

# Optimalno dimenzionisanje i eksploatacija sistema za skladištenje energije u distributivnim mrežama sa integriranim fotonaponskim sistemima

Pavle Dakić, Dimitrije Kotur

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet,  
Beograd, Srbija  
dakicpavle@gmail.com  
kotur@etf.rs

*Sadržaj*—U ovom radu, analizirana je prednost i isplativost instaliranja dodatnih sistema za skladištenje energije (SSE) u cilju efikasnijeg eksploatacija fotonaponskih (FN) sistema i unapredjenja stanja distributivne mreže (DM). Ideja instaliranja SSEse odnosi na rešavanje problema previsokih napona u DM sa značajnim instaliranim snagama FN sistema. U podnevnim satima, kada proizvodnja iz FN može biti značajno veća od potrošnje, može doći do neprihvatljivo visokih napona u priključnoj DM uzrokovanih kontrastovima snaga i velikim impedansama distributivnih vodova i transformatora. Rešavanje ovog problema često se vrši ograničavanjem snage FN na prihvatljivu vrednost, ovaj mod upravljanja je poznat kao “power curtailment” (PC). Ovo za posledicu ima dva negativna efekta. Prvi, celokupna proizvodnja iz FN sistema nije iskorišćena i drugi, distribucija u većini slučajeva mora da plati penale usled nemogućnosti prihvatanja celokupne proizvodnje iz FN sistema. Instaliranje SSEomogućava bolju integraciju FN sistema gde sva aktivna energija koja se ne može injektirati u DM, biva apsorbovana i iskorišćena u trenucima kada je potrebna. Ovo vodi ka boljim naponskim prilikama i manjim gubicima u DM. Razmatrani period u kom je vršena analiza je cela godina sa satnim intervalima. Analiza je izvršena na IEEE mreži sa realnim podacima potrošnje i iradijacije na području Beograda.

*Ključne reči*—obnovljivi izvori energije; fotonaponski sistemi; sistemi za skladištenje energije; optimizacija distributivne mreže; upravljanje aktivnim snagama

## I. UVOD

Trend instaliranja FN sistema u DM je u sve većem porastu, a u skladu sa tim, i regulative za priključenje istih se pooštavaju. Kako FN sistemi predstavljaju aktivne elemente DM oni se moraju kontrolisano instalirati u sistem. Opšte je poznato da visok nivo penetracije proizvedene energije iz FN sistema može negativno da utiče na naponske prilike i izazove fluktuacije napona i preopterećenje vodova. Jedan od načina kontrolisanja proizvodnje iz FN sistema, u cilju sigurnog, pouzdanog i kvalitetnog rada DM, predstavlja “power curtailment” (PC). Sam pojam PC predstavlja ograničavanje proizvodnje iz FN sistema u trenucima kada DM nije u mogućnosti da primi proizvedenu energiju i/ili samo

injektiranje energije iz FN sistema narušava tehnička ograničenja. Sam princip PC se svodi na smanjivanje snage FN sistema, odnosno smanjivanjem njegove efikasnosti adekvatnom kontrolom MPPT koji bira radnu tačku u kojoj se postiže željena snaga koja je manja od maksimalno moguće.

Sam PC rešava neke od problema koji postoje integracijom FN sistema, ali na neefikasan način. Optimalno dimenzionisani SSE na lokacijama instaliranja FN sistema predstavljaju daleko efikasniji mehanizam integracije FN sistema. Akumuliranje proizvedene energije u trenucima kada nije moguće njeno injektiranje u DM i korišćenje te energije u trenucima bez iradijacije omogućava bolje naponske prilike, manje gubitke u DM, potpuno iskorišćavanje kapaciteta FN sistema i sprečava plaćanje penala usled nemogućnosti preuzimanja proizvedene energije iz istih.

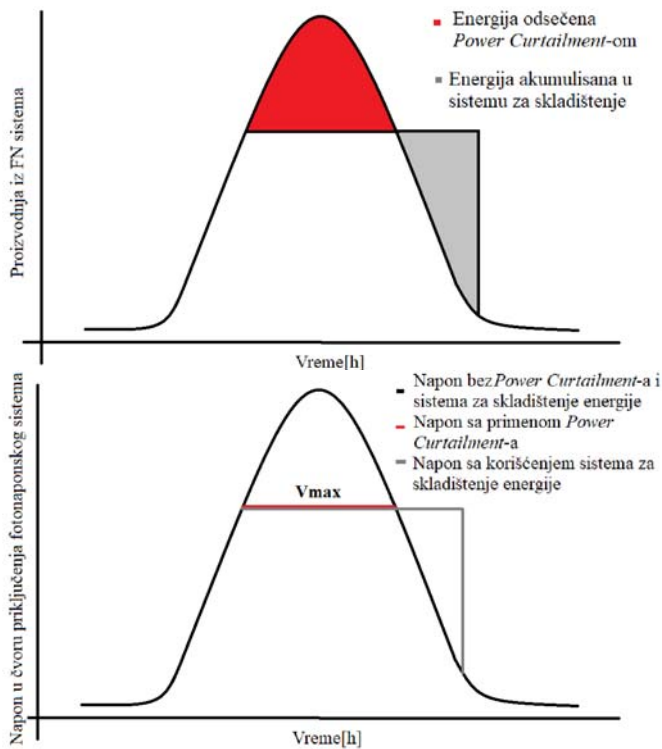
Uradu [1] su istraženi problemi sa integracijom FN sistema kao i njihov uticaj na DM. Uradu [2] je analiziran PC u kombinaciji sa lokalnim generisanjem reaktivne energije iz invertora na ukupnu proizvodnju iz FN sistema i gubitke u mreži, dok se u [3] analizirao koordinisan PC FN invertora povezanih na mrežu u cilju prevencije rasta napona iznad kritične vrednosti. U radu [4] su predstavljene dve tehnike za poboljšanje naponskih prilika i povećanje prenosnih kapaciteta u DM – generisanje reaktivne snage lokalno iz invertora i regulisanje regulacione sklopke na regulacionom transformatoru na početku izvoda, dok je u radu [5] izvršena analiza i poređenje metoda za upravljanje reaktivnim snagama preko invertora iz FN sistema za različite scenarije penetracije proizvodnje iz FN sistema. U radu [6] je prikazano kako napredno upravljanje invertorima i korišćenje skladištene energije može prevazići problem naponskih fluktuacija. U radu [7] se bavilo sličnom problematikom kao u ovom radu – optimalno pozicioniranje kondenzatorskih baterija u cilju minimizacije naponskih devijacija i smanjenja gubitaka.

Parametri distributivne mreže i njen uobičajeni radikalni koncept zahtevaju drugačiji pristup u optimizaciji tokova snaga i naponskih prilika u odnosu na prenosnu mrežu, gde se naponskim prilikama upravlja isključivo tokovima reaktivnih snaga. U ovom radu je problem integracije FN sistema, minimizacije gubitaka i održavanja napona u normalnim

vrednostima posmatran kroz optimizaciju tokova aktivnih snaga vremenskom i prostornom preraspodelom vršenom kroz integraciju SSE. Analiza je izvršena na modelu IEEE mreže sa realnim podacima potrošnje i iradijacije na području Beograda, sa predefinisanim pozicijama i veličinama FN sistema. Vremenski period u kom je vršena analiza je jedna godina.

## II. DEFINICIJA OPTIMIZACIONOG PROBLEMA

U radu je prikazana metodologija za određivanje optimalnih kapaciteta SSE u cilju smanjenja troškova koji nastaju usled smanjivanja proizvodnje iz FN sistema. Instalacijom SSE, energija koja se ne bi isporučila usled povišenih napona se skladišti, a zatim se kasnije predaje sistemu u satima sa niskim naponima (Sl. 1).



Slika 1. Prikaz proizvodnje FN sistema (gornja slika) i napona u čvoru priključenja FN sistema (donja slika) za slučaj bez PC, sa PC i sa integrisanim SSE

Algoritam za rešavanje ovog optimizacionog problema može se podeliti u dva koraka:

1. Određivanje srednjih satnih vrednosti neproizvedene energije usled limitiranja proizvodnje FN sistema
2. Određivanje optimalnih kapaciteta SSE

### A. Određivanje neproizvedene energije usled limitiranja proizvodnje FN sistema

Da bi se odredili gubici usled limitiranja proizvodnje FN sistema, u prvom koraku neophodno je izvršiti proračun tokova snaga u analiziranoj mreži na osnovu kojeg se dobijaju i naponske prilike. Proračun se vrši za svaki od 8760 sati u

analiziranoj godini. Za proračun naponskih prilika koriste se sledeći podaci:

1. Parametri mreže:  $R_{ij}, X_{ij}$  – pogonske otpornost i induktivnost voda koji povezuje čvorove  $i$  i  $j$ ,
2. Potrošnja:  $P_{i,h}, Q_{i,h}$  – srednje satne vrednosti aktivne i reaktivne snage potrošnje u potrošačkom čvoru  $i$  u satu  $h$ ,
3. Proizvodnja iz FN sistema:  $P_{PV,i,h}$  – srednje satne vrednosti proizvodnje aktivne snage iz FN sistema u čvoru  $i$  u satu  $h$ .

Na osnovu parametara mreže i definisanih srednjih satnih vrednosti aktivne i reaktivne snage injeckiranja i potrošnje, vrši se proračun tokova snaga i naponskih prilika u DM primenom *Shirmohammadi*-jevog algoritma. Algoritam počinje inicijalizacijom postupka koji se sastoji u učitavanju podataka o DM, numeracijom grana i čvorova po lejerima i postavljanje indeksa iteracije na početnu vrednost ( $h=1$ ). Nakon inicijalizacije iterativni postupak isvak iteracijesastojiodsledecatrikoraka [8]:

- Proračun injeckiranih struja (počevšiod čvorova u prvom lejeru):

$$\hat{i}_i^{(h)} = \left[ \frac{\hat{S}_{p,i}}{\hat{v}_i^{(h-1)}} \right]^* + \hat{y}_{0,i} \cdot \hat{v}_i^{(h-1)}, i = 1, \dots, n_{cv} \quad (1)$$

gdesu:

$\hat{i}_i^{(h)}$  – strujainjeckiranja u čvoru  $i$ , iteracijah;

$\hat{S}_{p,i}$  – specificirana snaga potrošnje u čvoru  $i$ ;

$\hat{v}_i^{(h-1)}$  – napon u čvoru  $i$ , iteracijih–1;

$\hat{y}_{0,i}$  – suma admitansi otočnih elemenata čvora  $i$ ;

$n_{cv}$  – broj čvorova.

- Proračun strujapogranama (počevšiod grana u poslednjem lejeru):

$$\hat{j}_i^{(h)} = \hat{i}_i^{(h)} + \sum_{j \in i} \hat{j}_j^{(h)}, i = n_{gr}, \dots, 1 \quad (2)$$

gdesu:

$\hat{j}_i^{(h)}$  – strujaugrani  $i$  u iteracijih;

$\sum_{j \in i} \hat{j}_j^{(h)}$  – sumastrujasvih granakojepolaze iz čvorau iteracijih;

$n_{gr}$  – broj grana.

- Proračun napona u čvorovima (počevšiod čvorova u poslednjem lejeru):

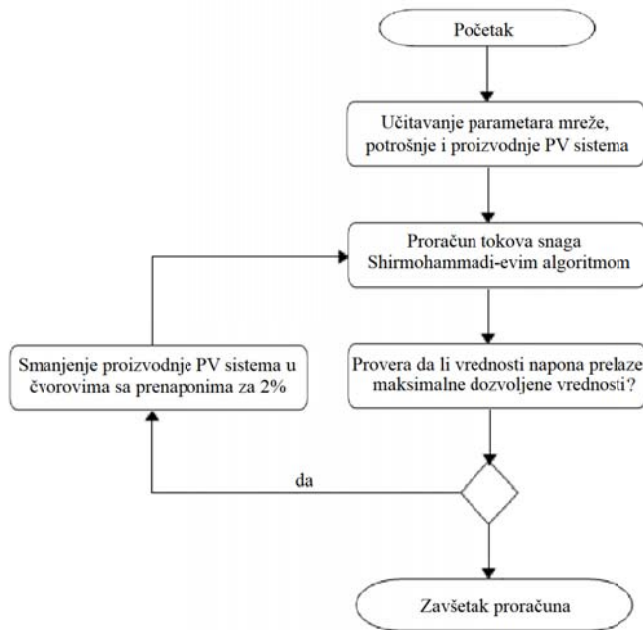
$$\hat{v}_i^{(h)} = \hat{v}_{i-1}^{(h)} - \hat{z}_i \hat{j}_i^{(h)}, i = 1, \dots, n_{cv} \quad (3)$$

gde je:

$\hat{z}_i$  – redna impedansa grane  $i$ .

U prvoj iteraciji, izvršen je proračun naponskih prilika u DM za svaki sat u analiziranoj godini. Na osnovu ovih vrednosti, neophodno je odrediti sate i čvorove u kojima su naponi veći od maksimalne dozvoljene vrednosti. U čvorovima u kojima se to dogodilo vrši se smanjivanje proizvodnje FN

sistema za određenu vrednost. U radu je usvojeno da se u svakoj iteraciji proizvodnja smanjuje za 2%. Na osnovu ovoga, dobijaju se nove vrednosti proizvodnje FN sistema na osnovu kojih se dalje u novoj iteraciji vrši proračun tokova snaga i određivanje naponskih prilika kao u prvoj iteraciji. Iterativni postupak se završava kada se dobiju proizvodnje FN sistema za koje neće dolaziti do prekoračenja napona ni u jednom čvoru ni u jednom satu. Predloženi algoritam prikazan je na Sl. 2. Nakon završetka ovog proračuna, dobijene su srednje satne vrednosti snaga za koje treba da se smanji proizvodnja FN sistema u cilju održavanja napona u normalnim granicama. Na osnovu ovih vrednosti moguće je odrediti i dnevne gubitke energije usled smanjivanja proizvodnje FN sistema.



Slika 2. Proračun tokova snaga uz efekat smanjivanja proizvodnje FN sistema usled pojave prenapona

### B. Određivanje optimalnih kapaciteta sistema za skladištenje energije

Nakon izračunatih vrednosti dnevnih gubitaka energije usled limitiranja proizvodnje FN sistema, ostalo je da se odrede optimalne vrednosti kapacitete SSE za koje će ukupna dobit biti maksimalna. U radu je pretpostavljeno da se energija iz FN sistema prodaje distribuciji po fiksnoj povlašćenoj ceni. Optimizaciona funkcija koju treba maksimizovati prikazana je sledećom relacijom:

$$(4)$$

gdeje:

- cena investicije u SSE svedena na godišnjivo [€/kWh]

- cena električne energije [c€/kWh]

- ukupna energija koja je uskladištena u  $i$ -tom SSE u [kWh] pri čemu su gubici usled punjenja i pražnjenja SSE zanemareni

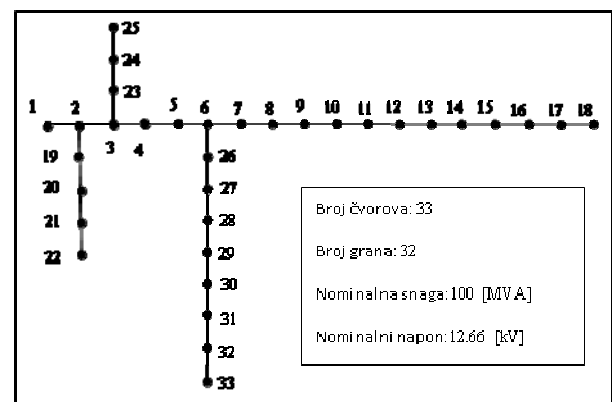
- kapacitet  $i$ -tog SSE u [kWh].

Sa povećanjem kapaciteta SSE, smanjuje se neproizvedena energija usled limitiranja proizvodnje FN pa se povećava energija koja se može prodati distribuciji, međutim povećavaju se i investicioni troškovi ugradnje SSE. Optimalne vrednosti kapaciteta SSE se nalaze u tački nakon koje povećanje kapaciteta SSE više povećava investicione troškove, nego što povećava zaradu usled plasiranja energije distribuciji. Ove vrednosti za svaki od SSE se mogu dobiti vrlo jednostavno, prostom pretragom rešenja.

### III. TEST SISTEM

Demonstracija predloženog modela je vršena na IEEE mreži prikazanoj na Sl. 3.

Bazno stanje kao i parametri DM (potrebni za proračun tokova snaga) mogu se naći u [9]. U tabeli I je data maksimalna vrednost potrošnje za svaki od čvorova.

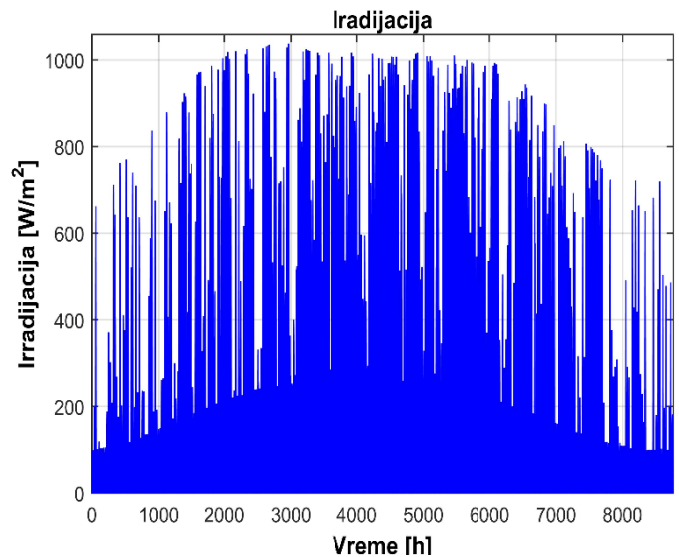


Slika 3. Prikaz test sistema – IEEE mreža

TABELA I. MAKSIMALNA VREDNOST POTROŠNJE U SVAKOM OD ČVOROVA

Čvor	$P_{\max}$ [kW]	$Q_{\max}$ [kvar]
1	0	0
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10

16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40



Slika 4. Solarna iradijacija za analizirani period

Podaci o solarnoj iradijaciji su preuzeti sa sajta *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) za lokaciju grada Beograda, dok je godišnja kriva potrošnje preuzeta iz jedne od distributivnih stanica u Beogradu. Na Sl. 4 i 5 su prikazani ovi godišnji normalizovani dijagrami potrošnje i iradijacije. U analizi se smatra da su vremenski profili proizvodnje i potrošnje iste za svaki čvor. Vrednost potrošnje u svakom čvoru se dobija množenjem maksimalne snage iz tabele I sa krivom potrošnje na Sl. 4, dok se proizvodnja dobija množenjem instalisane snage FN sistema iz tabele II sa iradijacijom u tom satu (zavisnost izlazne snage FN sistema od temperature je uvažena kroz vrednost iradijacije u svakom satu) prikazano sledećom relacijom:

$$P_n = I_{cell} \cdot \Delta p \cdot t_{cell} \quad (5)$$

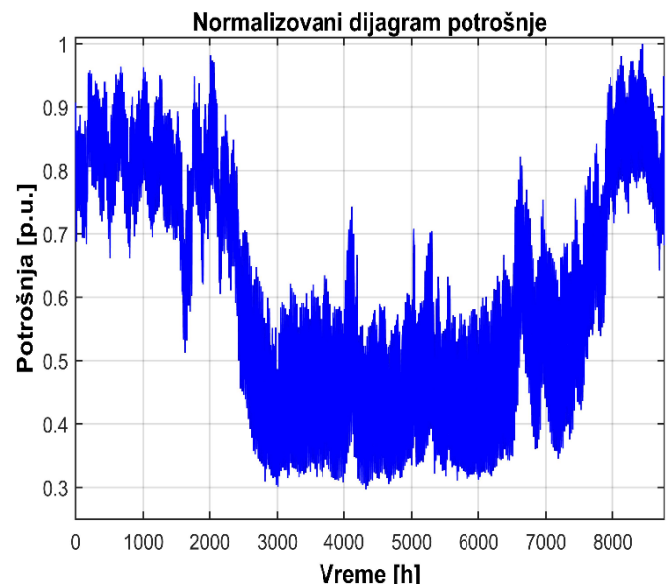
gde je:

$P_n$  - instalisana snaga FN sistema u[kW] prikazana u tabeli II.

$I_{cell}$  -iradijacija na površini ćelije FN sistema [ $W/m^2$ ].

$\Delta p$  - promena efikasnosti u zavisnosti od temperature u [%].

$t_{cell}$  -temperatura ćelije FN sistema u [ $^{\circ}C$ ].



Slika 5. Normalizovana kriva potrošnje za analizirani period

TABELA II. PODACI O INSTALIRANIM FN SISTEMIMA U DM

	Čvor	Instalisana snaga [kW]
FN sistem 1	3	1500
FN sistem 2	23	1500
FN sistem 3	17	250
FN sistem 4	12	3000

#### IV. REZULTATI

Na osnovu definisanog optimizacionog problema i ulaznih podataka prikazanih u prethodnom poglavlju, izvršeno je određivanje optimalnih kapaciteta SSE u svakom čvoru u kojem se nalaze priključeni FN sistemi. U Tabeli II prikazani su optimalni kapaciteti SSE u svakom čvoru DM. U Tabeli III prikazani su podaci o plasiranoj električnoj energiji koja se ostvaruje ugradnjom SSE za svaki čvor analizirane DM, zaradi koja se tom prilikom ostvaruje, troškovima SSE i ukupnom krajnjem profitu.

Ugradnjom SSE, pored toga što se postižu bolji naponski profili postiže se i smanjenje gubitaka električne energije u DM. Na Sl. 6 prikazan je dijagram gubitaka električne

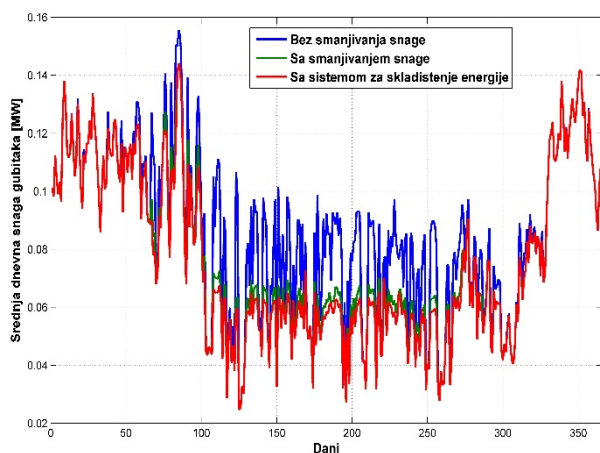
energije, pre smanjivanja snage FN sistema usled porasta vrednosti napona iznad dozvoljene vrednosti, nakon smanjivanja snage FN sistema i nakon ugradnje optimalnih vrednosti SSE. Na Sl. 7 prikazan je dijagram naponskih prilika u najugroženijem čvoru za prethodna tri slučaja. Konačno, na Sl. 8 je prikazan dijagram snage razmene električne energije sa napojnom transformatorskom stanicom za prethodna tri slučaja.

TABELA III. OPTIMALNE VREDNOSTI KAPACITETA SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

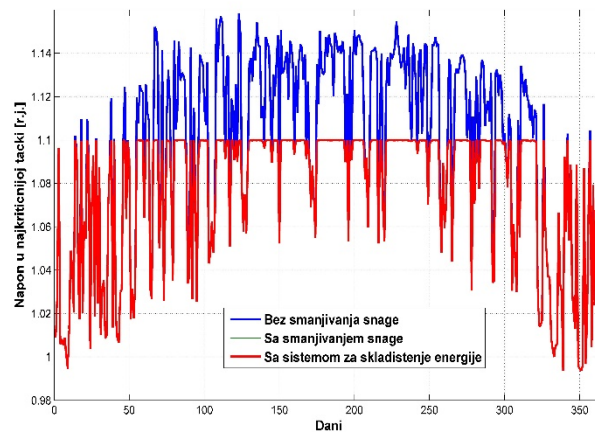
FN sistem	Čvor	Instalisana energija [kWh]
1	14	630
2	18	1640
3	22	0
4	33	330

TABELA IV. OSTVARENE DOBITI INSTALISANJEM SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

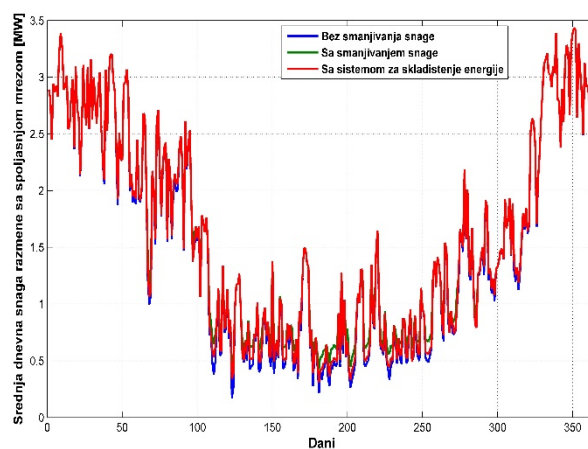
FN sistem	Čvor	Plasirana električna energija [MWh]	Ostvarena zarada [ $\cdot 10^3$ €]	Trošak sistema za skladištenje [ $\cdot 10^3$ €]	Krajnji profit [ $\cdot 10^3$ €]
1	14	82,21	16,99	12,6	4,39
2	18	244,62	50,54	32,8	17,74
3	22	0	0	0	0
4	33	36,78	7,60	6,6	1,0



Slika 6. Srednja dnevna snaga razmene električne energije sa spoljašnjom mrežom



Slika 7. Maksimalni dnevni naponi u najkritičnijoj tački distributivnog sistema



Slika 8. Srednja dnevna snaga gubitaka električne energije u distributivnoj mreži

Na osnovu Sl. 6 mogu se doneti sledeći zaključci. Najviši naponi u sistemu se javljaju kada je velika proizvodnja iz FN sistema. U tim momentima, u sistemu dolazi do inverznih tokova aktivnih snaga (od potrošača ka napojnoj stanici), pa se zbog toga neočekivano javljaju i veći gubici u DM. U ovom slučaju, godišnji gubici energije u DM iznose **748,86 [MWh]**. Uvođenjem odsecanja proizvodnje, proizvodnja iz FN sistema se smanjuje u satima kada dolazi do inverznih tokova snaga i na taj način se smanjuju gubici u DM. U ovom slučaju, godišnji gubici električne energije iznose **681,02 [MWh]**. Konačno, uvođenjem SSE, gubici snage koji bi se javili usled smanjenja proizvodnje iz FN sistema se pomeraju u sate u kojima je proizvodnja iz FN sistema mala ili ne postoji. Na taj način, smanjuje se neto potrošnja u sistemu, što opet pozitivno utiče na gubitke u DM. U ovom slučaju, godišnji gubici energije iznose **670,01 [MWh]**. Iz ove analize se vidi da SSE, osim što poboljšavaju naponske prilike smanjuju i gubitke električne energije u distributivnom sistemu.

Smanjivanje snage FN sistema u čvorovima sa naponima iznad dozvoljene vrednosti ograničava napone na njihovu

maksimalnu vrednost, što se može i videti na osnovu Sl. 7. SSE neće dodatno povećati već visoke vrednosti napona, već će povećati vrednosti napona u satima kada suniže vrednosti napona, čime se postiže dodatan benefit.

Sa Sl. 8 se vidi da pojava limitiranja snage FN sistema pri pojavi povećanja vrednosti napona iznad granične vrednosti (poznatije kao PC) dovodi i do povećanja srednje dnevne snage razmene električne energije sa spoljašnjom mrežom. Instaliranjem SSE, najveći deo izgubljene energije će se ipak plasirati sistemu, čime se povećava i nezavisnost sistema od spoljašnje mreže. Ukupna godišnja energija razmene u slučaju sistema bez smanjivanja aktivne snage FN sistema iznosi **13690,8 [MWh]**, u drugom slučaju, kada se u sistem ubaci smanjivanje aktivne snage FN sistema ova vrednost iznosi **14153,86 [MWh]** i konačno, ugradnjom SSE se ova energija smanji na **13892,5 [MWh]**.

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu, analiziran je benefit instaliranja sistema za skladištenje energije na mestima gde su instalirani FN sistemi u cilju što bolje integracije istih u sistem i poboljšanja stanja DM. Kao rezultat optimizacionog problema se dobija najbolji benefit (razlika cene investicije u SSE i cene *feed in tariff* pomnožene sa energijom koja se skladišti (a inače bi bila bačena)). Dodatan benefit, koji nije uvažen u kriterijumskoj funkciji a doprinosi poboljšanju stanja DM, predstavlja smanjenje gubitaka energije i poboljšanje naponskih prilika usled optimizovanog toka aktivnih snaga iz FN sistema. Iz rezultata predstavljenih u poglavlju IV može se videti da ovakav pristup omogućava dobru i efikasnu integraciju FN sistema. Pored gore navedenog SSE omogućavaju stabilan izlaz iz FN sistema što predstavlja dodatan podsticaj ovakvom načinu integracije FN sistema. Analiza je odrađena za IEEE test mrežu sa realnim jednogodišnjim podacima za potrošnju i proizvodnju.

Opisani algoritam predstavlja relativno lak alat za poboljšanje integracije FN sistema sa lakom integracijom u bilo koji oficijalni softver, te stoga može imati veliku primenu u praksi kao jedna od simulacionih funkcija za poboljšanje DM.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju projektu Embuild, finansiran od strane Evropske komisije, H2020, poziv H2020-EE-2015-3-MarketUptake za finansijsku podršku pruženu prilikom izrade ovog rada.

## LITERATURA

- [1] D. Franković, M. Živić Đurović, S. Sladić - Some aspects of implementing Grid-Connected PV Systems, Engineering Review Vol. 31, Issue 2, 71-79, 2011.

- [2] P. Sukić, E. Belić, N. Srećković, M. Trbušić -Photovoltaic Power Plants As Active Elements Of Distribution Networks, Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, Graz/Austria
- [3] R. Tonkoski, L. A. C. Lopes, T. H. M. El-Fouly - Coordinated Active Power Curtailment of Grid Connected PV Inverters for Overvoltage Prevention, IEEE transactions on sustainable energy, Vol.2, No.2, April 2011
- [4] P. Esslinger, R. Witzmann -Improving Grid Transmission Capacity and Voltage Quality in Low-Voltage Grids with a High Proportion of Distributed Power Plants, ICSGCE 2011: 27-30 September 2011, Chengdu, China
- [5] R. Kabiri D. G. Holmes B. P. McGrath - The Influence of PV Inverter Reactive Power Injection on Grid Voltage Regulation, Conference Paper, June 2014, DOI: 10.1109/PEDG.2014.6878640
- [6] L.F. Casey, C. Schauder, J. Cleary, M. Ropp – Advanced Inverters Facilitate High Penetration Of Renewable Generation On Medium Voltage Feeders – Impact And Benefits For the Utility, Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES), 2010 IEEE Conference, 10.1109/CITRES.2010.5619858
- [7] O. Babacan, W. Torre, J. Kleissl – Allocation of Battery Energy Storage Systems in Distribution Networks Considering High PV Penetration, CSI RD&D (Solicitation 4) Subtask 4.2 Final Report:
- [8] D. Popović, D. Bekut, V. Dabić, Specijalizovani DMS algoritmi, Novi Sad, 2004.
- [9] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, N. Rajasekar – Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG), Energy Reports, 2015, 1, pp 116-122

## ABSTRACT

In this paper, the advantage and cost-effectiveness of installing additional energy storage systems (ESS) was analyzed in order to efficiently exploit the photovoltaic (PV) systems and improve state of the distribution network (DN). The idea of installing the SS is to solve the problem of overvoltages in the DN with a significant installed power of the PV system. In the afternoon, when production from PV can be significantly higher than consumption, unacceptably high voltages can occur caused by inversed powerflow and large impedances of distribution lines and transformers. Solving this problem is often done by restricting the PV power to an acceptable value and this control mode is known as "power curtailment" (PC). This results in two negative effects. First, the entire production from the PV system is not used, and others, the distribution in most cases has to pay penalties due to the inability to accept the entire production from the PV system. Installing the ESS enables better integration of PV systems where all active energy that can not be injected into the DM is absorbed and used at times when it is needed. This leads to better voltage conditions and lower losses in DM. The analyzed period in which the analysis was carried out was one year with hourly resolution. The analysis was carried out on the IEEE test system with real data of load values and irradiation in the Belgrade.

## OPTIMAL SIZING AND EXPLOITATION OF THE ENERGY STORAGE SYSTEMS IN THE DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISPERSED PV PLANTS

Pavle Dakić, Dimitrije Kotur