Broj rada: R4-17
DOI:10.46793/CIRED2026.R4-17_262

# UPRAVLJANJE POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVU KOJE SE NAPAJA IZ FOTONAPONSKOG SISTEMA I DISTRIBUTIVNE MREŽE

# DEMAND-SIDE MANAGEMENT IN A HOUSEHOLD SUPPLIED BY A PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND THE DISTRIBUTION NETWORK

Nikola BOGDANOVIĆ, ELEM&ELGO d.o.o. Beograd, Srbija*
Željko ĐURIŠIĆ, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Srbija

## KRATAK SADRŽAJ

U radu je analizirana mogućnost smanjenja razmene električne energije između domaćinstva i distributivne mreže primenom fotonaponskog sistema i direktnog upravljanja potrošnjom električne energije. Polazna osnova istraživanja jeste činjenica da rastuća dostupnost obnovljivih izvora energije, pre svega solarne energije, omogućava domaćinstvima veću energetsku nezavisnost i racionalnije upravljanje potrošnjom. Ukratko su opisane metode za upravljanje potrošnjom električne energije, sa fokusom na direktnom upravljanju koje je primenjeno u istraživanju. Dimenzionisan je fotonaponski sistem na osnovu ukupne godišnje potrošnje električne energije domaćinstva. Izvršena je uporedna analiza razmene električne energije sa mrežom pre i nakon upravljanja potrošnjom Prikazani su benefiti jednog ovakvog sistema sa aspekta inženjeringa, upotrebe dostupnih obnovljivih prirodnih resursa kakva je Sunčeva energija, zatim, očuvanja životne sredine, ali i iz ugla potrošača koji bi značajno skratili period otplate investicije u fotonaponski sistem, a takođe i značajno smanjili svoje mesečne račune za utrošenu električnu energiju.

**Ključne reči**: energetska efikasnost, fotonaponski sistemi, obnovljivi izvori energije, solarna energija, upravljanje potrošnjom

## ABSTRACT

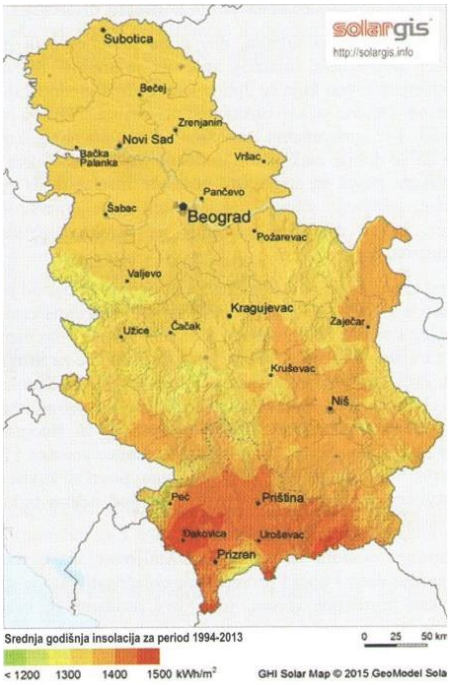
This paper analyzes the potential for reducing electricity exchange between a household and the distribution grid through the application of a photovoltaic (PV) system and direct demand-side management. The research is based on the premise that the increasing availability of renewable energy sources, particularly solar energy, enables greater energy independence and more efficient electricity consumption management at the household level. Various methods for electricity demand management are briefly reviewed, with a focus on direct control, which is applied in this study. The photovoltaic system is sized based on the total annual electricity consumption of the household. A comparative analysis of electricity exchange with the grid before and after the implementation of demand management was conducted. The benefits of such a system are demonstrated from engineering, environmental, and consumer perspectives, including improved utilization of renewable energy resources, reduced environmental impact, shortened payback period of the photovoltaic system, and lower monthly electricity costs.

* Nikola Bogdanović bogdanovic.p.nikola@gmail.com; Željko Đurišić djurisic@etf.rs

**Keywords:** Demand-Side Management, Energy Efficiency, Renewable Energy Sources, Solar Energy, Photovoltaic Systems

## UVOD

Srbija spada u zemlje sa veoma povoljnim solarnim potencijalom. Srednja godišnja insolacija za period 1994-2013. se kreće u rasponu 1300-1500 kWh/m$^2$, što je iznad proseka mnogih evropskih zemalja. Takođe, karakteriše je relativno ujednačena geografska raspodela sunčevog zračenja, što omogućava široku primenu PV sistema na gotovo celoj teritoriji zemlje. Na Slici 1 je prikazana prosečna horizontalna insolacija na teritoriji Srbije, prema podacima iz Solargis baze.




*Slika 1* – Mapa prosečne horizontalne insolacije na teritoriji Srbije [1]

Upotreba solarne energije nosi i određene izazove. Pre svega, dostupnost solarne energije ograničena je na dnevni period. Takođe, intenzitet Sunčevog zračenja varira tokom godine, pa je proizvodnja veća tokom letnjih, a manja tokom zimskih meseci. Kada lokalna proizvodnja nije dovoljna da zadovolji potrebe domaćinstva, nedostajuća energija preuzima se iz distributivne mreže. [1][2]

Masovna primena fotonaponskih sistema (PV – *Photovoltaic*) u domaćinstvima može dovesti do smanjenja cene električne energije usled velike količine simultano injektirane električne energije u sistem, čime se smanjuje isplativost ulaganja u male PV sisteme. Iz tog razloga, od posebnog značaja je povećanje sopstvene potrošnje lokalno proizvedene energije. Jedan od efikasnih pristupa za postizanje ovog cilja jeste vremensko upravljanje potrošnjom (DSM - *Demand Side Management*), čime se minimizuje razmena električne energije sa distributivnom mrežom. [3]

U radu je najpre dat teorijski uvod u solarnu energetiku i DSM. Zatim je prikazan postupak dimenzionisanja PV sistema za realno domaćinstvo u centralnoj Srbiji, kao i analiza satne potrošnje za 2025. godinu. Na osnovu merenja i procene satne potrošnje najvećih potrošača u četvoročlanom domaćinstvu, definisani su obrasci potrošnje i mogućnosti za upravljanje. U glavnom delu rada izvršena je analiza mogućnosti i efekata direktnog upravljanja potrošnjom.

Osnovna ideja jeste upotreba električnih potrošača u domaćinstvu u periodima dostupnosti solarne energije, sa ciljem povećanja upotrebe lokalno proizvedene energije i smanjenja kupovine energije iz mreže. Takođe, izvršena je i uporedna analiza razmene električne energije sa mrežom pre i nakon upravljanja potrošnjom za karakteristične sunčane i oblačne dane tokom sva četiri godišnja doba. Rezultati pokazuju da je moguće značajno smanjiti zavisnost od mreže i povećati iskorišćenje solarne energije. Na kraju rada, izvršena je ekonomska i ekološka analiza sistema, identifikovani su ključni izazovi i predložena odgovarajuća rešenja.

# 1 VREMENSKO UPRAVLJANJE POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE (DSM)

Vremensko upravljanje potrošnjom podrazumeva pomeranje perioda rada određenih potrošača u toku dana. Time se omogućava efikasnije i ekonomičnije korišćenje kapaciteta OIE jer se potrošnja iz perioda kada proizvodnja iz PV sistema nije dostupna, premešta u sate kada je najveća. Takođe, smanjenjem vršnog opterećenja sistema redukuju se investicioni troškovi, habanje komponenti, kao i gubici koji direktno zavise od kvadrata opterećenja.

DSM može biti indirektan i direktan. Indirektan DSM zasniva se na primeni višetarifnog sistema naplate utrošene električne energije. Sa druge strane, direktan DSM podrazumeva mogućnost upravljanja radom određenih potrošača, što u pojedinim slučajevima može uticati na komfor korisnika. [3]

Prema mogućnosti upravljanja, potrošači se dele na:

- Neupravljive – uređaji čijim upravljanjem bi se narušio komfor potrošača, kao što su rasveta, električni šporet, protočni bojler, računar, itd;
- Poluupravljive[2] – uređaji kod kojih je upravljanje delimično moguće kao što su frižideri, zamrzivači ili klima-uređaji, tj. uređaji sa termičkom inercijom;
- Upravljive – uređaji sa fleksibilnim rasporedom rada, kao što su akumulacioni bojler, mašina za pranje i sušenje veša, mašina za pranje sudova ili TA peći.

Razvojem informacionih tehnologija, automatike, senzora, pametnih brojila i upravljačkih uređaja, omogućena je primena DSM-a na nivou domaćinstva sa PV sistemom priključenim na distributivnu mrežu. Na taj način je moguće uskladiti rad upravljivih potrošača sa trenutnom proizvodnjnom električne energije iz PV sistema. [4]

# 2 DEFINISANJE PROBLEMA I DIMENZIONISANJE PV SISTEMA

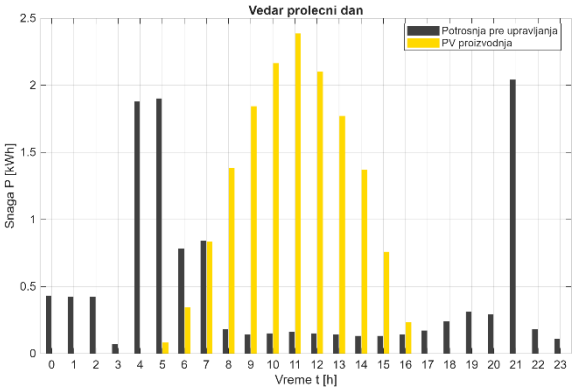
Posmatra se realno domaćinstvo u centralnoj Srbiji, u okolini Kraljeva. Objekat je porodična kuća, površine oko 120 $m^2$. Planirana je instalacija PV sistema na jednoj strani krova, orijentisanoj ka jug-jugozapadu. Podaci korišćeni u procesu dimenzionisanja obuhvataju: koordinate lokacije (43,705 N, 20,667 E), azimutni ugao krova 20º, dvovodni krov nagiba 33º i dimenzija krovne ravni 7 m x 6,8 m. Procenjena godišnja potrošnja električne energije posmatranog domaćinstva iznosi oko 4.100 kWh.

Dimenzionisanje sistema izvršeno je u softveru *Pvsyst 8.0*. Nakon iterativnog postupka koji obuhvata izbor inicijalne instalisane snage PV panela, simulaciju rada sistema i korekciju snage, odabrano je rešenje sa PV panelom snage 3,9 kWp i invertorom snage 4 kW. U razmatranje su uključeni efekti degradacije PV sistema, kao i očekivano porast potrošnje od 0,5%/god. Rezultati simulacije pokazuju da sistem može proizvesti približno 5,35 MWh električne energije u prvoj godini rada. Imajući u vidu da je procenjena godišnja potrošnja domaćinstva oko 4,1 MWh, zaključuje se da sistem ima dovoljan kapacitet da dugoročnopokrije potrebe domaćinstva.

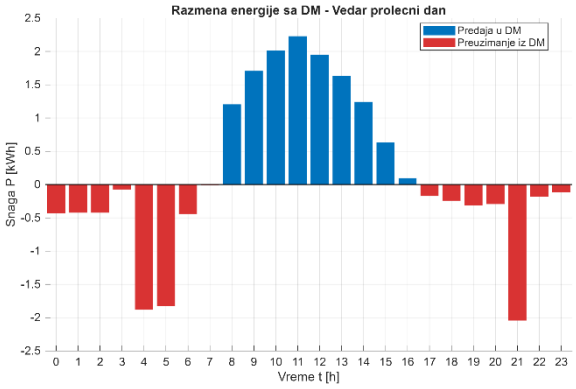
Poređenjem dijagrama proizvodnje PV sistema i potrošnje tokom vedrog prolećnog dana, prikazanih na Slici 2, pokazana je vremenska neusklađenost ova dva profila. Dijagram potrošnje pokazuje da se značajan deo električne energije (oko 45 %) troši tokom noćnih sati,

[2] U ovom radu, poluupravljivi uređaji su tretirani kao neupravljivi.

kada je lokalna proizvodnja jednaka nuli. Sa druge strane, tokom dnevnih časova javljaju se značajni viškovi proizvedene energije koji se predaju distributivnoj mreži (Slika 3).




*Slika 2* – Vedar prolećni dan – proizvodnja i potrošnja




*Slika 3* – Vedar prolećni dan – razmena energije sa mrežom

U modelima aktivnog kupca ovakva razmena energije sa mrežom negativno utiče na ekonomsku isplativost sistema. Zbog toga je neophodno optimizovati raspored potrošnje, odnosno prebaciti potrošnju iz perioda sa deficitarnom lokalnom proizvodnjom u periode kada postoji suficit solarne energije. Ovo se može postići primernom DSM-a.

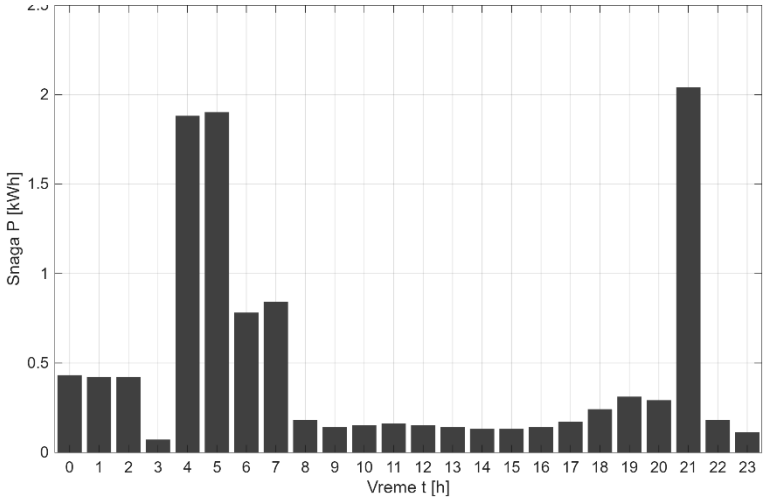
## 3 PROCENA SATNE POTROŠNJE U DOMAĆINSTVU

Za uspešnu primenu DSM-a, neophodno je najpre izvršiti detaljnu procenu potrošnje. U posmatranom domaćinstvu, trenutno se primenjuje indirektno upravljanje, koje je na snazi u Srbiji, zasnovano na korišćenju niže tarife električne energije tokom noćnih sati.

U domaćinstvu žive četiri osobe mlađe i srednje životne dobi. Grejanje nije električno, priprema tople vode se vrši akumulacionim bojlerom, dok se za pripremu hrane koristi električni šporet. Prosečna mesečna potrošnja električne energije iznosi oko 340 kWh, što odgovara približno 11,4 kWh dnevno.

Pri formiranju dnevnog dijagrama sa satnom diskretizacijom, razmatrani su dominantni potrošači koji se svakodnevno koriste: akumulacioni bojler, mašina za pranje veša, mašina za pravnje sudova i ostali svakodnevni potrošači. Manji potrošači nisu posebno analizirani. Zbog sličnog režima korišćenja tokom godine, ukupna potrošnja se može smatrati približno uniformnom.

Dijagram potrošnje formiran je u softveru *Matlab*, sabiranjem vektora satne potrošnje pojedinačnih uređaja. Na Slici 4 prikazan je rezultujući dnevni dijagram potrošnje za prosečan dan u godini.




*Slika 4* – Potrošnja električne energije

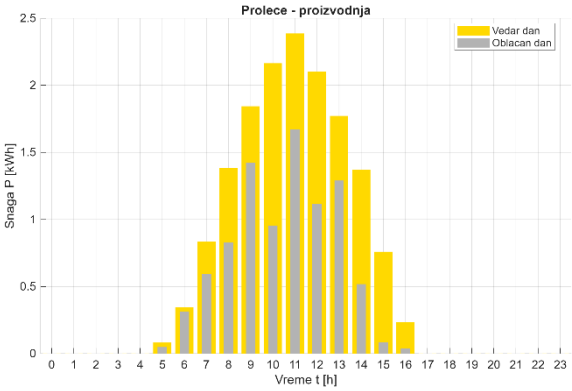
Sa dijagrama se može uočiti visoka potrošnja neposredno nakon ponoći, kao posledica rada upravljivih potrošača u periodu niže tarife. Nakon njihovog isključenja, potrošnja opada, a zatim raste u jutarnjim i večernim satima, u skladu sa aktivnostima članova domaćinstva. Potrošnja tokom dana nikada ne dostiže nulu, zbog kontinuiranog rada uređaja poput frižidera.

Ovakav dijagram nije optimalan za domaćinstvo sa PV sistemom, jer se značajan deo potrošnje ostvaruje kada je solarna energija u deficitu. Zbog toga je potrobno pomeriti rad upravljivih potrošača u dnevne sate, kada je lokalna proizvodnja električne energije najveća.

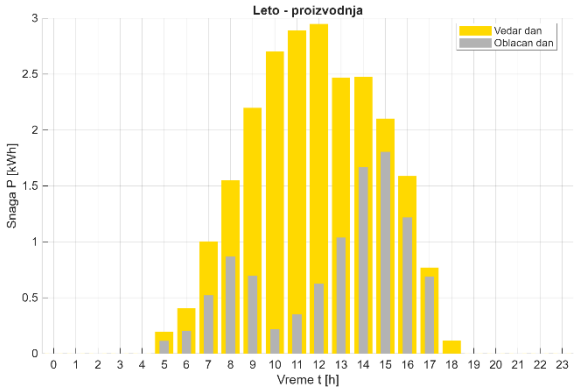
# 4 UPRAVLJANJE POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVU

## 4.1 Procena proizvodnje

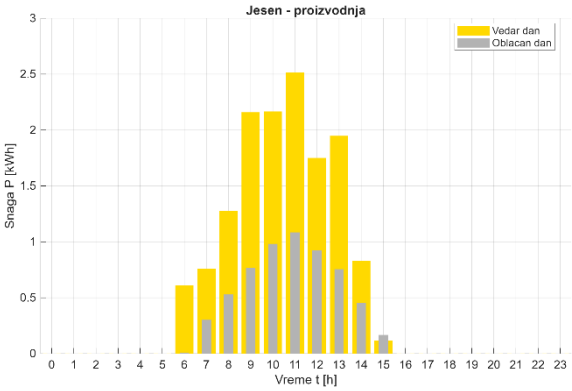
Kako bi analiza bila potpuna, odabrano je osam karakterističnih dana tokom godine. Za svako godišnje doba, razmatran je po jedan vedar i jedan oblačan dan, na osnovu kojih su formirani odgovarajući dijagrami proizvodnje PV sistema korišćenjem softvera *Matlab*. Dijagrami proizvodnje nalaze se na Slilkama 5-8.



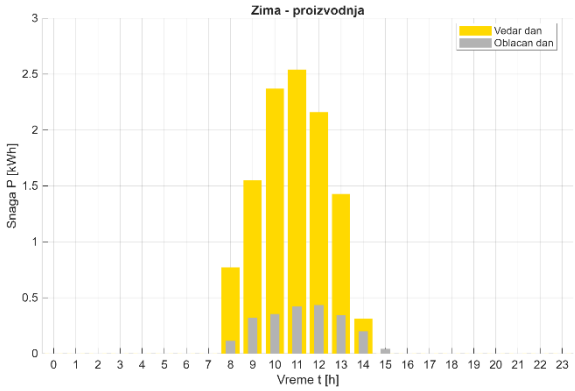

*Slika 5* - Proizvodnja u proleće




*Slika 6* - Proizvodnja u leto




*Slika 7* - Proizvodnja u jesen




*Slika 8* - Proizvodnja u zimu

## 4.2 Direktno upravljanje potrošnjom

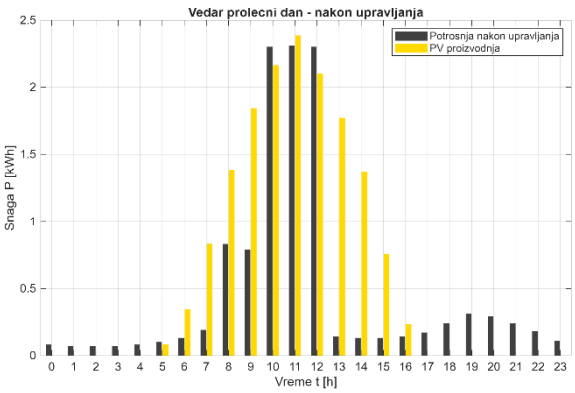
U ovom delu rada analizirano je osam slučajeva definisanih kombinacijom godišnjeg doba i vremenskih uslova. Za svaki slučaj dat je uporedni prikaz potrošnje pre i nakon primene DSM-a.

### 4.2.1 Opravdanost primene direktnog upravljanja potrošnjom

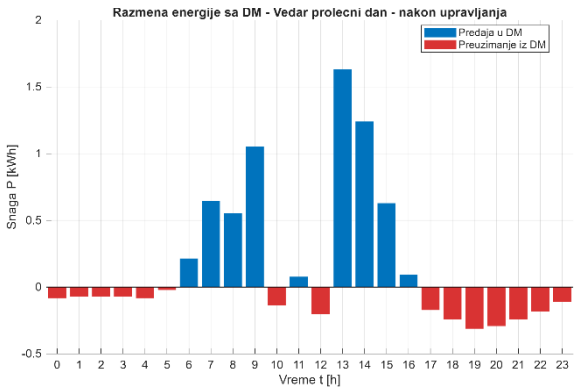
Na Slikama 2 i 3 prikazani su dijagrami proizvodnje, potrošnje, kao i razmene energije sa distributivnom mrežom pre primene DSM-a.

Rezultati pokazuju da se relativno mali deo lokalno proizvedene električne energije koristi unutar domaćinstva. Proračuni u softveru *Matlab* pokazuju da od ukupno 11,4 kWh potrošene energije, svega oko 2,75 kWh (oko 24%) obezbeđuje PV sistem, dok je preostalih 76% preuzeto iz distributivne mreže. Imajući u vidu da ukupna proizvodnja po ovakvim vremenskim uslovima iznosi oko 17,6 kWh, dobija se da se svega približno 16% lokalno proizvedene energije koristi za sopstvenu potrošnju, dok se ostatak injektira u mrežu. Ukupna razmena sa distributivnom mrežom, definisana kao zbir preuzete i predate električne energije, u ovom slučaju iznosi 23,55 kWh.

Na Slikama 9 i 10 prikazani su isti dijagrami nakon primene DSM-a.




*Slika 9* - Proizvodnja i potrošnja nakon upravljanja za vedar prolećni dan




*Slika 10* - Razmena sa mrežom nakon upravljanja za vedar prolećni dan

Nakon primene DSM-a, uočava se značajno poboljšanje u pogledu direktnog pokrivanja potrošnje iz fotonaponskih panela. Od ukupno 11,4 kWh dnevne utrošene energije, približno

9,6 kWh (oko 84%) pokriveno je iz PV sistema, dok se samo 16% nadoknađuje iz mreže. Udeo lokalno iskorišćene proizvedene energije povećan je na oko 55%, dok je ukupna razmena sa distributivnom mrežom smanjena na 9,8 kWh, odnosno za približno 58% u odnosu na početno stanje.

### 4.2.2 Uporedni rezultati nakon direktnog upravljanja potrošnjom

U Tabeli I prikazane su vrednosti prosečne dnevne potrošnje domaćinstva, kao i proizvodnja PV sistema za vedre i oblačne dane tokom svih godišnjih doba.

*Tabela I* – Proizvodnja i potrošnja za prosečan dan

| | Potrošnja [kWh] | Proizvodnja [kWh] |
|---|---|---|
| Vedro proleće | 11,40 | 17,64 |
| Oblačno proleće | | 8,86 |
| Vedro leto | | 23,39 |
| Oblačno leto | | 9,99 |
| Vedra jesen | | 14,11 |
| Oblačna jesen | | 5,95 |
| Vedra zima | | 11,12 |
| Oblačna zima | | 2,21 |

Tabela II daje uporedni prikaz rezultata za svih osam analiziranih slučajeva. Analizirani su lokalno iskorišćena energije iz PV sistema, lokalno zadovoljena sopstvena potrošnja, kao i ukupne razmene energije sa distributivnom mrežom.

*Tabela II* – Uporedni prikaz rezultata pre i nakon upravljanja potrošnjom

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Razmena sa DM | Δ [kWh / %] | -13,79 / -68,56 | -10,78 / -67,29 | -13,47 / -46,91 | -11,94 / -71,30 | -13,41 / -65,55 | -6,99 / -48,61 | -15,09 / -73,91 | -2,38 / -20,59 |
| | Nakon [kWh] | 9,76 | 5,24 | 15,24 | 4,81 | 7,04 | 7,39 | 5,33 | 9,19 |
| | Pre [kWh] | 23,55 | 16,02 | 28,71 | 16,75 | 20,45 | 14,38 | 20,42 | 11,57 |
| Lokalno zadovoljena SP | Δ [%] | 251,18 | 253,91 | 221,41 | 257,33 | 264,91 | 234,97 | 718,67 | 116,65 |

| | | Lokalno utrošena energija iz PV | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pre [kWh / %] | Nakon [kWh / %] | Δ [kWh / %] | Pre [%] | Nakon [%] |
| Vedro leto | | 2,75 / 15,56 | 9,64 / 54,66 | 6,89 / 251,18 | 24,08 | 84,56 |
| Oblačno leto | | 2,12 / 23,95 | 7,51 / 84,77 | 5,39 / 253,91 | 18,61 | 65,88 |
| Vedro proleće | | 3,04 / 13,00 | 9,77 / 41,02 | 6,73 / 221,41 | 26,68 | 85,74 |
| Oblačno proleće | | 2,32 / 23,23 | 8,29 / 83,02 | 5,97 / 257,33 | 20,35 | 72,72 |
| Vedra jesen | | 2,53 / 17,93 | 9,23 / 65,44 | 6,72 / 264,91 | 22,19 | 80,98 |
| Oblačna jesen | | 1,49 / 25,00 | 4,98 / 83,73 | 3,49 / 234,97 | 13,04 | 43,69 |
| Vedra zima | | 1,05 / 9,44 | 8,60 / 77,31 | 7,55 / 718,67 | 9,21 | 75,40 |
| Oblačna zima | | 1,02 / 46,16 | 2,21 / 100,00 | 1,19 / 116,65 | 8,96 | 19,40 |

Rezultati pokazuju da primena PV sistema daje znatno bolje efekte uz simultanu primenu DSM-a. Lokalno iskorišćena energija iz PV sistema, kao i lokalno zadovoljena sopstvena potrošnja, povećane su u proseku za oko 290%, dok je razmena energije sa distributivnom mrežom smanjena u proseku za 58%.

Pored tehničkih unapređenja sistema, značajan aspekt predstavlja i ekonomska opravdanost investicije. Stoga su u narednom poglavlju prikazani rezultati ekonomske analize.

## 5 EKONOMSKA ANALIZA

Ekonomska analiza izvršena je sa ciljem poređenja finansijskih efekata primene PV sistema uparenog sa DSM-om. Analizirano domaćinstvo je mali potrošač, te se smatra da se utrošena električna energija naplaćuje po važećim cenama u zelenoj zoni. Cena električne energije u višoj tarifi je 9,6136 RSD/kWh, dok je cena u nižoj tarifi jednaka 2,4034 RSD/kWh. [5] U analizi su razmatrana dva scenarija, koja se razlikuju prema načinu određivanja cene kupljene i prodate električne energije. Prvi scenario podrazumeva fiksnu cenu kupljene energije jednakoj važećoj ceni elekitrčne energije za domaćinstva, dok je cena prodate energije takođe fiksna i iznosi 30% cene kupljene energije. U drugom scenariju cena kupljene i cena prodate energije vezuju se za tržišnu cenu, pri čemu cena kupljene energije iznosi 120% vrednosti cene na referentnoj berzi HUPX, dok cena prodate energije iznosi 80% tržišne cene.

Za oba scenarija izvršen je proračun godišnjih troškoca i prihoda na osnovu satnih vrednosti potrošnje, proizvodnje PV sistema i razmene električne energije sa distributivnom mrežom. Analizirani su slučajevi pre i nakon primene DSM-a, kako bi se sagledao uticaj vremenskog

pomeranja rada upravljivih potrošača na ekonomsku isplativost sistema. Rezultati ekonomske analize prikazani su u Tabeli III.

*Tabela III* – Rezultati ekonomske analize

| Scenario 1 | | | | Scenario 2 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pre upravljanja | | Nakon upravljanja | | Pre upravljanja | | Nakon upravljanja | |
| Kup. [RSD] | Prod. [RSD] | Kup. [RSD] | Prod. [RSD] | Kup. [RSD] | Prod. [RSD] | Kup. [RSD] | Prod. [RSD] |
| 17073 | 13299 | 9399 | 6632 | 57671 | 27346 | 21399 | 12126 |
| -3775 | | -2767 | | -30325 | | -9273 | |
| 1007 | | | | 21052 | | | |

Na osnovu rezultata iz Tabele III, može se uočiti da finansijski efekat primene DSM-a značajno zavisi od načina formiranja cene kupljene i prodate električne energije.

U prvom scenariju se ostvaruje mala ušteda od oko 1000 RSD/god. za analiziranu 2025. godinu. Ovakan rezultat je posledica činjenice da se vremenskim pomeranjem rada upravljivih potrošača smanjuje potreba za kupovinom energije iz mreže. Istovremeno se smanjuje i količina energije predata mreži, ali je zbog relativno niske otkupne cene, smanjenje prihoda od prodaje manje izraženo od smanjenja troškova kupovine.

Povoljniji rezultat ostvaruje se u drugom scenariju, gde su i cena kupljene i cena prodate električne energije vezane za tržišnu cenu. Usled visoke kupovne cene energije iz mreže, povećanje lokalne sopstvene potrošnje ima izražen pozitivan efekat. Ostvarena ušteda na stranu kupovine je značajno veća od smanjenja prihoda od prodaje, što rezultuje pozitivnim finansijskim efektom.

Rezultati ekonomske analize pokazuju da primena DSM-a može značajno doprineti povećanju isplativosti PV sistema, naročito u uslovima tržišno formiranih cena električne energije. U narednom poglavlju, prikazani su rezultati ekološke analize.

## 6 EKOLOŠKA ANALIZA

Srbija godišnje troši oko 35 TWh električne energije, dok posmatrano domaćinstvo, sa godišnjom potrošnjom od približno 4,1 MWh, predstavlja veoma mali deo ukupnog konzuma. Iako je pojedinačni doprinos smanjenju emisija ograničen, masovniha primena malih PV sistema u domaćinstvima i industriji može imati značajan kumulativan efekat.

Kup. – Električna energija kupljena iz distributivne mreže

Prod. – Električna energija prodata distributivnoj mreži

U ovom delu rada, analizirane su emisije ugljen-dioksida ($CO_2$) za tri scenarija – potpuno snabdevanje iz termoelektrana, primena PV sistema i primena PV sistema u kombinaciji sa DSM-om.

Osnovu za procenu emisije $CO_2$ predstavlja faktor emisije (*Emission Factor – EF*), koji definiše količinu $CO_2$ emitovanu po proizvedenom kWh električne energije. Na osnovu dostupnih podataka, usvaja se vrednost od približno 1 kg $CO_2$/kWh za proizvodnju u termoelektranama na ugalj, dok se za PV sistem pretpostavlja da ne emituje $CO_2$ tokom eksploatacije. Polazeći od godišnje potrošnje domaćinstva od 4,1 MWh i pretpostavke konstantnih uslova tokom perioda eksploatacije, moguće je odrediti godišnju i ukupnu emisiju $CO_2$ za period od 25 godina. [6]

Emisija $CO_2$ na godišnjem nivou određuje se izrazom (1), dok se ukupna emisija za period od *N* godina, dobija izrazom (2):

$$m[CO_2]^{year} = W_{consumption} \cdot EF \tag{1}$$

$$m[CO_2]^{total} = N \cdot m[CO_2]^{year} \tag{2}$$

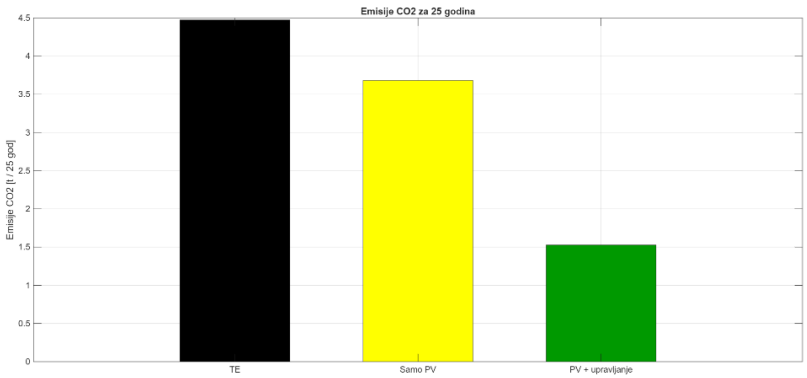
Na ovaj način se dobijajnu kvantitativni pokazatelji koji omogućavaju poređenje različitih scenarija proizvodnje i potrošnje električne energije. Rezultati ekološke analize prikazani su u Tabeli IV.

*Tabela 3.* Rezultati ekološke analize

| Slučaj | 100% iz TE | PV sistem | PV sistem + sistem za upravljanje potrošnjom |
|---|---|---|---|
| Godišnja emisija $CO_2$ [$tCO_2$/god.] | 4,10 | 2,03 | 0,84 |
| Ukupna emisija $CO_2$ [$tCO_2$/25god.] | 109,00 | 56,91 | 23,61 |
| Smanjenje emisije $CO_2$ [%] | / | ≈ 48 % | ≈ 78 % |

Rezultati pokazuju da primena PV sistema smanjuje emisiju $CO_2$, dok se dodatnom primenom DSM-a postižu znatno veći efekti. U periodu eksploatacije od 25 godina, šira primena ovakvih sistema može rezultirati značajnim smanjenjem ukupnih emisija.

Grafički prikaz uporednih vrednosti emisija $CO_2$ za ceo eksploatacioni period prikazan je na Slici 11.




*Slika 11* - Emisija ugljen-dioksida za različite scenarije

Dobijeni rezultati pokazuju da kombinacija PV sistema i DSM-a omogućava značajno smanjenje emisije $CO_2$, kao i ostalih štetnih gasova, u odnosu na konvencionalne EES-e. Ovakav pristup ima pozitivan efekat na zaštitu životne sredine, ali i širi značaj u kontekstu procesa dekarbonizacije elektroenergetskog sektora Srbije.

## 7 UPOREDNI PRIKAZ REZULTATA

U Tabeli V, prikazani su ključni parametri koji oslikavaju prednosti implementacije DSM-a u domaćinstvu sa PV sistemom.

*Tabela 4* - Uporedni prikaz rezultata

| | PV | PV + sistem za direktno upravljanje potrošnjom | Razlika [%] |
|---|---|---|---|
| Preuzeto iz mreže [kWh/god] | 3 430,30 | 1 175,88 | 65,73 |
| Predato mreži [kWh/god] | 4 616,47 | 2 361,75 | 48,84 |
| Troškovi – Scenario 1 [RSD/god.] | 3 775 | 2 767 | 26,7 |
| Troškovi – Scenario 2 [RSD/god.] | 30 325 | 9 273 | 69,42 |
| Emisija $CO_2$ [t/25god.] | 56,91 | 23,61 | 58,51 |

Na osnovu rezultata, može se zaključiti da su benefiti kombinacije PV sistema sa DSM-om višestruki. Pre svega, smanjuje se količina energije preuzete iz mreže, kao i količina energije predata mreži, čime se povećava lokalno iskorišćenje proizvedene energije. Pored toga, u zavisnosti od tarifnog modela, mogu se ostvariti značajne finansijske uštete, dok se istovremeno smanjuje emisija $CO_2$.

## 8 ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj vremenskog pomeranja rada najvećih potrošača u jednom prosečnom domaćinstvu u Srbiji sa instaliranim PV sistemom. Najpre je sprovedena tehnička analiza, kojom su prikazane prednosti povećanja lokalne sopstvene potrošnje, prvenstveno kroz smanjenje razmene električne energije sa distributivnom mrežom. Zatim je, ekonomskom analizom, kroz dva scenarija sa različitim cenama kupljene i prodate energije, prikazan finansijski efekat primene DSM-a. Na kraju je ekološkom analizom prikazan doprinos smanjenju emisije štetnih gasova, sa posebnim naglaskom na emisiju $CO_2$.

Dobijeni rezultati ukazuju na značaj pametne i racionalne upotrebe OIE. Posebno je važan doprinos ovakvih sistema boljoj i bržoj integraciji OIE u EES, čime se istovremeno utiče na smanjenje upotrebe fosilnih goriva i povećanje energetske efikasnosti.

Razvojem ovakvih mikrosistema manje zavisnih od mreže, smanjuje se rastojanje između proizvodnje i potrošnje, što doprinosi smanjenju tehničkih gubitaka u sistemu. Takođe, povećanje energetske nezavisnosti pojedinačnih potrošača, pozitivno se utiče na žilavost, odnosno otpornost EES-a na poremećaje i probleme koji se mogu javiti u radu.

**Acknowledgements:** This work was financially supported by the CAS ANSO Co-funding Research Project, Grant No. CAS-ANSO-CFRP-2024-02.

## LITERATURA

[1] J. Mikulović i Ž. Đurišić, Solarna energetika, Beograd, Akademska misao, 2019.
[2] Ž. Đurišić, *Integracija obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sistem I-IV deo*, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2018.
[3] D.S. Kotur, *Optimalno prostorno i vremensko upravljanje potrošnjom u elektroenergetskom sistemu sa visokim stepenom penetracije obnovljivih izvora energije*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2020.
[4] J. Stojković, *2. SG - Upravljanje potrošnjom u elektroenergetskim sistemu*, prezentacija, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd.
[5] Elektroprivreda Srbije-Snabdevanje-Cene, Elektroprivreda Srbije, [Online]. Available: https://www.eps.rs/lat/snabdevanje/Stranice/cene.aspx, [Pristupljeno: maj 2026].
[6] M. Bartolini, P. Duttilo i F. Lisi, Accounting carbon emissions from electricity generation: A review and comparison of emission factor-based methods, 15 August 2025.
[7] PVSyst Documentation, [Online] Available: https://www.pvsyst.com/help/, [Pristupljeno: maj 2026].
[8] Matlab Help Center, 2025. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html?s_tid=hc_panel, [Pristupljeno: maj 2026].