

REZULTATI RADA SOLARNIH ELEKTRANA KUPAC-PROIZVOĐAČ NA PODRUČJU VOJVODINE

RESULTS OF OPERATION OF SOLAR POWER PLANTS BUYER-PRODUCER IN THE AREA OF VOJVODINA

Zoran SIMENDIĆ, CIREĐ Srbija, Srbija
Jožef ADAM, Srbija
Dalibor MRAOVIĆ, Aqua Flam Vent d.o.o., Srbija
Ivana SIMENDIĆ MRAOVIĆ, Agro Plus Energy d.o.o., Sombor
Aleksandar STOLIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Ogranak ED Sombor, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati istraživanja i analize rada solarnih elektrana domaćinstava statusa kupac-proizvođač. U Srbiji su se od 2011. godine gradile solarne elektrane koje su svoju proizvedenu električnu energiju prodavale Elektroprivredi Srbije. Tokom 2021. godine su se u Srbiji donela zakonska rešenja o kupcu-proizvođaču da bi sredinom 2022. godine počinje intenzivnija izgradnja solarnih elektrana u statusu kupca-proizvođača. Rad analizira proizvodnju električne energije iz više solarnih elektrana u statusu kupca-proizvođača na teritoriji Vojvodine. Prvo je prikazan način rada solarne elektrane kupac-proizvođač sa zakonskim propisima koji su to omogućili. Prikazane su formule pomoću kojih se može samostalno izračunati utrošena električna energija, rezervna energija domaćinstva koju ima u distributivnoj mreži i stvarnu potrošnju domaćinstva. Procenjena je proizvodnja solarnih elektrana na krovu putem programa sa interneta i upoređeni i analizirani sa rezultatima realne proizvodnje više solarnih elektrana kupac-proizvođač. Definisana je ušteda i prikazane su uštede koje ostvarili vlasnici analiziranih solarnih elektrana. Prezentovane su krive sa kojih se lako procenjuju uštede i isplativost investicija u solarne elektrane. Time je olakšano odlučivanje o investicijama koje će najviše zavisiti od ekonomske isplativosti, odnosno od efikasnosti.

Ključne reči: solarna elektrana, kupac-proizvođač

ABSTRACT

The paper presents the results of research and analysis of the operation of solar power plants of buyer-producer households. Since 2011, solar power plants have been built in Serbia, which sold their produced electricity to the Electric Power Company of Serbia. During the year 2021, legal decisions on the buyer-producer were adopted in Serbia, so that in the middle of 2022, more intensive construction of solar power plants will begin in the status of buyer-producer. The paper analyzes the production of electricity from several solar power plants in the status of buyer-producer in the territory of Vojvodina. First, the mode of operation of the buyer-producer solar power plant with the legal regulations that made it possible was presented. Formulas are presented that can be used to independently calculate the consumed electrical energy, the reserve energy of the household in the distribution network and the actual consumption of the household. The production of solar power plants on the roof was estimated through a program from the Internet and compared and analyzed with the results of the real production of several solar power plants by the buyer-producer. Savings are defined and the savings achieved by the owners of the analyzed solar power plants are shown. Curves are presented, from which it is easy to estimate the savings and profitability of investments in solar power plants. This makes it easier to decide on investments, which will mostly depend on economic profitability, that is, on efficiency.

Key words: solar power plant, buyer-producer

1. UVOD

Danas je prioritet potrebe dobijanja čiste električne energije u skladu sa principima održivog razvoja. To znači da se resursi koriste tako da zadovoljavaju potrebe sadašnjice i da se ne dovodi u pitanje sposobnosti budućih generacija da zadovolje sopstvene potrebe [1]. Održiva proizvodnja električne energije znači smanjenje globalnog zagrevanja prouzrokovanog emisijom ugljen dioksida. Iz tog razloga, moderna energetika je danas okrenuta procesu dekarbonizacije proizvodnje električne energije. U skladu sa ovim principom se razvija energetika u svim delovima sveta, pri čemu su u Evropi postignuti već značajni rezultati u pogledu dekarbonizacije proizvodnje električne energije kroz integraciju obnovljivih izvora, u čemu je presudnu ulogu odigrala podsticajna državna politika zemalja zapadne Evrope [2].

Izgradnja solarnih elektrana u domaćinstvu, industriji ili kao samostalnih elektrana svakoj državi pruža veliki doprinos dekarbonizaciji sektora proizvodnje električne energije i smanjenju uvozne zavisnosti od električne energije. Najveću pažnju javnosti izazivaju kupci-proizvođači, ili popularno nazvani „prozjumeri“. Na taj način, mali proizvođači električne energije kupci-proizvođači, koji električnu energiju proizvode pre svega radi sopstvenih potreba i smanjenja računa za električnu energiju, viškove energije iz sopstvenih kapaciteta moći će da predaju u distributivni sistem (DS). Fotonaponski sistemi u domaćinstvima time mogu da daju značajan doprinos energetsom miksu električne energije koju svaka država proizvodi [3]. Kupci-proizvođači, ili popularni „prozjumeri“ treba da doprinesu da se dekarbonizuje sektor proizvodnje električne energije i smanji uvozna zavisnost za električnu energiju. Smernice za kupce-proizvođače izdate od strane energetske zajednice Evropske Unije (EU) navodi da bi polovina svih građana EU mogla do 2050. godine da proizvodi sopstvenu električnu energiju. To znači obezbeđenje 19% potražnje za električnom energijom do 2030. godine, odnosno 45% potražnje EU za električnom energijom do 2050. godine [4]. Već danas u određenim oblastima Australije solarne elektrane su dostigle učešće od 40% u snabdevanju zgrada [5].

Potrošači električne energije koji se u domaćinstvima svakodnevno koriste su: rasveta, televizor, frižider, zamrzivač, bojler, mali elektronski potrošači, mašina za veš, mašina za sudove, klima uređaj. Drugi potrošači koji se povremeno koriste na kućama su toplotna pumpa, električni kotao za grejanje i punjač za električni automobil. Do sada se električna energija koristila tokom noći kada je struja četiri puta jeftinija, pa se tako bojler i veš mašina kod mnogih domaćinstava uključivala noću. Takođe, potrošnja električne energije se povećava uveče, kada se u domaćinstvima priprema večera, koristi osvetljenje, televizor i eventualno računar. Uvođenjem solarnih elektrana kupac-proizvođač će doći do drugačije raspodele potrošnje električne energije tokom dana, tako da će kupci-proizvođači hteti da povećaju sopstvenu potrošnju solarne elektrane, to jest da se što više električne energije potroši direktno iz invertora (korišćenje tokom dana bojlera, mašine za veš, dopune baterije sistema za skladištenje energije, uključivanje toplotne pumpe kada postoji veliki višak raspoložive solarne električne energije i korišćenje energije za dopunu električnih automobila) [6].

Nakon uvoda, u drugom poglavlju je opisan rad solarne elektrane i objašnjen račun kupca-proizvođača sa formulama za izračunavanje potrošnje domaćinstva na osnovu očitavanja brojila i podataka sa solarne elektrane. Isto tako, prezentovana je procena proizvodnje solarnih elektrana pomoću aplikacije sa interneta. Treće poglavlje analizira rad sedam kupaca proizvođača za godinu dana. Na osnovu jednog kupca-proizvođača su date krive ušteda domaćinstva sa solarnom elektranom. Tako da ona domaćinstva koja žele da se odluče za investiciju mogu lako da odrede vreme povraćaja početne investicije u solarnu elektranu. Nakon zaključka, referentno je navedena literatura korišćena za realizaciju ovog rada.

2. SOLARNA ELEKTRANA

Zakon o energetici Srbije [7] je definisao mesto predaje električne energije i mesto preuzimanja električne energije kao mesto na kome se graniče vlasništvo instalacije objekta korisnika sistema i distributivnog sistema (DS) na koji je objekat priključen. Zakon je definisao je i način funkcionisanja tržišta električne energije. Krajnji kupac je pravno/fizičko lice ili preduzetnik koji kupuje električnu energiju za svoje potrebe. Proizvođač električne energije je fizičko ili pravno lice koje proizvodi električnu energiju za tržište. Kupac-proizvođač je krajnji kupac koji je na unutrašnje instalacije priključio sopstveni objekat za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, pri čemu se proizvedena električna energija koristi za snabdevanje sopstvene potrošnje, a višak proizvedene električne energije predaje u prenosni sistem, DS ili zatvoreni DS. U računima EPS Snabdevanja se označava kao isporučena električna energija. Znači, mogući modaliteti priključenja solarnih elektrana s obzirom na kretanje električne energije kroz merna mesta su:

- proizvodnja električne energije za predaju u DS (proizvodjač);
- proizvodnja električne energije za sopstvene potrebe, uz vraćanje viška u DS (kupac-proizvođač), to jest paralelan rad sa DS električne energije gde se deo energije predaje u DS, a deo koristi za napajanje sopstvenih potrošača;
- proizvodnja električne energije za sopstvene potrebe (krajnji kupac) [6].

Kupac-proizvođač se deli na: kupac-proizvođač koji je domaćinstvo, kupac-proizvođač stambena zajednica, i kupac-proizvođač koji nije domaćinstvo ili stambena zajednica. U radu se obrađuje samo kupac-proizvođač domaćinstvo.

Na osnovu Opštih uslova za priključenje solarnih sistema na unutrašnje instalacije postojećih objekata kupca [8] nije dozvoljeno postojanje samovoljnog priključenja solarne elektrane koji nema dozvolu Operatora DS.

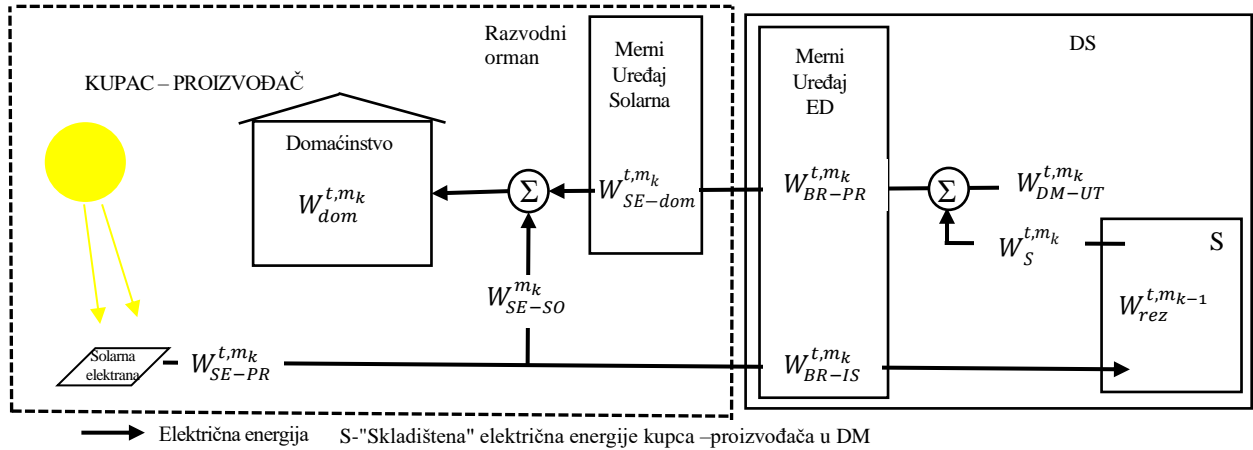
Na računu koju ispostavlja EPS Snabdevanje su sledeći pojmovi definisani zakonima:

- Nadležni operator sistema očitava merne uređaje u skladu sa zakonom kojim se uređuje oblast energetike i podatke dostavlja, u propisanim rokovima, snabdevaču koji ima zaključen ugovor o potpunom snabdevanju sa neto merenjem ili neto obračunom sa kupcem-proizvođačem i to podatke o:

- 1) preuzetoj električnoj energiji od strane kupca-proizvođača,
- 2) isporučenoj električnoj energiji od strane kupca-proizvođača.

- preuzeta električna energija je električna energija koju preuzme kupac-proizvođač iz elektroenergetskog sistema [9].

Na Slici 1 je prikazano kretanje električne energije kod kupca-proizvođača.



Slika 1 – Kretanje električne energije kod kupca-proizvođača u mesecu m_k .

Oznake na Slici 1 su:

- $god.$ - ciklus od godinu dana kupca-proizvođača koji počinje prvog aprila i završava tridesetprvog marta sledeće godine;
- m_k - k -ti mesec;
- t - označava vrstu kupca-proizvođača u zavisnosti od načina merenja i uslova preuzimanja aktivne energije - jednotarifno (JT) merenje ili dvotarifno (DT) merenje sa višom tarifom (VT) u periodu od 7.00 do 23.00 sata i nižom tarifom (NT) od 23.00 do 7.00 sati;
- $W_{SE-PR}^{m_k}$, - proizvedena električna energija solarne elektrane očitana na solarnoj elektrani;
- $W_{SE-SO}^{m_k}$, - sopstvena električna energija od solarne elektrane isporučena kupcu-proizvođaču merena putem solarne elektrane;
- W_{SE-dom}^{t,m_k} , - električna energija potrošnje kupca-proizvođača merena putem solarne elektrane,
- W_{BR-IS}^{t,m_k} , - isporučena električna energija u DM od strane kupca-proizvođača;
- W_{BR-PR}^{t,m_k} , - preuzeta električna energija iz DM u domaćinstvo merena na brojilu;
- W_{dom}^{t,m_k} , - električna energija potrošnje domaćinstva;
- W_{DM-UT}^{t,m_k} , - izračunata utrošena električna energija kupca-proizvođača iz DM (4, 5 i 6);
- W_S^{t,m_k} , - izračunata utrošena električna energija iz "skladištene" električne energije u DM (4, 5 i 6);
- W_{rez}^{t,m_k} - rezervna energija kupca-proizvođača "skladištena" u DM.

Postoje dva merna mesta na Slici 1 i to:

1. Obračunsko merno mesto Elektrodistribucije. Brojilo meri električnu energiju: $W_{BR-PO}^{m_k}$ i $W_{BR-IS}^{m_k}$.
2. Interno merenje invertora. Sa njega se mogu dobiti podaci u zavisnosti od mogućnosti invertora: $W_{SE-PR}^{m_k}$ i $W_{SE-SO}^{m_k}$.

Na osnovu Slike 1 definisane su sledeće relacije koje se izračunavaju za svaki mesec:

$$W_{BR-PR}^{t,m_k} = W_{DM-UT}^{t,m_k} + W_S^{t,m_k}, \quad (1)$$

$$W_{SE-PR}^{m_k} = W_{BR-IS}^{m_k} + W_{SE-SO}^{m_k}, \quad (2)$$

$$W_{SE-dom}^{m_k} = W_{BR-PR}^{m_k}. \quad (3)$$

Da bi se izračunalo W_{DM-UT}^{t,m_k} i W_{rez}^{t,m_k} imamo tri varijante korišćenja električne energije iz DM i iz rezerve:

$$1. \text{ Ako je } W_{BR-IS}^{t,m_k} + W_{rez}^{t,m_k} > W_{BR-PR}^{t,m_k} \Leftrightarrow \begin{aligned} W_{DM-UT}^{t,m_k} &= 0 & W_S^{t,m_k} &= W_{BR-PO}^{t,m_k} & W_{rez}^{m_k} &= W_{BR-IS}^{m_k} + W_{rez}^{m_{k-1}} - W_{DM-PR}^{m_k} \end{aligned} \quad (4)$$

$$2. \text{ } W_{BR-IS}^{t,m_k} + W_{rez}^{t,m_k} = W_{BR-PR}^{t,m_k} \Leftrightarrow \begin{aligned} W_{DM-UT}^{t,m_k} &= 0 & W_S^{t,m_k} &= W_{BR-PR}^{t,m_k} & W_{rez}^{t,m_k} &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

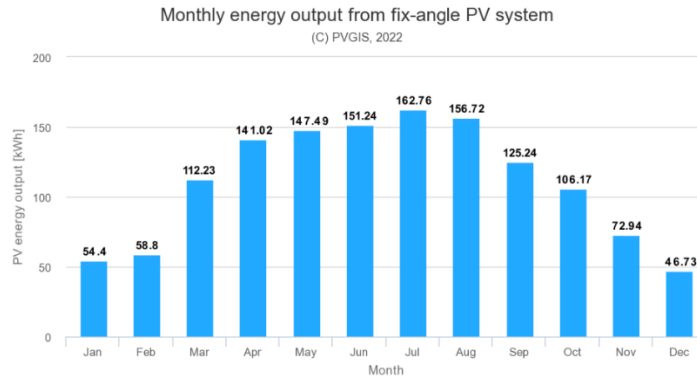
$$3. \text{ } W_{BR-IS}^{t,m_k} + W_{rez}^{t,m_k} < W_{BR-PR}^{t,m_k} \Leftrightarrow \begin{aligned} W_{DM-UT}^{t,m_k} &= W_{BR-PR}^{t,m_k} - W_{BR-IS}^{t,m_k} - W_{rez}^{m_{k-1}} & W_S^{t,m_k} &= W_{BR-IS}^{t,m_k} + W_{rez}^{m_{k-1}} & W_{rez}^{t,m_k} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Na osnovu gore merenih i izračunatih vrednosti Elektroprivreda Srbije izrađuje račun kupcu-proizvođaču. Konačno, potrošnja domaćinstva se može izračunati:

$$W_{dom}^{t,m_k} = W_{BR-PR}^{t,m_k} + W_{SE-SO}^{t,m_k} \quad (7)$$

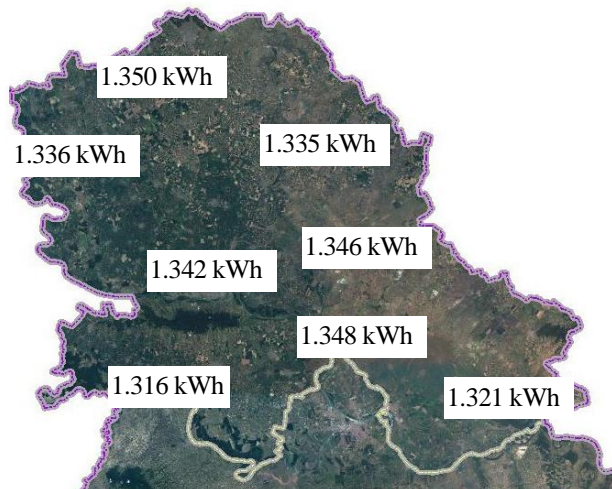
2.1 Procena proizvodnje električne energije solarne elektrane putem softvera na internetu

Procena proizvodnje solarnih elektrana izvršena je putem sajta [10]. Na internetu postoji više sličnih sajtova koji nude softver i svoje proizvode [11]. Orijentacija solarnih panela je definisana azimutom, uglom solarnih modula u odnosu na pravac prema jugu. Nagib panela je ugao krova prema zemljištu. Na osnovu ulaznih podataka o solarnoj elektrani (grad Sombor, za instalisanu snagu panela 1 kWp, nagib panela 35%, azimut 0° i gubitak sistema od 6%) dobijena je prosečna mesečna proizvodnja električne energije (Slika 2).



Slika 2 – Procenjena mesečna proizvodnja solarne elektrane 1 kWp postavljene u Somboru nagib krova 35° i azimutom 0°

Na Slici 3 je prikazana proizvodnja solarnih elektrana po 1 kWp panela na krovu sa nagibom od 35% azimutom 0° i gubitkom sistema od 6%. Proizvodnja se kreće od 1.316 do 1.350 kWh. Znači, maksimalna ukupna godišnja proizvodnja na području Vojvodine iznosi 1.350 kWh po 1 kWp na krovu sa nagibom od 35% azimutom 0° i gubitkom sistema od 6%.



Slika 3 – Vojvodina sa procenjenom proizvodnjom električne energije 1 kWp na krovu sa nagibom od 35% azimutom 0°

Tabela 1 je prikazuje godišnju proizvodnju 1 kWp sa promenom parametara nagiba krova korišćenjem softvera [10]. Nagib krova utiče na smanjenje od -14% pri ravnom krovu pa do -31 % za 90°. Optimalni nagib krova je 35°. Detaljnija analiza određivanja optimalnog ugla nagiba solarnih panela u zavisnosti od vremena (oblačno, sunčano), godišnjeg perioda itd. je prikazana u radu [12] koja preporučuje nagibe solarnih panela od 0° do 70° za razne uslove i situacije. Kada se stavljaju na krovove, paneli su uslovljeni nagibom krova.

Tabela 2 je prikazuje godišnju proizvodnju 1 kWp sa promenom azimuta dobijenu korišćenjem softvera [10]. Sa azimutom od 60° proizvodnja električne energije se smanjuje oko 10,6%, a pri 90° se smanjuje do 21%. Pozicija krova se ne može menjati ali znatno utiče na proizvodnju električne energije.

Tabela 1 – Prikaz godišnje proizvodnje električne energije panela 1 kWp sa promenom parametara nagiba krova i konstantnim azimutom 0° u Somboru

		Nagib krova											
		0°	10°	20°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
Godišnja proizvodnja	kWh	1142	1233	1296	1330	1336	1334	1330	1306	1249	1169	1056	915
Odstupanje od 35°	%	-14,1	-7,7	-3,0	-0,4	0,0	-0,1	-0,4	-2,2	-6,5	-12,5	-20,9	-31,0

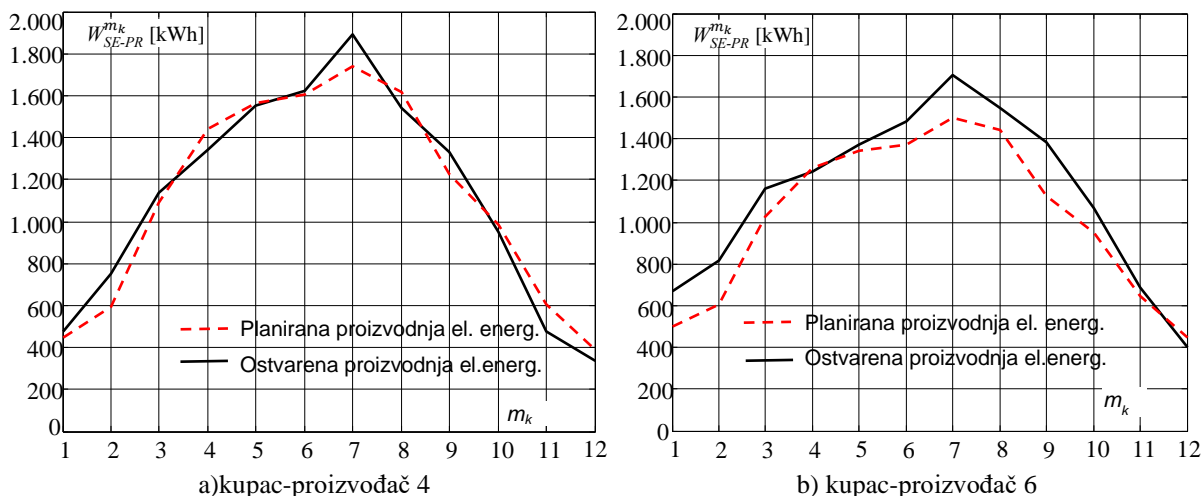
Tabela 2 – Prikaz menjanja godišnje proizvodnje električne energije panela 1 kWp sa promenom azimuta i konstantnim nagibom krova 35°

		Azimut									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Godišnja proizvodnja	kWh	1336	1330	1318	1297	1269	1236	1197	1153	1105	1055
Odstupanje u odnosu na 0°	%	0,0	-0,4	-1,4	-2,9	-5,1	-7,7	-10,6	-13,7	-17,2	-21,0

3. ANALIZA RADA SOLARNIH ELEKTRANA NA PODRUČJU VOJVODINE

U nastavku rada su prikazani osnovni podaci o solarnim elektranama koji proizvode električnu energiju i rade u sistemu kupac-proizvođač. Tokom 2022. godine je počelo intezivno priključivanje kupaca-proizvođača tako da je 25.2.2024. godine na području Srbije priključeno 2020 kupaca-proizvođača instalisane snage 16,4 MW. Svi solarni paneli su monofacijalni. Obzirom da je veoma teško doći do relevantnih podataka vezanih za sam rad solarnih elektrana, u radu nije izvršena analiza većeg broja istih. Neki nisu hteli dati podatke, neki nisu sačuvali račune za struju, a neki imaju inverter koji pamti podatke o samo poslednja dva meseca.

Jedna od interesantnih pokazatelja prikazan u Tabeli 3 je faktor dimenzionisanja invertora k_{inv} , koji predstavlja odnos nominalne snage solarnih panela i izlazne nominalne snage invertora (P_{inv}) k_{inv} [13]. On je bitan pri odabiru snage panela. Faktor dimenzionisanja invertora obično se kreće u granicama $0,8 < k_{inv} < 1,25$. Tačna vrednost faktora k_{inv} zavisi od činilaca kao što su geografska lokacija solarne elektrane, sunčevo zračenje, način montaže panela i karakteristike invertora.



Slika 4 – Poređenje planirane i ostvarene proizvodnje kupca-proizvođača

U Tabeli 3 su prikazani rezultati proizvodnje samo sedam kupaca-proizvođača na području Vojvodine u toku ciklusa od jedne godine. U prvom redu je prikazana ukupna godišnja potrošnja domaćinstva $W_{dom}^{DT, god}$ dobijena pomoću izraza (7), a u narednim redovima osnovni pokazatelji ugrađenih solarnih elektrana. Svi imaju dvotarifni

način mernja električne energije. Nakon toga je prikazana planirana godišnja proizvodnja solarne elektrane dobijena putem softvera sa interneta [10], kao i realizovana godišnja proizvodnja električne energije. Na Slici 4 su upoređene mesečne planirane i ostvarene proizvodnje kod dva kupca-proizvođača. Iz Tabele 3 se uočava da je realizovana godišnja proizvodnja solarnih elektrana kreće u okviru ($\pm 14\%$) od onih koji su dobijene putem softvera sa sajta. Da bi mogli uporediti rezultate rada solarnih elektrana različitih snaga, u narednim redovima su prikazani i pokazatelji planirane i realizovane proizvodnje električne energije svedene na 1 kWp (instaliranih solarnih panela). Isto tako, upoređujući realizovana proizvodnja solarnih elektrana po 1 kWp postavljenih na krovovima se razlikuju $\pm 14\%$ od planiranih mesečnih proizvodnji po 1 kWp instaliranih solarnih panela.

Tabela 3 – Prikaz osnovnih podataka analiziranih solarnih elektrana kupac-proizvođač domaćinstvo

	Opština			1	2	3	4	5	6
				Sombor	Stanišić	Ada	Pačir	Tornjoš	Bač
1.	Godišnja potrošnja domaćinstva $W_{dom}^{DT, god}$	kWh		20.520	35.235	12.623	12.828	15.486	18.276
2.	Snaga solarnih panela	kWp		15,2	10	11,1	12	13,13	10,3
3.	Izlazna snaga invertora	kW		20	10	10	10	10	10
4.	k_{inv}	kWp/kW	2/3	0,76	1	1,11	1,2	1,31	0,984
5.	Godina početka rada			2023.	2022.	2022.	2022.	2023.	2022.
6.	Mesto postavljenja			krov	krov	krov	krov	krov	zemlja
7.	Azimut	°		90°	0°	30°	50°	30°	0°
8.	Nagib panela	°		40°	30°	35°	25°	20°	30°
9.	Način merenja			Dvotar.	Dvotar.	Dvotar.	Dvotar.	Dvotar.	Dvotar.
10.	Planirana godišnja proizvodnja	kWh		19.365	11.905	12.998	13.308	14.960	12.256
11.	Planirana godišnja proizvodnja po 1kWp	kWh/1kWp	10/2	1.274	1.195	1.171	1.109	1.140	1.220
12.	Realizovana godišnja proizvodnja W_{SE-PR}^{god}	kWh		17.806	11.866	14.316	13.406	13.722	13.338
13.	Realizovana godišnja proizvodnja po 1kWp	kWh/1kWp	12/2	1.118	1.186	1.290	1.117	1.045	1.294
14.	$\sum_{k=1}^{12} R_{kupac-proizvođač}^{DT, m_k}$	€		839	3.521	452	570	568	852
15.	$\sum_{k=1}^{12} R_{kupac}^{DT, m_k}$	€		2.520	6.071	1.406	1.288	1.590	2.150
16.	U_{ST}^{god} (godišnja ušteda)	€	15-14	1.681	2.550	954	844	1.022	1.298
		%	15-14 /14	67	42,0	67,6	65	64,2	60,3
		€/kWp	14/2	111	255	86	70,3	77,8	126
17.	Ostalo neiskorišćeno-DT	kWh		4.538	0	5.115	2.637	2.080	0
Procena									
18.	$\sum_{k=1}^{12} R_{kupac-proizvođač}^{JT, m_k}$	€		898	3.529	661	524	1.566	1.210
19.	Ostalo neiskorišćeno-JT	kWh		0	0	1.561	576	0	0

Ušteda zbog rada solarne elektrane za period od godinu dana U_{ST}^{god} iznosi:

$$U_{ST}^{god} = \sum_{k=1}^{12} R_{kupac}^{t, m_k} - \sum_{k=1}^{12} R_{kupac-proizvođač}^{t, m_k} \quad (8)$$

gde je:

$\sum_{k=1}^{12} R_{kupac}^{t, m_k}$ - zbir svih procenjenih računa za godinu dana kao kupac električne energije,

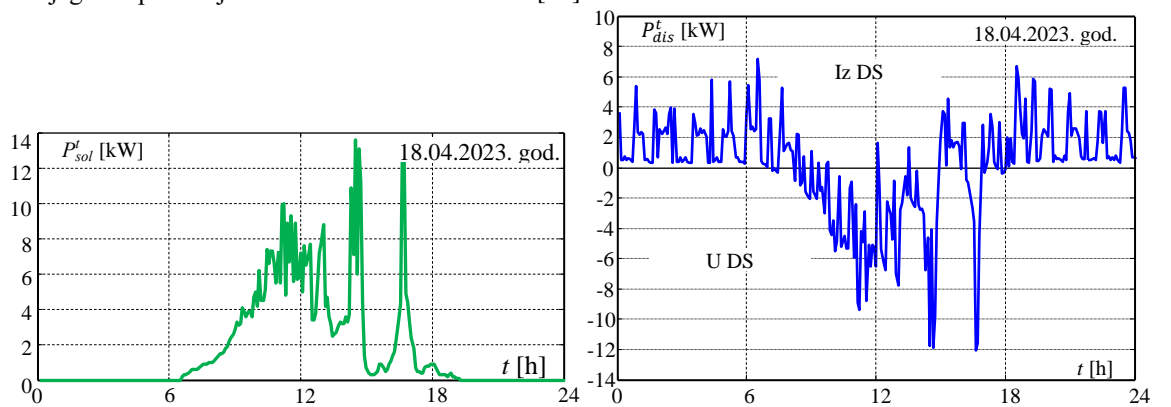
$\sum_{k=1}^{12} R_{kupac-proizvođač}^{t, m_k}$ - zbir svih dobijenih računa za godinu dana kao kupac-proizvođač električne energije.

U petnaestom redu Tabele 3 je prikazan godišnji zbir svih računa kupac-proizvođač $\sum_{k=1}^{12} R_{kupac-proizvođač}^{DT, m_k}$, a zatim i procenjen godišnji zbir svih računa za električnu energiju $\sum_{k=1}^{12} R_{kupac}^{DT, m_k}$ da je domaćinstvo bilo samo kupac, odnosno da nije imalo solarnu elektranu. Uštede U_{ST}^{god} su najveće kod onih kupaca-proizvođača koji imaju najveću

potrošnju i što približnju proizvodnju solarnih panela u kWh potrošnji domaćinstva. Od svih kupaca-proizvođača, kupac-proizvođač u koloni 3 ima najmanji zbirni račun kupca-proizvođača od samo 452 € jer jedan mesec nije imao potrošnju u domaćinstvu. Realno je da ima zbirni godišnji račun preko 500 € da je tog meseca imao potrošnju. Kupac-proizvođač 2 ima apsolutno najveću uštedu od 2.550 € jer mu se cela ušteda odnosi na crvenu tarifu. Pošto mu je ostalo još puno energije u crvenoj tarifi ima procentualno najmanju uštedu od 42%. Potrebno mu je ugraditi još jednu solarnu elektranu od 10 kWp. Domaćinstva sa potrošnjom do 20.000 kWh imaju prosečnu uštedu od 40-70%, odnosno smanjenje računa kao kupac.

Upoređujući neiskorišćenu električnu energiju na kraju ciklusa od godinu dana (red pod nazivom neiskorišćeno-DT) uočava se da samo kupci-proizvođači (1, 3, 4 i 5) imaju neiskorišćenih kWh. Verovatno su planirali solarne elektrane prema ukupnoj potrošnji domaćinstva, a imaju dvotarifno merenje i nisu prešli na jednotarifno merenje. Mogli su izgraditi solarnu elektranu samo prema potrošnji u VT. Pitanje je da li bi oni kao jednotarifni potrošači imali manje račune kao kupac-proizvođač. Zbog toga je u Tabeli 3 procenjeno koliki bi bili računi kupca-proizvođača kao jednotarifni potrošači (red 18). Ako bi kupac-proizvođač 1 bio jednotarifan, nema veće uštede jer mu nedostaje proizvedenih kWh da pokrije ukupnu potrošnju domaćinstva, i zbog toga u februaru i martu ima veći račun. On mora ugraditi dodatne solarne panele ako želi biti jednotarifana potrošač. Kod kupca-proizvođača 3 se ne isplati prelazak na jednotarifnog potrošača jer troši 40% energije u NT. Isto je i sa kupcem-proizvođačem 5. Ona domaćinstva koja nemaju veću potrošnju noću njima se isplati da budu jednotarifni potrošači.

Na Slici 5a je prikazana proizvodnja solarne elektrane kupca-proizvođača 1 na dan 18.4.2023. godine. Uočava se da proizvodnja električne energije varira u zavisnosti od vremena. Na Slici 5b je prikazana razmena električne energije između kupca-proizvođača 1 i ED. Ona dosta varira i kada ne radi solarna elektrana se kreće potrošnja do 7 kW zbog ugrađene toplotne pumpe. Tokom rada solarne elektrane ona daje u DM i do 12 kW. Uočavamo da su dijagrami potrošnje sada sasvim drugačiji zbog rada toplotnih pumpi i solarnih elektrana u odnosu na nekad kada su dijagrami potrošnje imali dva vrha u toku dana [14].

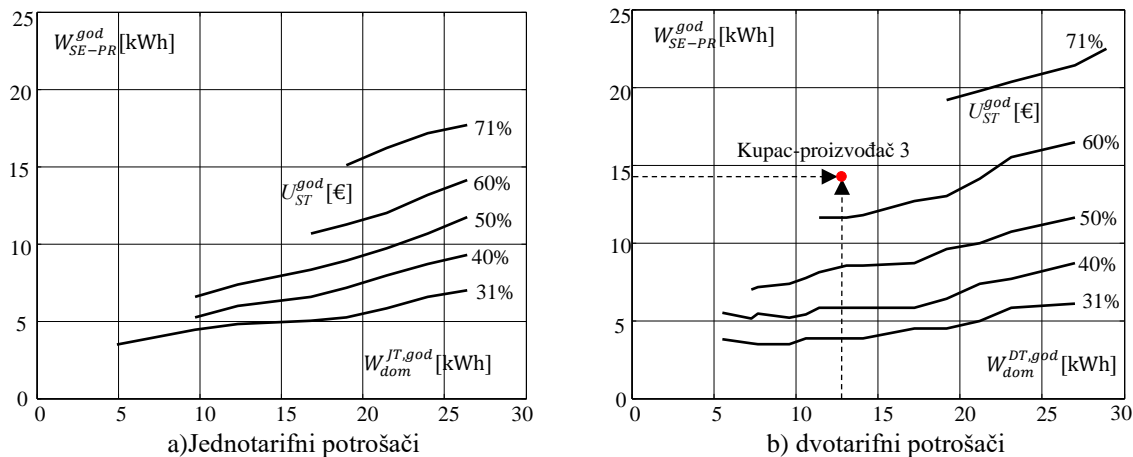


a) dnevna proizvodnja solarne elektrane

b) kretanje snage kroz brojilo kupca-proizvođača

Slika 5 – Snimak proizvodnje solarne elektrane i kretanje snage kroz brojilo kupca-proizvođača

Do sada smo analizirali domaćinstva koja imaju već godinu dana ugrađene solarne elektrane. Želja je bila da se pomogne budućim kupcima-proizvođačima za procenu godišnjih ušteda koje bi imali i na osnovu toga donošenje odluka. Na osnovu variranja vrednosti mesečne proizvodnje solarne elektrane i variranjem vrednosti mesečne potrošnje domaćinstva za godinu dana dobijene su krive godišnjih ušteda U_{ST}^{god} prikazane na Slikama 6a i 6b (8).



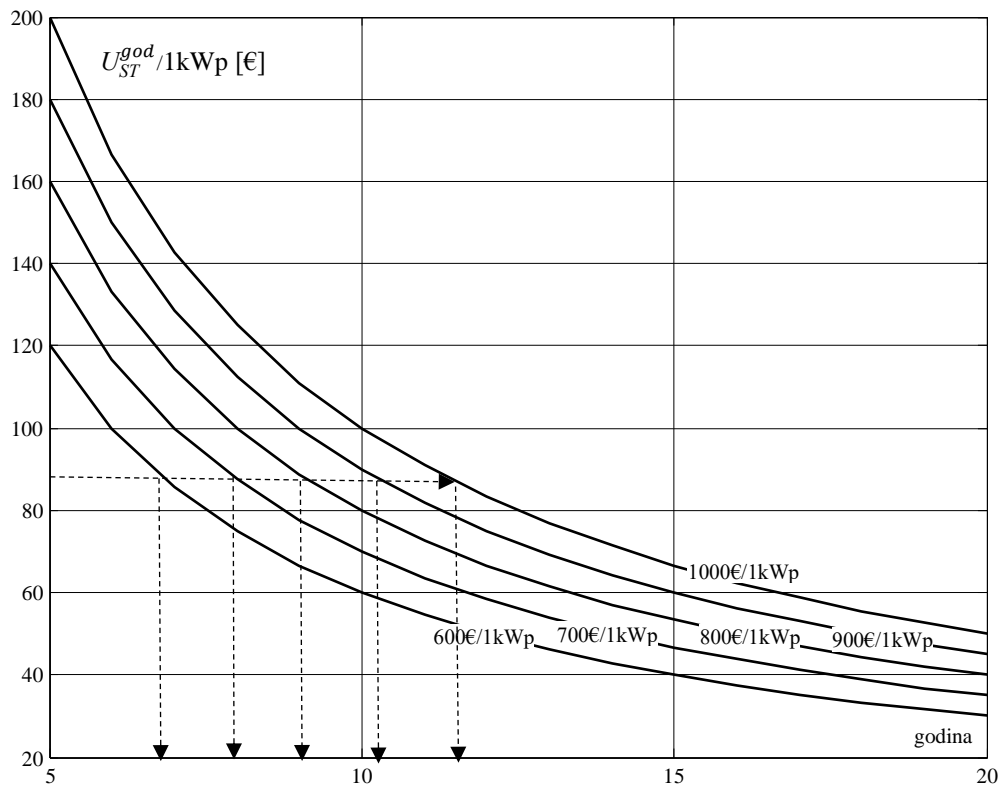
a) Jednotarifni potrošači

b) dvotarifni potrošači

Slika 6 – Dijagram godišnjih ušteda U_{ST}^{god} kupca-proizvođača

Na osnovu zahteva vlasnika domaćinstva koji želi ugraditi solarnu elektranu, izvođači radova daju ponudu za ugradnju i ekonomsku analizu koliko godina treba da radi solarna elektrana da bi se investicija vratila. Ponude su često optimistične sa periodom vraćanja investicija od 5 godina i više. Krive na Slici 6a prikazuju godišnje uštede U_{ST}^{god} na računu električne energije od 31%, 40%, 50%, 60% i 71% kod jednotarifnog potrošača, a Slika 6b kod dvotarifnog potrošača. Na Slici 6b je crvenim kružićem prikazan kupac-proizvođač 3 sa svojom proizvodnjom i potrošnjom domaćinstva. Ušteda iznosi 65%, a u Tabeli 3 ona iznosi 67,6%. Kod budućih kupaca-proizvođača godišnja potrošnja domaćinstva se očitava iz računa, a godišnja proizvodnja iz softvera sa interneta [10]. Na osnovu dijagrama Slike 6 domaćinstva koja planiraju da postanu kupci-proizvođači mogu samostalno da procene svoje uštede i provere dobijene ponude.

Na Slici 7 je prikazano vreme otplate investicije u solarnu elektranu kupaca-proizvođača u zavisnosti od uštede po 1 kWp. Kupac-proizvođač 3 koji ima uštedu od 86 € (Tabela 4) će otplatiti investiciju (ako je iznosila 600€) za oko 7 godine, a ako je investicija iznosila 1000 € za oko 11,6 godina.



Slika 7 – Isplativost investicija u zavisnosti od uštede po 1kWp

Mnoge elektrane počele sa radom polovinom leta ili jeseni pa je profit ili smanjenje računa malo na početku. Uštede će se iskazati tek u celom ciklusu od godinu dana. U Tabeli 4 je prikazan period otplate investicije na osnovu ušteda i više vrednosti investicija po 1 kWp. Isplativost je računata da cena električne energije ostane ista u periodu posmatranja, što sigurno neće bit tako da će isplativost se ostvariti i ranije nego podaci u Tabeli 4. Vrednost solarnih panela je dosta smanjena u odnosu na pre par godina, tako da se smanjuje i vrednost budućih investicija i vreme otplate. Vreme otplate je najmanje kod kupca-proizvođača 3 i iznosi 2,7 godina za vrednost investicija od 700 € po 1 kWp.

Tabela 4 – Prikaz isplativosti investicija

Isplativost ako je vrednost radova		1	2	3	4	5	6
		Sombor	Stanišić	Ada	Pačir	Tornjoš	Bač
1000 € / 1 kWp	god.	9,1	3,9	11,6	15,3	12,8	7,9
900 € / 1 kWp	god.	8,1	3,5	10,5	13,8	11,5	7,1
800 € / 1 kWp	god.	7,2	3,1	9,3	12,3	10,2	6,3
700 € / 1 kWp	god.	6,3	2,7	8,1	10,7	8,9	5,5
600 € / 1 kWp	god.	5,4	2,3	7,0	9,2	7,7	4,8

U ovom trenutku cena izgradnju solarne elektrane na području Vojvodine se kreće za 1 kWp od 600 € do 1000 €. Neki od analiziranih kupaca-proizvođača pre dve godine su plaćali i preko 1000 €. U primeru analiziranih solarnih elektrana za je 700 € / 1 kWp prosečno isplativost od 2,7 do 10 godina. Sistemi su isplativiji kod domaćinstava: – koji imaju veću potrošnju zbog korišćenja toplotnih pumpi ili klima za grejanje i hlađenje,

- kojima električna energija iz solarnih elektrana može da smanje količinu električne energije u crvenoj zoni i time značajno da smanje račun za struju,
- koji se greju na električnu energiju, što bi isto uticalo na smanjenje računa za struju.

4. ZAKLJUČAK

Solarna energija je jedna od energija budućnosti koja u poslednjoj deceniji doživljava procvat. Gotovo neograničenih mogućnosti, sa proizvodnjom koja ne zagađuje okolinu za razliku od konvencionalnih izvora. Cene uobičajenih izvora koji su i veliki zagađivači okoline se povećavaju svake godine, što je jedan glavnih razloga zašto sve više domaćinstava razmišlja o postavljanju solarnih panela na krovovima svojih kuća. Tehnologija panela i invertora, performanse i pouzdanost se konstantno unapređuju, a pad cena solarnih elektrana ohrabruje sve veći broj domaćinstava da izgrađuju solarne elektrane. U Srbiji je 2022. godina počela intenzivnija izgradnja solarnih elektrana kupaca-proizvođača.

Rad predstavlja prve rezultate rada solarnih elektrana kupaca-proizvođača u toku jedne godine od meseca aprila zaključno sa mesecom martom sledeće godine. Zbog poteškoća prikupljanja podataka rad se odnosi samo na područje Vojvodine. U Srbiji nedostaje program praćenja performansi i pouzdanosti solarnih elektrana da bi se izvukli podaci i postigla veća efikasnost. Prvi rezultati ušteda korišćenjem solarnih elektrana pokazuje da se isplate posebno ako ima potrošnju u crvenoj zoni. Posebno je pitanje koliko DM ima mogućnost da ima kupaca-proizvođača a da se ne naruši kvalitet električne energije. Distribucija mora izaći sa podacima i možda ograničiti snagu solarnih elektrana kupaca-proizvođača da bi što veći broj domaćinstava imao mogućnost da uštede i smanje račune za električnu energiju.

Svako domaćinstvo pre ugradnje solarnih elektrana mora detaljno analizirati potrošnju u VT i NT i doneti odluku da li je isplativo biti jednotarifan ili dvotarifan potrošač. Rad pomaže da se lako proceni proizvodnja solarne elektrane i na osnovu postojeće potrošnje procene uštede i isplativost investicija u solarne elektrane.

Zbog promene dijagrama potrošnje kod kupaca-proizvođača i proizvodnje solarnih elektrana, potrebno je da u narednom periodu snimiti nove normalizovane dnevne hronološke dijagrame potrošnje na niskonaponskim izvodima, transformatorskim stanicama xx/0,4 kV/kV i 110/xx kV/kV. Ugradnjom solarnih elektrana kao i toplotnih pumpi dijagrami potrošnje se menjaju a time se i procena stanja distributivne mreže u mnogim programima zasnovanim na dnevnim hronološkim dijagramima ima sve veću grešku. Potrebno je da elektrodistribucija uradi nova merenja i tipizaciju potrošnje.

LITERATURA

- [1] Dragan Rajaković, 2020, "Osnovi održivog razvoja", "Visoka tehnička škola strukovnih studija "2",
- [2] Lazović Đ, Džodić K, Đurišić Ž, 2021, Analiza ekonomske opravdanosti investiranja u solarnu elektranu sa vertikalno postavljenim bifacijalnim fotonap. modulima u perspektivnim uslovima slobodnog tržišta, Energetika,
- [3] Simendić, Z., Majstorović, Z., Miljanić, S., Mraović, D., 2023, Rezultati rada solarnih elektrana na području Vojvodine, CIGRE Srbije, C6-19,
- [4] PV Prosumer Guidelines for eight EU Member States, 2019, European Renewable Energies Federation, Berlin,
- [5] R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, J. Palm, 2015, "Photovoltaic selfconsumption R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, J. Palm, "Photovoltaic selfconsumption in buildings: A review", Applied Energy,
- [6] Vuković M., Ostojić B., 2021, Koncept korišćenja mini solarnih centrala u domaćinstvu, Energy, Economy, Ecology, cesija 4,
- [7] Vlada Republike Srbije. 2023, Zakon o energetici. Службени гласник РС", бр. 145 од 29. decembra 2014, 95 од 8. децембра 2018 - 40 од 22. априла 2021, 35 од 29. априла 2023, 62 од 27. јула 2023.,
- [8] Elektrodistribucija Srbije, 2021, Opšti uslovi za priključenje fotonaponskih modula na unutrašnje instalacije postojećeg objekta kupca,
- [9] Vlada Republike Srbije, 2021, Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača, 05, 26 avgust,
- [10] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [11] <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>,
- [12] N. Krstić, D. Klimenta, D. Tasić, D. Radosavljević, 2021, Određivanje optimalnog nagibnog ugla fotonaponskim panela uz uvažavanje efekta senki u fotonaponskim sistemima, Energija, ekonomija, ekologija, 3, str. 45-53.
- [13] V. Katić, Z. Čorba, D. Milićević, B. Dumnić, B. Popadić, 2015, Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, Tehnika-Elektrotehnika 64, 4,
- [14] Z. Simendić, G. Švenda, T. Latas, D. Mraović, 2023, Energetska efikasnost domaćinstva sa toplotnom pumpom i solarnom elektranom, Energija, ekonomija, ekologija, 3, str. 30-38.