

# UTICAJ BATERIJSKIH SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA PARAMETRE POUZDANOSTI RADA GRUPE MALIH DISTRIBUIRANIH GENERATORA

## BATTERY STORAGE SYSTEMS ON OPERATION RELIABILITY OF THE GROUP OF SMALL DISTRIBUTED GENERATORS

Katarina KOVAČEVIĆ, Crnogorski elektrodistributivni sistem DOO, Crna Gora  
Saša MUJOVIĆ, Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Crna Gora  
Miljana MLADENOVIĆ, Crnogorski elektrodistributivni sistem DOO, Crna Gora

### KRATAK SADRŽAJ

U svijetlu sve veće upotrebe obnovljivih izvora električne energije i njihove integracije u elektroenergetski sistem, a imajući u vidu njihovu promjenjivost i snažnu zavisnost od vremenskih prilika, pitanje pouzdanosti rada elektroenergetskog sistema postaje od esencijalnog značaja. S tim u vezi, ovim radom je posmatrana grupa malih hidroelektrana i razmatrano je kako bi implementacija baterijskih sistema za skladištenje električne energije (BSSE) doprinijela većoj pouzdanosti njihovog rada, a time i pouzdanosti pripadajućeg elektroenergetskog sistema. Posmatrani su ključni parametri pouzdanosti i na bazi razvijenog programa u MATLAB-u dobijeni su rezultati koji potvrđuju pozitivan uticaj BSSE i povećanje parametara pouzdanosti u slučaju njihove primjene.

**Ključne riječi:** male hidroelektrane, skladište električne energije, baterije, parametri pouzdanosti, modelovanje sistema

### ABSTRACT

In the light of ever-increasing application of renewable electrical energy sources and their integration in electric power systems, and considering their changeability and strong dependence on weather, a question of operation reliability of the electric power system became essential. In this regard, by this paper, a group of small hydropower plants was studied and it was considered how would the implementation of battery systems for storage of electrical energy (BSSE) contributes to the greater operation reliability, following the greater reliability of electric power system. The key parameters of reliability were studied, and based on developed MATLAB program, results were obtained which confirm the positive influence of BSSE and increase of reliability parameters in the case of their application.

**Key words:** small hydropower plants, energy storage, batteries, parameters of reliability, system modeling

Kovačević Katarina, [katarina.kovacevic@cedis.me](mailto:katarina.kovacevic@cedis.me)  
Mujović Saša, [sasam@ac.me](mailto:sasam@ac.me)  
Mladenović Miljana, [miljana.mladenovic@cedis.me](mailto:miljana.mladenovic@cedis.me)

### UVOD

Elektroenergetski sektor je doživio radikalne promjene posljednjih decenija. Razvoj ekonomije i ekološke svijesti uticali su da tradicionalni, vertikalno integrisani elektroenergetski sistemi budu potisnuti savremenim, tržišno-orjentisanim sistemima. Umjesto velikih generatorskih kapaciteta baziranih na upotrebi fosilnih goriva, danas imamo intenzivno korišćenje obnovljivih izvora energije i proizvodnih kapaciteta manjih snaga lociranih blizu potrošačkih oblasti. Ovakav scenario daje potpuno novu dimenziju prenosu i distribuciji električne energije, a same elektroenergetske mreže postaju aktivne, sa dvosmjernim protokom energije. Ono što ostaje nepromijenjeno je težnja da se obezbijedi neprekidno napajanje potrošača električnom energijom adekvatnog kvaliteta i da cijena isporučene energije bude što manja. U uslovima uspostavljenog tržišta električne energije, za

očekivati je da drugi zahtjev bude jednostavnije ispunjen, ali pitanje pouzdanosti električne energije i njenog kvaliteta savremenih elektroenergetskih sistema je još kompleksnije nego što je to bilo u prošlosti. Ovo je direktna posljedica integracije distribuiranih generatora koji koriste obnovljive izvore energije i kao takvi snažno zavise od atmosferskih okolnosti. Imajući na umu da je pojam pouzdanosti elektroenergetskog sistema neraskidivo povezan sa količinom raspoložive rezerve u sistemu, jedan od načina na koji se može ublažiti varijabilnost distribuirane proizvodnje električne energije je upotreba baterijskih sistema za skladištenje električne energije (BSSE).

Problematika povećanja pouzdanosti korišćenjem BSSE privlači značajnu pažnju naučne javnosti. S tim u vezi, u [2] sa gledišta operatora distributivnog sistema, opisani su ključni elementi primjene skladišta električne energije poput baterija, s ciljem sigurnog, besprekidnog i kvalitetnog rada distributivne mreže. Prikazana je tehnologija sa osnovnim karakteristikama baterija, prednostima njihovog korišćenja za regulaciju napona ili upravljanja vršnim opterećenjima, te kako bi iste u budućnosti mogle biti predstavljene kao element elektrodistributivne mreže. U [3] je predstavljen analitički postupak kojim je analiziran uticaj skladištenja električne energije na pouzdanost elektroenergetskih sistema sa vjetrogeneratorima. Simulirana je operativna strategija skladištenja energije. Indeks EENS (eng. Expected Energy Not Served), koji predstavlja količinu vjerovatno neisporučene električne energije u EES-u, korišćen je za ispitivanje uticaja nazivnog kapaciteta skladišta i početne uskladištene energije i broja vjetrogeneratora, na pouzdanost sistema. Nadalje, indeks očekivane neiskorišćene energije EENU (eng. Expected Energy Not Used) definisan je tako da predstavlja energiju izgubljenu u vjetroelektrani.

U [4] je analizirana pouzdanost hidrotermalnih sistema za proizvodnju električne energije, uključujući efekat planiranog održavanja. Prikazana je efikasna metoda za izračunavanje dva najčešća pokazatelja pouzdanosti elektroenergetskog sistema: LOLE (eng. Loss Of Load Expectation) i EENS (eng. Expected Energy Not Served) u slučaju električnih sistema, uključujući proizvodne jedinice sa ograničenom proizvodnjom električne energije (hidroelektrane sa promenljivom količinom dostupne vode). Metoda je zasnovana na pretvaranju krive početnog opterećenja u krivu termičkog opterećenja, koja omogućava potpuno razdvajanje hidrotermalnih i termoenergetskih sistema, olakšavajući na taj način procjenu pouzdanosti i planiranje održavanja.

U [7] proučavan je rad baterije u kombinaciji sa hidroenergetskim sistemom kojeg čini više povezanih hidroelektrana u nizu, u kojem rad svake hidroelektrane direktno utiče na cijeli sistem – kaskadni hidroenergetski sistem. Simulirajući rad kombinovanog sistema tokom cijele godine rješavanjem svakodnevnih problema stohastičkog planiranja i balansiranja u realnom vremenu, pokazano je da se baterija koristi samo u slučaju kada je hidroenergetski sistem pod velikim opterećenjem, usljed velikih količina dotoka vode i ograničenog raspoloživog kapaciteta skladištenja. Njihovom procjenom, godišnja ušteda troškova uključivanja baterije, uključujući troškove degradacije baterije iznosila je 3 314 €, što je malo u poređenju sa troškovima ulaganja u bateriju. Smatrano je da bi operator sistema trebao razmotriti iznajmljivanje skladišta – akumulatora iz spoljnjih izvora, kao što su električna vozila, umjesto investiranja u stalni akumulator.

Osnovna ideja ovog rada je da analizira ključne parametre pouzdanosti grupe malih hidroelektrana lociranih na sjeveru Crne Gore, ukupne instalisane snage 10.968 MW i uticaja koji na iste ima priključenje BSSE. Ostatak rada je organizovan na način da su u drugom poglavlju predstavljene tehničke karakteristike BSSE, dok su trećem poglavlju definisani ključni parametri pouzdanosti elektroenergetskog sistema. Četvrto poglavlje je centralno i sadrži sprovedenu analizu pouzdanosti rada grupe malih hidroelektrana. Na kraju rada je dat zaključak i pregled korišćene literature.

## **TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BATERIJSKIH SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Trenutno su na tržištu dostupne različite vrste BSSE. Kao i kod odabira tehnologije za skladištenje energije i kod odabira baterije važno je znati njene tehničke karakteristike. Tabela 1 daje poređenje važnih tehničkih karakteristika i raspona u cijenama BSSE koji se koriste u velikim baterijskim postrojenjima [2].

TABELA 1 - PREGLED OSNOVNIH TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA I CIJENA RAZLIČITIH BSSE

|                                | Olovne    | Ni-Cd       | Li-ion      | NaS         | ZEBRA       | VRB       | ZnBr        |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| <b>TEHNIČKE KARAKTERISTIKE</b> |           |             |             |             |             |           |             |
| Dugotrajnost                   | ≤ 20 god. | 20+ god.    | ≤ 10 god.   | ≤ 15 god.   | ≤ 15 god.   | ≤ 20 god. | ≤ 10 god.   |
| Broj ciklusa                   | 200-1.000 | 1.000-3.500 | 1.000-2.000 | 4.000-5.000 | 4.000-5.000 | >12.000   | 2.000-3.000 |
| Gustoća energije (Wh/kg)       | 15-40     | 15- 40      | 70 – 250    | 100-120     | 100-120     | 50        | 75-85       |
| Nazivni napon (V)              | 2         | 1,2         | 2,4-3,7     | 2           | 2,5         | 1,2       | 1,8         |
| Korisnost (%)                  | 70-82     | 60-70       | >90         | 80-90       | 85-95       | 70-85     | 60-75       |
| Vrijeme punjenja/praznjenja    | 5 / 1     | 1 / 1       | 1 / 1       | 1 / 1       | 1 / 1       | 1 / 1     | 1 / 1       |
| Vrijeme odziva                 | < 1 ms    | < 1 ms      | < 1 ms      | < 5 ms      | < 5 ms      | < 5 ms    | < 5 ms      |
| Samopraznjenje (%/dan)         | 0,033-0,3 | 0,067-0,6   | ≤ 0,1       | 0           | 0           | malo      | veliko      |
| Radna temperatura (°C)         | -10 - +40 | -40 - +50   | -20 - +60   | +310 - +350 | +310 - +350 | +20 - +40 | +20 - +50   |
| Pogodne za snage (MW)          | ≤ 10      | < 30        | ≤ 2         | ≤ 50        | ≤ 5         | ≤ 15      | ≤ 1         |
| Vrijeme praznjenja             | do 5h     | < 1h        | ≤ 2 h       | 2-8 h       | 2-8 h       | 4-8+ h    | 2-4 h       |
| <b>RASPON CIJENA</b>           |           |             |             |             |             |           |             |
| Cijena baterije (€/kW)         | 100-500   | 400-900     | 150 –1.000  | 3.000-4.000 | 150-1.000   | 500-1.300 | 300-700     |
| Cijena baterije (€/kW)         | 100-200   | 450-1.100   | 700 - 1.300 | 400-600     | 550-750     | 100-400   | 450-550     |

Kao što tabela pokazuje dostupne su različite vrste BSSE, počev od onih starijih (nikl kadmijumske Ni-Cd i olovne Pb), pa do novih (vanadijum redoks VRB, litijum – jonske Li-Ion, itd). Za razliku od olovnih baterija, litijum – jonske baterije predstavljaju savremen tip baterije. Specifičnost litijuma kao materijala se ogleda u maloj masi, te su ove baterije prenosive i jednostavnije za upotrebu. U odnosu na druge baterije njih odlikuje visok elektrohemijski potencijal, veći kapacitet, energija i napon. Smatra se da ove baterije mogu izdržati čak do hiljadu ciklusa praznjenja, prije nego počnu gubiti svoja deklarirana svojstva. Dakle, zbog razvijene tehnologije proizvodnje, jednostavne ugradnje, održavanja, te povoljnih tehničkih karakteristika česta je primjena Li-ion baterija.

Izuzev razlika u tehničkim karakteristikama različitih BSSE, ističe se i razlika u rasponu cijena istih, što je prikazano Tabelom 1. Dakle, prije investiranja u njihovu izgradnju, potrebno je sprovesti detaljnu analizu dobiti i troška njihovog ulaganja, imajući u vidu prosječno visoke cijene po jedinici energije/snage, te velikih razlika u cijenama različitih BSSE.

## KLJUČNI PARAMETRI POUZDANOSTI ELEKTRONERGETSKIH SISTEMA

Pouzdanost je moguće definisati kao sposobnost elementa da obavi traženu funkciju za utvrđeni vremenski period, pod unaprijed zadatim spoljašnjim i radnim uslovima. Takođe, može se definisati kao procjena, odnosno vjerovatnoća ispravnog funcionisanja sistema i obezbjeđenja isporuke električne energije potrošačima. Pomenuta vjerovatnoća veže se za određene indekse pouzdanosti koji međusobno povezuju karakteristične pokazatelje prekida isporuke električne energije, te njihove efekte na potrošače. Smatra se da najveći uticaj na pokazatelje pouzdanosti imaju rezerve sistema u proizvodnim, prenosnim, kao i distributivnim kapacitetima. Očigledno je da će veće rezerve obezbijediti veću pouzdanost, ali iste će zahtijevati veća investiciona ulaganja. Cilj jeste obezbijediti nivo pouzdanosti koji će dati maksimalnu korist kako za isporučioaca električne energije, tako i za potrošače.

U radu korišćeni i ujedno jedni od najvažnijih pokazatelja pouzdanosti proizvodnog sistema su sljedeći:

- LOLP (eng. Loss Of Load Probability), vjerovatnoća nemogućnosti raspoloživih snaga da pokrije potrošače u EES-u dovoljnom količinom električne energije i snage. Naime, ovaj pokazatelj predstavlja vjerovatnoću deficita snage u EES-u i može se iskazati sljedećom formulom [9]:

$$LOLP = \sum_{i \in S} P_i \quad (1)$$

gdje je  $P_i$  vjerovatnoća da je sistem u stanju  $i$ , a  $S$  predstavlja skup svih stanja deficita snage u sistemu.

- b) LOLE u (eng. Loss Of Load Expectation), očekivani broj dana (sati) u godini kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u EES-u. Može se definisati u obliku [9]:

$$LOLE = LOLP * 365 \text{ dana}(8760 \text{ sati}) \quad (2)$$

- c) EENS (eng. Expected Energy Not Served) ili LOEE (Loss Of Energy Expectation) izražen u jedinici kWh/godini je količina vjerovatno neisporučene električne energije u EES-u usljed trajanja deficita snage, definisana izrazom [9]:

$$EENS = \sum_{i \in S} C_i * F_i * D_i = \sum_{i \in S} 8760 * C_i * P_i \quad (3)$$

$$F_i = P_i \sum_{k \in N} \lambda_k \quad (4)$$

gdje je  $C_i$  nepovezana potražnja sistema u  $i$ -tom stanju,  $D_i$  je vrijeme za koje sistem ostaje u  $i$ -tom stanju, a  $F_i$  je frekvencija stanja sistema definisana predmetnom jednačinom.  $F_i$  se može izračunati kao relacija između frekvencije i stanja vjerovatnoće sistema  $P_i$ , gdje je  $\lambda_k$  izlazni odnos komponente  $k$  i  $N$  je set svih komponenti sistema [9].

## ANALIZA UTICAJA BATERIJSKIH SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA POUZDANOST SISTEMA MALIH HIDROELEKTRANA

DOO „Hidroenergija Montenegro“ - Berane osnovana je 2007. godine sa osnovnim ciljem da djeluje u oblasti proizvodnje i prodaje električne energije proizvedene u malim hidroelektranama.

U ovom trenutku ona upravlja sa sedam aktivnih malih hidroelektrana priključenih na distributivnu mrežu, sa godišnjom proizvodnjom električne energije koja varira između 37 i 42 GWh. Regulatorna agencija za energetiku svakom od ovih sedam pogonskih postrojenja povezanih na distributivnu mrežu dodijelila je Status povlašćenog proizvođača, što predstavlja glavni uslov za zaključivanje Ugovora o kupovini električne energije sa crnogorskim operatorom tržišta električne energije. Male hidroelektrane Jelovica 1 i Kaludra 2 predstavljaju završni investicioni projekat koje je Hidroenergija odlučila da realizuje do sredine 2020.

Slijedeći evropske standarde definisane u domaćoj zakonskoj regulativi, Hidroenergija proizvodi električnu energiju u skladu sa svim standardima iz ekologije, društvene odgovornosti i upravljanja vodama. Ispunjavanjem svih uslova definisanih ugovorima o koncesiji za tehno-komercijalnu eksploataciju vodnih tokova rijeke Bistrice i Šekular, Hidroenergija ne planira da prestane sa ulaganjima u postrojenja za proizvodnju električne energije, sa vizijom da proširi poslovanje u proizvodnji energije koje će poboljšati stabilnost i kvalitet proizvodnje električne energije u Crnoj Gori. U Tabeli 2 dat je pregled nazivnih snaga [kW] za svaku od hidroelektrana ovog sistema postrojenja, njihova proizvodnja - godišnja [GWh], te proizvodnja [GWh] za 2018. i 2019. godinu.

TABELA 2 – PREGLED NAZIVNIH SNAGA I PROIZVODNJE MALIH HIDROELEKTANA

| Naziv elektrane                   | Orah              | Spaljevići       | Rmuš             | Bistrica          | Šekular           | Jelovica 2       | Jezerštica       | UKUPNO            |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Nazivna snaga [kW] i faktor snage | 1100;<br>cosφ=0,9 | 706;<br>cosφ=0,9 | 575;<br>cosφ=0,9 | 3134;<br>cosφ=0,9 | 1800;<br>cosφ=0,9 | 800;<br>cosφ=0,9 | 938;<br>cosφ=0,9 | 9053;<br>cosφ=0,9 |
| Godišnja proizvodnja [GWh]        | 4.5               | 2.7              | 2.1              | 21                | 5.8               | 2.6              | 3.2              | ~ 42              |
| Proizvodnja [GWh] za 2018. g.     | 4.33              | 2.07             | 1.97             | 19.39             | 6.21              | /                | /                | ~ 33.97           |
| Proizvodnja [GWh] za 2019. g.     | 3.35              | 1.59             | 1.46             | 16.56             | 4.39              | 1.26             | 1.14             | ~ 29.75           |

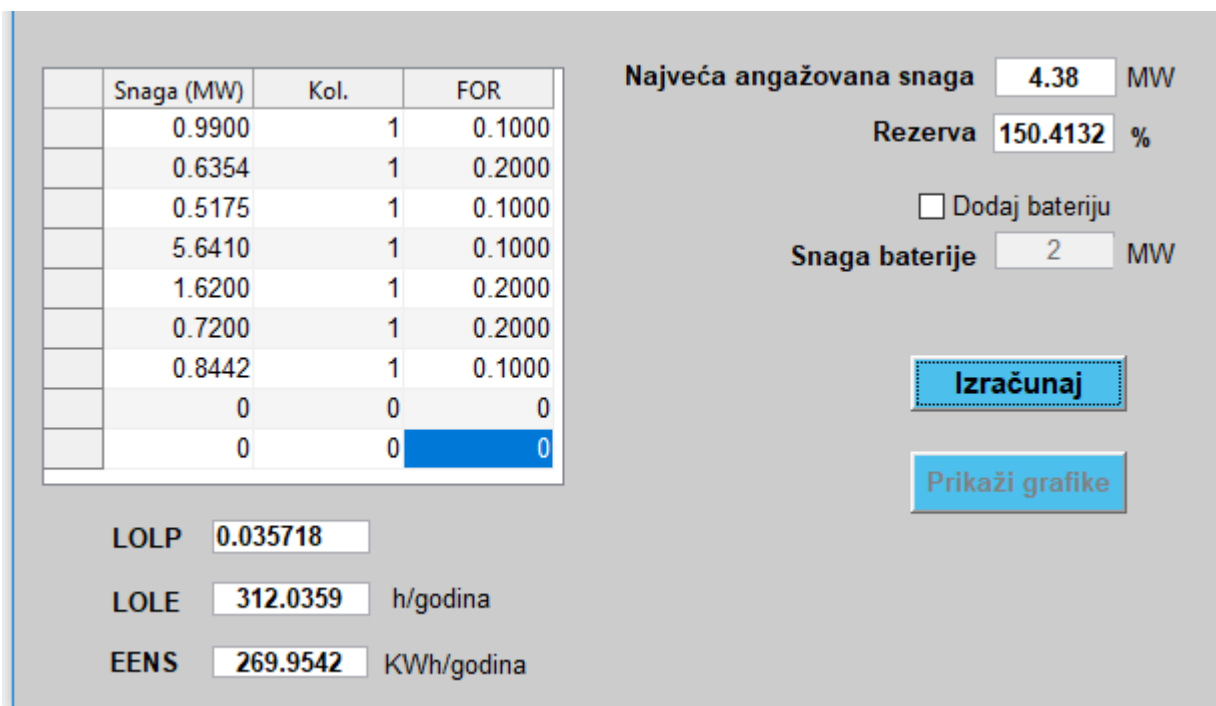
Sve navedene male hidroelektrane imaju zajedničko mjesto priključenja, 35 kV izvod Buče u TS 35/10 kV Rudeš.

### Proračun parametara pouzdanosti sistema malih hidroelektrana

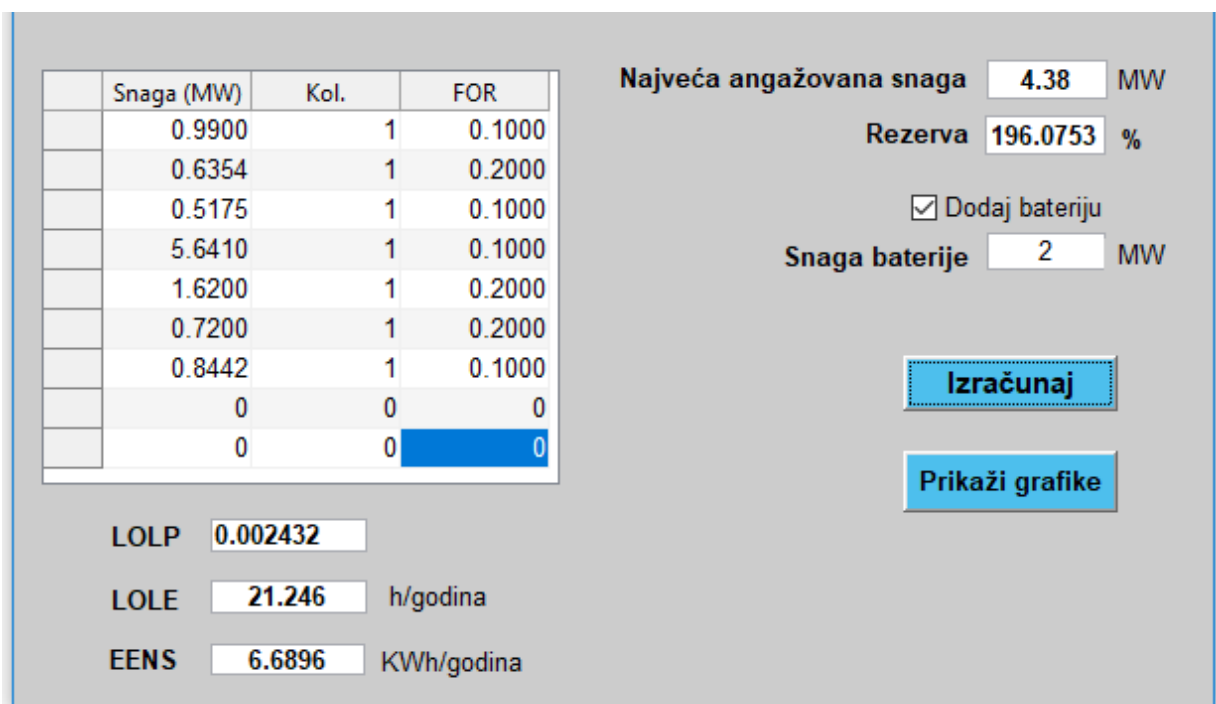
U cilju sprovođenja analize i proračuna parametara pouzdanosti, razvijen je program u MATLAB-u koji uvažava sljedeće ulazne podatke: instalisana snaga malih hidroelektrana, broj generatora, njihova vjerovatnoća ispada i opterećenje – maksimalna angažovana snaga. Kao izlazni podaci dobijaju se redom rezerva i vrijednosti pokazatelja pouzdanosti LOLP, LOLE i EENS. Prikazani checkbox „Dodaj bateriju“ pruža mogućnost uključivanja željenog BSSE odgovarajuće snage, u cilju dobijanja što pouzdanijeg sistema.

Analizirana je realna situacija u Beranama, sa stvarnom proizvodnjom i opterećenjem, u dva slučaja: prije i nakon uključivanja BSSE. Na Slici 1 i Slici 2 prikazana je ukupna instalisana snaga svih malih hidroelektrana sistema Hidroenergija u iznosu od 10.968 MW, sa opterećenjem koje iznosi 4.38 MW (40% ukupne instalisane snage).

Na Slici 1, nakon unošenja ulaznih parametara (snaga, količina, vjerovatnoća ispada, maksimalna angažovana snaga), klikom na dugme „Izračunaj“, dobija se redom: rezerva [%], vrijednost pokazatelja LOLP (vjerovatnoća), LOLE [h/godina] i EENS [kWh/godina] i u ovom slučaju nema priključenog baterijskog sistema. Rezerva se odnosi na razliku između instalisanih snaga generatora (u radu izražena u %) i stvarnog opterećenja EES-a. Postojanje rezervi proizvodnih kapaciteta osnovni je faktor koji obezbjeđuje pouzdanost i sigurnost sistema. Ukupna rezerva se može podijeliti na remontnu i ukupnu rezervu raspoloživih proizvodnih kapaciteta. Remontna rezerva predstavlja onaj dio proizvodnih kapaciteta koji se koriste za pokrivanje snage proizvodnih jedinica koje se nalaze u stanju planiranih remonta, opravki i njege. Ukupna rezerva raspoloživih kapaciteta je onaj dio instalisanih snaga generatora sistema koji se koristi za pokrivanje svih nepredviđenih ispada usljed kvarova na generatorima u pogonu [11].



SLIKA 1 - PRORAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI BEZ UKLJUČENE BATERIJE



SLIKA 2 - PRORAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI SA UKLJUČENOM BATERIJOM

Sa Slike 1, na osnovu razlike između ukupne instalisane snage generatora (10.968 MW) i stvarnog opterećenja sistema (4.38 MW) dobija rezerva u iznosu od 6.588 MW, tj ista u odnosu na maksimalnu angažovanu snagu iznosi 150.4%. Proračunata vrijednost pokazatelja pouzdanosti LOLP pokazuje da je vjerovatnoća pojave deficita snage u ovom sistemu mala i iznosi 0.035718. Zatim, pokazatelj LOLE daje očekivani broj dana kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u godini dana, što je u ovom slučaju 312 časova, odnosno 13 dana.

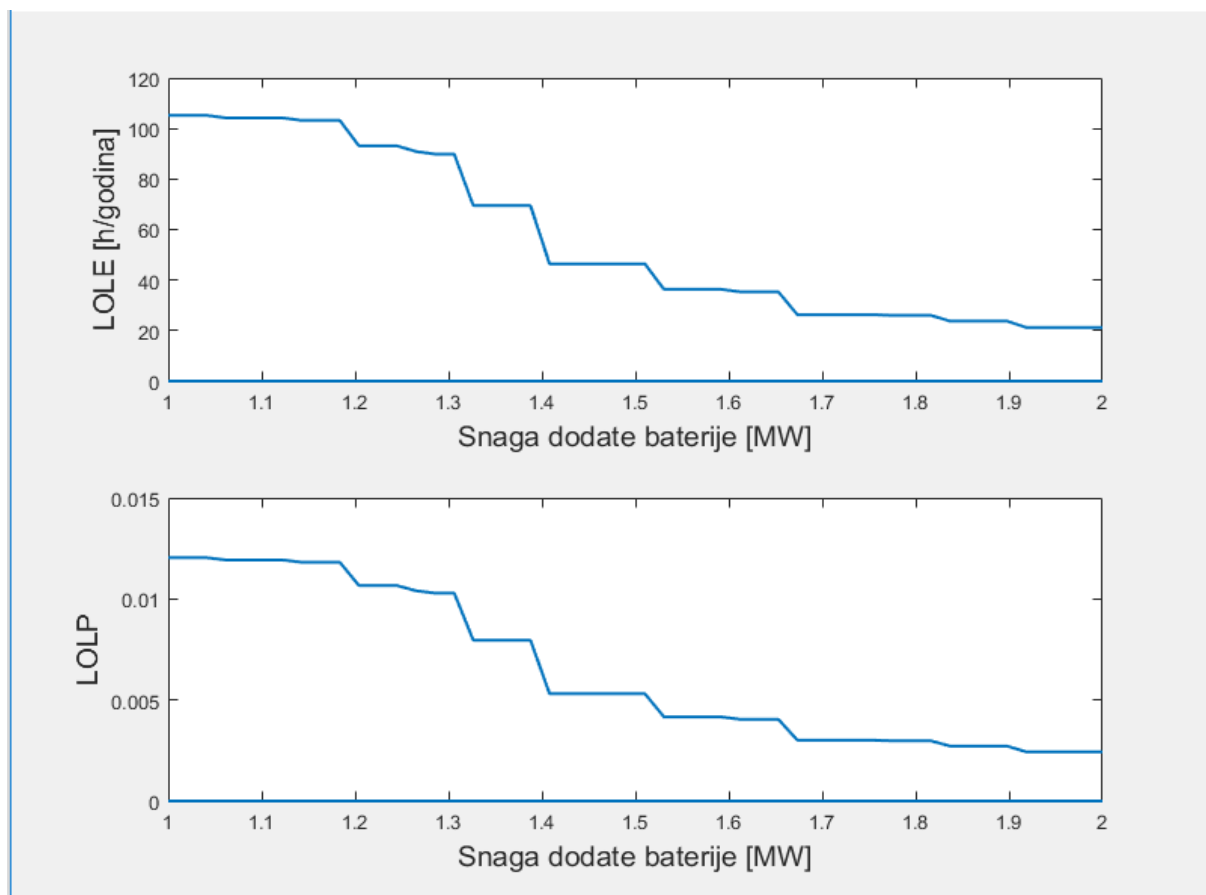
Konačno, količina vjerovatno neisporučene električne energije (EENS), usljed trajanja pojave deficita snage je ~ 270 kWh u godini dana. Na osnovu prikazanih pokazatelja pouzdanosti, jasno se uočava da je riječ o pouzdanom

sistemu, kojim su može se reći zadovoljeni kriterijumi sigurnog i pouzdanog snabdijevanja električnom energijom potrošača ovog područja.

Slika 2 prikazuje iste ulazne podatke, ali sa uključenom baterijom snage 2 MW. S tim u vezi, upoređujući podatke sa Slike 1 i Slike 2, evidentno je dejstvo uključene baterije sa aspekta povećanja pouzdanosti.

Sa Slike 2, ukupna instalisana snaga generatora (10.968 MW) i stvarno opterećenje sistema (4.38 MW) ostaju isti, ali u ovom slučaju uključena baterija snage 2 MW doprinosi većoj rezervi (8.588 MW), koja u odnosu na maksimalnu angažovanu snagu iznosi 196.07%. Proračunata vrijednost pokazatelja pouzdanosti LOLP pokazuje da je vjerovatnoća pojave deficita snage u ovom sistemu vrlo, vrlo mala i iznosi 0.002432. Zatim, pokazatelj LOLE daje očekivani broj dana kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u godini dana, što je u ovom slučaju ~ 21h, čak manje od jednog dana! Konačno, količina vjerovatno neisporučene električne energije (EENS), usljed trajanja pojave deficita snage je ~ 6.7 kWh u godini dana.

Konstatovano upućuje da se u ovakvim pokazateljima pouzdanosti ogleda vrlo pouzdan sistem, te koliko baterija ne prevelike snage može doprinijeti i poboljšati sigurnost rada jednog ovakvog sistema. U slučaju uključene baterije otvara se mogućnost klika na dugme „Prikaži grafike“, čiji je pregled dat na Slici 3:



SLIKA 3 - KARAKTERISTIKE POKAZATELJA LOLE I LOLP U ZAVISNOSTI OD SNAGE BATERIJE

Dakle, na Slici 3 prikazana su dva grafika, kojim su naslikane funkcije pokazatelja pouzdanosti LOLE i LOLP u zavisnosti od snage dodate baterije. Neminovan je njihov opadajući karakter shodno povećanju snage dodate baterije. Obzirom da je prethodno analiziran slučaj sa uključenom baterijom od 2 MW, uz pomoć grafika biće prokomentarisani slučajevi uključene baterije snaga 1MW i 1.5 MW.

Već pri dodatoj bateriji snage 1 MW dobija se da je očekivani broj dana kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u godini dana ~4 dana, dok je vjerovatnoća pojave deficita snage u ovom sistemu ~0.012.

Ukoliko se uključi baterija snage 1.5 MW, sa grafika se uočava da je očekivani broj dana kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u godini dana ~2 dana, dok je vjerovatnoća pojave deficita snage u ovom sistemu ~0.005.

Imajući u vidu navedeno, zaključuje se da se sa uključenom baterijom čija se snaga kreće u opsegu 1MW – 2 MW dobijaju izuzetno dobri pokazatelji pouzdanosti.

Velika rezerva i bez uključene baterije oslikava se u dovoljnoj količini padavina u toku jedne godine, što se može i primijetiti iz proračuna na Slici 1. S tim u vezi, zaključuje se da se bez problema mogu vršiti godišnji remont generatora. Nepredvidljivost proizvodnje iz obnovljivih izvora energije može dovesti do pojave prekida u snabdijevanju električnom energijom, uzrokujući negativne posljedice po potrošače, te primjenom BSSE taj problem može biti uspješno riješen.

## ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj primjene baterijskog sistema za skladištenje električne energije (BSSE) na pouzdanost rada grupe malih hidroelektrana. Konstatovano je da je pouzdanost značajno bolja u slučaju implementacije BSSE, što se i nameće kao logičan rezultat. Dobijeni rezultati su pokazali da se očekivani broj dana kada proizvodni kapaciteti ne mogu dostići vršno opterećenje u godini dana smanjio sa eventualnih 13 dana, na čak približno 1 dan primjenom baterije snage 2 MW, što je ujedno rezultiralo i povećanjem rezerve. S aspekta sigurnosti i pouzdanosti smatra se da je bolje imati bateriju manje snage, budući da prilikom njenog odabira treba sagledati i ekonomski dio (baterije manje snage su ekonomski isplativije). Imajući u vidu praktičnost baterija, kao i potencijalno sve veći broj korisnika distributivnih mreža, u budućnosti se očekuje znatno povećanje udjela baterijskih sistema za skladištenje električne energije. Širu primjenu baterijskog sistema za skladištenje električne energije onemogućava visoka cijena baterija, te će se težiti najboljem tehničkom rješenju sa cijenama koje će u eventualnom i usluge baterijskog sistema učiniti profitabilnim, bez značajnijeg povećanja troškova za kupce električne energije.

## LITERATURA

1. Borges C. L. T., Pinto R. J., 2008, "Small Hydro Power Plants Energy Availability Modeling for Generation Reliability Evaluation", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 23, no. 3, pp. 1125-1135
2. Đurić I., Marijanić T., Škare J., 2018, „Baterijski spremnici električne energije u Distribucijskoj mreži“, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konfederacije – HO CIRED, str. 1-10
3. Gao Z. Y., Wang P. and Wang J., 2010, "Impacts of energy storage on reliability of power systems with WTGs," IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Singapore, pp. 65-70
4. Jesus J. and Ortega I., 1997, "Reliability analysis for hydrothermal generating systems including the effect of maintenance scheduling," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 12, no. 4, pp. 1561-1568
5. LIU W., NIU S., XU H., 2017, „Optimal planning of battery energy storage considering reliability benefit and operation strategy in active distribution system“ J. Mod. Power Syst. Clean Energy 5, 177–186
6. Milovanović Z., Dumonjić Milovanović S., Knežević D., Milašinović A., Papić Lj., 2018, „Održivo planiranje energije: tehnologije i energetska efikasnost“, Istraživački centar DQM, Prijedor, Čačak, str. 67, 129, 525
7. Naversen C. Ø., Bjarghov S. and Helseth A., 2019, "Operating a Battery in a Hydropower-Dominated System to Balance Net Load Deviations," 16th International Conference on the European Energy Market (EEM), Ljubljana, Slovenia, pp. 1-5
8. Nahman J., 1992, „Metode analize pouzdanosti elektroenergetskih sistema“, IDP „Naučna knjiga“, Beograd, Uzun Mirkova 5, str. 205, 215, 218
9. Orestes S., 2016, „Mathematical Modeling and Computational Intelligence in Engineering Applications“, Springer, 10.1007/978-3-319-38869-4, pp. 154-157
10. Pham T. T., Kuo T. C., Bui D. M., Le D. P., Pham Q. A. and Nguyen T. D., 2019, "Impact of Dynamic Operation on Reliability of an Aggregate Battery Energy Storage System," IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Macao, Macao, pp. 1-6
11. Raihan M. I. A., 2016, "Impact of energy storage devices on reliability of distribution system," 2nd International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering (ICECTE), Rajshahi, pp. 1-4
12. Vujošević I., 2005, „Eksploatacija i planiranje elektroenergetskih sistema“, Elektrotehnički fakultet Podgorica, str. 65, 86
13. Xu X., Bishop M., Oikarinen D. G. and Hao C., 2016, "Application and modeling of battery energy storage in power systems," CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 2, no. 3, pp. 82-90



14. Xu Y. and Singh C., 2014, "Power system reliability impact of energy storage integration with intelligent operation strategy," IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition, National Harbor, MD, pp. 1-1
15. <https://hidroenergija.me/>, 13. 4. 2020. god.