

Ispitivanje održivosti različitih struktura kategorije kupac-proizvođač

Darko Šošić, Goran Dobrić, Mileta Žarković

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Rezime - U ovom istraživanju će se detaljno analizirati implementacija koncepta kupca-proizvođača u distributivni sistem električne energije, s posebnim naglaskom na finansijsku isplativost i održivost modela. Glavni fokus će biti na formiranju mesečnog računa za električnu energiju, što zahteva temeljnu evaluaciju potrošnje i proizvodnje na mesečnom nivou, uzimajući u obzir tarife i operativne faktore. Analiziraće se finansijski, operativni i društveni aspekti ovog modela kako bi se procenila dugoročna isplativost i održivost. Posebna pažnja će biti posvećena promenljivoj prirodi proizvodnje iz obnovljivih izvora, poput PV sistema, i ispitaće se isplativost uvođenja skladišta električne energije kao dodatne komponente u ovom modelu. Takođe će se analizirati operativni aspekti uvođenja ovog modela u distributivni sistem, kao i mogući problemi koji mogu nastati u slučaju nepravilne primene. Ključno je izvršiti sveobuhvatnu analizu održivosti i isplativosti ovog modela na dugoročnom nivou, uzimajući u obzir širok spektar faktora koji mogu uticati na uspeh i prihvaćenost ovog koncepta u elektroenergetskom sektoru.

Ključne reči - distributivni sistem, obnovljivi izvori, skladište električne energije, isplativost, kupci-proizvođači

I UVOD

Električna energija je od suštinskog značaja za moderno društvo. Svaka sfera života zasniva se na sigurnom, pouzdanom i jeftinom snabdevanju električnom energijom. Društvene, ekonomske pa i ekološke koristi mogu da budu izuzetno velike. Ipak, i pored velikog značaja električne energije ne postoji jasna društvena svest o potrebama za istom. Jedan od razloga je svakako i neopipljivost električne energije kao robe, i osobine njenog ponašanja. Zbog toga su za društvo potrebni opipljivi događaji, poput prekida u snabdevanju, vremenskih nepogoda, energetskih kriza, da bi električna energija dobila i socio-tehničke a ne samo fizičke osobine. Upotrebom fizike moguće je opisati proces proizvodnje i prenosa električne energije, međutim to će imati izuzetno mali uticaj na način upotrebe električne energije prosečnog čoveka.

Nove tehnološke inovacije, zabrinutost za ekologiju, i na kraju liberalizacija tržišta menjaju paradigmu proizvodnje i potrošnje električne energije. Decentralizacija elektroenergetskog sektora je omogućila prisustvo većeg broja učesnika u procesu proizvodnje električne energije. Ekološke promene, zagađenost vazduha mogu doprineti ubrzanju promeni same proizvodne strukture elektroenergetskog sistema. Bez obzira na novu proizvodnu strukturu većinu krajnjih potrošača će zanimati samo dostupnost električne energije. Da bi se ovaj efekat postigao potrebno je obezbediti dovoljnu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije. Dodatna prednost bi se ostvarila kada bi ti izvori

bili distribuirani, odnosno locirani što je moguće bliže potrošačima. Kao logično rešenje nameće se kategorija kupca-proizvođača koja će biti razmatrana u ovom radu.

Pored dobre volje potrebna su i značajna novčana sredstva da bi neko postao kupac-proizvođač. Pošto je ovo relativno novi pristup većina potrošača nije dovoljno informisana, a samim tim ni svesna svojih potreba za električnom energijom. Sa druge strane, neki izvođači radova su isključivo zainteresovani za svoju zaradu, tako da će savetovati klijente da podnesu zahtev za najveću dozvoljenu snagu PV sistema. Gledano sa strane distributivne mreže mali broj ovakvih kupca-proizvođača neće imati veliki uticaj na način poslovanja. Međutim, kada bi se takav trend nastavio na malom delu mreže to bi nedvosmisleno dovelo do pogoršanja rada tog dela distributivne mreže.

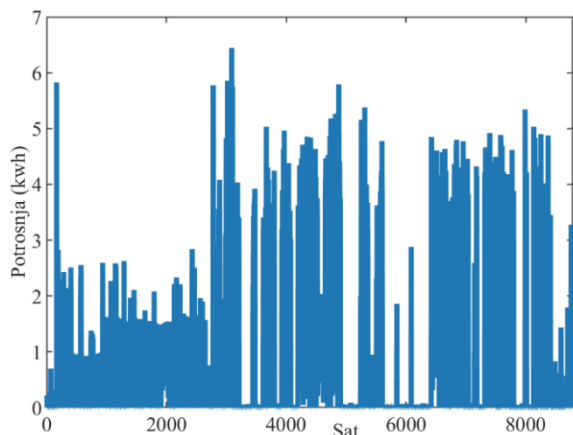
U ovom radu će se analizirati kupac-proizvođač, odnosno posmatraće se isplativost poduhvata prelaska sa pasivnog na aktivnog korisnika distributivne mreže. Pored mogućnosti povećanja/smanjenja broja modula u zavisnosti od količine predate energije, razmatraće se i mogućnost modularnog dodavanja skladišta električne energije.

II MESEČNI RAČUN ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU

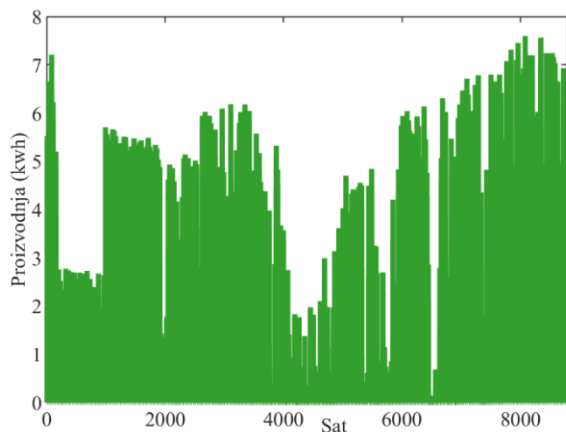
Da bi se formirao račun za električnu energiju neophodno je poznavati najmanje satni profil potrošnje i proizvodnje razmatranog kupca proizvođača. Detaljnijim pregledom merenja može se uočiti da u jednom razmatranom trenutku vremena postoji i potrošnja i proizvodnja. Ovakva pojava je prisutna samo kada postoji proizvodnja iz PV sistema. Razlog za postojanje proizvodnje i potrošnje u jednom vremenskom intervalu je njihova intermitentnost. U nekim trenucima unutar razmatranog intervala proizvodnja će biti dominantna, i to će se smeštati u interni registar, dok će u drugim trenucima potrošnja biti dominantna što se smešta u zaseban registar. Na kraju svakog intervala, koji najčešće iznosi sat vremena, izvršiće se usrednjavanje, odnosno, zabeležiće se najmanje i najveće vrednosti, kao i ukupna proizvedena i potrošena energija. Na slikama 1 i 2 prikazana su merenja godišnje preuzete i predate energije jednog kupca-proizvođača. Može se primetiti da na nekim intervalima nije beležena potrošnja, usled prekida komunikacije ili nekog drugog razloga, ali to ni u kom slučaju značajno ne utiče na rezultate sprovedene analize.

Prvi korak se ogleda u razvrstavanju podatka: po mesecima, višoj i nižoj tarifi preuzete električne energije, kao i podeli te energije po zonama. Na osnovu zvaničnog objašnjenja računa za električnu energiju [1] formirana je funkcija koja uvažava sve relevantne parametre. Prema Zakonu o korišćenju obnovljivih izvora energije [2] operator distributivnog sistema je dužan da preuzme svu proizvedenu energiju kupca-proizvođača. Ta

preuzeta energija se koristi za umanjivanje računa za električnu energiju u narednom obračunskom mesecu. Jedinu razliku od ovog pravila predstavlja kraj meseca marta kada se sva „skladištena“ energija briše.



Slika 1. Godišnja preuzeta energija razmatranog kupca–proizvođača

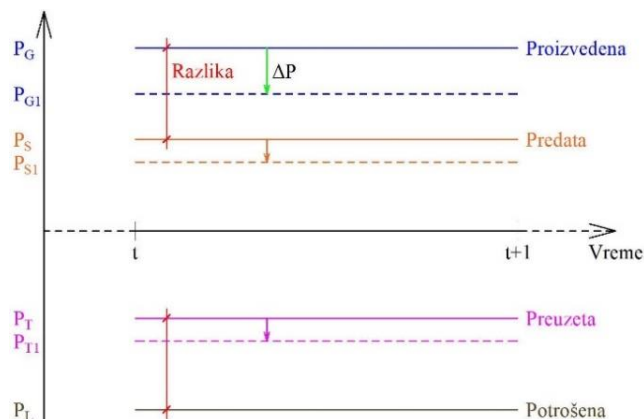


Slika 2. Godišnja predana energija razmatranog kupca–proizvođača

Da bi se analizirala promena veličine fotonaponskih sistema potrebno je usvojiti neke pretpostavke. Naime, pošto se brojiom meri predana i preuzeta energija stvarna potrošnja i proizvodnja nisu poznate. Pitanje proizvodnje se može rešiti upotrebom baze podataka koja je dostupna na sajtu PVGIS [3]. Na pomenutom sajtu moguće je odabrati željenu lokaciju, period i rezoluciju odabiranja od interesa, kao i veličinu fotonaponskog sistema i efikasnost invertora. Na osnovu te krive i krive predate električne energije moguće je rekonstruisati krivu potrošnje posmatranog kupca–proizvođača, kao što je prikazano na slici 3.

Prilikom promene veličine fotonaponskog sistema menja se i snaga proizvodnje. U gornjem delu računa za električnu energiju figuriše samo utrošena električna energija koja se umanjuje za iznos koju je distributivno preduzeće „skladištilo“ za razmatranog kupca–proizvođača iz prethodnog perioda. U mesecima sa velikom proizvodnjom ovaj deo računa može da bude prazan. Međutim u dugom delu računa figuriše celokupno preuzeta električna energija i na nju se plaćaju sve dažbine

(porez, akcize, ...). Zbog neposredovanja dovoljno sitnog odabiranja stvarnog dijagrama potrošnje i proizvodnje potrebno je nekako odrediti koliko će se energije predati, a koliko uzeti iz mreže za novonastalo stanje. U ovom radu je usvojena pretpostavka da se na osnovu razlike proizvedene i predate snage/energije, kao i procentualnog smanjenja proizvodnje, ΔP , može odrediti nova predana i preuzeta snaga/energija. Oznake u izrazima (1–3) odgovaraju oznakama na slici 3.



Slika 3. Procena predate i preuzete energije

$$\Delta P = P_{G1} / P_G, \quad (1)$$

$$P_{S1} = P_S \Delta P, \quad (2)$$

$$P_{T1} = P_T + \text{Razlika}(1 - \Delta P). \quad (3)$$

Na osnovu ovako dobijenih vrednosti za predatu i preuzetu električnu energiju moguće je na već opisani način formirati mesečni račun.

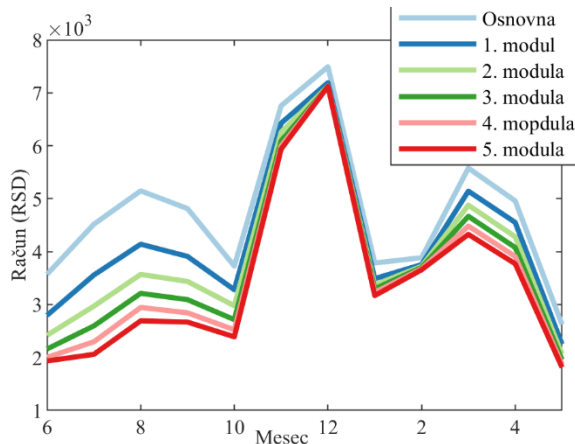
III ANALIZA I REZULTATI

Pored promene mesečnog računa za električnu energiju razmatranog kupca proizvođača, svetlo plava kriva na slici 4, prikazano je još pet scenarija. U svakom od scenarija sukcesivno je dodavan po jedan modul skladišta električne energije. Za kapacitet jednog modula usvojena je vrednost od 3,28 kWh, koja je preuzeta iz kataloga jednog od proizvođača ove opreme.

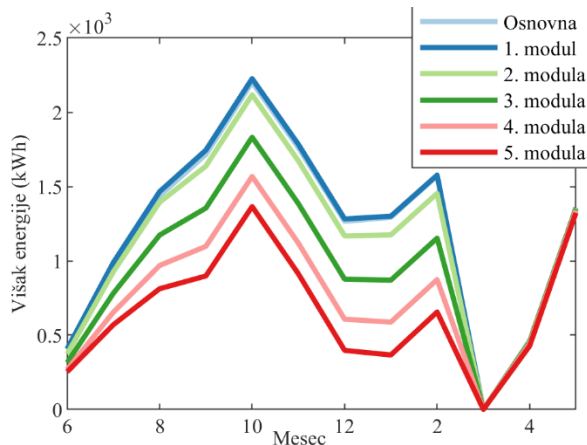
Usvojena je pretpostavka da se proizvedena energija u nekom intervalu predaje skladištu sve dok se ne dostigne gornja granica. Da bi se pravilno kreirao račun sa novim elementom potrebno je izvršiti određene korekcije. Kao prvo, potrebno je modifikovati podatke o predatoj snazi ako je došlo do skladištenja energije u razmatranom intervalu. Pored toga, usvojena je pretpostavka da će se energija prvo potraživati iz sopstvenih izvora pa tek onda iz distributivne mreže. Ovo praktično znači da ako skladište poseduje neku količinu energije, ta energija će se trošiti u narednom periodu sve dok se ne dostigne minimalni kapacitet skladišta.

Na osnovu usvojenih pretpostavki vrši se modifikacija dijagrama potrošnje i proizvodnje razmatranog kupca–proizvođača za svaki pojedinačni scenario. Za tako dobijene dijagrame sprovedena je ista procedura podele po mesecima, tarifama i zonama nakon čega je vršeno određivanje visine računa za električnu energiju. Kao što se sa slike 4 može primetiti najveći uticaj skladišta je u

letnjem periodu, dok je u zimskim mesecima skoro zanemarljiv. Jedan od mogućih uzročnika za ovakvo stanje je upotreba električne energije za zagrevanje domaćinstva.



Slika 4. Mesečni račun za električnu energiju razmatranog kupca–proizvođača u prisustvu skladišta

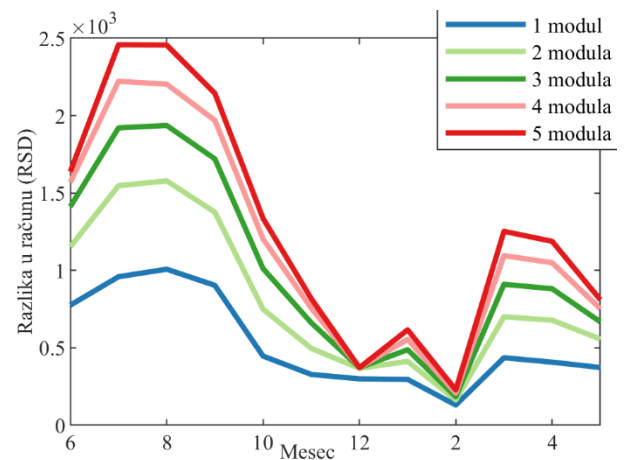


Slika 5. Količina električne energije koja se „skladišti“ u mreži

Pored visine računa praćena je i promena količine energije koja se predaje na čuvanje, slika 5. Razlika u količini energije koja se preda distributivnoj mreži bez skladišta i sa jednim modulom je izuzetno mala tako da dolazi do preklapanja ovih krivih. Veća razlika je uočljiva tek kada su prisutna tri modula skladišta.

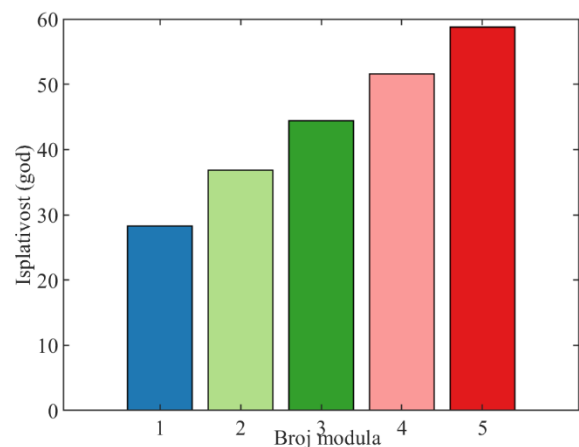
Da bi se sprovedla analiza isplativosti potrebno je videti koliko svaki modul doprinosi umanjenju mesečnog računa. Na slici 6 prikazana je razlika u visini računa za osnovni slučaj bez ugrađenog skladišta električne energije i svakog razmatranog scenarija. Prikazani rezultati potvrđuju ono što je intuitivno jasno, odnosno da sa većim stepenom autonomije kupca–proizvođača račun za električnu energiju će biti niži.

Da bi sprovedena analiza bila korektna potrebno je uvažiti i troškove ugradnje skladišta električne energije. U ovoj analizi nisu razmatrani troškovi ugradnje PV sistema i sve neophodne prateće opreme, odnosno usvojena je pretpostavka da je ova oprema već prisutna. Usvojena je dodatna pretpostavka da cena jednog modula skladišta iznosi 1500 €, odnosno 180 000 RSD. Pošto su na raspolaganju podaci samo iz jedne kalendarske godine neophodno je usvojiti pretpostavku da će ušteda na godišnjem nivou usled ugradnje skladišta biti ista.



Slika 6. Uticaj skladišta električne energije na smanjenje mesečnog računa za električnu energiju

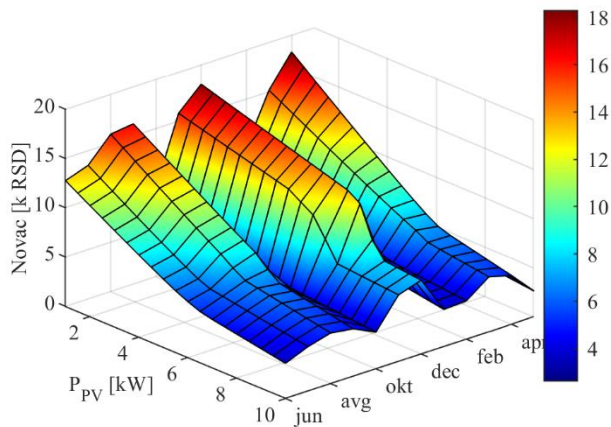
Na osnovu svega navedenog može se izračunati period isplativosti ugradnje skladišta električne energije, što je prikazano na slici 7. Sa ove slike se može primetiti da je period otplate izuzetno dugačak. Dobijeni rezultati su validni za usvojene pretpostavke, sa nižim cenama skladišta period otplate bi sigurno bio kraći. Takođe, ovde je potrebno napomenuti da životni vek skladišta nije uziman u razmatranje, kao i broj ciklusa rada skladišta. Iz sprovedene analize se može zaključiti da ugradnja skladišta nije opravdana ukoliko ne dođe do značajne promene u načinu naplate električne energije kupcima–proizvođačima. Prema trenutnoj praksi regularni potrošači subvencionišu kupce–proizvođače i plaćaju njihov deo gubitaka električne energije koji nastaje zbog predaje proizvedene električne energije u distributivnu mrežu. U slučaju da dođe do promene uslova poslovanja, odnosno do naplate „mrežarine“ i za predatu električnu energiju, postoji verovatnoća da će ugradnja skladišta postati isplativa. Ovakva analiza bi zahtevala detaljno poznavanje prilika u svim distributivnim preduzećima Republike Srbije kao i spremnost da se te promene izvrše, što prevazilazi okvire ovog rada.



Slika 7. Isplativost ugradnje skladišta

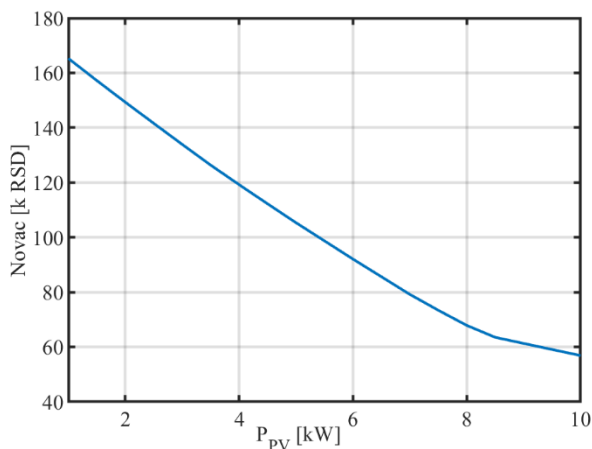
Razmatrani kupac–proizvođač ima PV sistem instalisane snage 10 kWp. Zbog toga je bilo potrebno pomoću izraza (1–3) odrediti predatu i preuzetu energiju za druge vrednosti maksimalne snage

proizvodnje.



Slika 8. Visina računa u zavisnosti od veličine PV sistema

Na slici 8 prikazana je promena visine računa za dvanaest meseci, podaci su počeli da se beleže u junu, u zavisnosti od veličine PV sistema. Iz oblika dijagrama može se zaključiti da je dominantna potrošnja u zimskim mesecima, što znači da se domaćinstvo greje električnim putem. Upravo u tim mesecima su korisniku stizali najviši računi, oko 18000 RSD. Nagli pad računa se može primetiti pri veličini panela od 8 kWp, nakon čega ide blaže smanjivanje istog. Da bi se ovo bolje sagledalo na slici 9 je prikazana ukupna količina novca koju je potrebno izdvojiti na godišnjem nivou za kupovinu električne energije u zavisnosti od veličine PV sistema.

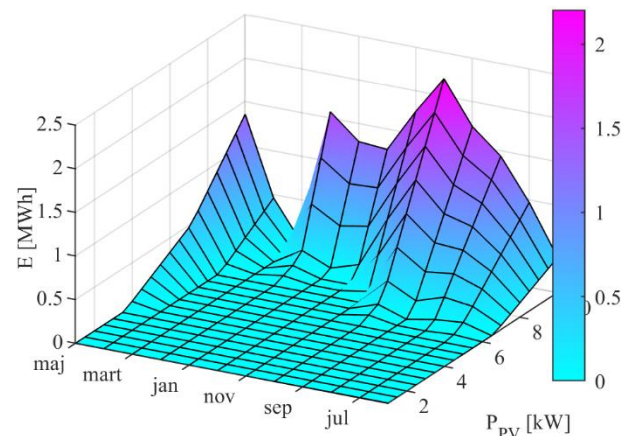


Slika 9. Godišnji troškovi nabavke električne energije u zavisnosti od veličine PV sistema

Na kraju, na slici 10 prikazana je promena energije koja se predaje na čuvanje na kraju svakog meseca. Pošto, prema ugovoru koji su kupci-proizvođači potpisali, na kraju marta dolazi do poništavanja brojača ovi dijagrami ponovo kreću od nule vrednosti. Upravo pomenutih 8 kWp predstavljaju prekretnicu kada posmatrani kupac-proizvođač počinje da gubi proizvedenu energiju.

Vreme otplate PV sistema se može ubrzati ako bi se pristupilo procesu virtuelnih elektrana i upotrebi blockchain tehnologije

[4]. Ovaj pristup bi zahtevao dodatnu deregulaciju tržišta električne energije, pri čemu pojedini kupci proizvođači ne bi samostalno učestvovali već bi se automatski agregirali u virtuelnu elektranu.



Slika 10. Količina energije koja se skladišti u mreži u zavisnosti od veličine PV sistema

U slučaju da postoji veliki broj kupaca-proizvođača na jednom delu mreže može se očekivati problem zagušenja, odnosno preopterećenja pojedinih delova mreže. U [5] je predložen metod za modelovanje agregirane proizvodnje/potrošnje kako bi se izbegao pomenuti problem, pri čemu su autori razmatrali postojanje nodalnih cena u distributivnoj mreži.

IV ZAKLJUČAK

Sprovedene analize ukazuju na značajne posledice primene fotonaponskih sistema kod kupaca-proizvođača koji se priključuju na niskonaponsku mrežu. Primećeno je da sa tačke gledišta kupca-proizvođača postoji više koristi u zimskim mesecima nego u letnjim. Dominantna potrošnja električne energije u zimskim mesecima, verovatno uzrokovana korišćenjem električne energije za grejanje domaćinstava, može imati ključnu ulogu u donošenju odluka o optimalnoj veličini fotonaponskih sistema. Promena u količini energije koja se predaje na čuvanje varira u zavisnosti od veličine PV sistema, pri čemu postoji tačka preokreta gde kupac-proizvođač počinje da gubi proizvedenu energiju. Da bi se izbegao preveliki gubitak energije razmatrana je isplativost ugradnje skladišta električne energije. Međutim, period isplativosti ugradnje skladišta električne energije pokazao se kao izuzetno dug, što naglašava potrebu za dodatnim promenama u načinu naplate električne energije ili znatnim smanjenjem cena skladišta kako bi se investicija opravdala.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije pod ugovorom broj: 451-03-65/2024-03/200103.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Objašnjenje računa, www.eps.rs/lat/snabdevanje/Stranice/objasnjenje-racuna.aspx [pristupljeno 01.02.2024]

- [2] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije. "Sl. glasnik RS", br. 40/2021 i 35/2023 <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-koriscenju-obnovljivih-izvora-energije.html> [pristupljeno 01.02.2024]
- [3] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [pristupljeno 01.02.2024]
- [4] Cioara, T., Antal, M., Mihailescu, V. T., Antal, C. D., Anghel, I. M., Mitrea, D. Blockchain-based decentralized virtual power plants of small prosumers, IEEE Access, Vol. 9, pp. 29490-29504, 2021 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059106>
- [5] Hu, J., Wu, J., Ai, X., Liu, N. Coordinated Energy Management of Prosumers in a Distribution System Considering Network Congestion, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 12, No. 1, pp. 468–478, 2021. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.3010260>

AUTORI/AUTHORS

dr Darko Šošić – vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, sosic@etf.rs, ORCID [0000-0001-9029-8979](https://orcid.org/0000-0001-9029-8979)

dr Goran Dobrić – vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, dobric@etf.rs, ORCID [0000-0002-1747-6211](https://orcid.org/0000-0002-1747-6211)

dr Mileta Žarković – vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, mileta@etf.rs, ORCID [0000-0001-5855-6595](https://orcid.org/0000-0001-5855-6595)

Exploring the Profitability of Different Structures of the Prosumers

Abstract – In this study, the implementation of the prosumer concept in the distribution system of electrical energy will be thoroughly analysed, with a specific focus on the financial feasibility and sustainability of the model. The main emphasis will be on the formation of the monthly electricity bill, which requires a detailed evaluation of consumption and production on a monthly basis, taking into account tariffs and operational factors. Financial, operational, and societal aspects of this model will be analysed to assess its long-term viability and sustainability. Special attention will be given to the variable nature of production from renewable sources, such as PV systems, and the feasibility of introducing electrical energy storage as an additional component in this model will be examined. Additionally, operational aspects of implementing this model in the distribution system will be scrutinized, as well as potential issues that may arise from improper implementation. Conducting a comprehensive analysis of the sustainability and profitability of this model in the long run is crucial, considering a wide range of factors that may influence the success and acceptance of this concept in the electrical energy sector.

Index terms – Distribution system, Renewable sources, Electrical energy storage, Profitability, Prosumer