

## PILOT PROJEKAT ZA IMPLEMENTACIJU TEHNOLOGIJE ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNI SISTEM

## PILOT PROJECT FOR THE IMPLEMENTATION OF ENERGY STORAGE TECHNOLOGY IN THE DISTRIBUTION SYSTEM

Aleksandar ANĐELKOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Distributivno područje Niš, ogranak Leskovac  
Miroslav DOČIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Distributivno područje Niš, ogranak Leskovac  
Aleksandar JANJIĆ, GOPA International Energy Consultants, Branch office Belgrade, Srbija

### KRATAK SADRŽAJ

U radu je opisan predlog pilot projekta ugradnje sistema za skladištenje energije (SEE) u distributivnu mrežu. Sistem za skladištenje lociran je na dalekovodu na koji je priključena solarna elektrana. Pored praktičnog, ovaj projekat ima za cilj i edukaciju i upoznavanje distributivnih operatera sa novim tehnologijama. Zbog toga je i izabrana lokacija, na kojoj bi ugradnja sistema za skladištenje obavljala sledeće funkcije: rasterećenje distributivne mreže, poboljšanje kvaliteta električne energije, smanjivanje intermitencije solarne elektrane, poboljšanje stacionarnih naponskih prilika u mreži i upoznavanje sa tehnologijom skladištenja električne energije.

**Ključne reči:** skladištenje električne energije, distributivna mreža, rasterećenje

### ABSTRACT

The paper describes the proposal of a pilot project for the installation of an energy storage system (ESS) in the distribution network. The storage system is located on the transmission line to which the solar power plant is connected. In addition to the practical, this project also aims to educate and acquaint distribution operators with new technologies. That is why the location was chosen, where the installation of the storage system would perform the following functions: relief of the distribution network, improvement of the quality of electricity by reducing the intermittency of the solar power plant, improvement of stationary voltage conditions in the network and familiarization with the technology of electricity storage.

**Key words:** electrical energy storage, distribution network, capacity release

Aleksandar Anđelković, [aleksandar.andjelkovic@eds.rs](mailto:aleksandar.andjelkovic@eds.rs)

Miroslav Dočić, [miroslav.docic@eds.rs](mailto:miroslav.docic@eds.rs)

Aleksandar Janjić, [aleksandar.janjic@gopa-intec.de](mailto:aleksandar.janjic@gopa-intec.de)

### 1. UVOD

Tehnologije za skladištenje energije apsorbuju i skladište energiju u određenom vremenskom periodu, nakon čega se uskladištena energija oslobađa i koristi za predviđenu namenu. Zahvaljujući ovom postupku i tehnologiji mogu se prevazići razni problemi koji nastaju u procesu balansiranja između proizvodnje i potrošnje električne energije, ali i problemi stabilnosti, pouzdanosti snabdevanja i upravljanja opterećenjem. Električnu energiju je teško skladištiti u značajnim količinama. Ipak, skladištenje električne energije ima smisla zbog povećanja efikasnosti proizvodnih kapaciteta, kao i zbog povećanja korišćenja OIE čija proizvodnja električne energije ima intermitentan karakter. Upravo se nedostatak efikasnog skladištenja energije često navodi kao glavna prepreka za masovnije korišćenje OIE.

Tehnologija skladištenja energije može doprineti boljoj integraciji energetske sistema i sistema za toplotnu energiju i može značajno doprineti dekarbonizaciji u energetici tako što će: unaprediti efikasnost energetske sistema, pomoći masovnoj integraciji OIE, unaprediti stabilnost, fleksibilnost i pouzdanost električnih mreža.

Troškovi raznih tipova tehnologija za skladištenje energije značajno su smanjeni u proteklim godinama, što olakšava praktičnu primenu, ali je još uvek mnogo nepoznanica zbog kojih su krajnji korisnici nepoverljivi i to usporava masovnu primenu. Neke od tehnologija za skladištenje energije su dobro razvijene, dok su druge u fazi razvoja i nisu, još uvek, ekonomski isplative. Tehnologija za skladištenje energije ima potencijal da podrži i unapredi evoluciju postojećeg energetskeg sistema, ali je za masovnu primenu i razvoj potrebna pomoć nacionalnih Vlada, industrije, naučnih i finansijskih institucija koje bi realizovale i finansirale projekte i istraživanja iz ove oblasti. Prema proceni Međunarodne agencije za energiju u narednim godinama potrebno je izgraditi i priključiti na energetske sistem dodatnih 310GW kapaciteta za skladištenje energije na teritoriji SAD, EU, Kine i Indije u cilju dekarbonizacije energetskeg sektora.

U radu je opisan predlog pilot projekta ugradnje sistema za skladištenje energije (SEE) u distributivnu mrežu. Sistem za skladištenje lociran je na dalekovodu na koji je priključena solarna elektrana. Pored praktičnog, ovaj projekat ima za cilj i edukaciju i upoznavanje distributivnih operatera sa novim tehnologijama

## 2. SKLADIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

### 2.1 Funkcije SEE u distributivnoj mreži

Definisanjem funkcija sistema za skladištenje električne energije (SEE) može se odrediti kapacitet skladištenja preko vremena tokom koga sistem može da daje naznačenu snagu. Na osnovu tih podataka može se saznati više o zahtevanoj gustini energije (kada se imaju periodi srednjeg ili dugog trajanja), ili zahtevanoj gustini snage (za periode kratkog ili vrlo kratkog trajanja). Primer funkcionalnosti SEE u funkciji vremena, dat je u tabeli 1.

Tabela 1 - Funkcionalnost SEE u smislu vremena trajanja rada [1]

Vreme trajanja rada	Namena
Nekoliko $\mu$ s	Kompenzacija propada napona Ublažavanje prelaznih procesa pri uključivanju rezervnog napajanja Ublažavanje prelaznih procesa pri uključivanju električnih motora
Vrlo kratko (nekoliko ciklusa mrežne učestanosti)	„Pokrivanje“ opterećenja tokom starta i sinhronizacije rezervnih generatora Kompenzacija tranzijentnog odziva elektronskih uređaja u distribuiranim izvorima Napajanje računara i telekomunikacionih uređaja dok se ne uključi rezervni napajanje
Kratko (nekoliko minuta)	Pokrivanje vršnih opterećenja Pokrivanje deficita snage iz obnovljivih izvora ogradenog tipa (solarne ili vetroelektrane) Ublažavanje potrebe za uključivanjem rezervnih generatora Kratkotrajno napajanje prioriternih potrošača
Srednje (nekoliko sati)	Akumuliranje viška koji će biti potrošen kasnije Ublažavanje varijacija potrošnje (na primer, „odsecanje vrha“) Kompenzacija promene potrošnje zbog atmosferskih prilika
Dugo (nekoliko sati do nekoliko dana)	Smanjenje potrošnje goriva u TE Eliminacija korišćenja rezervnih generatora na fosilna goriva
Veoma dugo (nekoliko nedelja do nekoliko meseci)	Proizvodnja vodonika Akumuliranje fosilnih goriva radi izbegavanja cenovnih promena na tržištu Akumuliranje vodonika iz biomase

Zahvaljujući postojanju sistema za skladištenje električne energije, omogućeno je bolje iskorišćenje distribuiranih izvora i to na tri načina :

- Distribuirani izvor (generator) radi sa konstantom proizvodnjom bez obzira na moguće varijacije potrošnje.
- Premošćavanje perioda sa nedovoljno primarne energije (nedovoljno energije Sunca, vetra ili vode).
- Distribuirani izvor (generator) radi kao upravljiva jedinica, u smislu odate snage.

### 2.2 Tehnologije SEE u distributivnoj mreži

SEE sistemi mogu biti izgrađeni za brza prigušenja „pikova“, koji su posledica prelaznih procesa ili mogu da služe za premošćavanje beznaponske pauze, dok se ne uključi sistem za rezervno napajanje ili za akumuliranje

energije za buduće potrebe. U komercijalnoj upotrebi se koriste mehanički, elektrohemijski, hemijski, električni i termički sistemi za skladištenje električne energije.

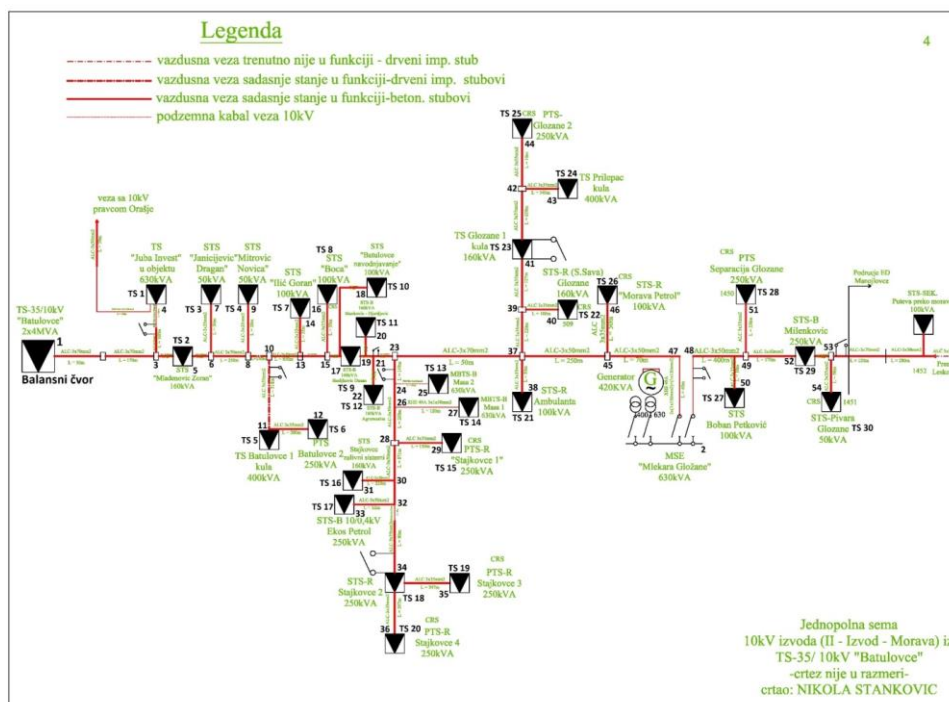
Tehnologija skladištenja EE u baterijama se zasniva na elektrohemijskim reakcijama. Energija, koja je sadržana u hemijskim vezama aktivnog materijala se vraća nazad u električnu energiju kroz niz reakcija oksidacije/redukcije [1]. Najčešće vrste SEE u distributivnoj mreži su baterije sledećih tipova:

- Olovna (Pb) akumulatorska,
- Litijum-jonske (LI-Ion),
- Natrijum-sumporne (NaS),
- Nikl-kadmijumske (NiCd),
- Nikl-metal hidrid (NiMH).

### 3. OPIS PILOT PROJEKTA

#### 3.1 Opis lokacije

Ugradnja sistema za skladištenje električne energije opravdana je u slučajevima kada postoje problemi koji ne mogu da se reše tradicionalnim pojačanjem mreže (rekonstrukcija voda, ugradnja novog transformatora). Posebno, kada je u mreži prisutan i distribuirani izvor energije sa velikom intermitencijom (solarna ili vetroelektrana), skladištenje energije dobija puni značaj zbog poboljšanja kvaliteta električne energije. U ovom poglavlju analiziran je jedan od takvih slučajeva, a to je 10 kV vod „Morava“ iz TS 35/10 kV "Batulovce" u Ogranku Elektrodistribucija Leskovac. Na ovaj vod priključena je i fotonaponska elektrana snage  $P = 420$  kW u čvoru 47 (slika 1).

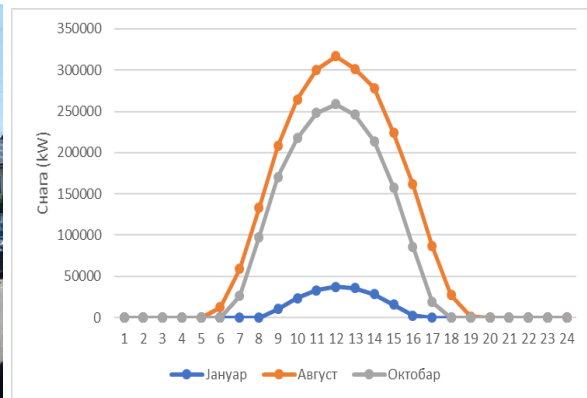


Slika 1 - Jednopolna šema voda sa priključenom fotonaponskom elektranom

Izgled fotonaponske elektrane pokazan je na slici 2. Elektrana je na mrežu priključena preko posebnog transformatorskog postrojenja 0.42/10 kV snage 630 kVA (betonska kućica na slici 2 a). Dijagram proizvedene snage (na strani mreže) za karakteristične periode prikazan je na slici 2 b).



Slika 2 a) Izgled solarne elektrane

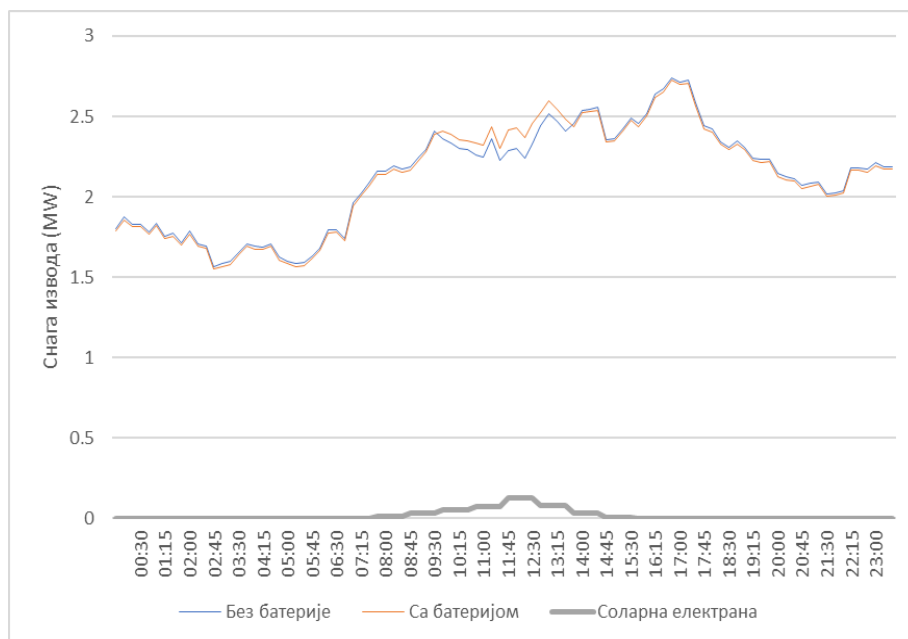


Slika 2 b) Dnevna proizvodnja solarne elektrane

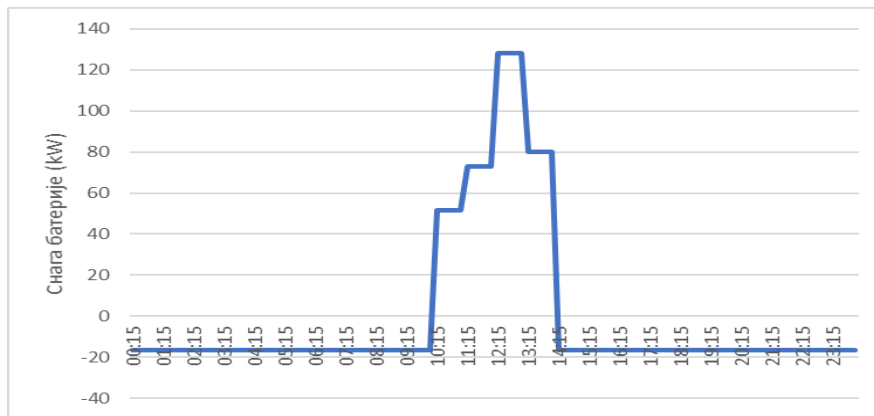
### 3.2 Dimenzionisanje sistema

Sistem za skladištenje energije ima primarni zadatak da akumulira svu energiju iz fotonaponske elektrane, kako bi se eliminisale varijacije napona usled promenljive proizvodne snage elektrane. Režim za koji je dimenzionisan sistem za skladištenje je režim maksimalne potrošnje, a to su zimski meseci kada je proizvodnja fotonaponske elektrane najmanja.

Dijagram opterećenja izvoda za najopterećeniji dan (18.12.2017.) prikazan je na slici 3. Na istom dijagramu prikazan je i dijagram opterećenja sa dodatom baterijom koja se puni u periodu rada fotonaponske elektrane. Zbog male proizvodnje, baterija se dodatno puni u ovom periodu sa strane mreže, te je zbog toga povećano opterećenje izvoda.



Slika 3 - Dijagram opterećenja 10 kV voda



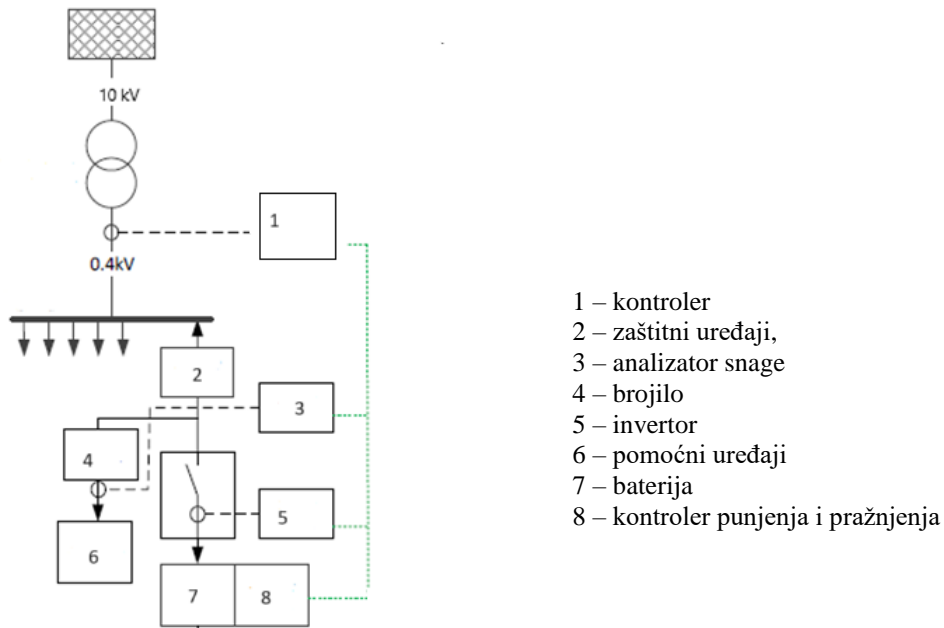
Slika 4 - Dijagram punjenja i pražnjenja baterije

Za pretpostavljeni dijagram punjenja i pražnjenja baterije, izvršen je proračun tokova snaga u programskom paketu Matpower i dat prikaz napona u čvorovima mreže. Radi preglednosti, prikazan je samo jedan broj čvorova u mreži (Tabela 2). Cilj ovog rada nije optimizacija sistema, tako da izabrana energija i snaga sistema nisu optimizovane, već samo prikazuju mogućnosti demonstracionog projekta.

Tabela 2 - Skraćena tabela napona u čvorovima sa upotrebom baterije

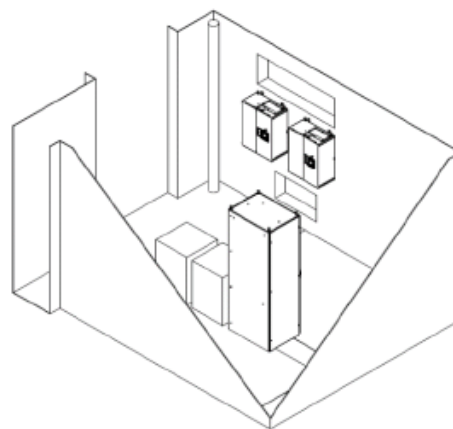
Broj čvora	Bez baterije	Sa baterijom 200 kW		
	U	U	Poboljšanje naponskih prilika	
	kV	kV	kV	%
1	10.5	10.5		
2	10.20	10.24	0.04	0,3786
3	10.47	10.47	0.00	0,0266
4	10.46	10.47	0.00	0,0266
5	10.46	10.46	0.00	0,0350
6	10.45	10.46	0.00	0,0447
7	10.45	10.46	0.00	0,0447
8	10.42	10.43	0.01	0,0751
9	10.42	10.43	0.01	0,0751
10	10.39	10.40	0.01	0,1055
36	10.15	10.18	0.03	0,3196
37	10.21	10.24	0.03	0,3216
38	10.21	10.24	0.03	0,3216
54	10.19	10.23	0.04	0,3793

Sistem za skladištenje se sastoji od betonskog kućišta dimenzija 590x310x385 cm i ukupne težine 46 t. Neophodno je izvesti termičku izolaciju zidova zbog smanjivanja energije potrebne za hlađenje leti i grejanje baterija zimi. Priključenje na distributivnu mrežu je izvedeno preko invertora. Kontrolni sistem i sistem za klimatizaciju smešteni su u prednjem delu kućice, dok su baterije u zadnjem delu. Invertor je nominalne struje 300 A. Invertor radi u sva četiri kvadranta. Invertor poseduje i dodatne funkcije, kao što je balansiranja faza i filtriranje harmonika, a za ovaj pilot projekat pomenute funkcije mogu opciono da se naruče. Predviđena je ugradnja 2 invertora pojedinačne snage 100 kW. Baterije su litijum jonske i sastoje se od 7 niza sa 98 modula, a instalirane su u posebnom vatrootpornom unutrašnjem delu kućice, zajedno sa priključnom opremom za jednosmernu struju. Baterije poseduju svoj kontrolni sistem za nadzor i zaštitu ćelija. Svi kontroleri povezani su sa centralnim kontrolerom baterija, koji je povezan sa master kontrolnom jedinicom.



Slika 5 - Šema SEE

Postrojenje za skladištenje je predviđeno za priključak na NN sabirnice najbliže TS 10/0,4 „Gložane“ kablom PP 41 4 x 150 mm<sup>2</sup> (Slika 5). Paralelno će se položiti i svi neophodni signalni kablovi. Inverter je priključen na mrežu preko glavnog NN prekidača. Baterije se priključuju na DC stranu invertora, preko table jednosmernog napona koja uključuje i glavni jednosmerni prekidač.

Slika 6 - Izgled jedne baterije ( $U_n=51,2V$ ,  $E = 25,6 \text{ kWh}$ ,  $C = 500 \text{ Ah}$ ) i dispozicija opreme u postrojenju

Za klimatizaciju postrojenja za skladištenje se preporučuju korišćenje toplotne pumpe sa visokom efikasnošću, kako bi se održala konstantna temperatura u prostoriji od 23°C. Kada sistem nije aktivan, moguće su i šire temperaturne granice, zbog uštede energije. Sistem za detekciju požara je takođe neophodan i instalira se sa automatskom signalizacijom i alarmiranjem, ali bez funkcije gašenja. Od dodatnih senzora, neophodni su senzori za vrata, prisustvo vlage, a ostali senzori po potrebi.

#### 4. ZAKLJUČAK

Ocena nivoa kvaliteta električne energije je bitan faktor kod procene stanja distributivnog sistema, u celini ili nekog njegovog dela. Ovo naročito dolazi do izražaja u uslovima deregulisanog tržišta električne energije, kada svi subjekti koji se nalaze u elektroenergetskom sistemu, bivaju jako zainteresovani da spoznaju nivo kvaliteta robe kojom trguju. U cilju poboljšanja kvaliteta električne energije, kao jedna od mogućnosti prikazan je planirani pilot projekat ugradnje sistema za skladištenje električne energije u distributivnu mrežu.

Pilot projekat daje osnove za širu primenu SEE u distributivnoj mreži, pogotovu u uslovima povećanog broja obnovljivih izvora energije priključenih na distributivnu mrežu.

#### LITERATURA

- [1] European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport „ Assessing Storage Value in Electricity Markets“ 2013
- [2] Vladica Mijailović, “Distribuirani izvori energije: Princip rada i eksploatacioni aspekti”, Akademska Misao, Beograd, 2011.
- [3] EURELECTRIC Decentralised storage: impact on future distribution grids Dépôt légal: D/2012/12.105/29
- [4] Korišćenje sistema za skladištenje energije u cilju rasterećenja distributivne mreže, Studija rađena za potrebe JP EPS, Netico Solutions, Metronic, Beograd, 2021