

# Energetska efikasnost domaćinstva sa toplotnom pumpom i solarnom elektranom

## Energy Efficiency of Households with a Heat Pump and a Solar Power Plant

Zoran Simendić, Goran Švenda\*, Tatjana Latas\*\*, Dalibor Mraović\*\*\*

\* Fakultet tehničkih nauka Novi Sad

\*\* Somborelektro d.o.o. Sombor

\*\*\* Aqua Flam Vent d.o.o. Sombor

**Rezime** - U radu je razmatrano domaćinstvo sa solarnom elektranom i toplotnom pumpom. U zavisnosti od potrošnje i proizvodnje električne energije, kretanje energije kroz električno brojilo je u oba smera. Mogućnosti i ekonomska opravdanost primene razmatranog, integrisanog sistema upoređeni su sa sistemima za grejanje domaćinstava koji se uobičajeno koriste u Republici Srbiji. Analize i prikazani rezultati zasnivaju se na merenjima koja su realizovana kod kupca-proizvođača u Elektrodistribuciji Sombor.

**Ključne reči** - Toplotna pumpa, solarni paneli, solarna elektrana, energetska efikasnost

**Abstract** - The paper considered a household with a solar panel and a heat pump. Depending on the consumption and production of electricity, the flow of energy through the electric meter is in both directions. The possibilities and economic justification of the application of the considered integrated system were compared with the household heating systems that are commonly used in the Republic of Serbia. The analysis and presented results are based on measurements that were carried out at the prosumer in Elektrodistribucija Sombor.

**Index Terms** - Heat pump, solar panels, solar power plant, energy efficiency

### I UVOD

Globalni rast potražnje energije u svetu u uslovima visokih i nestabilnih cena zahteva njenu racionalnu upotrebu i štednju [1]. U tu svrhu Republika Srbija je izmenila Zakon o energetici [2] i donela više zakona među kojima je i zakon o energetske efikasnosti. Definisana je kupac-proizvođač, kao pravno ili fizičko lice, odnosno preduzetnik. To je krajnji kupac električne energije (el.en.) koji deo svojih potreba za el.en. zadovoljava iz sopstvene proizvodnje, i po potrebi koristi distributivnu mrežu (DM) za predaju viška proizvedene i preuzimanje el.en. kada njegova proizvodnja nije dovoljna da zadovolji sopstvene potrebe [3].

Ugradnja toplotne pumpe (TP) ima ekspanziju kako u svetu tako i kod nas. TP koristi energiju vazduha, zemlje i podzemnih voda da bi vršila hlađenje ili grejanje objekta. Kao takva, ona minimalno opterećuju životnu sredinu. Korišćenjem samo TP

domaćinstvo znatno povećanu potrošnju el.en. i zbog toga dobija velike račune (u plavoj, a često i u crvenoj zoni). Ugradnjom solarne elektrane i njenom integracijom sa TP omogućeno je značajno smanjenje preuzimanja el.en. iz DM, odnosno značajno smanjenje računa. Na taj način se osim povećanja efikasnosti u grejanju i hlađenju, povećava i proizvodnja i potrošnja zelene el.en.

Integracijom sistema za grejanja i hlađenja sa obnovljivim izvorima energije postižu se tri stepena energetske efikasnosti [4]: smanjenje gubitaka energije, efikasno korišćenje energije i efikasna proizvodnja energije.

Nažalost, početna ulaganja za realizaciju integrisanog sistema su velika: projektantska cena TP je 4.000÷7.000 € za 100 m<sup>2</sup> domaćinstva, u zavisnosti da li se koristi za grejanje, grejanje i hlađenje ili grejanje, hlađenje i zagrevanje vode. Cena solarnih elektrana se kreće od 700÷1.200 € po 1 kW panela (kWp). Dakle, za realizaciju integrisanog sistema potrebno je unapred optimalno dimenzionisati TP i solarnu elektranu [5], sve u skladu sa potrošnjom razmatranog domaćinstva (potrošnja, grejanje, hlađenje).

Za potrebe ovog rada, analizu i verifikaciju isplativost integrisanog rešenja, razmatran je kupac-potrošač na teritoriji Elektrodistribucije Sombor.

Nakon uvoda, u drugom poglavlju su prikazani osnovni podaci o TP, solarnim elektranama, integrisanom sistemu koji se sastoji od solarne elektrane i TP, energetske efikasnosti, cenama i osnovnim podacima o kupcu-proizvođaču. Eksperiment i ostvareni rezultati su prikazani u trećem poglavlju. Rezultati analize ekonomske opravdanosti prikazani su u četvrtom poglavlju. Nakon zaključka, referentno je navedena literatura korišćena za realizaciju ovog rada.

### II POSTAVKA PROBLEMA

Princip održivog razvoja znači da se resursi koriste tako da zadovoljavaju potrebe sadašnjice i da se ne dovodi u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje njihovih potreba. U skladu sa tim, potrebna je sve veća proizvodnja zelene el.en. koja se koristi u domaćinstvima i industriji [6]. Povećanjem

produkcije el.en. putem obnovljivih izvora smanjuje se njena proizvodnja na osnovu fosilnih goriva, čime se smanjuje zagađenje životne sredine i doprinosi se održivom razvoju. Na tom putu, veliki doprinos ima ekonomski isplativaq rešenja za grejanje i hlađenje objekata.

**Toplotna pumpa**

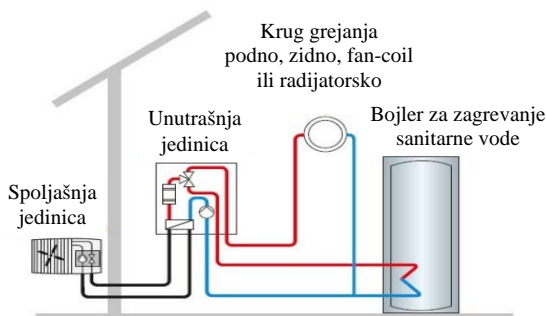
TP za potrebe grejanja ili hlađenja preuzima energiju sa jednog mesta i prebacuju je na drugo mesto. Ona ima tri osnovne jedinice: spoljašnju jedinicu (isparivač), unutrašnju jedinicu (kondenzator) i rashladni fluid, slika 1. Rashladni fluid prenosi toplotu tako što cirkuliše između spoljašnje i unutrašnje jedinice. Isparivač crpi energiju iz obnovljivog izvora (vazduh (kao na slici 2), voda, geotermalni ili solarni izvor) pri čemu dolazi do isparavanja rashladnog fluida. Kompresor komprimuje gas čime mu povećava temperaturu. Kondenzator prenosi toplotu sa gasa na grejni sistem, a gas se vraća u tečno stanje. Ekspanzioni ventil snižava pritisak rashladnog sredstva, što izaziva isparavanje i početak novog ciklusa. Prilikom hlađenja ovaj ciklus je obrnut, slika 2 [7].

Današnje TP podnose izuzetno niske temperature. One mogu da rade na -25°, pritom do -15° imaju na raspolaganju pun kapacitet bez upotrebe grejača. Iste TP omogućavaju i zagrevanje sanitarne vode i unutrašnjih prostorija. Cena TP se smanjuje tako da one postaju sve više konkurentne u odnosu na ostale sisteme grejanja.

Nadzor sistema i upravljanje radnim i servisnim parametrima omogućen je sa fabrički isporučenim softverom. Njegovom primenom omogućeno je da se u svakom momentu nadzire i po potrebi promeni rad svih komponenti TP [8].



**Slika 1.** Unutrašnja jedinica sa kompresorom i spoljašnja jedinica



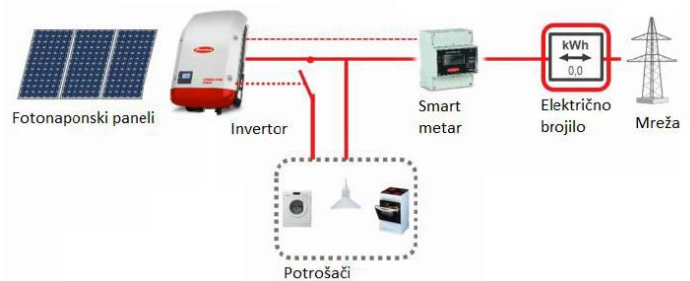
**Slika 2.** Šematski prikaz rada toplotne pumpe

**Solarna elektrana**

U oblasti fotonaponskih sistema za domaćinstva mogu da se realizuju [9]:

- sistem na mreži (on grid),
- kućni hibridni sistem (on grid, ili off grid),
- minigrd sistem (off grid),
- ostrvski sistemi (off grid).

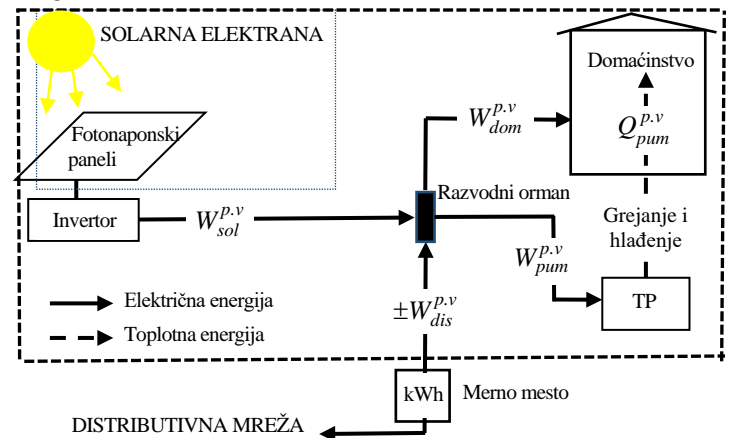
On grid sistemi su sistemi koji rade paralelno sa DM i zavisni su od njega. Oni predstavljaju više od 90% tržišnih fotonaponskih sistema. Važno je da svaki inverter kao sistem ne degradira kvalitet snabdevanja el.en. u tački konekcije. Modalitet rada je proizvodnja el.en. za sopstvene potrebe uz vraćanje viška u DM da bi se ista kasnije koristila. Na slici 3 je prikazana solarna elektrana instalirana kod kupca-proizvođača (domaćinstvo i industrija). Najčešće se iza mernog uređaja (električno brojilo) ugrađuje uređaj za merenje tokova energije. Na osnovu tih merenja se u svakom trenutku može pratiti rad solarne elektrane.



**Slika 3.** Solarna elektrana [9]

Kućni hibridni sistemi su sistemi koji koriste više izvora el.en. (solarnu elektranu, punjive baterije ili vetrogeneratore). Minigrd sistemi se grade tamo gde DM nije dostupna, i/ili može da snabdeva više domaćinstava. Ostrvski sistemi se grade za domaćinstva gde DM nije dostupna i za ona domaćinstva koja povremeno troše el.en.

**Integrisan sistem**



**Slika 4.** Integrirani sistem, solarna elektrana i TP u domaćinstvu

Na slici 4 je prikazan integrirani sistem koji obuhvata solarnu elektranu i TP primenjene u domaćinstvu. Kretanje energije kroz električno brojilo je u oba smera u zavisnosti od potrošnje

domaćinstva i proizvodnje el.en. solarne elektrane. Oznake na slici su definisane u delu Kupac-proizvođač. Kada je proizvodnja solarne elektrane veća od potrošnje u domaćinstvu el.en. se kreće prema DM. Kada je proizvodnja solarne elektrane manja od potrošnje domaćinstva el.en. se kreće od DM prema domaćinstvu. TP se koristi za zagrevanje i hlađenje domaćinstva.

### Cene

Za potrebe ovog rada korišćene su cene energenata koje su važile u toku maja 2023. godine:

- gas: 1 kWh iznosi 4,917 din. sa PDV, za 1 kWh potrebno je 0,0871143 m<sup>3</sup> gasa (račun Sombor gas);
- pelet: za 1 kWh potrebno je 0,244 kg peleta prosečne kalorijske vrednosti, 1 t peleta iznosi 38.400 din. [11] (internet [10]);
- na dan 21.5.2023. godine srednji kurs 1 € = 117,2808 din. (kupovni 116,8 din, a prodajni 117,25 din. [12]).

Napomena: U tabeli 6 je uračunato povećanje cena energenata od 9% koje je planirano od novembra 2023. godine.

### Kupac-proizvođač

Kupac-proizvođač je krajnji kupac koji je na unutrašnje instalacije priključio sopstveni objekat za proizvodnju el.en. iz obnovljivih izvora energije, pri čemu se proizvedena el.en. koristi za snabdevanje sopstvene potrošnje, a njen višak se predaje u prenosnu mrežu, DM, odnosno zatvorenu DM [2]. Na osnovu donetog Zakona o korišćenju obnovljivih izvora energije kao i Uredbe o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača, Elektrodistribucija Srbije je donela neophodnu proceduru za sticanje statusa kupca-proizvođač [13].

Kupci-proizvođači su podeljeni u tri kategorije i na osnovu toga za svaku kategoriju definisana je posebna procedura priključenja:

- domaćinstva sa direktnim merenjem i objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalisane snage fotonaponskih modula do 10,8 kW;
- objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice, a imaju instalisane snage fotonaponskih modula od 10,8 kW do 50 kW;
- stambene zajednice.

Za kategoriju kupac-proizvođač domaćinstvo sa direktnim merenjem i objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalisane snage fotonaponskih modula do 10,8 kW sticanje statusa kupca-proizvođač se vrši po pojednostavljenoj proceduri. U tu svrhu, Elektrodistribucija Srbije definisala je Opšte uslove za priključenje fotonaponskih modula na unutrašnjene instalacije postojećeg objekta kupca [14].

U uredbi o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja [15] su definisani osnovni pojmovi za obračun el.en.:

- preuzeta el.en. je el.en. koju preuzme kupac-proizvođač iz elektroenergetskog sistema;
- isporučena el.en. je aktivna el.en. koju objekat za proizvodnju el.en. iz obnovljivih izvora isporuči u elektroenergetski sistem;
- neto električna energija predstavlja razliku ukupne preuzete i ukupne isporučene električne energije kupca -

proizvođača u prenosni, distributivni, odnosno zatvoreni distributivni sistem u toku jednog meseca, utvrđene u kWh na osnovu očitavanja brojila električne energije koja ispunjavaju propisane metrološke zahteve i utvrđuje se po vremenima primene tarifa za aktivnu energiju zasebno u skladu sa ovom uredbom;

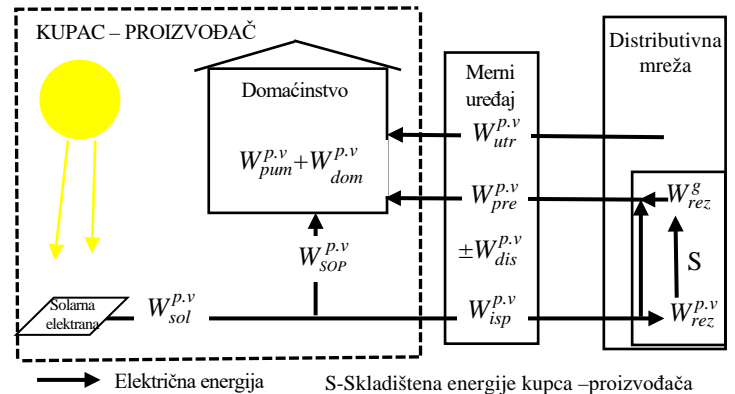
- utrošena el.en. za svaki obračunski period, kupcu - proizvođaču obračuna kao pozitivnu vrednost razlike neto el.en. utvrđene po vremenima primene tarife za aktivnu el.en. i višak el.en. iz prethodnog perioda, utvrđene po vremenima primene tarife za aktivnu energiju.

Kretanje el.en. u jednotarifnom domaćinstvu za bilo koji period prikazan je na slici 5. Tri varijante kretanja energije kroz brojilo prikazane su na slikama 5a, b, i c.

Na slikama i izrazima koji slede korišćene su sledeće oznake:

U radu su korišćeni sledeći periodi vremena (*p.v*): *m* (mesečni), *g* (godišnji) kao i trenutak *t*. Oznaka *m<sub>x</sub>* označava mesec u godini.

<i>t</i>	- trenutak
$W_{sol}^{p.v}, P_{sol}^t$	- proizvedena energija i snaga solarne elektrane;
$\pm W_{dis}^{p.v}, \pm P_{dis}^t$	- energija i snaga iz DM u domaćinstvo (znak +), domaćinstvo skladišti u DM (znak -);
$W_{pum}^{p.v}, P_{pum}^t$	- energija i snaga potrošnje TP;
$W_{dom}^{p.v}, P_{dom}^t$	- energija i snaga potrošnje domaćinstva bez TP;
$W_{utr}^{p.v}, P_{utr}^t$	- utrošena energija i snaga kupca-proizvođača;
$W_{pre}^{p.v}, P_{pre}^t$	- preuzeta energija i snaga kupca-proizvođača;
$W_{isp}^{p.v}, P_{isp}^t$	- isporučena energija i snaga u DM;
$W_{sop}^{p.v}, P_{sop}^t$	- sopstvena isporučena energija i snaga od solarne elektrane kupcu-proizvođaču;
$W_{rez}^{p.v}$	- rezervna energija kupca-proizvođača skladištena u DM;
$Q_{pum}^{p.v}$	- proizvodnja toplotne energije koja se meri na TP.



Slika 5. Kretanje el.en. kod integrisanog sistema kupac-proizvođač

Za integrisan sistem kupca-proizvođača važe sledeće relacije:

$$W_{sol}^{p.v} = W_{isp}^{p.v} + W_{sop}^{p.v}, \quad (1)$$

$$W_{dis}^{p.v} = W_{utr}^{p.v} + W_{pre}^{p.v} - W_{isp}^{p.v}, \quad (2)$$

$$W_{pum}^{p.v} + W_{dom}^{p.v} = W_{utr}^{p.v} + W_{pre}^{p.v} + W_{sop}^{p.v}, \quad (3)$$

$$W_{isp}^{p.v} = W_{pre}^{p.v} + W_{rez}^{p.v}, \quad (4)$$

$$W_{rez}^g = \sum_{k=1}^{12} W_{rez}^{m_k} \quad (5)$$

$$W_{pre}^{m_k} \leq W_{rez}^{\sum_{k=1}^{k-1} m_k} \quad (6)$$

Isto tako u domaćinstvu je u svakom trenutku  $t$  odnos snaga:

$$P_{sol}^t = P_{isp}^t + P_{sop}^t, \quad (7)$$

$$P_{pum}^t + P_{dom}^t = P_{utr}^t + P_{pre}^t + P_{sop}^t, \quad (8)$$

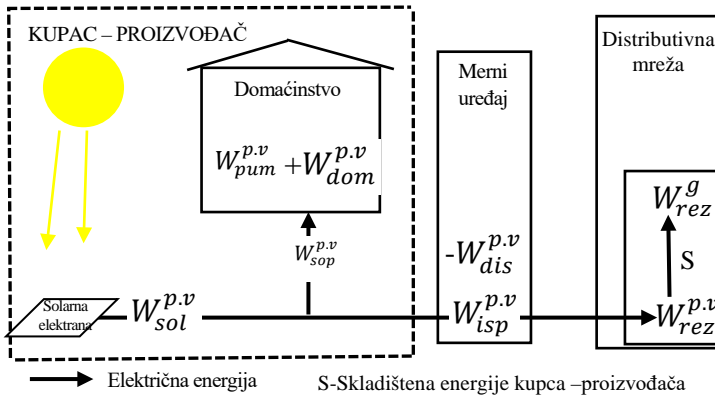
$$P_{dis}^t = P_{utr}^t + P_{pre}^t - P_{isp}^t. \quad (9)$$

U izrazima (7) i (8) postoje sledeća ograničenja:

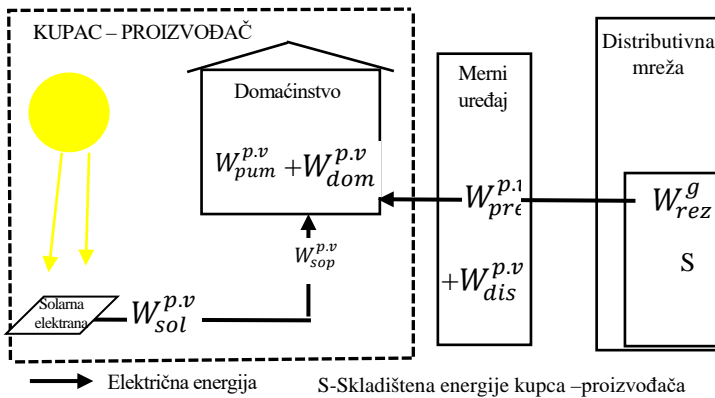
$$\begin{aligned} P_{sol}^t &> P_{dom}^t + P_{pum}^t & P_{utr}^t &= P_{pre}^t = 0 \\ P_{sol}^t &\leq P_{dom}^t + P_{pum}^t & P_{utr}^t &= 0 \text{ ako postoji rezervna el.en.}, \\ P_{sol}^t &\leq P_{dom}^t + P_{pum}^t & P_{pre}^t &= 0 \text{ ako ne postoji rezervna el.en.} \end{aligned}$$

Kao pokazatelji energetske efikasnosti domaćinstva u ovom radu koriste se sledeće veličine:

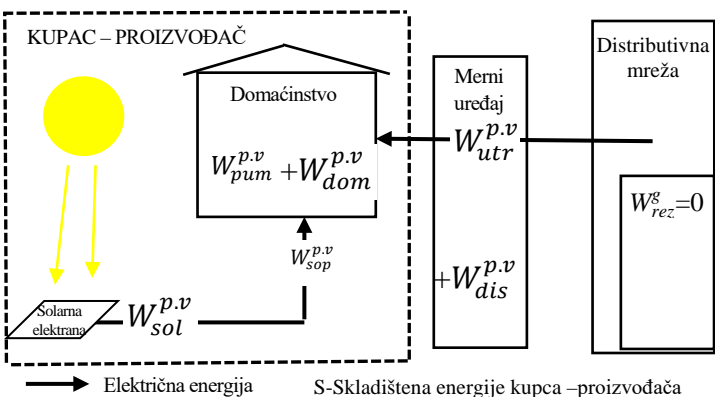
- godišnja ušteda el.en. kWh,
- godišnja ušteda ostalih energenata za grejanje,
- smanjenje proizvodnje CO<sub>2</sub>.



Slika 5a. Proizvodnja solarne elektrane je veća od potrošnje domaćinstva



Slika 5b. Proizvodnja solarne elektrane je manja od potrošnje domaćinstva, ili ne radi, a postoji el.en. u DM u rezervi



Slika 5c. Proizvodnja solarne elektrane je manja od potrošnje domaćinstva, ili ne radi, ne postoji el.en. u DM u rezervi i koristi se el.en. iz DM

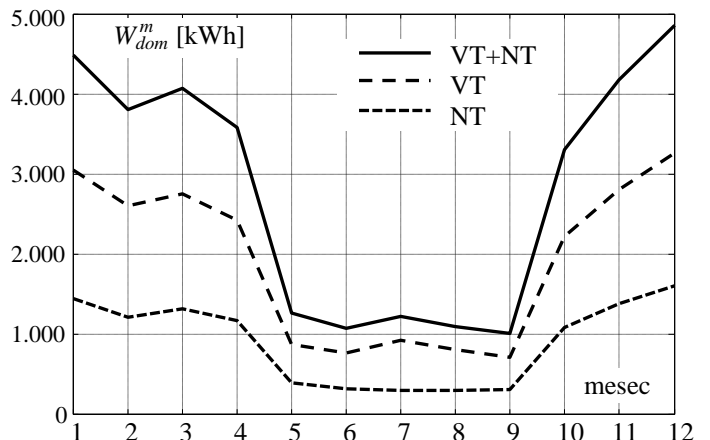
Ako je domaćinstvo ostvarilo rezervu energije u DM prvo se troši ta energija. Kada više nema rezervne energije energija koju koristi domaćinstvo je utrošena energija. U gornjim izrazima postoji sledeće ograničenje:

### III EKSPERIMENT

Za potrebe ovog rada razmatra se jednospratna kuća stambene površine 260 m<sup>2</sup> koja se nalazi u Gradu Somboru i izgrađena je 2002. godine. Objekat ima elektroenergetsku saglasnost 27,6 kW. Do 2022. godine objekat se grejao putem električnog kotla snage 18 kW (najviše je istovremeno bilo uključeno 12 kW grejača električnog kotla). Pored električnog kotla tokom leta i zime je radila i jedna inverterska klima. Podešena temperatura u prizemlju je iznosila 22°C. U kući je vladala neujednačenost temperature u prizemlju i na spratu. Takvo grejanje je prouzrokovalo velike račune za el.en. Spoljašnji izgled stambenog objekta kao i raspored postavljenih solarnih panela prikazani su na slici 6.



Slika 6. Spoljašnji izgled stambenog objekta

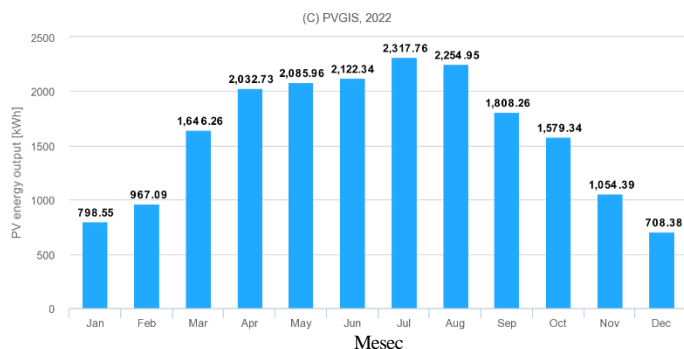


Slika 7. Potrošnja el.en. domaćinstva, 2021. god.

Do 2022. godine stambeni objekat je imao status domaćinstva sa merenom snagom. Ukupna godišnja potrošnja el.en. je prešla 30.000 kWh zbog grejanja putem električnog kotla, slika 7. Godine 2021. u višoj tarifi (VT) potrošeno je 14.167 kWh, a u nižoj tarifi (NT) 10.762 kWh. Godišnja potrošnja el. en. je bila 33.909 kWh, odnosno godišnje 130 kWh/m<sup>2</sup> što pokazuje da je domaćinstvo standardno izolovano. Na osnovu dopisa EPS Snabdevanja, zbog velike potrošnje, domaćinstvo je trebalo preći iz kategorije garantovanog snabdevanja u komercijalnog kupca. To bi dodatno povećalo postojeće, velike račune.

Krajem 2022. godine u domaćinstvo je ugrađena trofazna TP vazduh-voda snage 20 kW, gde se kompresor nalazi u unutrašnjoj jedinici TP. Prednost je bezšumnost TP i efikasnije postizanje većih temperatura u sistemu grejanja putem radijatora. TP je podešena da održava temperaturu u prostorijama na 25°C. Podešena je za grejanje i pripremu sanitarne tople vode.

Procena proizvodnje budućeg solarnog sistema izvršena je na sajtu [16]. Na osnovu ulaznih podataka za procenu potrošnje (grad Sombor, 40 solarnih panela snage 380 W, koje se postavljaju na krov, nagib panela 40°, azimut 25° i gubitak sistema od 6%) dobijena je prosečna mesečna proizvodnja el.en. od 19.376 kWh (očekivano od solarne elektrane na razmatranom objektu), slika 8. Prilikom projektovanja i izgradnje korišćena su iskustva jedne od prvih solarnih elektrana [17].



Slika 8. Procenjena mesečna proizvodnja solarne elektrane

Ukupna snaga solarne elektane iznosi 15,2 kW. Solarna elektrana sa invertorom, ormanima zaštite na jednosmernom i naizmeničnom naponu prikazana je na slici 9.

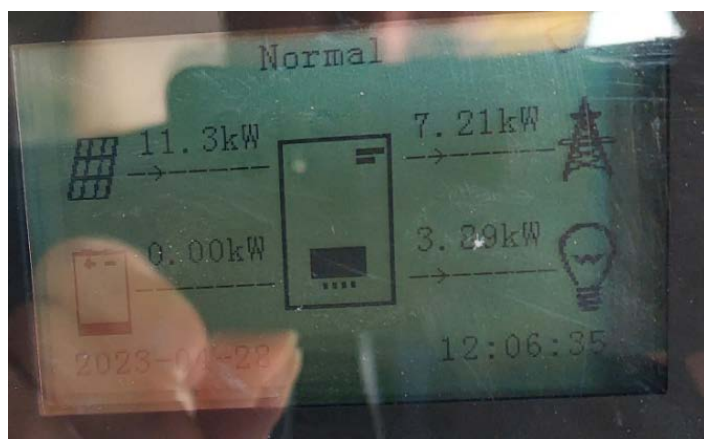


Slika 9. Slika solarne elektrane

Za procenjenju potrošnju domaćinstva, očekivan rad TP i proizvodnju solarne elektrane ugrađen je invertor 20 kW (nešto

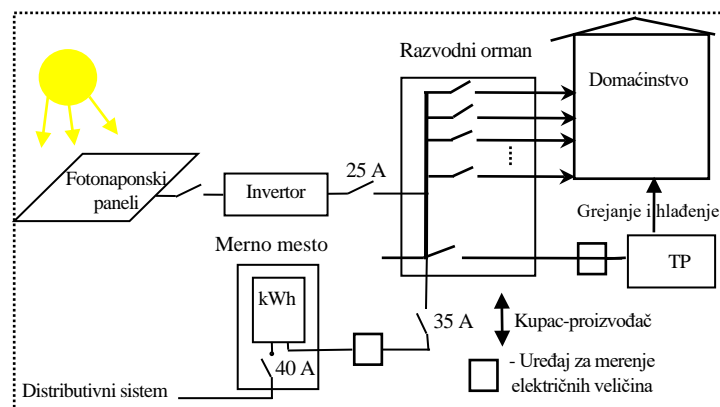
veće snage od trenutno potrebne, da bi se omogućilo proširenje kapaciteta solarne elektane, zbog planiranih investicija u budućnosti, kao što su električni automobil, sistemi skladištenja el.en., itd.). Displej invertora prikazan je na slici 10. Za razmatrani trenutak solarna elektana proizvodio 11,3 kW, od toga domaćinstvo trošilo 3,29 kW, a razlika proizvedene snage od 7,21 kW se injektira u DM.

Kupac je 11.4.2023. godine prešao iz statusa kupca u status kupac-proizvođač.



Slika 10. Kretanje energije u domaćinstvu na invertoru

Na slici 11 je prikazana jednopolna šema elektroinstalacija u domaćinstvu, sa amperažom osigurača. Kompletna šema je u skladu sa Opštim uslovima Elektrodistribucije Srbije [14]. Uočavaju se dva postavljena merna uređaja koji memorišu jednodominutne srednje vrednosti merenja modula struja i napona, kao i protok el.en. Te vrednosti se koriste u ovom radu.

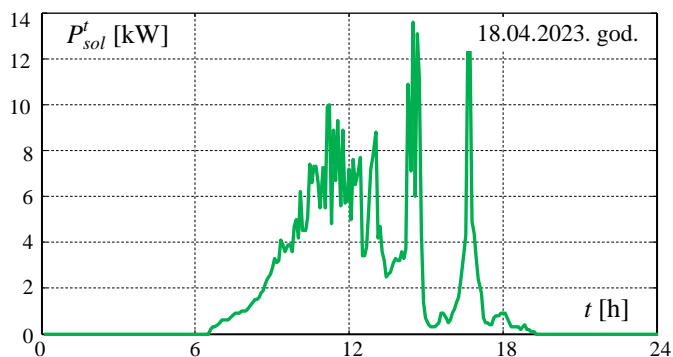


Slika 11. Jednopolna šema elektroinstalacije integrisanog sistema

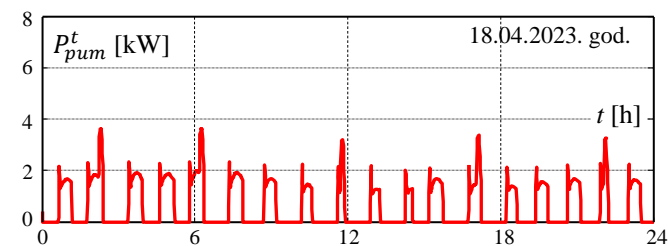
#### Ostvareni rezultati

U ovom delu detaljno je prikazan i analiziran rad integrisanog sistema za jedan karakterističan dan, 18.4.2023. godine.

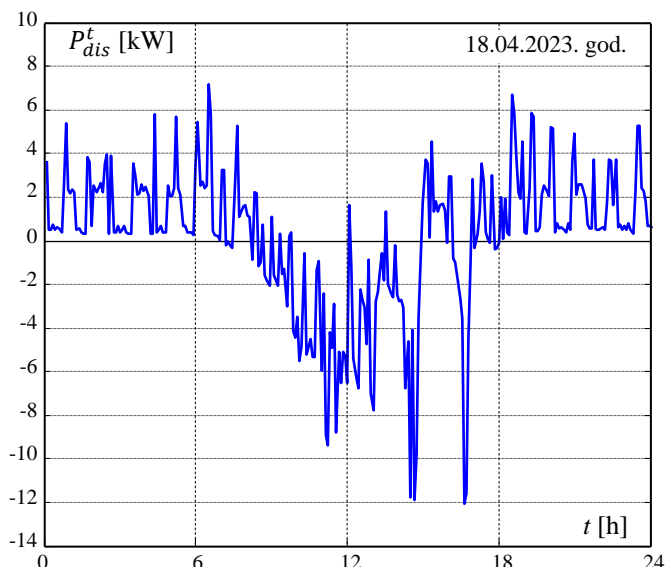
Na slici 12 je prikazana proizvodnja solarne elektrane, sa periodom očitavanja pet minuta. Mogu se uočiti velike oscilacije u proizvodnji el.en. od maksimalnih 14 kW pa do manje od 1 kW.



Slika 12. Dijagram rada solarne elektrane

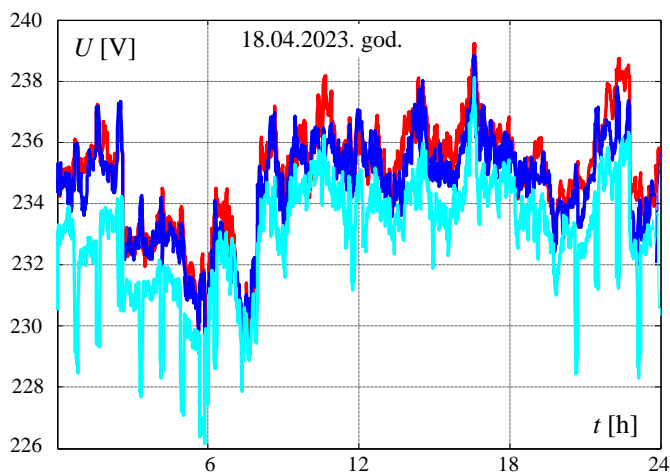


Slika 13. Dijagram rada toplotne pumpe



Slika 14. Dijagram aktivne snage iz DM u domaćinstvo (+), iz domaćinstva u DM (-)

Potrošnja TP tokom dana je prikazana na slici 13, jednominutna očitavanjima. U toku dana TP dvadesetak minuta radi i troši el.en. do 4 kW, a dvadesetak minuta ne radi. Noći su duži periodi kada je TP ne radi. Promena vrednost aktivne snage na brojilu domaćinstva prema DM je prikazana na slici 14, jednominutna očitavanja. Mogu se uočiti velike oscilacije kako noću kada domaćinstvo preuzima el.en iz DM, tako i po danu kada domaćinstvo pretežno šalje el.en. u DM, ali i povremeno el.en. preuzima DM. Velike oscilacije vrednosti napona su direktna posledica tako velikih oscilacija u razmeni el. en. Na slici 15 je prikazana promena vrednosti modula napona na sabircicama potrošača.



Slika 15. Dijagram vrednosti modula napona

Energija proizvedena i potrošena u domaćinstvu sa integrisanim sistemom za prvih pet meseci 2023. godine prikazana je u tabeli 1. U drugoj koloni je prikazana proizvodnja solarne elektrane domaćinstva od 11. aprila kada je puštena u rad. Potrošnja domaćinstva i potrošnja TP, od početka godine, prikazani su u kolonama tri i četiri, respektivno. U petoj koloni je prikazana proizvedena toplotna energija u kWh. Može se uočiti da je proizvodnja solarne elektrane manja od očekivane, slici 8. Istovremeno, zbog neuobičajno hladnog i kišovitog maja potrošnja domaćinstva je bila iznad proseka.

Tabela 1. Merena proizvodnja i potrošnja domaćinstva

mesec	$W_{sol}^m$	$W_{dom}^m$	$W_{pum}^m$	$Q_{pum}^m$
	kWh	kWh	kWh	kWh
januar	-	1.140	1.145	3.200
februar	-	1.084	1.016	2.800
mart	-	1.259	781	1.800
do 11 aprila	-	334	197	700
od 11 aprila	1.516	459	396	1.300
maj	1.720	679	242	1.000

Tabela 2. Procenjena mesečna proizvodnja i potrošnja domaćinstva

mesec	$W_{sol}^m$	$W_{dom}^m$	$W_{pum}^m$	$W_{rez}^m$	$W_{rez}^g$
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
april	2.047	1.200	593	254	254
maj	1.720	1.068	242	410	664
jun	2.122	900	242	980	1.644
jul	2.317	800	242	1275	2.919
avgust.	2.254	800	242	1212	4.131
septem.	1.808	900	242	666	4.797
oktob.	1.579	1.000	600	0	4.776
novem.	1.054	1.000	800	0	4.030
decem.	708	1.000	1.000	0	2.738
januar	798	1.100	1.100	0	1.336
februar	976	1.100	1.000	0	212
mart	1.640	1.100	600	0	152
ukupno	19.023	11.968	6.903	-	-

Na osnovu prethodno prikazanih vrednosti, i izraza (1)-(9), urađena je procena vrednosti mesečne proizvodnje i potrošnje domaćinstva, za period od godinu dana, april 2023 - mart 2024, tabela 2. Proizvodnja solarne elektrane je procenjena na 90% od procenjene proizvodnje solarne elektrane putem sajta. Od oktobra se troši rezerva el.en. koja je tokom godine deponovana u DM, poslednje dve kolone. Tokom februara i marta više nema deponovane energije u DM.

Na osnovu vrednosti koje su prikazane u tabeli 1, izvršena je procena potrošnje i proizvodnje TP za godinu dana, tabela 3. U poslednjoj koloni je prikazan odnos proizvedene i potrošene el.en. TP - koeficijent učinka, COP (coefficient of performance). Što je veći koeficijent učinka to je efikasnost TP veća. U toku letnjih meseci je manja, a u toku zimskih meseci je preko 3 što je dobro.

**Tabela 3.** Procena mesečne proizvodnje i potrošnje TP

mesec	$W_{pum}^m$	$Q_{pum}^m$	$COP = Q_{pum}^m / W_{pum}^m$
	kWh	kWh	
april	593	2.033	3,4
maj	242	1.023	4,2
jun	242	500	2,1
jul	242	500	2,1
avgust	242	500	2,1
septem.	242	1.100	4,5
oktob.	600	1.800	3,0
novem.	800	2.503	3,1
decem.	1.000	3.361	3,4
januar	1.100	3.283	3,0
februar	1.000	2.758	2,8
mart	600	1.646	2,7
ukupno	6.903	21.007	3,0

Mogućnosti i ekonomska opravdanost primene sistema u kojem su integrisani solarna elektrana i TP, upoređeni su sa drugim sistemima koji se uobičajeno koriste za grejanje domaćinstava u Republici Srbiji (gas i pelet). U tu svrhu u tabeli 4 su prikazane procenjene količine energenata koje su potrebne za grejanje domaćinstva za godinu dana, na osnovu proizvedene energije iz TP, gasa i peleta (u skladu sa podacima iz dela Cene).

U tabeli 5 je data godišnja potrošnja el.en. i potrošnja za grejanja domaćinstva preračunata u kWh, u zavisnosti da li radi integrisan sistem, samo solarna, samo TP ili neka od kombinacija sistema za grejanje. Korišćeni su podaci iz tabele 2.

U tabeli 6 su dati troškovi domaćinstva u zavisnosti od sistema za grejanje. Najskuplje grejanje je grejanje na kotao komercijalno i garantovano snabdevanje a najjeftinije je korišćenje integrisanog sistema TP i solarne elektrane.

**Tabela 4.** Uporedna godišnja procena potrebe za grejanjem

Električna energ.	Gas		Pelet	
	kWh	m <sup>3</sup>	RSD	kg
23.300	2.030	115.000	5.685	218.000

Primenom integrisanog sistema, TP i solarna elektrana, dobija se:

- godišnja ušteda el.en. od 34.000 kWh u odnosu na grejanje na električni kotao;
- godišnja uštedu energenata - 2.030 m<sup>3</sup> gasa, ili 5.685 kg

peleta, ili 23.300 kWh, u odnosu na grejanje na gas ili pelet;

- godišnje smanjenje proizvodnje CO<sub>2</sub> - 13,5 t za smanjenje od 18.871 kWh ili smanjenje proizvodnje CO<sub>2</sub> - 19,7 t za smanjenje od 34.000 kWh.

**Tabela 5.** Procenjena godišnja potrošnja el.en. u zavisnosti od načina grejanja

Vrsta grejanja	$W_{sol}^g$	$W_{dom}^g$	Energija za grejanje	Ukupna potrošnja domaćin
	kWh	kWh	kWh	kWh
toplotna pumpa	19.023	18.871		0
	-	18.871		18.871
elekt.kotao - garantovano	19.023	34.000		14.977
	-	34.000		34.000
elekt.kotao - komercijalno	-	34.000		34.000
gas	19.023	11.968	-	0
	-	11.968	-	11.968
pelet	19.023	11.968	-	0
	-	11.968	-	11.968

**Tabela 6.** Godišnji troškovi domaćinstva za više vrsta grejanja

Vrsta grejanja	$W_{sol}^g$	$W_{dom}^g$	Energija za grejanje	Ukupni troškovi domaćin
		din.	din.	din.
toplotna pumpa	+	73.000		73.000
	-	310.000		310.000
elekt.kotao - garantovano	+	372.000		372.000
	-	823.000		823.000
elekt.kotao - komercijalno	-	818.000		818.000
gas	+	64.000	124.000	188.000
	-	171.000	124.000	295.000
pelet	+	64.000	218.000	282.000
	-	171.000	218.000	389.000

Može se uočiti da je TP u prednosti u odnosu na elektro kotao. Napomena: Primenom integrisanog sistema podignuta je zadata temperatura, sa 22° na 25°. Na osnovu kataloških podataka povećanjem temperature za 1° povećava se potrošnja TP za 7%. Da je temperatura ostala na 22° potrošnja el.en. TP bi bila još manja i integrisani sistem još isplativija.

Posle integrisanog sistema TP i solarna elektrana, integrisani sistemi gas i solarna elektrana imaju najmanje godišnje troškove.

#### IV EKONOMSKA OPRAVDANOST

Procena ekonomske opravdanosti investicionih projekata je urađena u cilju što kvalitetnijeg donošenja odluka o izboru potencijalne investicije.

Postoje različiti načini ispitivanja efikasnosti investicionog ulaganja u određeni projekat. Uobičajeno je da se za ocenu isplativosti investicionih projekata koriste statičke i dinamičke metode [19]. Statičke metode, za razliku od dinamičkih, ne uvažavaju vremensku dimenziju novca i retko se uzimaju kao jedini kriterijumi za ocenu isplativosti projekta.

Za analizu isplativosti zamene sistema grejanja korišćene su sledeće metode [19]: period povraćaja (statička metoda), neto

sadašnja vrednost, interna stopa prinosa i indeks profitabilnosti (dinamičke metode).

Metod neto sadašnje vrednosti (NSV) je jedan od najpopularnijih alata za evaluaciju projekta, s obzirom na to da vrednost svakog projekta svodi na ukupnu procenjenju vrednost projekta izraženu u današnjim €. Ulazni podaci u ovom slučaju su bili: ukupna investiciona ulaganja (€), godišnja neto ušteda (€), troškovi održavanja (€), troškovi alternativnih energenata (€) i diskontna stopa (%).

Procena troškova el.en. urađena je na osnovu podataka koji su dati u tabeli 6, korigovanih za predviđeni rast [19] u prvoj godini i 5% godišnjeg rasta cena el.en. u svakoj narednoj godini.

Procena očekivanih troškova urađena je na osnovu procene troškova održavanja svakog pojedinačnog sistema i troškova alternativnih energenata (tabela 4), korigovanih za predviđeni rast [19] u prvoj godini (samo u slučaju gasa) i 5% godišnjeg rasta cena energenata u svakoj narednoj godini.

**Tabela 7.** Pregled investicija u različite sisteme grejanja sa ekonomskim parametrima

PROJEKAT	Eksploatacioni period	Inicijalna investicija	Period povraćaja	Diskontna stopa	Neto sadašnja vrednost	Interna stopa prinosa	Indeks profitabilnosti
	God.						
solarna +TP	25	43.747	6,2	5	103.605	18	2
TP	25	27.741	5,8	5	74.782	20	3
solarna	25	16.006	3,9	5	72.416	28	5
solarna + gas	25	21.122	3,7	5	89.456	30	4
solarna + pelet	25	20.099	4,2	5	90.465	27	5
pelet	25	4.093	1,2	5	83.166	92	20
gas	25	5.116	1,2	5	101.986	91	20

Ukupna NSV za period eksploatacije sistema od 25 godina i diskontnu stopu od 5% prikazana je u tabeli 7. S obzirom na to da je u svim slučajevima  $NSV > 0$  realizacija svih projekata po ovom pokazatelju je opravdana. Interna stopa prinosa je za iste ulazne podatke (tabela 7), viša u odnosu na baznu diskontnu stopu (5%), što takođe potvrđuje opravdanost investicije u bilo koji od navedenih projekata. Indeks profitabilnosti je u svim slučajevima veći od 1 (tabela 7), što takođe ukazuje na opravdanost investicija. U tabeli 7 se može uočiti da se investicije u jednostavnije sisteme grejanja, otplaćuju već u drugoj godini, dok je za složenije sisteme potrebno od 4 do 6 godina.

**Tabela 8.** Isplativost projekata po različitim metodama

Kriterijum	Predlog	Vrednost
NSV	solarna i toplotna pumpa	103.605 €
Interna stopa prinosa	samo pelet	92%
Indeks profitabilnosti	samo pelet	20
Period povraćaja	samo pelet i samo gas	1,2 god.

Posmatrano pojedinačno svaki od ovih projekata je ekonomski opravdan. Najisplativiji je projekat sa najvećom NSV. U razmatranom primeru to je integrisani sistem TP i solarna elektrana, tabela 8. Imajući u vidu da sistem grejanja na gas i

sistem grejanja sa TP imaju približno istu neto sadašnju vrednost, koristeći indeks profitabilnosti kao dodatni kriterijum, dolazi se do zaključka da je ekonomski najopravdanije investirati u sistem grejanja na gas, jer obezbeđuje bolji profit. Međutim, prilikom odlučivanja, važno je imati u vidu da investicija u sistem grejanja sa TP i solarnom elektranom obezbeđuje potpunu nezavisnost od fosilnih goriva, njihove dostupnosti i njihovih cena.

## V ZAKLJUČAK

U radu je razmatrano domaćinstvo u kojem su integrisani solarna elektrana i toplotna pumpa. Njegove mogućnosti i ekonomska opravdanost primene upoređene su sa sistemima za grejanje domaćinstava koji se koriste u Republici Srbiji (gas i pelet). Prednosti integrisanog rešenja (solarna elektrana i toplotna pumpa) su kvantifikovane na realnom primeru, domaćinstvo kupac-proizvođač u Elektrodistribuciji Sombor.

I pored velikih početnih ulaganja, integrisani sistem se pokazao kao najisplativiji sistem. Njegovom primenom omogućeno je stvaranje energetski efikasnih domaćinstava, sa radikalno smanjenom zavisnošću od upotrebe fosilnih goriva. U skladu sa tim, ugradnja takvog sistema bi trebala da se ekonomski podrži. Praktično, taj sistem bi se dodatno unapredio dodavanjem baterija za skladištenje el. en..

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Rajaković, N. Da li je pravo vreme za izgradnju velike solarne elektrane u Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.01R>
- [2] Vlada Republike Srbije, Zakon o energetici. Sl. glasnik RS, br. 145/2014, 95/2018 i 40/2021, 2021. [https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_energetici.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_energetici.html) [pristupljeno 03.03.2023]
- [3] Vlada Republike Srbije, Zakon o energetskoj efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije, Sl. Gl. RS 40/2021, 2021. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2021/40/4/reg> [pristupljeno 03.03.2023]
- [4] Čenejac, A., Bjelaković, R., Petrović, S., Čenejac, M. *Studija o mogućnostima primene toplotnih pumpi na teritoriji AP Vojvodine, kako za individualne i komercijalne objekte pojedinačno, tako i za daljinske sisteme grejanja po ugledu na EU, a u skladu sa aktuelnom direktivom*, FTN, Novi Sad, 2012.
- [5] Simendić, Z., Majstorović, Z., Miljanić, S., Mraović, D. Rezultati rada solarnih elektrana na području Vojvodine, in Proc. *CIGRE Srbije, C6-19*, Budva, Crna Gora, 9-12 Maj, 2023.
- [6] Rajković, D. *Osnovi održivog razvoja*, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Kragujevac, 2020. <https://vts.edu.rs/wp-content/uploads/2020/03/Osnovi-odr%C5%BEivog-razvoja-skripta-IV-PIM.pdf> [pristupljeno 03.06.2023]
- [7] Toplotna pumpa vazduh-voda (EVI serija) do -30°C <https://www.msinstalacije.rs/oprema/toplotne-pumpe/toplotna-pumpa-vazduh-voda-evi-serija.html> [pristupljeno 03.06.2023]
- [8] <https://www.wemportal.de>
- [9] Vuković, M., Ostojić, B. Koncept korišćenja mini solarnih centrala u domaćinstvu, in Proc. *36 Međunarodno savetovanje Energetike*, Zlatibor, T4-175, 2021.
- [10] Pelet za zimu je alternativa klasičnom uglju i gasu <https://agroinfonet.com/poljoprivreda/ratarstvo/pelet-za-zimu/> [pristupljeno 21.05.2023]
- [11] Peletbukov. Prodaja peleta u Beogradu i Pančevu po najpovoljnijim cenama. [https://www.peletbukov.rs/pelet-cena/?gclid=Cj0KCQjw4s-kBhDqARIsAN-iph14zeigMV44gqo6zAToexTiqqXjh43TE2w2v5Uc6R1r2gB2Zcg2ek4aAvfVEALw\\_wcB](https://www.peletbukov.rs/pelet-cena/?gclid=Cj0KCQjw4s-kBhDqARIsAN-iph14zeigMV44gqo6zAToexTiqqXjh43TE2w2v5Uc6R1r2gB2Zcg2ek4aAvfVEALw_wcB) [pristupljeno 21.05.2023]
- [12] Narodna banka Srbije. Kursna lista.



- [https://www.nbs.rs/sr\\_RS/finansijsko\\_trziste/medjubankarsko-devizno-trziste/kursna-lista/zvanicni-srednji-kurs-dinara/index.html](https://www.nbs.rs/sr_RS/finansijsko_trziste/medjubankarsko-devizno-trziste/kursna-lista/zvanicni-srednji-kurs-dinara/index.html) [pristupljeno 21.05.2023]
- [13] EPS. <https://elektrodistribucija.rs/> [pristupljeno 21.05.2023]
- [14] EPS. Opšti uslovi za priključenje fotonaponskih modula na unutrašnje instalacije postojećeg objekta kupca <https://elektrodistribucija.rs/pdf/Opsti%20uslovi.pdf> [pristupljeno 09.03.2023]
- [15] Vlada Republike Srbije, Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanje i obaveza između kupca - proizvođača i snabdevača, Službeni glasnik RS, br. 83/2021 i 74/2022. <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2021/83/1/reg> [pristupljeno 13.03.2023]
- [16] Photovoltaic geographical information system [https://re.jrc.ec.europa.eu/pyg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pyg_tools/en/tools.html) [pristupljeno 13.03.2023]
- [17] Katić, V., Čorba, Z., Milićević, D., Dumnić, B., Popadić, B. Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, Tehnika-Elektrotehnika, Vol. 64, No. 4, pp. 655-662, 2015. <https://doi.org/10.5937/tehnika1504655K>
- [18] Vlada Republike Srbije, Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije (Službeni glasnik RS, br.40/2021 i 35/2023), 2021. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-koriscenju-obnovljivih-izvora-energije.html> [pristupljeno 13.03.2023]
- [19] International monetary fund. Republic of Serbia: Third Review Under the Policy Coordination Instrument, Request for a Stand-By Arrangement, and Cancellation of the Policy Coordination Instrument-Press Release; Staff Report; and Statement by the Executive Director for the Republic of Serbia, IMF Country Report, No. 22/384, 2022. <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2022/12/20/Republic-of-Serbia-Third-Review-Under-the-Policy-Coordination-Instrument-Request-for-a-527261> [pristupljeno 13.03.2023]

## AUTORI/AUTHORS

**dr Zoran Simendić**, zoransimendic@gmail.com, ORCID [0000-0002-4641-9777](https://orcid.org/0000-0002-4641-9777)

**dr Goran Švenda**, svenda@uns.ac.rs, ORCID [0000-0003-4422-5175](https://orcid.org/0000-0003-4422-5175)

**dr Tatjana Latas**, tatjana.latas@somborelektro.rs, ORCID [0009-0007-7941-3447](https://orcid.org/0009-0007-7941-3447)

**Dalibor Mraović** - ek., mrdalibor@gmail.com, ORCID [0009-0001-2873-7050](https://orcid.org/0009-0001-2873-7050)