Broj rada: I6-10
DOI:10.46793/CIRED2026.I6-10_196

TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PERFORMANSI KROVNE FOTONAPONSKE ELEKTRANE SNAGE 5KW: STUDIJA SLUČAJA JEDNOGODIŠNJEG RADA NA MREŽI

COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF A ROOFTOP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WHIT A POWER OF 5 KW: ACASE STADY OF A ONE-YEAR WORK ON GRID

Ratko ROGAN, Elekrodistribucija Srbije, Srbija*
Saša MANDIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu je u uvodnom delu objašnjena solarna energija a zatim je prikazana Tehno-ekonomska analiza fotonaponske elektrane instalisane snage 5 kW postavljene na krovu porodičnog objekta u Novom Sadu, nakon jednogodišnjeg ciklusa eksploatacije. Cilj rada je da se proceni ekonomska isplativost investicije kroz upoređivanje ukupnih troškova nabavke, ugradnje i održavanja sa ostvarenim finansijskim koristima. Analiza je sprovedena na osnovu stvarnih podataka o proizvedenoj električnoj energiji, potrošnji domaćinstva i ostvarenim uštedama na računu za električnu energiju tokom perioda od dvanaest meseci. Rezultati pokazuju da fotonaponska elektrana značajno doprinosi smanjenju troškova električne energije, dok se period povraćaja investicije procenjuje na više godina u zavisnosti od cene električne energije i nivoa sopstvene potrošnje. Zaključuje se da ugradnja solarne elektrane snage 5 kW predstavlja ekonomski opravdanu investiciju za domaćinstva sa odgovarajućim potrošačkim profilom.

Ključne reči: solarna energija, fotonaponska elektrana, kupac-proizvođac, troškovi, analiza

ABSTRACT

The paper explains solar energy in the introductory part and then presents a techno-economic analysis of a photovoltaic power plant with an installed capacity of 5 kW installed on the roof of a family building in Novi Sad, after a one-year exploitation cycle. The aim of the paper is to assess the economic profitability of the investment by comparing the total costs of procurement, installation and maintenance with the realized financial benefits. The analysis was conducted based on actual data on the generated electricity, household consumption and savings on the electricity bill over a period of twelve months. The results show that the photovoltaic power plant significantly contributes to the reduction of electricity costs, while the payback period of the investment is estimated at several years depending on the price of electricity and the level of own consumption. It is concluded that the installation of a 5 kW solar power plant represents an economically justified investment for households with an appropriate consumer profile.

Keywords: solar energy, photovoltaic power plant, prosumer, noun, analysis

* Ratko Rogan ratko.rogan@gmail.com; Saša Mandić sasa.mandic@es.rs

UVOD

Rast cena električne energije, zajedno sa potrebom za dekarbonizacijom energetskog sektora, dovodi do intenzivnije integracije distribuiranih izvora energije u elektroenergetski sistem. Posebno značajnu ulogu imaju krovne fotonaponske elektrane (FNE), koje omogućavaju proizvodnju električne energije na mestu potrošnje i smanjenje opterećenja distributivne mreže.

Prema dostupnim analizama, tehnički potencijal krovnih površina u Republici Srbiji procenjuje se na nekoliko gigavata instalisane snage, što višestruko prevazilazi kapacitete pojedinačnih velikih proizvodnih objekata. U tom kontekstu, model kupac–proizvođač (prosumer) predstavlja ključni mehanizam za integraciju ovih sistema.

Međutim, specifičnosti regulatornog okvira u Republici Srbiji, posebno ograničenja u kompenzaciji energije između tarifnih zona, značajno utiču na ekonomsku isplativost ovakvih sistema.[1]

Cilj ovog rada je sprovođenje tehno-ekonomske analize FNE snage 5 kW instalirane na krovu stambenog objekta, koja funkcioniše u on-grid režimu bez baterijskog skladištenja, na osnovu realnih podataka jednogodišnjeg rada.

1 OPIS SISTEMA

Analizirana FNE (slika 1) je montirana krajem decembra meseca 2024., a ishodovanje potrebnih odobrenja završavano je tokom januara 2025. Elektrana je počela sa radom 05.02.2025.

Osnovne karakteristike sistema:

- Instalirana snaga: 5 kW
- Tip sistema: On-grid (bez baterijskog skladištenja)
- Broj panela: 9 (580 W pojedinačne snage panela)
- Tip invertora: trofazni 6 kW (po zahtevu investitora)
- Orijentacija: jug (optimalno)
- Nagib: 35°

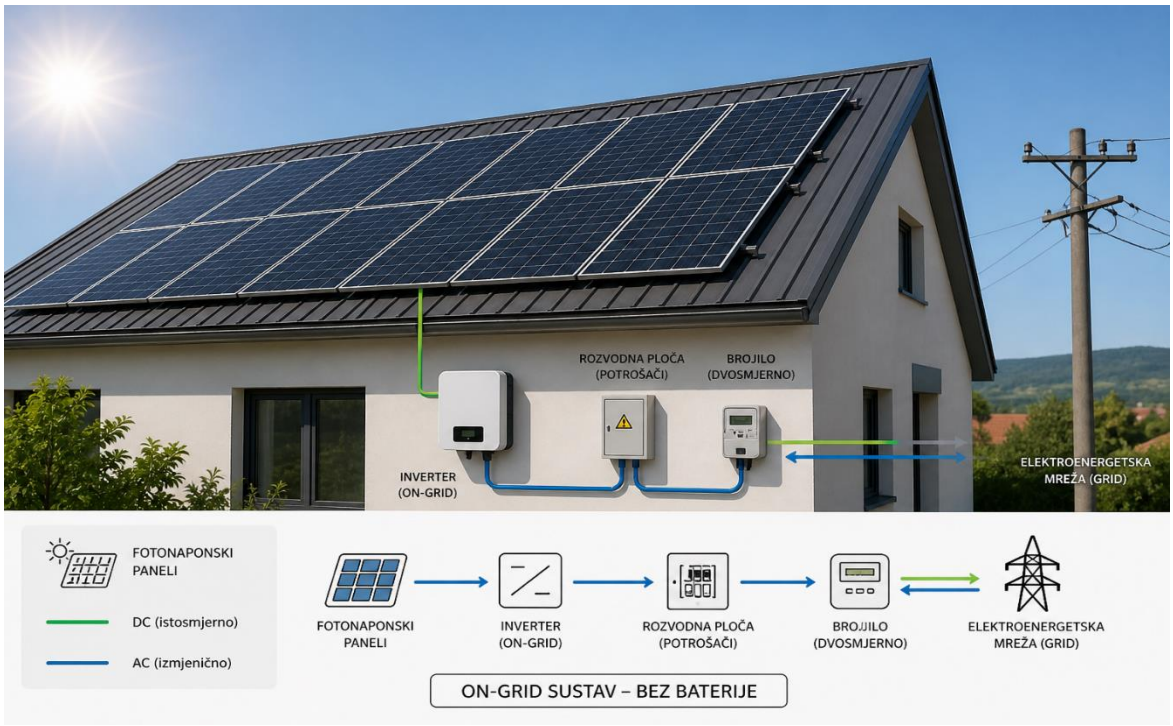
Sistem je povezan na distributivnu mrežu i funkcioniše paralelno sa njom.[3]

2 METODOLOGIJA

Analiza rada sistema zasniva se na eksperimentalno prikupljenim podacima u periodu februar 2025 – januar 2026.

Razmatrani su sledeći pokazatelji:

- ukupna proizvedena energija E_{UK}
- energija sopstvene potrošnje E_{SP}
- energija predata u mrežu E_{PR}
- energija preuzeta iz mreže E_{UZ}



Slika 1. Primer instalacija fotonaponske elektrane na krovu objekta ON-GRID

Stepen samopotrošnje definisan je kao:

$$SC = (E_{SP} / E_{UK}) \cdot 100\%$$

Podaci su prikupljeni za period februar 2025. – januar 2026. putem:

- invertorskog monitoring sistema SOLARMAN Smart,
- obračunskog brojila električne energije, računa za električnu energiju i
- direktnih merenja pomoću trofaznog analizatora kvaliteta električne energije (februar 2025)

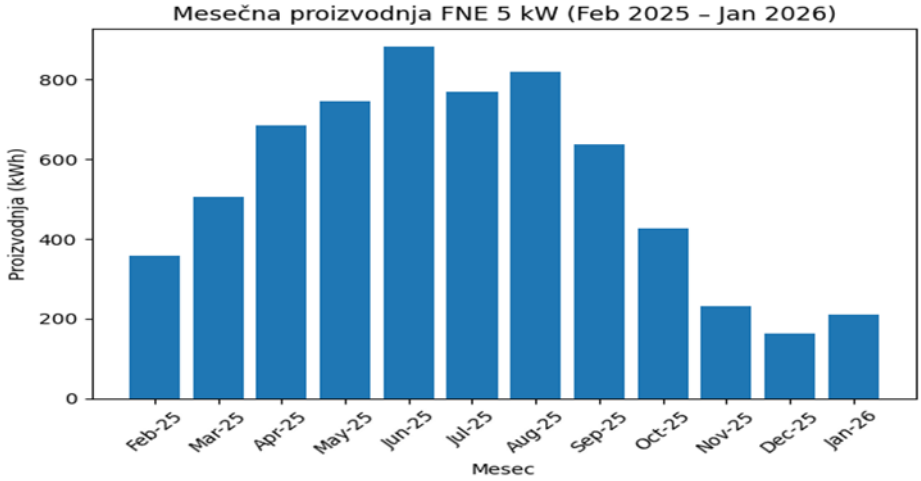
3 REZULTATI JEDNOGODIŠNJEG RADA

3.1 Mesečna proizvodnja

Tabela 1 Mesečna proizvodnja

Mesec	Proizvodnja (kWh)	kWh/kW instal.sna.	% u odnosu na godišnju proizv
Februar 2025	357.1	71.4	5.55
Mart 2025	506.8	101.4	7.87
April 2025	684.9	137.0	10.64
Maj 2025	744.8	149.0	11.56
Jun 2025	884.0	176.8	13.73
Jul 2025	769.2	153.8	11.94
Avgust 2025	819.1	163.8	12.73

Mesec	Proizvodnja (kWh)	kWh/kW instal.sna.	% u odnosu na godišnju proizv
Septembar 2025	637.1	127.4	9.90
Oktobar 2025	427.8	85.6	6.65
Novembar 2025	232.3	46.5	3.61
Decembar 2025	162.6	32.5	2.53
Januar 2026	210.6	42.1	3.26
Ukupno za godinu	6436.3	1287.3	100



Grafik 1 Mesečna proizvodnja

3.2 Ukupna godišnja proizvodnja

Ukupna proizvodnja:

E_{UK} =6436.3 kWh

Specifična godišnja proizvodnja:

1287.3 kWh/kW_p/godina

3.3 Sezonska analiza

- maksimum: jun (884 kWh)
- minimum: decembar (162.6 kWh)
- odnos max/min ≈ 5.4

Letnji period (maj–avgust) generiše oko 50% ukupne energije, što je u skladu sa klimatskom zonom u kojoj se nalazi grad Novi Sad, odnosno FNE.

4 EKONOMSKA ANALIZA

Ekonomska analiza obuhvata procenu perioda povrata investicije na osnovu realnih i teorijskih scenarija.

4.1 Investicija

Puna cena investicije: 600.000 din (5000 EUR)

Subvencija 50%: 300.000 din (2500 EUR)

Cena koju plaća investitor: 300.000 din (2500 EUR)

Za ovaj projekat iskorišćena je subvencija za 2024. godinu, koju daje država Srbija i lokalna samouprava. Iznos subvencije je 50% a najviše 400000 dinara

4.2 Proizvodnja i uštede

Za realnu proizvodnju od približno 6500 kWh i prosečnu cenu struje za domaćinstva u Srbiji od 13 din/kWh analiza je sledeća:

4.2.1 Samopotrošnja 100%

Ukoliko bi se sva proizvodnja išla u samopotrošnju: 6500kWh*13din/kWh= 84.500 din, period povrata bi bio: 300.000 din/ 84.500 din = **3,55** godina.

4.2.2 Analizirani slučaj

U tabeli 2, dati su iznosi računa za električnu energiju pre i posle priključenja FNE. Žutom bojom su obeleženi računi nakon puštanja u pogon FNE:

Tabela 2 Računi za električnu energiju domaćinstva

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Januar	6727,05	7081,10	8679,37	9353,11	9867,46	4615,28
Februar	5872,68	6181,77	7063,52	6499,29	2738,99	3436,34
Mart	6654,35	7004,58	5061,94	7835,71	3134,70	3894,66
April	4665,12	4910,65	8898,36	8501,60	2191,12	2797,08
Maj	5376,66	6455,23	5750,38	6501,25	2397,21	2846,35
Jun	5486,41	6162,33	6744,31	10870,15	2339,66	
Jul	6786,03	4733,98	7384,42	9908,52	3152,85	
Avgust	5798,48	6473,90	7122,22	8534,34	2308,46	
Septembar	5413,99	6258,80	6950,97	5973,71	2174,84	
Oktobar	7225,38	5617,80	5661,14	4207,89	4427,84	
Novembar	6157,46	7031,65	6045,68	7741,14	4126,96	
Decembar	6009,54	8233,17	7323,48	9161,03	4412,37	
Ukupno =	**72173,15**	**76144,96**	**82685,79**	**95087,74**	**43272,46**	**11946,28**

Analiza pokazuje da računi za analizirani period iznose 38.020,28 din, što na godišnjem nivou donosi uštedu od 95.087,84-38.020,28= 57.067,56 din. (razlika za 2024. i 2025.).

Period povrata 300.000din/57.067,56= **5,26** godina

U idealnom slučaju potpune samopotrošnje, godišnja finansijska korist proporcionalna je ukupnoj proizvodnji sistema. Međutim, u realnim uslovima rada dolazi do značajnog odstupanja usled vremenskog nepoklapanja proizvodnje i potrošnje, kao i regulatornih ograničenja.

Na osnovu analiziranih podataka, utvrđeno je da:

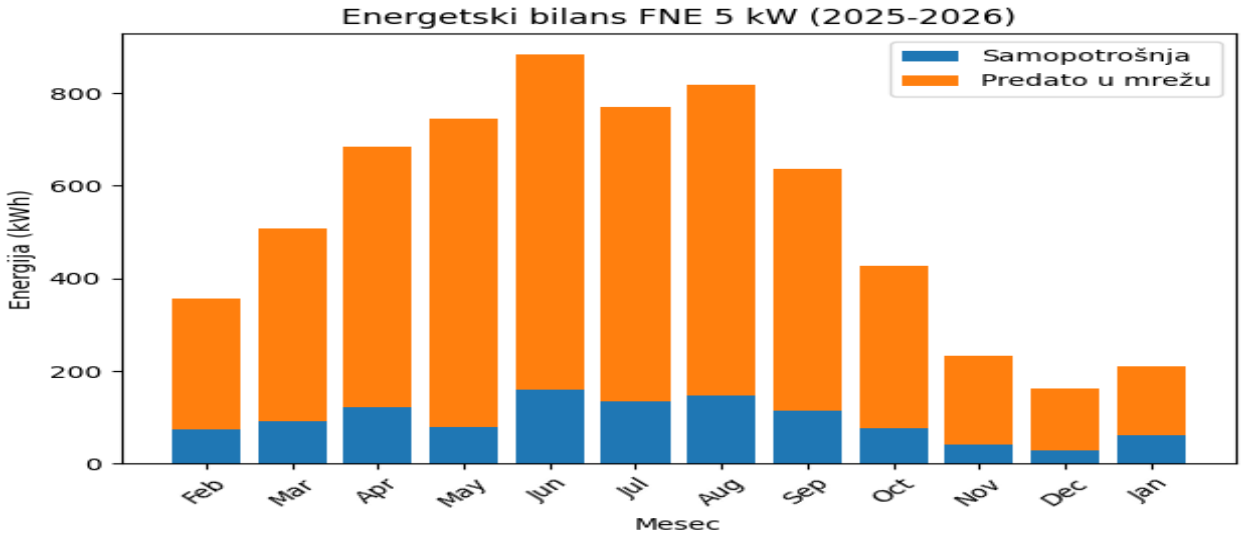
- se značajan deo energije predaje u mrežu tokom letnjih meseci,
- deo te energije nije moguće u potpunosti valorizovati kroz obračunski model.

Ove činjenice direktno utiču na produženje perioda povrata investicije.

4.3. Energetski bilans

Tabela 3 Energetski bilans

Mesec	Proizvodnja kWh	Samopotrošnja kWh	SC %	Predato u mr kWh	Uzeto iz mr kWh
Febr 2025	357.1	74.1	20.7	283	335
Mart 2025	506.8	79.8	15.7	427	388
April 2025	684.9	74.5	10.9	610	272
Maj 2025	744.8	78.8	10.5	666	313
Jun 2025	884.0	117.0	13.2	767	303
Jul 2025	769.2	134.2	17.4	635	411
Avgu 2025	819.1	114.1	13.9	705	302
Sept 2025	637.1	72.1	11.3	565	267
Okto 2025	427.8	90.8	21.2	337	554
Nove 2025	232.3	49.3	21.2	183	496
Dece 2025	162.6	48.6	29.9	114	545
Janu 2025	210.6	62.6	29.7	148	589
Ukupno za godinu dana	6436.3	995.9	17,97	5440	4775



Grafik 2 Energetski bilans

Analiza realnih podataka pokazuje da se stepen samopotrošnje u on-grid fotonaponskom sistemu bez skladištenja kreće u opsegu od 10% do 30%. Najniže vrednosti javljaju se u letnjem periodu usled visokih viškova proizvodnje (npr. avgust: 705 kWh predato u mrežu), dok su zimi vrednosti veće zbog bolje usklađenosti proizvodnje i potrošnje.

Iz računa za utrošenu električnu energiju takođe se može videti da preuzeta EE iz mreže iznosi:

VT 3766 kWh NT 1067 kWh, ukupno E_{UZ} = 4833 kWh,

dok predata EE u mrežu iznosi:

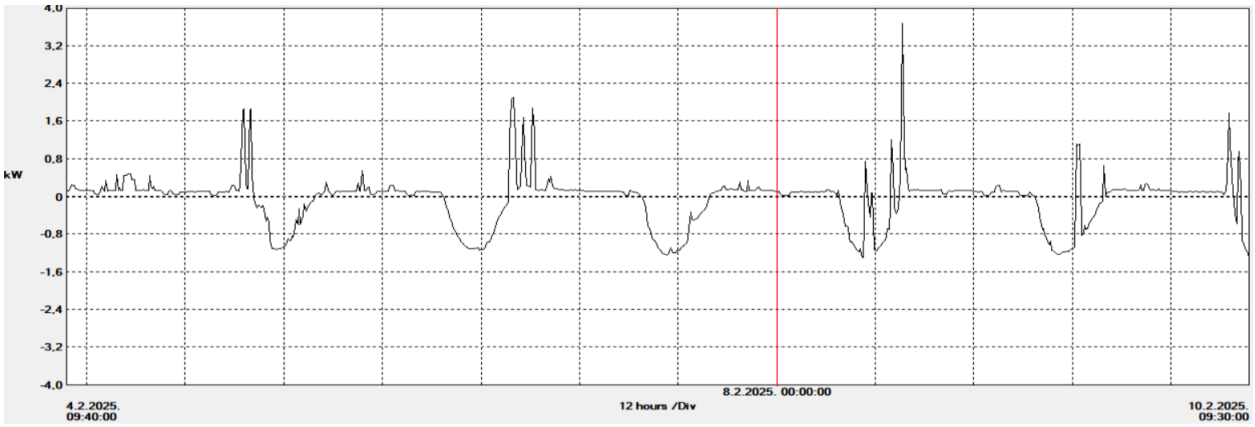
VT 5408kWh NT 32 kWh, ukupno E_{PR} = 5440 kWh,

a višak EE za sledeći obračunski period E_V = 1528 kWh.

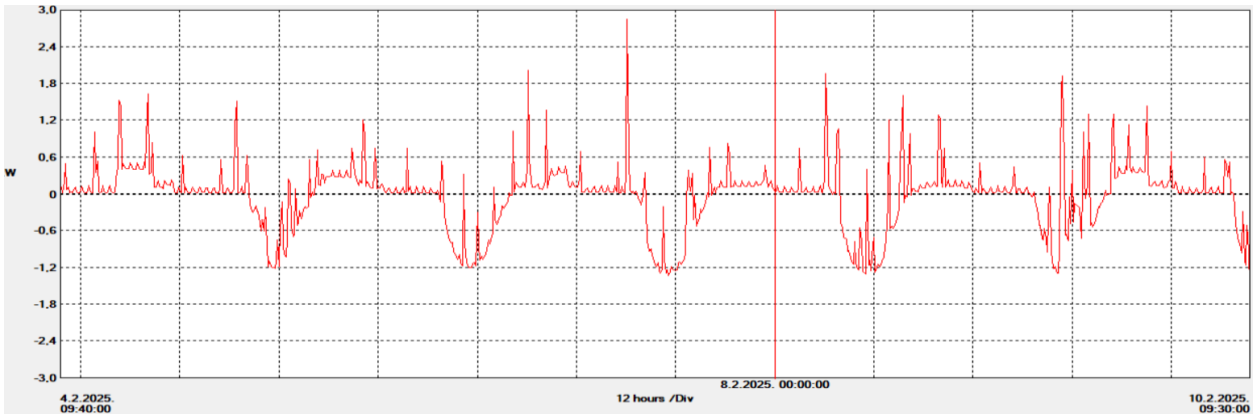
Prema Uredbi o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja između kupca proizvođača i snabdevača: U Republici Srbiji obračun utrošene energije vrši se tako što se predata energija u višoj tarifi (VT) oduzima isključivo od preuzete energije u višoj tarifi. Isto važi i za nižu tarifu (NT). Tako da je ovaj višak EE ostao i malo se uvećao do 31. marta u 24.00 časa. Tako da je snabdevaču ostalo preko 1500 kWh potpuno besplatno.

4.4 Merenje

Dana 04.02.2025. godine postavljen je C.A 8333 trofazni analizator parametara elekrtične mreže i kvaliteta električne energije proizvođača Chauvin Arnoux, koji je 7 dana snimao protok energije. Iz snimaka može se videti da potrošnja u domaćinstvu nije sinhonizovana po fazama, i da postoje trenuci različitih protoka po fazama.

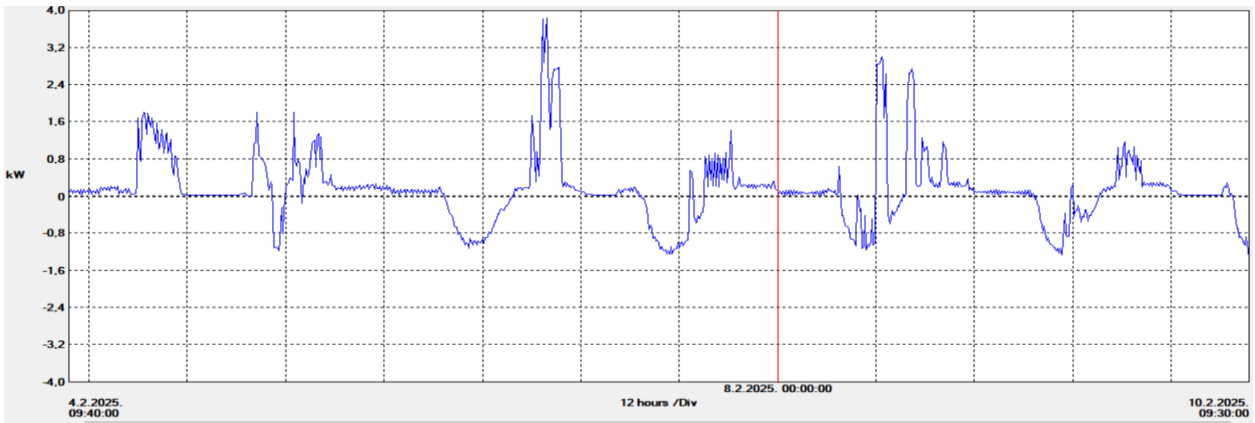


Slika 2. Snimak Aktivne snage faze 1



Slika 3. Snimak Aktivne snage faze 2

Kako se ne bi događalo da u jednom trenutku elektrana uzima energiju po jednoj fazi, a po drugoj ili trećoj fazi „gura“ energiju u mrežu, po pitanju samopotrošnje bi bilo bolje postaviti asinhroni invertor. Ovaj postojeći deli proizvedenu energiju po fazama na 1/3 a asinhroni deli energiju prema opterećenju i može potrebnu energiju bolje da rasporedi po fazama.



Slika 4. Snimak Aktivne snage faze 3

ANALIZA

Dobijeni rezultati jasno ukazuju na izraženu sezonsku varijabilnost proizvodnje, karakterističnu za fotonaponske sisteme u umerenim klimatskim uslovima.

Posebno je značajan nizak stepen samopotrošnje, koji se kreće u opsegu od 10% do 30%. Ovakve vrednosti su posledica:

- vremenskog nepoklapanja između maksimalne proizvodnje (tokom dana) i vršne potrošnje (večernji sati),
- odsustva sistema za skladištenje energije,
- ograničenja u upravljanju potrošnjom.

Dodatno, analiza ukazuje na značajan uticaj tarifnog sistema u Republici Srbiji, gde nije omogućena potpuna energetska kompenzacija između viših i nižih tarifa. Ovo dovodi do smanjene ekonomske valorizacije viškova energije predatih u mrežu.[1]

Rezultati su u skladu sa sličnim studijama koje analiziraju rad on-grid sistema bez baterijskog skladištenja, gde se kao ključni izazov identifikuje optimizacija samopotrošnje. [2]

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene tehno-ekonomske analize fotonaponske elektrane snage 5 kW može se zaključiti da sistem ostvaruje visoke tehničke performanse, sa specifičnom godišnjom proizvodnjom od 1287 kWh/kW/godini.

Sa druge strane, ekonomska efikasnost sistema je značajno ograničena niskim procentom samopotrošnje i postojećim regulatornim okvirom. Treba istaći da:

- povećanje instalisane snage bez optimizacije potrošnje ne dovodi nužno do proporcionalnog povećanja ekonomske koristi,
- upravljanje potrošnjom (demand-side management) predstavlja efikasan način za unapređenje performansi sistema,
- integracija baterijskih sistema ima potencijal da značajno poveća samopotrošnju i smanji zavisnost od mreže.

Rad potvrđuje da krovne fotonaponske elektrane predstavljaju tehnički pouzdano rešenje, ali da njihova puna ekonomska opravdanost zavisi od optimizacije rada sistema i daljeg razvoja regulatornog okvira.[2]

LITERATURA

[1] Zakon o obnovljivim izvorima energije Republike Srbije
[2] CIRED radovi i preporuke
[3] Tehnička dokumentacija proizvođača opreme