

Primena baterijskih sistema kod solarnih elektrana

Miodrag Vuković*, Željko V. Despotović**

* CONSEKO d.o.o, Beograd

** Institut „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Kada energija iz solarne elektrane ne može da se utroši u momentu proizvodnje, onda je kao jedno od mogućih rešenja skladištenje viška električne energije u baterije. U radu se opisuje koncept rada solarnog sistema sa skladištem energije i faktori koji utiču da ovaj koncept bude ekonomski dugoročno isplativ za primenu u industrijskim i trgovinskim kompanijama. U radu se prikazuje primer baterijskog sistema sa skladištem energije realizovan sa inverterima evropskih proizvođača, sa kojima su autori uspešno realizovali nekoliko baterijskih sistema sa solarnim elektranama za proizvodnju električne energije za sopstvene potrebe.

Ključne reči - skladištenje električne energije, baterijski sistemi za skladištenje energije, solarne elektrane, period isplativosti

I UVOD

Sistemi za skladištenje energije (SSE) efikasno doprinose pouzdanosti i dostupnosti napajanja električnom energijom, poboljšavajući integraciju obnovljivih izvora u energetske sisteme [1]. Centralni problem zbog koga se danas uočava snažna potreba za baterijskim sistemima jeste neravnomernost raspodele potrošnje i proizvodnje električne energije tokom dana.

Rezultati prethodnih studija pokazuju da baterijska skladišta pokazuju prednost u postizanju veće neto sadašnje vrednosti ulaganja (eng. *net present value* - NPV) i indeksa samodovoljnosti energije (eng. *self sufficiency index* - SSI), u odnosu na trenutna rešenja sistema za skladištenje vodonika [2].

Poslednjih godina na evropskom tržištu električne energije cene električne energije variraju tokom dana, tako što se na primer, cena električne energije na berzi, odnosno tzv. spot tržištu menja po časovima tokom dana. Ova cena je najniža, a veoma često i negativna upravo sredinom dana, u periodu od 12h do 15h, a najviša je u periodu od 18h do 21h. Takođe, proizvedeni kWh u jutarnjim satima imaju višestruko veću vrednost u odnosu na cenu sredinom dana. Koliko je problem viškova električne energije na mreži velik u određenim periodima dana, jesu primeri negativnih cena na tržišta koje se tada javljaju. Za tu svrhu u zemljama poput Češke, pojavljuju se mašine koje služe za uništavanje viškova energije sa priključenim velikim ventilatorima, koji zapravo troše viškove električne energije. Ipak, baterijska skladišta električne energije za "peglanje" dnevnih neravnomernosti potrošnje i proizvodnje električne energije, jesu jedno od rešenja ovog problema.

Prethodna istraživanja upućuju na način rešavanja problema sa viškovima proizvodnje električne energije za sopstvene potrebe, kroz [3]:

- pretvaranje viškova u toplotnu energiju (na primer za

zagrevanje vode),

- uključivanje dodatnih potrošača (npr. ventilatora, klima uređaja i sl.),
- skladištenje viškova energije u baterije.

Alternativni načini da se postigne bolji balans između potrošnje i proizvodnje električne energije kod privrednih subjekata i domaćinstava koji električnu energiju proizvode za sopstvene potrebe su:

- ograničavanje proizvodnje za sopstvene potrebe, sa pametnim meračem (smart metrom) koji se postavlja iza obračunskog mernog mesta i koji služi da se pomoću njega upravlja proizvodnjom energije iz solarne elektrane na osnovu sopstvene potrošnje,
- skladištenje električne energije u baterijske sisteme, kada je proizvodnja električne energije u višku, da bi se ta energija koristila kasnije, kada je veća potrošnja,
- upravljanje potrošnjom, isključivanjem nekritičnih potrošača, u momentima kada je potrošnja velika,
- skladištenje viškova električne energije u termalna skladišta (rezervoare sa vodom, ili drugim materijalima, koji apsorbuju viškove energije).

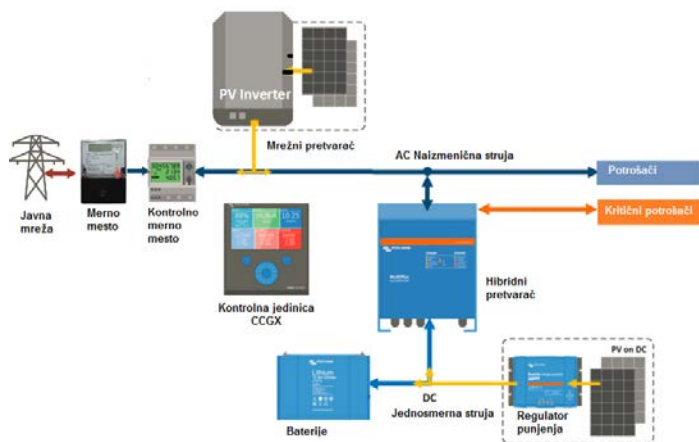
Skladište energije ima zadatak između ostalog da doprinese da se u većoj meri zadovolje dnevne neravnomernosti potrošnje i proizvodnje električne energije. Pored osnovne funkcije da se energija iz baterija koristi kada proizvodnja iz sopstvenih obnovljivih izvora nije dovoljna, baterije imaju i funkciju tzv. „bekap sistema“, a to znači obezbeđenja kontinuiteta rada potrošača u slučaju nestanka električne energije. Za ovakve situacije uvek postoji određena rezerva energije koja se mora sačuvati u baterijama.

Baterijski sistemi za skladištenje električne energije koriste se dakle u različitim situacijama, radi:

- iskorišćenja viška "zelene" električne energije - skladištenja viška nakon proizvodnje radi kasnijeg korišćenja u povoljnim momentima,
- smanjenja vršnih opterećenja - ravnjanja krive trošenja energije iz mreže i ublažavanja pikova opterećenja,
- besprekidnog napajanja, u slučaju prekida napajanja iz distributivne mreže,
- povećanja mogućeg udela obnovljive energije, proizvedene za sopstvene potrebe,
- ekonomičnosti - obnovljiva energija skladištena u baterijama jeftinija je od električne energije iz mreže,
- povećanja snage priključka: u slučaju nedostajuće snage postojećeg priključka, može se povećati snaga na mestu priključka, bez uvećanja snage kod elektrodistribucije (ED).

Dodatne koristi koje ostvaruju komercijalni i industrijski sistemi za skladištenje energije su stabilizacija elektro distributivne mreže pružanjem pomoćnih usluga, usluga za balansiranje mreže, regulaciju frekvencije i napona, na čemu se može ostvariti dodatna zarada kod aktivnih kupaca na tržištu električne energije.

Međutim, velike baterijske instalacije suočavaju se sa rizicima kao što su kvarovi sistema koji mogu dovesti do oštećenja baterija i pitanja kontrole zaštite životne sredine. Sprovođenje sistema kontrole zaštite životne sredine sa odgovarajućim senzorima i sistemom za monitoring i upravljanje baterijom (tzv. *monitoring battery management system* - MBMS) mogu pomoći u ublažavanju ovih rizika održavanjem optimalnih radnih uslova i sprečavanje potencijalnih katastrofa [4].



Slika 1. Prikaz komponenti baterijskog sistema sa solarnom elektranom

II KOMPONENTE BSSE

U ovom poglavlju prikazane su osnovne komponente solarne elektrane sa baterijskim sistemom, za korišćenje na industrijskim i komercijalnim objektima. Baterijski sistem sa skladištenjem energije (BSSE) zajedno sa fotonaponskim sistemom (Slika 1) čine:

- fotonaponski solarni paneli
- invertori fotonaponskog sistema
- sistem pretvaranja energije (eng. *power conversion system* - PCS)
- akumulatorske elektrolitske baterije,
- sistem za upravljanje baterijama (eng. *battery management system* - BMS)
- smart metar,
- upravljački sistem skladišta (eng. *battery control unit* - BCU),
- dodatni sistemi zaštite.

Fotonaponski paneli pretvaraju sunčevu svetlost u električnu energiju koristeći fotonaponski efekat, koja se javlja u obliku jednosmerne struje na redno povezanim nizovima solarnog panela. Invertori fotonaponskog sistema pretvaraju jednosmerne struje (DC) koju proizvode fotonaponski paneli u naizmjeničnu struju (AC), koja se koristi u domaćinstvima, industrijskim objektima ili na električnoj mreži. Sistem pretvaranja energije obuhvata bidirekzione invertore baterijskog sistema koji omogućavaju dvosmerno pretvaranje energije, zajedno sa

upravljanjem energijom između baterija i potrošača (ili električne mreže). Akumulatorske elektrolitske baterije su vrsta punjivih baterija (akumulatora) koje koriste tečni elektrolit za omogućavanje protoka jona između elektroda tokom procesa punjenja i pražnjenja. "Mozak" baterijskog sistema je sistem za upravljanje baterijama koji upravlja i nadgleda rad punjivih baterija (akumulatora), kako bi se obezbedila njihova bezbednost, pouzdanost i dug životni vek. Upravljački sistem skladišta je sofisticirana platforma koja upravlja, kontroliše i optimizuje rad sistema za skladištenje energije, koji integriše različite komponente, uključujući baterije, invertore, sistem za upravljanje baterijama i druge uređaje, kako bi obezbedilo efikasno i bezbedno skladištenje, pražnjenje i korišćenje energije. Smart metar zajedno sa strujnim mernim transformatorima je neophodan uređaj u baterijskim sistemima za sopstvene potrebe. On služi za merenje tokova energije na glavnom napojnomvodu u postojećem objektu. Informacija sa digitalnog smart metra prenosi se do kontrolnog uređaja upravljačkog sistema, koji na osnovu informacije o tokovima i potrošnji energije iz mreže odlučuje da li baterije treba da se dopunjuju ili prazne i da li elektrana treba da radi punim kapacitetom ili treba da se ograniči ukupna snaga kojom ovakav sistem raspolaže. Dodatni sistemi zaštite obuhvata uređaje za zaštitu instalacija od kratkog spoja, zaštitu od preopterećenja kablova, sistemsku zaštitu od ostrvskog rada i drugi zaštitni uređaji. Isti uređaji se već primenjuju na elektranama na mreži (takozvanim "on-grid" sistemima).

Izazove kao što su starenje baterija, uticaj na životnu sredinu i njihovu pouzdanost potrebno je rešiti kako bi se u potpunosti ostvarile prednosti BSSE sistema [5].

III DIMENZIONISANJE SISTEMA

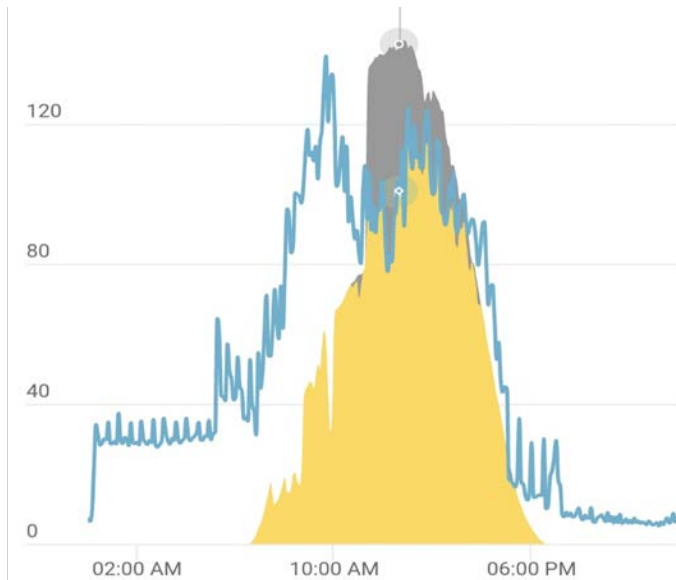
Dimenzionisanje baterijskog sistema koji se koristi u kombinaciji sa solarnom elektranom, ključni je aspekt za uspešnost projekta ESS, obzirom da će rezultat konfiguracije i dimenzionisanja sistema uticati na: (1) mogućnost da komponente sistema zajedno rade u jednom mikro energetsom sistemu, (2) bezbednost funkcionisanja sistema u različitim režimima opterećenja, (3) period povratka investicije. Sa stanovišta ekonomičnosti ukupnog sistema, dimenzionisanje značajno utiče na period povraćaja ulaganja investicije.

Prilikom dimenzionisanja baterijskog sistema potrebno je da se odredi:

- kapacitet skladišta, odnosno koliko je skladište energije potrebno u baterijama (izraženo u kWh), sračunato na osnovu dnevne potrošnje energije, profila potrošnje, viškova energije kao i zahteva za rezervno (bekap) napajanje,
- snaga baterijskih invertora - jedan ili više hibridnih (baterijskih) invertora mora da podrži ukupnu izlaznu snagu postojećeg sistema, prema snazi potrošača i zahtevima za punjenje/pražnjenje baterija,
- uslovi u kojima će se obezbediti da sistem radi (klimatizovan prostor ili drugi prostor pod kontrolisanim temperaturnim uslovima i drugim uslovima bezbednog rada).

Poseban aspekt dimenzionisanja baterijskog sistema su komponente i kapaciteti BSSE u odnosu na postojeću solarnu

elektranu. Kada se analizira proizvodnja solarne elektrane za sopstvene potrebe i uporedi sa potrošnjom objekta, dolazi se do sagledavanja viškova energije koji se javljaju u toku dana, a koji se mogu akumulirati u baterije. Primer je prikazan na Slici 2, gde su sivom oblašću označeni viškovi električne energije koji se mogu skladištiti u baterije, žuta oblast predstavlja proizvodnja električne energije za sopstvene potrebe, a plavom linijom je označena potrošnja energije. Nadogradnja sistema sa baterijama na postojeću solarnu elektranu zahteva pažljivo projektovanje i izvođenje, kako bi se osigurala kompatibilnost, bezbednost, kao i usklađenost sa nacionalnim standardima i propisima. Ako se želi da se zadrži postojeći mrežni inverter, mora se dodati kompatibilan baterijski inverter, ili DC-sistem za skladištenje. Baterije koje se odaberu moraju takođe biti kompatibilne sa postojećim invertorom, ali i dodatnim baterijskim invertorom koji se instalira.



Slika 2. Potrošnja energije objekta i proizvodnja iz solarne elektrane sa viškom, tokom sunčanog dana

Dodavanje baterijskog sistema na postojeću solarnu elektranu ima dve opcije:

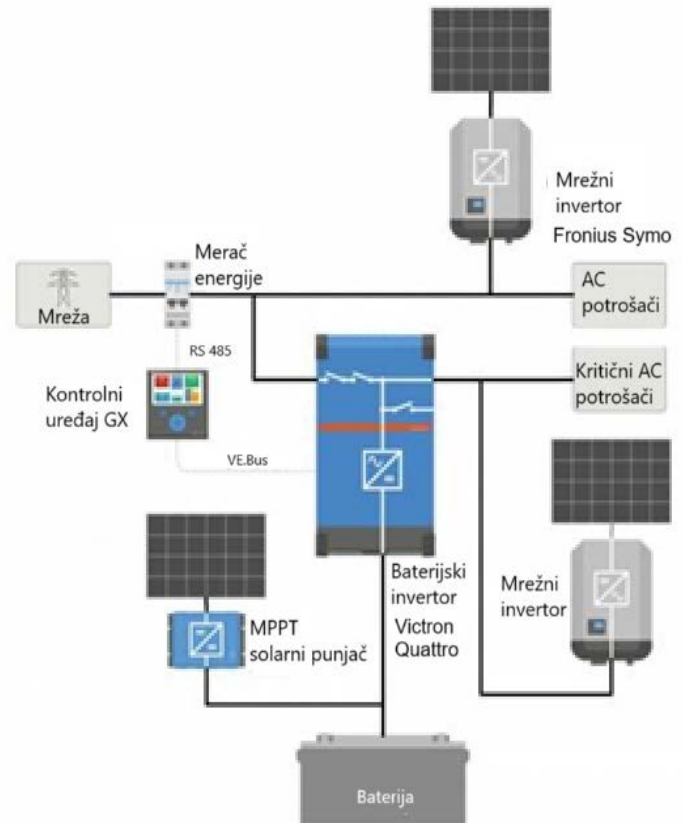
- zamena postojećeg invertora hibridnim invertorom sa baterijama (odnosi se na jedan inverter u sistemu),
- dodavanje uparenog AC sistema (eng. *AC coupled system*); dodaju se baterijski invertori koji mogu da komuniciraju sa postojećim on-grid (fotonaponskim invertorom) i smart metrom; dodaju se baterije na novi baterijski inverter.

Krovni PV sistemi na komercijalnim i industrijskim objektima dostižu snagu do 150 kW, a maksimalno 1 MW. Na veoma velikim krovovima mogu se postaviti industrijski fotonaponski sistemi u rasponu od (0.5÷3) MW [6].

Sa druge strane, trenutno važeća regulativa za solarne elektrane za sopstvenu potrošnju u Srbiji propisuje da se mogu graditi elektrane snage do 150 kW [7], a preko te snage elektrane se moraju registrovati kao aktivni kupci, koje bi eventualne viškove proizvodnje energije, zajedno sa skladištem energije ponudile na slobodnom tržištu električne energije.

IV PRIMER REALIZOVANOG BATERIJSKOG SKLADIŠTA SA PV ELEKTRANOM

Na obrađenom primeru projekta solarne elektrane na garaži Obilićev Venac u Beogradu (Slika 3) biće istaknuta uloga baterijskog skladišta. Reč je o sistemu za skladištenje energije Victron ESS koji je realizovan tokom 2017. godine od strane domaće firme Conseko d.o.o iz Beograda [8].



Slika 3. Principijska šema Victron BSSE na solarnoj elektrani 50kW na garaži Obilićev Venac u Beogradu

Opremu solarne elektrane sa baterijskim skladištem energije činili su:

- solarni fotonaponski paneli Luxor Solar 280W, količine 180 komada, ukupne snage 50,4kWp,
- mrežni invertori Fronius Symo 15.0-3M, izlazne snage 15kW, koji energiju na ulazu direktno pretvaraju električnu energiju naizmenične struje na trofaznom sistemu 400V,
- olovne gel baterije nemačkog proizvođača Hoppecke, kapaciteta 1100Ah, 2V, ukupno 24 baterije sa vekom od 2.500 ciklusa punjenja,
- solarni regulator punjenja baterija Victron MPPT 150/70, maksimalne struje punjenja baterija 70A, na naponu 48V
- baterijski pretvarač napona Victron Quattro, 48/8000, 6 jedinica, sa izlaznim monofaznim naponom 230V, 50Hz,
- kontrolno merno mesto, za bilans proizvodnje i potrošnje energije,
- kontrolna jedinica koja upravlja celim sistemom, Victron Color Control GX, sa softverom za ESS.

U okviru pomenutog objekta, nalaze se sledeći dominantni potrošači električne energije: (1) LED rasveta po spratovima garaže i na fasadi, (2) kancelarija se klima uređajima i računarima (3) blagajna.

Paralelna topologija mreže sa PV invertorom podrazumeva da će samo određeni kritični potrošači ostati zaštićeni od nestanka struje. MultiGrid će koristiti podatke sa merača snage da optimizuje sopstvenu potrošnju i, ako je potrebno, da spreči povraćaj viška solarne energije u elektroenergetsku mrežu [9].

V OPIS RADA SOLARNE PV ELEKTRANE

Realizovan je paralelan rad solarne elektrane sa DSEE bez predaje viškova električne energije u DSEE, gde se proizvedena električna energija koristi za napajanje sopstvene potrošnje. Fotonaponska elektrana je povezana sa baterijskim sistemom preko Victron sistema za upravljanje radom elektrane. Projekat je realizovan 2017. godine, nekoliko godina uoči donošenja Zakona o obnovljivim izvorima energije u Republici Srbiji.

Realizovana solarna elektrana proizvodi električnu energiju za sopstvene potrebe, odnosno proizvedena električna energija se koristi za potrošače u okviru objekta.

Victron upravljački sistem je koncipiran na sledeći način:

- sistem funkcioniše paralelno sa električnom mrežom,
- proizvedena električna energija koristi se za sopstvenu potrošnju energije na potrošačima u okviru objekta garaže, pri čemu je za tu količinu proizvedene energije manje energije koja se preuzima iz distributivne mreže,
- u momentima kada elektrana proizvodi manje energije od potrošnje električne energije, nedostajuća električna energija se preuzima iz distributivne mreže,
- kada je proizvodnja električne energije iz solarnih panela veća od potrošnje energije, viškom energije se dopunjuju baterije,
- u slučaju nestanka električne energije iz mreže solarna elektrana se automatski isključuje i prelazi na ostrvski režim napajanja, do ponovne raspoloživosti napona na napojnomvodu,
- predviđeni prioritetni potrošači koji bi dobijali energiju iz solarne centrale, čak i u momentima prekida napajanja električne energije iz mreže su potrošači povezani na sistem neprekidnog napajanja iz baterija.

Karakteristika rada Victron hibridnih baterijskih invertora raspoređenih pojedinačno po fazama sistema, jeste da mogu da snabdevaju potrošače sa nebalansiranom potrošnjom po fazama, što je bitno za rad baterijskih sistema kada nema vraćanja električne energije u mrežu.

VI OPIS IZVEDENOG SISTEMA

Nizovi solarnih panela (popularno nazvani „stringovi“) su paralelno povezani u DC razvodne kutije pre invertora u kojima su smeštene zaštitne komponente (zaštitni topivi gPV osigurači na vodovima, odvodnici prenapona i DC rastavljač). Solarni paneli su zaštićeni od moguće pojave inverzne struje, preopterećenja i kratkih spojeva sa gPV osiguračima.

Na svaki od invertora Fronius Symo 15.0.3-M (ukupno 2 invertora) sa implementiranim algoritmom praćenja tačke maksimalne snage (MPPT), su vezana tri paralelna stringa. U okviru svakog stringa je vezano 20 solarnih panela na red. U tački maksimalne snage napon na jednom solarnom panelu je 31.86V. Na ovaj način se dobija da je maksimalni napon stringa od 637.2V pri maksimalnoj struji jednog stringa od 8.80A (na 25°C). Ukupna ulazna struja svakog od invertora je jednaka zbirnoj struji stringova, odnosno $3 \times 8.80A = 26.4A$. Polaganje kablova na DC strani je ostvareno na nosačima kablova montiranim ispod mehaničke konstrukcije solarnih panela. Od svakog stringa ka invertorima su ugrađeni kablovi preseka 6 mm², pri čemu je projektom dobijen maksimalni gubitak od 2% u kablovima kod prenosa energije od solarnih panela do ulaza invertora [9].

Principska blok šema realizovane solarne elektrane je data na Slici 4.

Invertorski sistem

Mrežni (‘‘on-grid‘‘) invertori proizvode trofaznu naizmeničnu struju napona 400V, učestanosti 50Hz i na razvodnom ormanu solarne elektrane povezani su preko NN sabirnica sa baterijskim invertorima, kao što je prikazano na slici 4.

Hibridni, odnosno baterijski invertori Victron Quattro 8000/48, povezani su po 2 komada na svakoj fazi pojedinačno, čime je dobijen trofazni sistem ukupne snage 16kVA po fazi, odnosno 48kVA, na sve tri faze. U trofaznom sistemu Victron obezbeđena je automatska međusobna sinhronizacija baterijskih invertora, kao i sinhronizacija sa mrežom u vremenskom intervalu od minimalno 20s, uz maksimalnu dopuštene tolerancije: (1) razlika napona manja od $\pm 10\%$ nazivnog napona, (2) razlika frekvencije manja od $\pm 0.5\text{Hz}$ i (3) razlika faznog ugla manja od ± 10 stepeni.

AC razvod

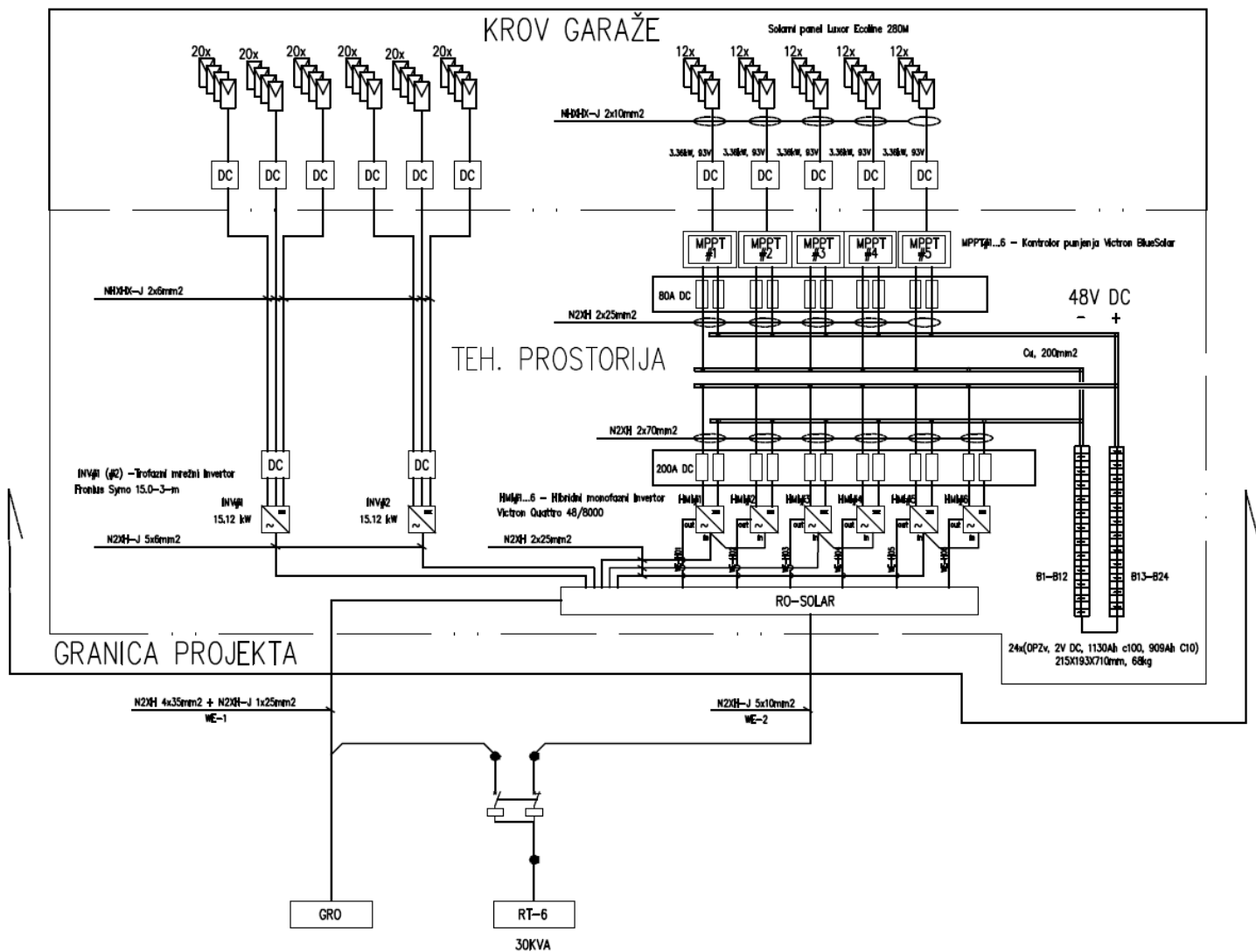
U RO solarne elektrane, postavljeni su automatski osigurači, za svaki dolazni kabl sa pojedinačnih invertora. Zajedno sa osiguračima, na red su postavljeni uređaji zaštite od diferencijalne struje. Spojni prekidač solarne elektrane sa baterijskim sistemom je trolpolni (3P) kompakt prekidač, za nominalnu struju od 150A, sa termičkom strujnom zaštitom opsega $(0.8 \div 1) \times I_n$ i prekostrujnom zaštitom.

Spojni prekidač zajedno sa trolpolnim kontaktorom povezanim na red sa njim, su smešteni u odvodno polje RO solarne elektrane.

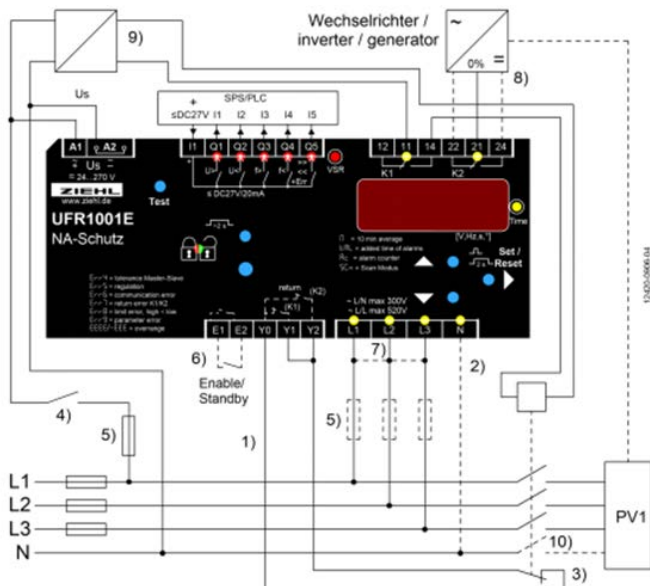
Pored ovog prekidača u spojnopolju dva uređaja merenje faznih i međufaznih napona, linijskih struja, aktivne i reaktivne snage. Jedan uređaj je mrežni analizator, dok je drugi uređaj u stvari rele systemske zaštite.

Rele systemske zaštite Ziehl UFR 1001E [10] u spojnopolju RO obuhvata frekventnu i naponsku zaštitu, koje obezbeđuje kontroler koji je prikazan na Slici 5. Pri ovome se obezbeđuje rad elektrane u definisanim granicama napona i frekvencije. Kao što pokazuje Slika 5, komande iz kontrolera su povezane sa glavnim kontaktorom nominalne struje 115A.

Na Slici 6 je dat prikaz tehničke sobe u kojoj je smešten sistem sa baterijama, invertorima i AC razvodom.



Slika 4. Principska blok šema solarne fotonaponske elektrane sa baterijama



Slika 5. Povezivanje kontrolnog modula UFR1001E i sistemskih zaštita solarne elektrane [10]



Slika 6. Tehnička soba u kojoj je smešten sistem sa baterijama, invertorima i AC razvodom

U Tabeli 1 su dati osnovni podaci o projektovanoj solarnoj elektrani sa baterijskim skladištem električne energije, na osnovu odabrane snage invertora i broja fotonaponskih panela.

Tabela 1. Osnovni podaci o ESS sistemu za proizvodnju električne energije sa baterijama (solarna fotonaponska elektrana „Garaža Obilićev Venac“)

Maksimalna izlazna snaga elektrane	50 kW
Izlazni napon iz elektrane	0,4 kV
Snaga baterijskih invertora	48 kVA
Način rada	Paralelni rad za sopstvene potrebe (Zero feed-in)
Maksimalna snaga solarnih panela	50,4 kWp
Kapacitet baterija	50 kWh
Napon baterijskog sistema	48 V
Ukupna snaga mrežnih invertora	30 kW
Maksimalna struja DC punjača baterija	420 A (na 48 V)
Maksimalna snaga kojom se električna energija predaje u DSEE	0 kW
Očekivana godišnja proizvodnja elektrane	56 300 kWh
Napon na mestu priključenja na DSEE	0,4 kV

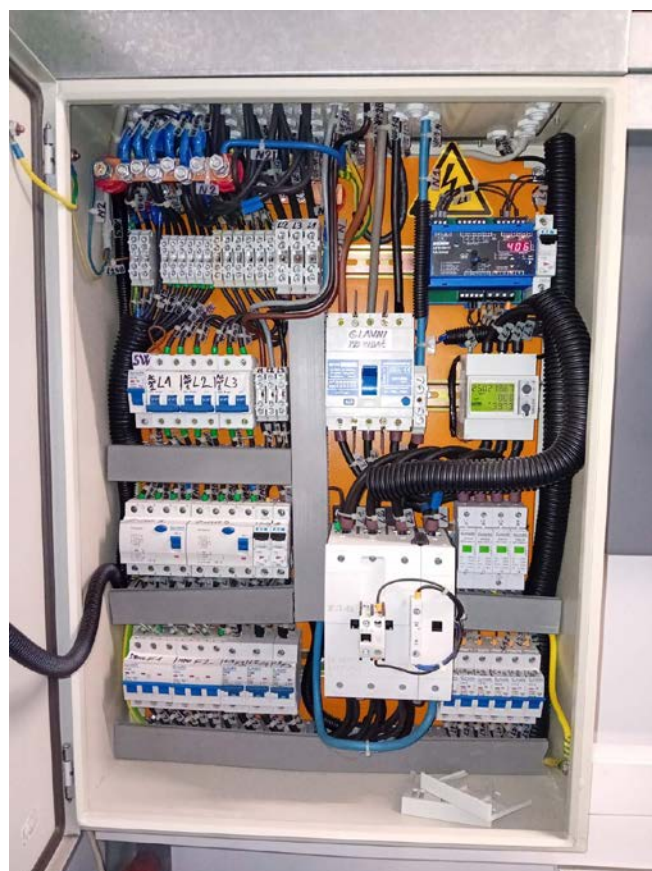
Pozicija (1) (Slika 6) predstavlja digitalni ulaz u kontroler na priključcima Y0-Y1 na koji se dovodi signal sa pomoćnog kontakta (3) glavnog kontaktora (10). Na ovom ulazu kontroler dobija informacije o statusu glavnog kontaktora na AC razvodu solarne elektrane. Kontrolni namotaj (špulna) kontaktora je dat na poziciji (2) i on je kontrolisan digitalnim izlazom kontrolera (relejnim izlazom) K1, čime su implementirani sistemi zaštita (podnaponske $U<$, prenaponske $U>$, podfrekventne $f<$, nadfrekventne $f>$ i prekostrujne, odnosno zaštite od preopterećenja $I >>$).

Od razvodnog ormana solarne elektrane, kablom N2XH 4 x35mm² + N2XH-J 1x25mm², ostvarena je veza između RO solarne elektrane (sa hibridnim invertorm) i razvodnog postrojenja u GRO objekta. Zaštita voda elektrane ostvaruje se prekostrujnom zaštitom sa osiguračima od 100A, postavljenim u GRO objekta.

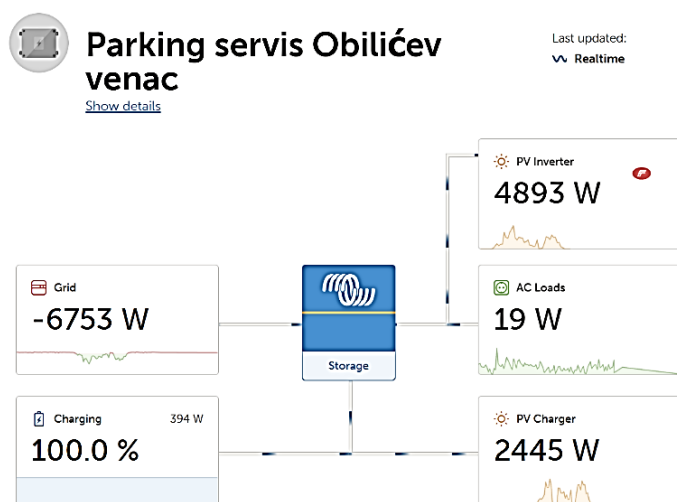
Proizvedena energija se predaje preko napojnog kabla koji je izveden prema elektrani iz GRO, kao i putem kabla koji sprovodi energiju ka prioritetnim potrošačima povezanim na RT-6 (slika 4). Sistem poseduje merač energije (mrežni analizator, odnosno smart metar), koji se postavlja iza mernog mesta na glavni vod napajanja objekta, čime se stalno prati tok energije i omogućuje da elektrana radi kao sistem koji proizvodi energiju za sopstvene potrebe (eng. “self-consumption”), kao što je prikazano na Slici 6. Merač energije omogućuje kontrolu nad predajom električne energije ka mreži i ujedno meri potrošnje električne energije na napojnom vodu. Na ovaj način je omogućen ne samo pravilan rad sistema prema elektrodistributivnoj mreži, nego i upravljanje radom baterija. Ovaj uređaj obezbeđuje pametni energetska menadžment koji se tiče snaga (aktivne, reaktivne, prividne),

faktora snage i energetske potrošnje objekta).

Svi potrošači povezani na GRO tokom rada solarne elektrane dobijaju električnu energiju najpre sa elektrane, a u slučaju nedostatka, energija za potrošnju se nadoknađuje iz baterija i elektroenergetske mreže.



Slika 7. Razvodni orman solarne elektrane



Slika 8. Bilans tokova energije prikazan na VRM portalu

Pre priključenja sistema na energetska mrežu obezbeđena je sinhronizacija izlaznih faza svih invertora sa fazama mreže. Nakon sinhronizacije, elektrana se priključuje i predaje energiju

potrošačima. Ukoliko dođe do nestanka mrežnog napona (napona na priključnom kablu ka solarnoj elektrani), sistemska zaštita solarne elektrane preko kontaktora odvaja mrežu i baterijski sistem zajedno sa potrošačima ostaje u ostrvskom radu. Na Slici 7 je dat izgled unutrašnjosti GRO solarne elektrane sa glavnim prekidačem 150A, mrežnim analizatorom i relejem sistemske zaštite Ziehl UFR1001E.

Na Slici 8 je dat prikaz bilansa tokova energije u sistemu na VRM portalu, a na Slici 9 je dat prikaz dispozicije solarnih panela na krovu garaže.



Slika 9. Dispozicija solarnih panela na krovu garaže

III PRAĆENJE RADA SOLARNE ELEKTRANE I BSSE

Sistem nadzora solarne elektrane je projektovan da u realnom vremenu dostavlja informacije o trenutnoj proizvodnji električne energije i stanju baterija, sa alarmima u slučaju nepravilnog rada. Sistem takođe omogućuje mesečno i godišnje praćenje proizvedene električne energije. Victron VRM portal omogućuje korisniku da putem WEB sajta i aplikacija za Android i Apple mobilne telefone proverava status rada elektrane i količinu proizvodnje električne energije.

Za praćenje rada i komunikaciju putem interneta i pristup portalu predviđena je veza sa izlazom na internet preko zaštićene veze. Prikaz praćenja trenutnih parametara rada sistema sa potrošnjom energije, povlačenjem električne energije iz mreže, proizvodnjom energije iz solarne elektrane i statusom napunjenosti baterija je prikazan na Slici 8. Podaci su očitani sa Victron VRM portala.

V ZAKLJUČAK

U radu su predstavljene prednosti baterijskih sistema za skladištenje električne energije sa detaljima izvođenja krovne solarne fotonaponske elektrane maksimalne snage 50 kW, sa baterijskim sistemom ukupne akumulacije energije 50 kWh, koji se koristi za proizvodnju električne energije za potrebe sopstvene potrošnje garaže Obilićev Venac u Beogradu, bez predaje viškova električne energije u mrežu.

U ovom smislu realizovanim projektom je dat izvestan doprinos promociji obnovljivih izvora energije i korišćenju zelene i čiste energije, kao i svojevrsan doprinos u sveukupnoj dekarbonizaciji na teritoriji Republike Srbije. Dalja domaća istraživanja u ovoj oblasti mogu dati doprinos dodatnom povećanju udela obnovljive energije kod industrijskih i komercijalnih objekata, kao i stabilnijem i ekonomičnijem poslovanju domaćih privrednih subjekata.

Napredak u arhitekturi baterijskih sistema, kao što je integracija bidirekcionih topologija energetskih pretvarača i upravljačkih algoritama strujne i naponske kontrole, mogu poboljšati fleksibilnost i pouzdanost baterijskih sistema. Buduće inovacije u ovoj oblasti presudno će uticati na produženje veka baterija, smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu i unapređivanje ukupnih performansi BSEE u komercijalnim i industrijskim primenama.

LITERATURA

- [1] Mohamad, F., Teh, J., Lai, C.M., Chen, L.R. Development of Energy Storage Systems for Power Network Reliability: A Review, *Energies*, Vol. 11, No. 9, pp. 2278, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11092278>
- [2] Zhang, Y., Campana, P.E., Lundblad, A., Yan, J. Comparative study of hydrogen storage and battery storage in grid connected photovoltaic system: Storage sizing and rule-based operation, *Applied Energy*, Vol. 201, pp. 397-411, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.123>
- [3] Vuković, M., Supić, L. Realization of project of grid tied self-consumption PV system, in *Proc. 4th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications - EFEA*, Belgrade, 14-16 September, 2016. <https://doi.org/10.1109/EFEA.2016.7748822>
- [4] Yang, C.S., Tsai, H.S., Lee, S.H. An Environment Control Management System for Container-Type Energy Storage System, in *Proc. IEEE 6th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)*, Sapporo, Japan, 11-13 August, 2023. <https://doi.org/10.1109/ICKII58656.2023.10332581>
- [5] Rosa, E.F., da Silveira Brito, E.M., Pereira, H., Pulsed-Current Operation of Smart Batteries Through Warm Redundancy, in *Proc. IEEE 8th Southern Power Electronics Conference (SPEC)*, Florianopolis, Brazil, 26-29 November, 2023. <https://doi.org/10.1109/SPEC56436.2023.10407654>
- [6] Vuković, M., Despotović, V.Ž., Simonović, B. Iskustva u izvođenju i eksploataciji fotonaponske elektrane instalisane snage 500 kW u fabrici „Gruner“ d.o.o-Vlasotince, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 57-67, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.57V>
- [7] Grujić, D., Vučić, D., Kuzman, M. Usporedna analiza i mogućnosti unapređenja položaja kupaca-proizvođača u Crnoj Gori i Republici Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 26, No. 3, pp. 63-69, 2024. <https://doi.org/10.46793/EEE24-3.63G>
- [8] Baterijski sistemi: Pametni sistemi skladištenja za dom i industriju <https://www.conseko.rs/skladistenje-energije-baterijski-sistemi-za-stabilno-napajanje> [pristupljeno 16.12.2024]
- [9] Self-consumption & energy storage system examples & product, https://www.victronenergy.it/upload/documents/Brochure_Self-Consumption-&Energy-Storage_EN-2025.pdf [pristupljeno 16.12.2024]
- [10] Operating Manual for controller ZiehlUFR1001E, https://www.ziehl.com/media/aa/19/b7/1722922641/UFR1001E_OM_ZIEHL_L_2024-08-01_EN.pdf [pristupljeno 16.12.2024]

AUTORI

dr Miodrag Vuković, CONSEKO d.o.o., Beograd, m.vukovic@conseko.rs, ORCID [0000-0003-0158-192X](https://orcid.org/0000-0003-0158-192X)
dr Željko V. Despotović, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)

Implementing Battery Systems in Photovoltaic Power Plants

Abstract - When the energy from the solar power plant cannot be used at the time of production, one of the possible solutions is the storage of excess electricity in batteries. The paper describes the operation concept of the solar system + energy storage and the factors that influence this concept to be economically profitable in the long term for application to industrial and commercial companies. The paper shows an example of a system with battery energy storage implemented with inverters from European manufacturers, with which the authors successfully implemented several battery systems with solar power plants for the production of electricity for self-consumption.

Index terms - Energy storage, Battery energy storage, Solar power plants, Payback period