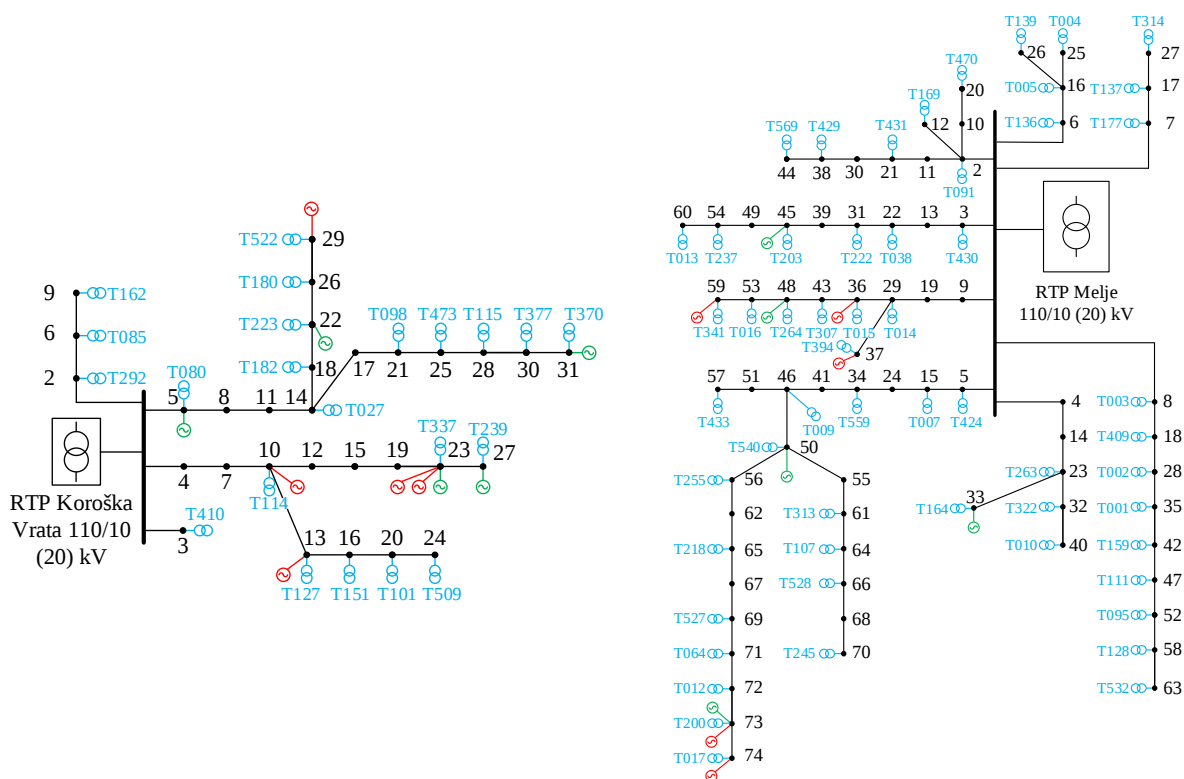
3. TESTNI MODELI OMREŽIJ

Del DO na levem bregu reke Drave v Mariboru, obravnavan v tem prispevku, je prikazan na sliki 2. Prikazani so vsi obstoječi elementi in povezave, ki med normalnim obratovanjem niso nujno hkrati aktivni. Z rumenimi poligoni so označene tudi strehe oz. skupine streh, izbrane kot najbolj ustrezne za postavitev PV sistemov.



Slika 2: Del DO Maribora, na levem bregu reke Drave

Izkaže se, da večino časa dela omrežja, priključena na RTP Koroška Vrata in RTP Melje, obratujeta ločeno eden od drugega in ni prisotnega zankanja. Zato je izračune obratovalnih stanj mogoče opraviti neodvisno za oba dela obravnavanega dela SN DO. V ta namen sta pripravljena dva neodvisna modela radialnih SN omrežij (slika. 3), napajana prek RTP Koroška Vrata in RTP Melje.



Slika 3: Skica SN DO povezanih na RTP Koroška Vrata (levo) in RTP Melje (desno)

Uporabljena sta modela trifaznih simetričnih omrežij. Niskonapetostni odseki vodov so zanemarjeni, moči priključenih bremen in RV pa so upoštevani na SN omrežju. Z zeleno barvo je označeno, v katere SN/NN transformatorje je na niskonapetostni strani v omrežje priključen že obstoječi RV, v izračunu pa smo upoštevali le proizvodnjo SE. Z rdečo barvo je označena lokacija priključitve dodatnih PV sistemov, izbranih v drugem poglavju. Pet izmed desetih izbranih lokacij (poligoni 1 do 5, na sliki. 2), so priključeni v omrežje RTP Koroška Vrata, pet pa v omrežje RTP Melje (poligoni 6 do 10, na sliki. 2).

4. POSTOPEK DOLOČITVE LETNIH PRIHRANKOV ENERGIJE

Določitev letnih prihrankov energije v omrežjih RTP Koroška Vrata in RTP Melje, je izvedena s pomočjo časovno diskretnih izračunov obratovalnih stanj. Uporabljena je direktna metoda za izračun pretokov energije [8], s katero računamo vrednosti prenosnih izgub v omrežju.

Na osnovi 24 izračunov pretokov energije smo določili prenosne izgube v sistemu za vsako uro povprečnega dneva v mesecu (delovnika in vikenda). Razlika površin pod krivuljami izgub v primeru obstoječega stanja v omrežju in v primeru upoštevanja dodatne proizvodnje izbranih PV sistemov, predstavlja dnevno prihranjeno energijo. Ta prihranek energije je rezultat zmanjšanja prenosnih izgub v omrežju, zaradi vključitve dodatnih proizvodnih enot. Če poznamo energijo, prihranjeno tekom povprečnega delovnika in vikenda

za vsak mesec, lahko ovrednotimo letne prihranke energije kot večkratnik dnevnih prihrankov in ustreznega števila dni v mesecu.

4.1 Podatki porabe

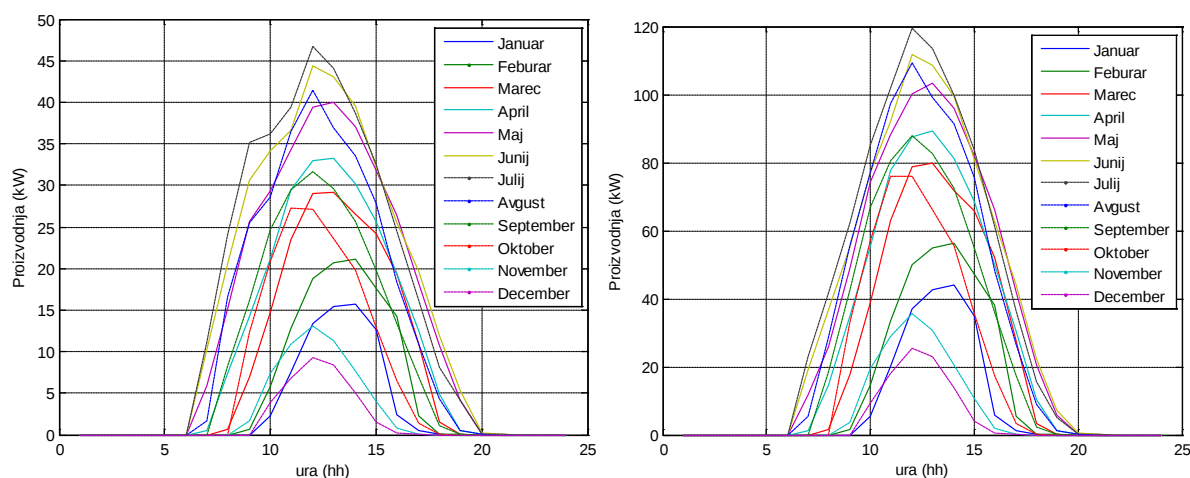
Na osnovi kombinacije podatkov lastnih meritev in študije izdelave nadomestnih obremenitvenih diagramov za slovensko distribucijsko omrežje [9], so bili določeni nadomestni profili porabe za povprečni delovnik in vikend vsakega meseca. Tako je bilo za eno leto določenih 24. normiranih profilov porabe.

Obremenitvene diagrame smo normirali in jih na osnovi tipov odjemalcev, priključenih na NN stran transformatorskih postaj, razvrstili glede na dejavnosti, ki jih opravlja večina priključenih odjemalcev (večinoma stanovanjski, industrijski, rekreativno/kulturno/sportni objekti). Nato smo diagrame ustrezno dodelili vsem vozliščem na osnovi tipov odjemalcev. V vsakem vozlišču s priključenim transformatorjem nazivne moči $S_{T,N}$, izbrani diagram skaliramo z močjo S_T , dobljeno na osnovi podatkov o nazivnih močeh n priključenih transformatorskih postaj ter predpostavljenih moči na posameznih izvodih iz RTP, S_i (1).

$$S_T = S_{T,N} \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_{T,N,i}} \quad (1)$$

4.2 Podatki dodatne proizvodnje

V drugem poglavju so bile izbrane strehe oz. skupine streh, najbolj ustrezne za postavitev SE, gledano s stališča PV potenciala. Podatki desetletnega zajemanja vrednosti sončnega obsevanja so uporabljene za določitev povprečnih profilov proizvodnje, katere bi bilo možno doseči s postavitvijo monokristalnih sončnih modulov. Za vsak mesec nato določimo profil povprečne dnevne proizvodnje, sestavljen iz 24 enournih podatkov. Slika 4 prikazuje določene povprečne profile porabe za izbrane skupine streh.



Slika 4: Povprečni dnevni diagrami proizvodnje za poligona 3 (levo) in 6 (desno)

5. REZULTATI

Namen tega prispevka je ovrednotenje letnih prihrankov energije ΔW_{izg} , dobljenih na račun zmanjšanja prenosnih izgub v omrežjih RTP Koroška Vrata in RTP Melje, zaradi dodatne vključitve PV sistemov na izbrane lokacije. Na osnovi časovno diskretnih izračunov pretokov energije so določene prenosne izgube povprečnega delovnika $P_{\text{izg,del}}$ in vikenda $P_{\text{izg,vik}}$, v vsaki uri (t), vsakega meseca (m). Ob upoštevanju števila delovnih ($N_{\text{del,m}}$) in nedelovnih dni ($N_{\text{vik,m}}$) za vsaki mesec leta 2013, so letne izgube energije določene, po (2).

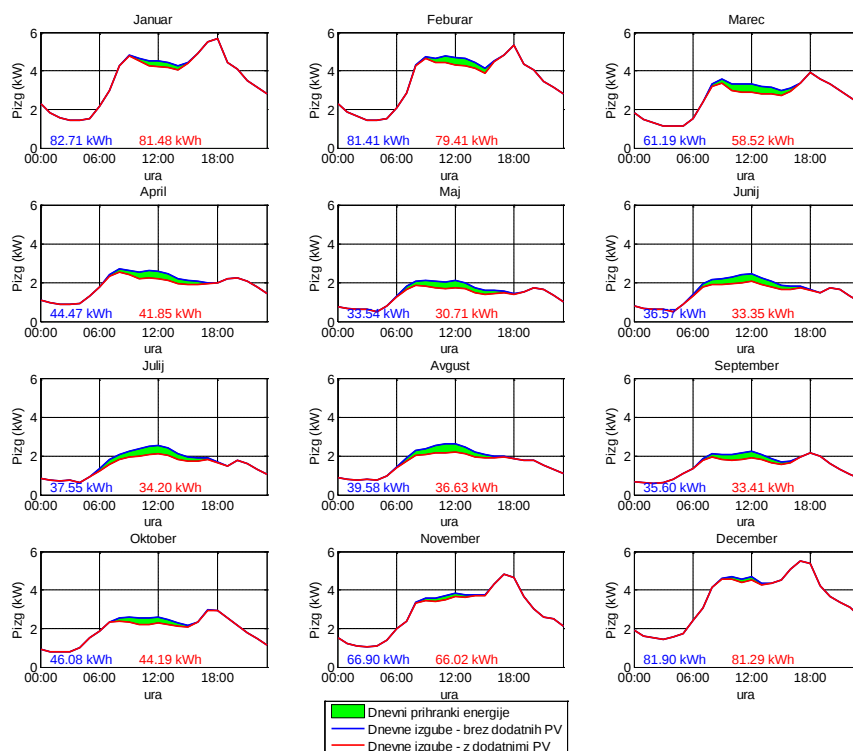
$$W_{\text{izg}} = \sum_{m=1}^{12} \left(N_{\text{del,m}} \int_{t=0}^{24} P_{\text{izg,del}} dt + N_{\text{vik,m}} \int_{t=0}^{24} P_{\text{izg,vik}} dt \right) \quad (2)$$

Pri izračunu izgub v omrežju sta bila upoštevana naslednja scenarija,:

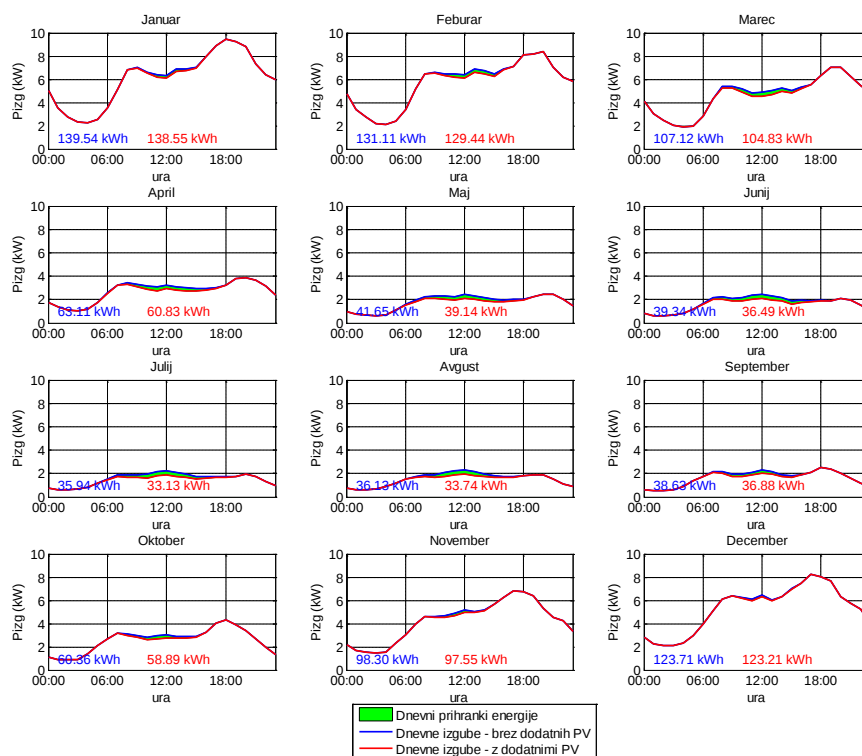
1. V omrežju obstajajo samo dejansko priključeni elementi – določitev $W_{\text{izg,dej}}$,
2. V omrežju obstajajo dejansko priključeni ter dodatni PV sistemi, postavljeni na izbrane lokacije – določitev $W_{\text{izg,dodPV}}$.

Dodatne proizvodne enote proizvajajo delovno moč po podanem profilu proizvodnje (podpoglavje 4.2). V skladu z navodili za priključevanje in obratovanje elektrarn do moči 10 MW [10], morajo biti priključeni PV sistemi sposobni obratovati s faktorjem $\cos(\varphi)$ do vrednosti 0,8 oz. z drugimi besedami, morajo biti sposobne proizvajati jalovo moč do vrednosti 75 % delovne moči. Zato so pri generaciji jalove moči upoštevani različni večkratniki delovne moči – v intervalu od 0 do 0,75, po koraku 0,25. V modelih omrežij so bremena kapacitivnega značaja. Zato je generirana jalova moč le induktivnega značaja, ker bi v primeru generacije jalove moči kapacitivnega značaja dodatno povečevali prenosne izgube v omrežjih [6].

Dnevni prihranki energije, na račun zmanjšanja prenosnih izgub, za primer, ko v omrežje dodatni RV generirajo samo delovno moč, so predstavljeni na sliki 5 za omrežje RTP Koroška Vrata in na sliki 6 za omrežje RTP Melje. Površine med dvema krivuljama predstavljajo dobljene prihranke energije za povprečni delovnik vsakega meseca.



Slika 5: Prihranek energije v RTP Koroška Vrata, za delovnik vsakega meseca



Slika 6: Prihranek energije v RTP Koroška Vrata, za delovnik vsakega meseca

Letni prihranki energije, pridobljeni na račun zmanjšanja prenosnih izgub v omrežju zaradi vključitve dodatnih PV sistemov in ob upoštevanju različne stopnje generacije jalove moči iz dodatnih RV, so predstavljeni v tabeli 1 za omrežje RTP Koroška Vrata in tabeli 2 za RTP Melje. Vidimo, da je z večjo generacijo jalove moči možno še nekoliko povečati prihranke energije v omrežju. Pri tem je treba poudariti, da so v podnih rezultatih upoštevani le prihranki energije v srednjenapetostnem omrežju. Glede na [3] je mogoče pričakovati bistveno večje prihranke energije v nizkonapetostnih omrežjih, kar pa v tem delu ni upoštevamo.

Tabela 1: Letni prihranki energije, zaradi upoštevanja dodatnih proizvodnih enot, RTP Koroška Vrata

$Q_{\text{gen}} = qP_{\text{gen}}$	Scenarij 1	Scenarij 2	Letni prihranki izgub	
q	$W_{\text{izg_dej}}$ [MWh]	$W_{\text{izg_dodPV}}$ [MWh]	ΔW_{izg} [MWh]	[%]
0,00	17,90	17,15	0,75	4,17
0,25		17,12	0,78	4,35
0,50		17,09	0,80	4,49
0,75		17,07	0,82	4,60

Tabela 2: Letni prihranki energije, zaradi upoštevanja dodatnih proizvodnih enot, RTP Melje

$Q_{\text{gen}} = qP_{\text{gen}}$	Scenarij 1	Scenarij 2	Letni prihranki izgub	
q	$W_{\text{izg_dej}}$ [MWh]	$W_{\text{izg_dodPV}}$ [MWh]	ΔW_{izg} [MWh]	[%]
0,00	26,11	25,47	0,64	2,43
0,25		25,44	0,66	2,53
0,50		25,43	0,68	2,59
0,75		25,42	0,69	2,63

6. SKLEP

V prispevku je predstavljen vpliv generacije delovne in jalove moči dodatnih proizvodnih enot, priključenih v del SN omrežja na levem bregu reke Drave v Mariboru, na zmanjšanje prenosnih izgub in posledično doseganje prihrankov energije v omrežju. Na osnovi ocene fotonapetostnega potenciala streh v centru Maribora je bilo izbrano 10 streh (oz. skupin streh), najbolj ustreznih za postavitev SE. Nato je bil ovrednoten njihov vpliv na letne prihranke energije izključno v srednjenapetostnem omrežju. Pri tem prihranki energije zaradi zmanjšanja izgub na transformatorjih SN/NN in v nizkonapetostnem omrežju niso vključeni v obravnavo.

Rezultati kažejo, da bi z inštalacijo dodatnih PV sistemov bilo možno v primeru RTP Koroška Vrata doseči 4,17 %, v primeru RTP Melje pa 2,43 % prihrankov energije, glede na izgube v omrežju brez dodatnih proizvodnih enot. Te vrednosti je možno nekoliko dodatno povečati z večjo generacijo jalove moči kapacitivnega značaja, dodatno priključenih proizvodnih enot. Čeprav je skupna priključena moč dodatnih proizvodnih enot v omrežju

RTP Koroška Vrata (155 *kWp*) manjša, kot v omrežju RTP Melje (225 *kWp*), so dobljeni prihranki energije večji. RTP Koroška Vrata je manj obremenjena, vendar tudi prostorsko bolj razpršena proizvodnja, priključena proč od RTP, prispeva k zmanjšanju izgub, zaradi manjših tokov skozi večji del omrežja.

Z razvojem DO se razvijajo tudi napredni sistemi vodenja, ki bodo na osnovi sprotnega ovrednotenja obratovalnih stanj v omrežju, lahko zagotavljali optimalna obratovalna stanja omrežja. Na osnovi izračunov optimalne generacije jalove moči, ki se prilagaja dejanskim, trenutnim potrebam omrežja, bi se lahko za izbrani časovni interval dobilo stanje pri katerem so zagotovljene najmanjše izgube v omrežju, hkrati pa bi zagotovili vrednosti vseh ostalih obratovalnih parametrov, predvsem napetostnega profila, znotraj predpisanih mej. Na ta način bi bili tudi prihranki energije na letnem nivoju večji. Z upoštevanjem izgub v nizkonapetostnem omrežju in v transformatorjih SN/NN pa bi bili ti prihranki še znatno večji.

7. VIRI

- [1] I. Vera, L. Langlois. "Energy indicators for sustainable development." Energy Vol. 32. Issue 6, str. 34-43, 2007.
- [2] S. Weckx, C. Gonzalez, J. Driesen. "Combined Central and Local Active and Reactive Power Control of PV Inverters," IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 5, No. 3, pp. 776-784, 2014.
- [3] E. Belič, K. Dežan, J. Voh, N. Lukač, N. Srećković, P. Sukič, K. Deželak, I. Dovnik, I. Zadravec, M. Miklavčič, G. Štumberger. "Vpliv generacije jalove moči sončnih elektrarn na nizkonapetostno distribucijsko omrežje". V: ZORMAN, Marjan (ur.). 36. Kotnikovi dnevi, Radenci, 26. in 27. marec 2015. Maribor: Elektrotehniško društvo, 2015, str. 1-14
- [4] M. Kolenc, I. Papič, B. Blažič. "Coordinated reactive power control to achieve minimal operating costs," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 63, pp.1000-1007, 2014.
- [5] S. Kucuksari, A. M. Khaleghi, M. Hamidi, Y. Zhang, F. Szidarovszky, G. Bayraksan, Y. J. Son. "An Integrated GIS, optimization and simulation framework for optimal PV size and location in campus area environments." Applied Energy. Vol. 113, pp. 1601-1613, 2014.
- [6] N. Srećković, G. Štumberger "The impact of photovoltaic systems on power losses and voltage profiles in a real medium voltage distribution network", V: International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'15), La Coruña, 25-27 Marec, 2015.
- [7] N. Lukač, D. Žlaus, S. Seme, B. Žalik, G. Štumberger. "Rating of roofs' surfaces regarding their solar potential and suitability for PV systems, based on LiDAR data" Applied energy, zv. 102, str. 803-812, 2012
- [8] J. H. Teng, "A direct approach for distribution system load flow solutions", IEEE Transactions on Power Delivery, 2003, zv. 18, št. 3, str. 882-887

- [9] Študijska naloga, Izdelava nadomestnih obremenitvenih diagramov za slovensko distribucijsko omrežje, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2004.
- [10] SODO, Priloga 5: Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn do moči 10 MW, Maribor, SODO, 2010.

NASLOV AVTORJEV

Nevena Srečković, mag. inž. el.

red. prof. dr. Gorazd Štumberger, univ.dipl.inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 70 56

Fax: +386 2 25 25 481

Elektronska pošta: nevena.sreckovic1@um.si