

# Uticaj zaprljanosti fotonaponskih panela na proizvodnju električne energije iz krovne fotonaponske elektrane snage 700 kW

Ivana Vlajić-Naumovska \*, Aleksandra Grujić \*, Neša Rašić \*, Milan Ivezić \*, Petar Đorđević \*\*

\* Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Starine Novaka 24, Beograd, Republika Srbija

\*\* student Akademije tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd

**Rezime** - U radu je analiziran uticaj zaprljanosti fotonaponskih panela na proizvodnju električne energije iz krovne fotonaponske elektrane od 700 kW u Gornjem Milanovcu. Zaprljanost fotonaponskih panela može da izazove otežan rad celog fotonaponskog sistema i da se zbog toga dobije manje električne energije. Za potrebe rada sprovedeno je praktično ispitivanje koje se sastoji se od upoređivanja proizvodnje električne energije serije očišćenih i serije neočišćenih panela. Kroz detaljno praćenje i merenje proizvodnje električne energije, utvrđeno je da redovno čišćenje fotonaponskih panela rezultira značajnim povećanjem efikasnosti u proizvodnji električne energije. Analiza merenih rezultata naglašava važnost redovnog održavanja fotonaponskih sistema radi ostvarivanja optimalnih performansi i povećanja iskoristivosti sistema. Pored ekoloških benefita, ekonomska analiza pokazuje da čišćenje fotonaponskih panela donosi i finansijske koristi.

**Ključne reči** - zaprljanost fotonaponskih panela, čišćenje fotonaponskih panela, održavanje fotonaponskih sistema

## I ZAPRLJANOST FOTONAPONSKIH MODULA

Zaprljanost fotonaponskih modula označava nakupljanje različitih nečistoća poput prašine, biljnih ostataka, soli, ptičjeg izmeta i drugih organskih materijala, na njihovoj površini i negativno utiče na performanse fotonaponskih modula. Intenzitet problema varira u različitim geografskim i klimatskim uslovima. Sastav prašine varira u zavisnosti od lokalnih uslova i aktivnosti. Glavni faktori koji utiču na taloženje prašine na fotonaponskim modulima uključuju nagibni ugao modula, lokaciju, koncentraciju čestica prašine u vazduhu, karakteristike samih čestica prašine (veličina, oblik, gustoća, sastav), lokalne klimatske i meteorološke uslove, karakteristike površine fotonaponskih modula, i vreme provedeno na otvorenom bez čišćenja.

U literaturi se mogu naći brojni radovi koji ispituju uticaj prašine na performanse solarnih modula [1-5]. Uticaj prašine ispitivan je na otvorenom ili u zatvorenom prostoru [6, 7]. Istraživanja o uticaju zaprljanosti solarnih modula prirodnom prašinom na njihovu energetska efikasnost su korisna za razumevanje odnosa između efekta smanjivanja efikasnosti solarnih modula usled zaprljavanja i hemijskog sastava prašine [8-11].

Zbog nagomilavanja prljavštine na fotonaponskim modulima, neophodno je redovno čišćenje kako bi se održala njihova optimalna efikasnost [12]. U stambenim objektima, vlasnici

obično obavljaju čišćenje svojih fotonaponskih modula. U komercijalnim sistemima, čišćenje fotonaponskih modula dodatno povećava troškove, jer se često zahteva instalacija specijalizovanih sistema za čišćenje ili zapošljavanje timova koji će redovno obavljati čišćenje.

Čišćenje fotonaponskih modula se sprovodi korišćenjem različitih metoda i sredstava, a jedno od najefikasnijih sredstava je voda. Voda se često koristi pod pritiskom ili uz pomoć četki za uklanjanje lepljivih ili blatnjavih nečistoća sa površine fotonaponskih modula. Tokom kišnih perioda, padavine, poput kiše, efikasno uklanjaju prašinu sa fotonaponskih modula.

Za čišćenje fotonaponskih modula vodom koriste se različiti automatizovani sistemi kao što su sistemi sa mlaznicama, sistemi sa četkom, itd. Sistemi sa mlaznicama mogu da koriste fiksne ili klizeće mlaznice. Neki sistemi su potpuno automatizovani i opremljeni senzorima koji kontrolišu vreme i količinu vode potrebnu za čišćenje. Pored čišćenja, ovi sistemi takođe doprinose hlađenju fotonaponskih modula, povećavajući njihovu efikasnost. Robotizovani uređaji za čišćenje fotonaponskih modula zahtevaju značajna početna ulaganja i imaju operativne troškove. Neki proizvođači nude specijalne premaze za zaštitna stakla fotonaponskih modula protiv zaprljanosti. Premazi mogu biti hidrofobni i hidrofilni.

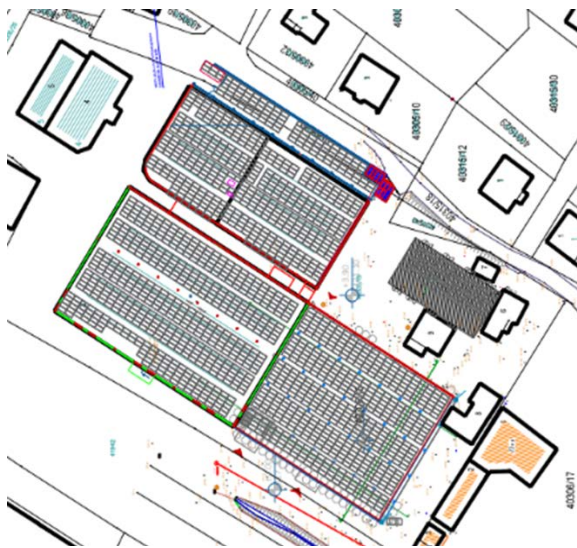
## II TEHNIČKE SPECIFIKACIJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE

U radu je sprovedena analiza uticaja zaprljanosti panela na proizvodnju električne energije iz fotonaponske elektrane. Cilj ove analize je da se proceni ostvarenje uštede u novcu koji se postiže čišćenjem fotonaponskih panela.

Elektrana na kojoj će se vršiti ispitivanje se nalazi na krovu proizvodnog prostora fabrike „Papir print“ u Gornjem Milanovcu i ima instalisanu snagu od 700 kW. Na slici 1 prikazan je šematski prikaz fotonaponske elektrane na krovu firme „Papir print“. Fotonaponska elektrana instalisane snage 700 kW se sastoji od 1756 fotonaponskih panela. Prostor koji ovi paneli zauzimaju je površina koja iznosi 3800 m<sup>2</sup>. Upotrebljeni su fotonaponski paneli su tipa „LX 450M/166-144+“ od proizvođača Luksor i sastoje se od monokristalnih modula. Predviđena snaga ovih panela je 450W, jačina struje 10,79A i predviđen napon od 41,73V.

Fotonaponski invertori su tipa „Symo 20.0-3-M“ od proizvođača Fronius. Nominalno opterećenje koje podnose je do 20 000 W, i imaju ulazni napon od 200-1000 V i formiraju izlazni napon

380/220 V. Efikasnost ovog invertora je 98% i radnu temperaturu između  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$ . Od zaštitnih sistema poseduje: zaštitu obrnutog polariteta, zaštitu od kratkog spoja naizmenične struje i zaštitu od preopterećenja.



**Slika 1.** Šematski prikaz fotonaponske elektrane na krovu firme „Papir print“

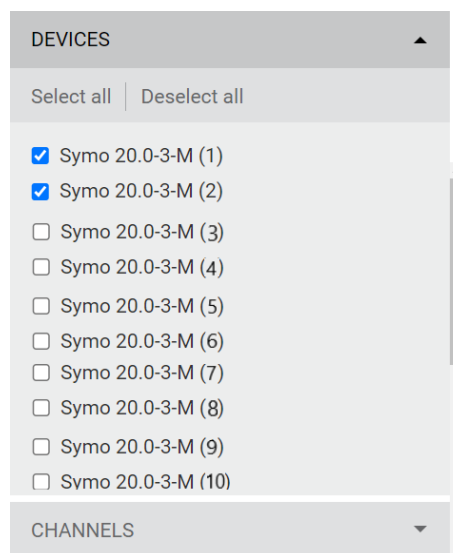
### III MERENJA I PRIKUPLJANJE PODATAKA

Kako bi se vršila analiza uticaja zaprljanosti fotonaponskih panela i pokazalo ostvarenje uštede u novcu prilikom njihovog čišćenja, izvršeno je praktično ispitivanje i analiza prikupljenih podataka. Praktično ispitivanje sastoji se od upoređivanja proizvodnje električne energije serije očišćenih i serije neočišćenih fotonaponskih panela.

Kako bismo uporedili proizvodnju električne energije iz ovih serija panela radi što preciznijeg merenja, eksperiment je izveden na dve identične grupe fotonaponskih nizova od po 20 kW. Jedna grupa fotonaponskih nizova je detaljno očišćena uz pomoć tečnosti za pranje, specijalne četke i vode pod pritiskom. Druga

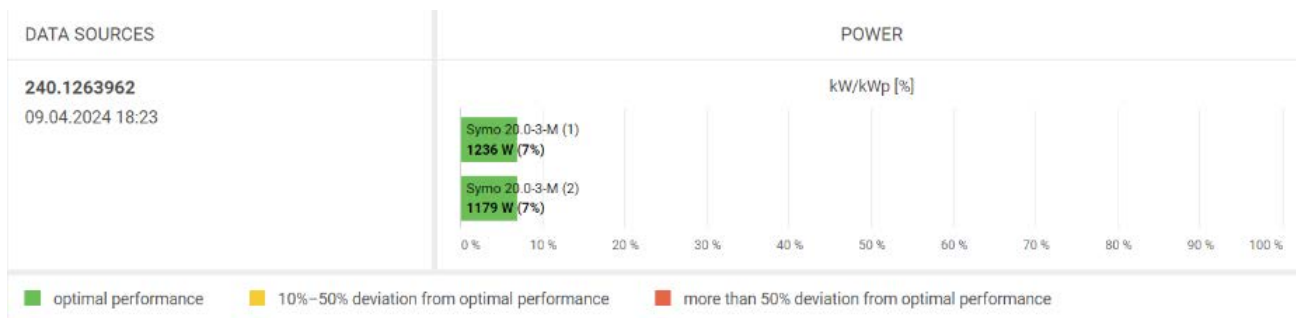
grupa fotonaponskih panela je ostala zaprljana i nije čišćena preko šest meseci.

Radi lakšeg praćenja i analize podataka korišćen je softver „Fronius“ koji prikuplja podatke i beleži ih u dugoročnom periodu. Putem softvera praćeni su podaci invertora na koje su bili povezani fotonaponski paneli koji se obrađuju tokom praktičnog dela ispitivanja. Na slici 2 prikazan je odabir invertora koji su korišćeni u analizi. Softver ima mogućnosti praćenja podataka sa invertora, zapisivanja istorije i očitavanja u realnom vremenu, kao što je prikazano na slici 3.



**Slika 2.** Odabir invertora koji su korišćeni u analizi

Na početnoj strani aplikacije „Fronius“ (slika 4.) nalaze se osnovni podaci i statistika vezana za parametre proizvodnje električne energije. Softver pokazuje trenutnu snagu koja se proizvodi kao i energetske bilans za tekući dan. Takođe, pokazuje podatke o smanjenju emisije ugljen-dioksida pri proizvodnji čiste energije, zaradi u izabranim vremenskim intervalima i vremensku prognozu za datu lokaciju.



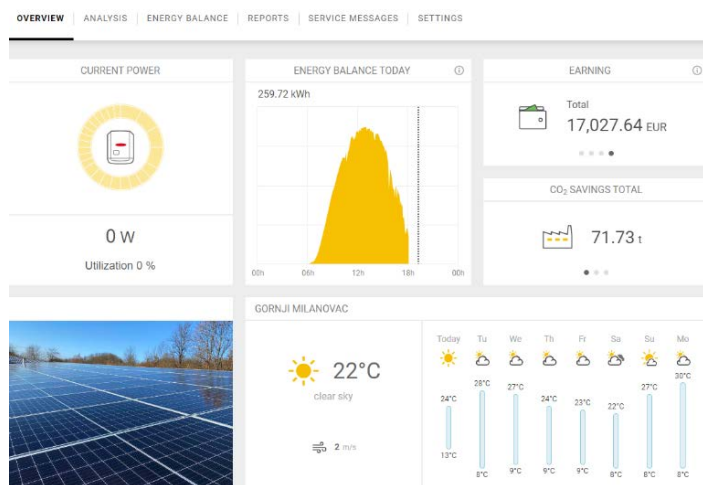
**Slika 3.** Prikaz proizvodnje energije za izabrane invertore

Pomoću ove aplikacije moguće je pratiti različite parametre: prividnu snagu, faktor snage, reaktivnu snagu, standardnu snagu kao i ukupnu snagu sistema. Sve nabrojane parametre prikazuje putem grafičkog prikaza sa mogućnošću međusobnog poređenja (slika 5.).

### IV ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA

Analiza podataka za parametre koje ćemo upoređivati odnosiće se na totalnu proizvedenu električnu energiju invertora u jedinici vremena (kWh). Kao referentni primer uzet je mesec mart 2023.

godine u kome nije vršeno čišćenje fotonaponskih panela u elektrani i izvršena je analiza proizvodnje električne energije.



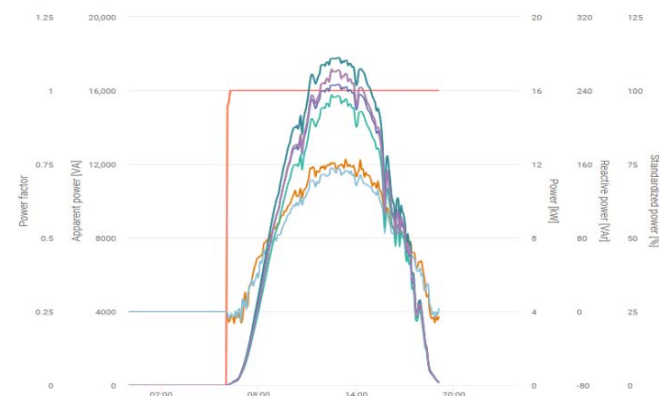
Slika 4. Početna strana na „Fronius” aplikaciji

**Tabela 1.** Proizvodnja električne energije iz fotonaponskih panela povezanih na invertore Symo 20.0-3-M (1) i Symo 20.0-3-M (2) na dnevnom nivou za mart 2023. godine

| Datum      | Symo 20.0-3-M (1) [kWh] | Symo 20.0-3-M (2) [kWh] |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| 01.03.2023 | 9,30                    | 7,38                    |
| 02.03.2023 | 18,87                   | 18,86                   |
| 03.03.2023 | 13,90                   | 13,79                   |
| 04.03.2023 | 14,16                   | 14,11                   |
| 05.03.2023 | 70,35                   | 70,36                   |
| 06.03.2023 | 69,85                   | 69,33                   |
| 07.03.2023 | 60,24                   | 59,95                   |
| 08.03.2023 | 61,70                   | 61,70                   |
| 09.03.2023 | 31,04                   | 31,36                   |
| 10.03.2023 | 18,16                   | 18,11                   |
| 11.03.2023 | 10,71                   | 10,65                   |
| 12.03.2023 | 83,78                   | 83,47                   |
| 13.03.2023 | 85,28                   | 85,32                   |
| 14.03.2023 | 52,55                   | 52,42                   |
| 15.03.2023 | 10,28                   | 10,27                   |
| 16.03.2023 | 41,58                   | 41,53                   |
| 17.03.2023 | 82,76                   | 82,63                   |
| 18.03.2023 | 89,85                   | 90,32                   |
| 19.03.2023 | 84,80                   | 84,39                   |
| 20.03.2023 | 69,33                   | 68,76                   |
| 21.03.2023 | 29,86                   | 29,70                   |
| 22.03.2023 | 67,91                   | 67,70                   |
| 23.03.2023 | 88,68                   | 88,35                   |
| 24.03.2023 | 88,07                   | 87,55                   |
| 25.03.2023 | 48,76                   | 48,47                   |
| 26.03.2023 | 88,86                   | 88,65                   |
| 27.03.2023 | 28,36                   | 28,06                   |
| 28.03.2023 | 45,02                   | 44,78                   |
| 29.03.2023 | 79,76                   | 79,00                   |
| 30.03.2023 | 84,66                   | 84,30                   |
| 31.03.2023 | 75,32                   | 74,93                   |
| Mart 2023  | 1703,75                 | 1696,20                 |

U tabeli 1 prikazana je proizvodnja električne energije iz

fotonaponskih panela povezanih na invertore Symo 20.0-3-M (1) i Symo 20.0-3-M (2) na dnevnom nivou za mart 2023. godine. U martu 2023. godine fotonaponski paneli povezani na inverter broj 1 (Symo 20.0-3-M (1)) proizveli su ukupno 1703,75 kWh, a povezani na inverter 2 (Symo 20.0-3-M (2)) ukupno 1696,20 kWh. Razlika u proizvodnji električne energije fotonaponskih panela povezanih na ova dva invertora pre čišćenja iznosi 7 kWh odnosno 0.45%.



Slika 5. Grafički prikaz svih parametara merenja

**Tabela 2.** Proizvodnja električne energije iz fotonaponskih panela povezanih na invertore Symo 20.0-3-M (1) i Symo 20.0-3-M (2) na dnevnom nivou za mart 2024. godine

| Datum      | Symo 20.0-3-M (1) [kWh] | Symo 20.0-3-M (2) [kWh] |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| 01.03.2024 | 93,26                   | 86,38                   |
| 02.03.2024 | 71,90                   | 66,80                   |
| 03.03.2024 | 101,10                  | 93,29                   |
| 04.03.2024 | 70,30                   | 69,90                   |
| 05.03.2024 | 61,07                   | 56,00                   |
| 06.03.2024 | 65,73                   | 60,93                   |
| 07.03.2024 | 21,82                   | 20,20                   |
| 08.03.2024 | 27,92                   | 26,23                   |
| 09.03.2024 | 98,02                   | 90,80                   |
| 10.03.2024 | 85,72                   | 79,31                   |
| 11.03.2024 | 47,52                   | 44,01                   |
| 12.03.2024 | 77,70                   | 71,70                   |
| 13.03.2024 | 8,41                    | 7,78                    |
| 14.03.2024 | 43,12                   | 39,90                   |
| 15.03.2024 | 62,43                   | 58,14                   |
| 16.03.2024 | 77,03                   | 70,90                   |
| 17.03.2024 | 50,34                   | 47,16                   |
| 18.03.2024 | 82,05                   | 76,30                   |
| 19.03.2024 | 91,07                   | 84,60                   |
| 20.03.2024 | 126,15                  | 116,53                  |
| 21.03.2024 | 119,30                  | 110,11                  |
| 22.03.2024 | 110,24                  | 101,96                  |
| 23.03.2024 | 121,82                  | 112,44                  |
| 24.03.2024 | 17,12                   | 15,75                   |
| 25.03.2024 | 106,07                  | 99,78                   |
| 26.03.2024 | 78,89                   | 72,97                   |
| 27.03.2024 | 82,69                   | 76,79                   |
| 28.03.2024 | 112,07                  | 104,16                  |
| 29.03.2024 | 110,50                  | 103,01                  |
| 30.03.2024 | 127,85                  | 119,02                  |
| 31.03.2024 | 75,74                   | 70,46                   |
| Mart 2024  | 2424,95                 | 2253,31                 |

Za analizu uticaja zaprljanosti fotonaponskih panela na proizvodnju električne energije izvršeno je čišćenje fotonaponskih panela koji su povezani na inverter broj 1, dok su paneli koji su povezani na inverter broj 2 ostavljeni u zaprljanom stanju. Nije bilo vršeno čišćenje u prethodnih šest meseci.

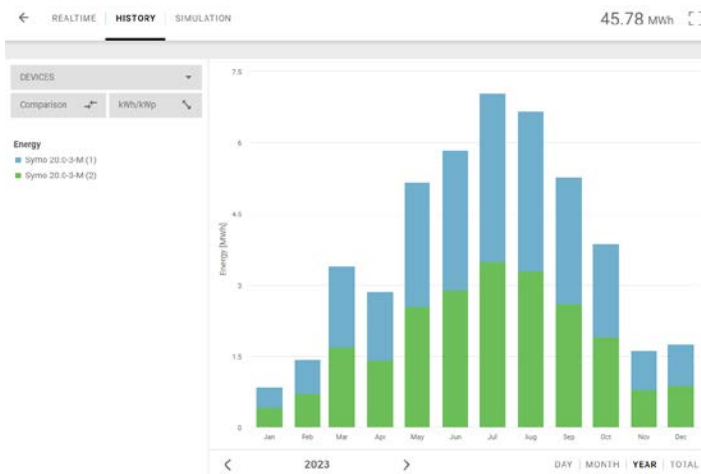
Praćenje i analiziranje je započeto od dana čišćenja krajem februara 2024. godine i trajalo je tokom meseca marta 2024. godine.

U tabeli 2 prikazana je proizvodnja električne energije iz fotonaponskih panela povezanih na invertore Symo 20.0-3-M (1) i Symo 20.0-3-M (2) na dnevnom nivou za mart 2024. godine.

U martu 2024. godine očišćeni fotonaponski paneli povezani na inverter broj 1 (Symo 20.0-3-M (1)) proizveli su ukupno 2424,95 kWh, a neočišćeni fotonaponski paneli povezani na inverter 2 (Symo 20.0-3-M (2)) ukupno 2253,31 kWh. Razlika u proizvodnji električne energije fotonaponskih panela povezanih na ova dva invertora iznosi 171 kWh odnosno 7,05%.

#### V EKONOMSKA ANALIZA I OBRADA PODATAKA

Predmet ekonomske analize u ovom istraživanju je poređenje proizvodnje električne energije fotonaponskih panela u uslovima prirodne zaprljanosti i nakon sprovedenog čišćenja. Analiza se zasniva na podacima iz 2023. godine, pri čemu su upoređeni rezultati proizvodnja električne energije fotonaponskih panela povezanih na invertore 1 i 2. Neočišćeni fotonaponski paneli proizveli su ukupno 45,78 MWh u posmatranom periodu (slika 8). Uzimajući u obzir procenjeni porast efikasnosti od 7% nakon čišćenja, očekivana proizvodnja iznosila bi 48,98 MWh, što implicira potencijalno povećanje proizvodnje od približno 3,2 MWh na godišnjem nivou.



**Slika 8.** Proizvodnja električne energije fotonaponskih panela povezanih na invertore Symo 20.0-3-M (1) i Symo 20.0-3-M (2) u 2023. godini

Ekstrapolacijom ovih rezultata na celu krovnu fotonaponsku elektranu instalisane snage 700 kW, moguće je proceniti ekonomski efekat zaprljanosti na godišnji prihod. Uz pretpostavku da cena električne energije za privredne potrošače u Srbiji iznosi 120 €/MWh, dodatna proizvodnja od 3,2 MWh ostvarila bi vrednost od 384 € u okviru ispitivanih panelnih

nizova. Ako se isti stepen poboljšanja efikasnosti primeni na nivo cele elektrane, procenjeni dodatni prihod iznosio bi 6.720 € godišnje.

Trošak čišćenja fotonaponskih panela kreće se između 1,5 i 2 €/kW instalisane snage, u zavisnosti od pristupačnosti lokacije i konfiguracije elektrane. Za postrojenje snage 700 kW, ovaj trošak iznosi približno 1.400 €. U tom slučaju, jednokratno čišćenje elektrane na godišnjem nivou rezultovalo bi neto dobiti od oko 5.320 € u 2023. godini.

#### VIII ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja analiziran je uticaj zaprljanosti na proizvodnju električne energije krovne fotonaponske elektrane instalisane snage 700 kW u Gornjem Milanovcu. Rezultati pokazuju da redovno čišćenje fotonaponskih panela dovodi do statistički značajnog povećanja generisane električne energije.

Utvrđeno je da čišćenje panela povećava godišnju proizvodnju za oko 7%, što potvrđuje da akumulirane nečistoće imaju merljiv negativan efekat na efikasnost sistema. Ovakav nalaz naglašava potrebu za planiranim održavanjem kako bi se obezbedili optimalni radni uslovi i postigla maksimalna iskorišćenost raspoložive solarne energije.

Pored tehničkih i ekoloških benefita, ekonomska analiza ukazuje da se čišćenje panela isplati, jer rezultira dodatnim prihodom i doprinosi većoj dugoročnoj profitabilnosti investicije. Samim tim, implementacija redovnih strategija čišćenja i održavanja predstavlja važan element optimizacije performansi fotonaponskih elektrana.

#### LITERATURA

- [1] Zaihidee, F.M., Mekhilef, S., Seyadmahmoudian, M., Horan, B. Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, pp. 1267-1278, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.068>
- [2] Sayyah, A. M., Horenstein, N., Mazumder, M.K. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy*, Vol. 107, pp. 576-604, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.030>
- [3] Costa, S.C.S., Diniz, A.S.A.C., Kazmerski, L.L. Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012-2015, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 63, pp. 33-61, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.059>
- [4] Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., Kazmerski, L.L. A comprehensive review of the impact of the dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, pp. 698-733, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>
- [5] Mani, M., Pillai, R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 9, pp. 3124-3131, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>
- [6] Maag, C.R. Outdoor weathering performance of solar electric generators, *Energy*, Vol. 1, No. 6, pp. 376-381, 1977. <https://doi.org/10.2514/3.62347>
- [7] El-Shobokshy, M.S., Hussein, F.M. Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells, *Solar Energy*, Vol. 51, No. 6, pp. 505-511, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90135-B](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90135-B)
- [8] Darwish, Z.A., Kazem, H.A., Sopian, K., Al-Goul, M.A., Alawadhi, H. Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 735-744, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.068>
- [9] Radonjić, I., Pavlović, T., Mirjanić, D., Radović, M., Milosavljević, D., Pantić, L. Investigation of the impact of atmospheric pollutants on solar module energy efficiency, *Thermal Science*, Vol. 21, No. 5, pp. 2021-2030,

2017. <https://doi.org/10.2298/TSCI160408176R>

- [10] Radonjić-Mitić, I.S. *Ispitivanje energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove zaprljanosti u realnim klimatskim uslovima u Nišu*, Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Niš, 2018.
- [11] Mekhilef, S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 5, pp. 2920-2925, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>
- [12] Moharram, K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A., El-Sherif, H. Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels, *Energy Conversion and Management*, Vol. 68, pp. 266-272, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.022>

#### AUTORI

**dr Ivana Vlajić-Naumovska** - profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola

elektrotehnike i računarstva, ivana.vlajic.naumovska@viser.edu.rs, ORCID [0009-0003-6364-8154](https://orcid.org/0009-0003-6364-8154)

**dr Aleksandra Grujić** - profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, aleksandrag@gs.viser.edu.rs, ORCID [0000-0002-8372-2468](https://orcid.org/0000-0002-8372-2468)

**mr Neša Rašić** - predavač, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, nesar@viser.edu.rs, ORCID [0009-0000-8160-7653](https://orcid.org/0009-0000-8160-7653)

**msr Milan Ivezić** - Asistent, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, milan.ivezic@viser.edu.rs, ORCID [0009-0003-8260-4456](https://orcid.org/0009-0003-8260-4456)

**Petar Đorđević** - student Akademije tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, petardjordjevic700@gmail.com, ORCID [0009-0005-4216-3849](https://orcid.org/0009-0005-4216-3849)

## The Influence of Soiling of Photovoltaic Panels on the Production of Electricity from a Rooftop Photovoltaic Power Plant with a Capacity of 700 KW

**Abstract** – The paper analyses the influence of the soiling of photovoltaic panels on the production of electricity from the 700 kW rooftop photovoltaic power plant in Gornji Milanovac. Dirtiness of photovoltaic panels can cause the entire photovoltaic system to work and therefore generate less electricity. For the purposes of this paper, a practical test was carried out, which consists of comparing the electricity production of a series of cleaned and a series of uncleaned photovoltaic panels. Through detailed monitoring and measurement of electricity production, it was determined that regular cleaning of photovoltaic panels results in a significant increase in electricity production. The analysis of the measured results emphasizes the importance of regular maintenance of photovoltaic systems in order to achieve optimal performance and increase system utilization. In addition to environmental benefits, economic analysis shows that cleaning photovoltaic panels also brings financial benefits.

**Index terms** – PV panel soiling, PV panel cleaning, PV system maintenance