

Parcijalno energetska nezavisna stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije

Jovan Vujasinović
VF holding Beograd
Beograd, Srbija
jovan.vujasinovic@vholding.rs

Ilija Batas Bjelić
Institut tehničkih nauka Srpske akademije nauka i umetnosti
Beograd, Srbija
ilija.batas-bjelic@itn.sanu.ac.rs

Goran Savić
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
Beograd, Srbija
gsavic@etf.rs

Ilija Vujasinović
VF holding Beograd
Beograd, Srbija
ilija.vujasinovic@vholding.rs

Abstract— U ovom radu je opisana stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije. Definirana su tri tipa energetske nezavisnosti takve stanice i prikazani su rezultati simulacije rada parcijalno energetska nezavisne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. Prikazani su i benefiti primene scenarija parcijalne energetske nezavisnosti u situacijama u kojima kupac-proizvođač korišćenjem baterije u potpunosti troši proizvedenu električnu energiju za sopstvene potrebe, što posebno dolazi do izražaja kada se proizvedena električna energija plaća značajno manje nego utrošena električna energija.

Ključne reči—stanice za punjenje električnih vozila, punjači električnih vozila, obnovljivi izvori energije

I. UVOD

Jedan od najvećih uzroka zagađenja vazduha usled korišćenja fosilnih goriva je povećanje emisije ugljen-dioksida [1]. Takođe, zagađenje vazduha štetnim PM česticama postaje sve izraženije zbog značajnog povećanja broja automobila [2]. S obzirom da problem zagađenja vazduha postaje sve izraženiji, sve više dobija na značaju korišćenje energije dobijene iz obnovljivih izvora [3], kao i korišćenje električnih vozila u što većoj meri. Da bi efekat smanjenja zagađenja vazduha bio što veći, neophodno je da električni automobili koriste punjače koji se napajaju energijom iz obnovljivih izvora. S tim u vezi, značajnu ulogu igraju i stanice za punjenje električnih vozila koje se napajaju iz obnovljivih izvora energije.

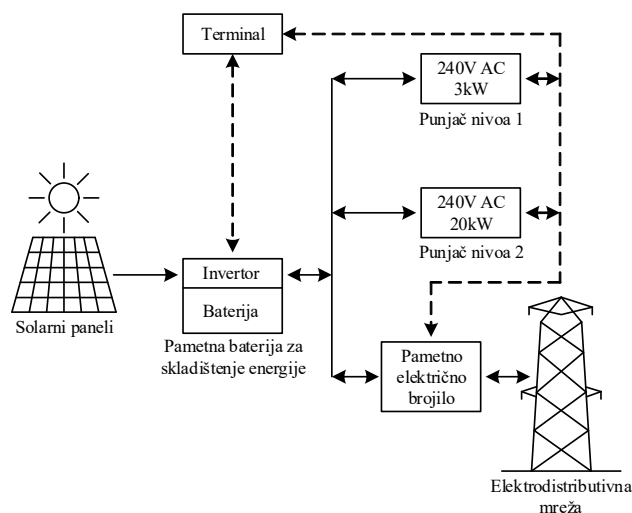
Načini za upravljanje stanicom za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije su već opisani u literaturi [4], kao i načini za integraciju tih stanica u pametne mreže [5], [6].

U drugom poglavlju ovog rada je opisana stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije. Tri tipa energetske nezavisnosti stanice za punjenje električnih vozila su definisane u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju su prikazani rezultati simulacije rada parcijalno energetska nezavisne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. U petom poglavlju je predstavljen kratak zaključak.

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Vlade Republike Srbije ugovorom pod brojem 451-03-137/2025-03/200103.

II. STANICA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA KOJA SE NAPAJA IZ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Dijagram kojim je predstavljena stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije, a koja je namenjena za korišćenje za potrebe domaćinstava, je prikazan na Sl. 1.



Sl. 1 Stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije.

Ovakva vrsta stanica može da ima jedan ili dva punjača za električna vozila. Ti punjači mogu biti punjači nivoa 1 ili punjači nivoa 2. Punjači nivoa 1 su jednofazni punjači sa jednosmernim ili naizmeničnim strujama [7], [8]. Punjači nivoa 1 u Evropi imaju efektivnu vrednost naizmeničnog napona do 240V i mogu da isporuče maksimalne struje između 13A i 16A, i snagu oko 3kW. Snaga punjača nivoa 1 u Severnoj Americi je približno 1.9kW, a mogu da isporuče maksimalne struje od 16A pri efektivnoj vrednosti naizmeničnog napona od 120V. Punjači nivoa 2 su jednofazni ili trofazni punjači sa jednosmernim ili naizmeničnim strujama [7], [8]. Punjači nivoa 2 mogu da obezbede 80A maksimalne struje, pri efektivnoj vrednosti naizmeničnog napona između 208V-240V, sa tipičnom snagom od oko 20kW.

Jedna opcija je da stanica poseduje jedan punjač za električna vozila nivoa 1, druga opcija je da stanica poseduje jedan punjač za električna vozila nivoa 2, treća opcija je da stanica poseduje dva punjača za električna vozila nivoa 1, a četvrta opcija (koja je i prikazana na Sl. 1) je da stanica poseduje jedan punjač za električna vozila nivoa 1 i jedan punjač za električna vozila nivoa 2. Svaka od ovih opcija može da zadovolji potrebe jednog domaćinstva. Za napajanje ovih stanica se koriste solarni paneli, kao i elektrodistributivna mreža. Na dijagramu, prikazanom na Sl. 1, punim linijama su predstavljeni tokovi energije, a isprekidanim linijama su predstavljeni komunikacioni signali. Strelicama su označeni smerovi tokova energije i komunikacionih signala.

III. TIPOVI ENERGETSKE NEZAVISNOSTI STANICA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

Generalno govoreći, stanice za punjenje električnih vozila koje se napajaju iz obnovljivih izvora energije se mogu kategorisati u tri tipa, u zavisnosti od nivoa njihove energetske nezavisnosti.

Tokom letnjih meseci, kada solarni paneli proizvode onoliko energije koliko je potrebno stanici za punjenje električnih vozila, stanici nije potrebna dodatna energija iz elektrodistributivne mreže. Međutim, tokom zime, jeseni i proleća, stanici je potrebna dodatna energija koju može preuzeti iz elektrodistributivne mreže. Za situacije kada je cena energije koja se isporučuje u elektrodistributivnu mrežu znatno niža od cene energije preuzete iz elektrodistributivne mreže, ekonomski je isplativo da stanica energiju proizvedenu iz sopstvenih izvora (solarnih panela) koristi što je više moguće za sopstvene potrebe, odnosno da je minimalno isporučuje u elektrodistributivnu mrežu. Da bi ovo bilo izvodljivo, neophodno je imati bateriju i terminal za upravljanje energijom u stanici za punjenje električnih vozila. Navedeno stanje je u većini zemalja prisutno od uvođenja obnovljivih izvora električne energije. Elektrodistribucije, odnosno snabdevači električnom energijom, uglavnom nisu zainteresovani za plaćanje kupljene energije klijentima koji koriste privatne solarne elektrane (solarne panele) ili druge obnovljive izvore energije. Ovaj slučaj se može nazvati parcijalnom energetsom nezavisnošću stanice za punjenje električnih vozila.

Međutim, u poslednje vreme se u pojedinim zemljama pojavila politička volja koja državnim elektrodistribucijama, odnosno državnim snabdevačima električnom energijom nameće obavezu da preuzmu energiju dobijenu iz obnovljivih izvora od potrošača po istoj ceni po kojoj im se naplaćuje isporučena energija. Ovo je uglavnom ograničeno na neke niže snage. U takvim situacijama ulogu baterije preuzima elektrodistributivna mreža, a solarnu elektranu (solarne panele) je moguće dimenzionisati tako da energija koja se uzima iz elektrodistributivne mreže na godišnjem nivou bude jednaka energiji koja se isporučuje u mrežu. U ovom slučaju, račun za električnu energiju za potrošača praktično postaje nula. Ovaj slučaj se može nazvati optimalnom energetsom nezavisnošću.

Uporedo sa navedenim trendovima pojavljuju se i klijenti koji takođe imaju zadovoljavajuću ugovorenu cenu za proizvedenu energiju, a koji nemaju ograničenje snage, odnosno gde je jedino ograničenje instalisane snage. Takvi klijenti mogu

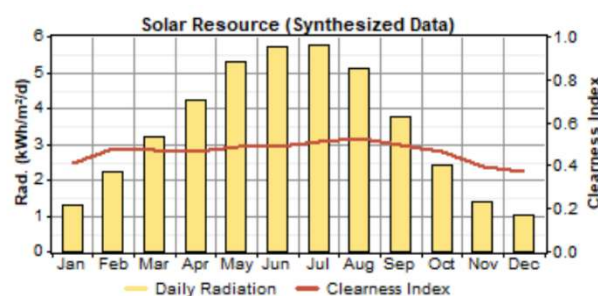
dimenzionisati svoju solarnu elektranu tako da čak i u zimskim mesecima kada elektrana proizvodi najmanje energije, ona i dalje bude dovoljna da pokrije energetske potrebe potrošača. Ovaj slučaj se može nazvati punom energetsom nezavisnošću.

IV. SIMULACIJA RADA PARCIJALNO ENERGETSKI NEZAVISNE STANICE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

U ovom poglavlju je opisana izvršena simulacija rada parcijalno energetske nezavisne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. Pomenuti tip energetske nezavisnosti stanice za punjenje električnih vozila je simuliran pomoću softvera HOMER. Softver HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) je široko korišćen u istraživačkoj zajednici [9], kao i u dosadašnjem radu u Srbiji [10]. Na osnovu unete geografske širine i dužine, softver HOMER izvlači iz baze podataka indeks preglednosti (Clearness Index) i prosečnu radijaciju (Daily Radiation) za datu lokaciju. Ove vrednosti, koje se koriste za simulaciju rada parcijalno energetske nezavisne stanice za punjenje električnih vozila za predmetnu lokaciju u Srbiji, su predstavljene u Tabeli I i na Sl. 2.

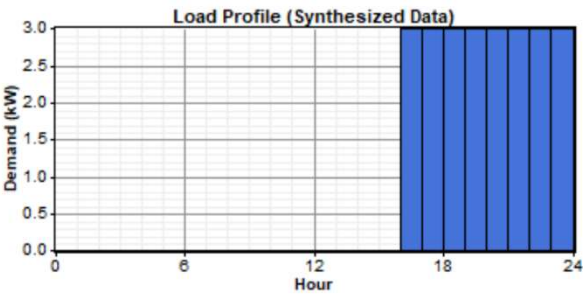
TABELA I. SOLARNI RESURSI

Mesec	Indeks preglednosti	Prosečna radijacija (kWh/m ² /dan)
Januar	0.410	1.310
Februar	0.482	2.240
Mart	0.473	3.220
April	0.466	4.250
Maj	0.487	5.280
Jun	0.492	5.700
Jul	0.515	5.770
Avugust	0.525	5.120
Septembar	0.498	3.780
Oktobar	0.463	2.440
Novembar	0.393	1.380
Decembar	0.375	1.040



Sl. 2 Solarni resursi (sintetizovani podaci).

Na Sl. 3 je prikazan profil opterećenja (Load Profile) po satima (Hour) za punjač nivoa 1 čije je opterećenje (Demand) neodloživo, za radni dan.

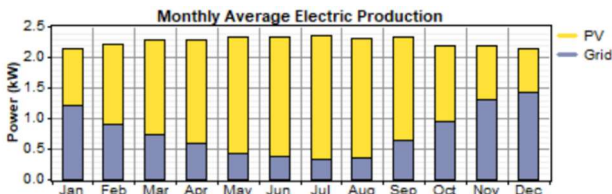


Sl. 3 Profil opterećenja.

U Tabeli II je prikazana raspodela korišćenja električne energije iz sopstvene proizvodnje i korišćenja energije iz elektrodistributivne mreže, a na Sl. 4 je prikazan pregled srednjih vrednosti korišćenja energije iz sopstvene proizvodnje i mreže po mesecima (Monthly Average Electric Production).

TABELA II. KOMPONENTE KORIŠĆENE ENERGIJE

Komponenta	Proizvodnja (kWh/godina)	Procenat
Sopstvena proizvodnja	13013	66%
Energija iz mreže	6777	34%
Ukupno	19790	100%



Sl. 4 Pregled srednjih vrednosti korišćenja energije.

Iz Tabele III se može videti koji procenat potrošnje se odnosi na neodloživa opterećenja, koji procenat se odnosi na odloživa opterećenja i koji procenat energije se isporučuje elektrodistributivnoj mreži.

TABELA III. KOMPONENTE POTROŠNJE

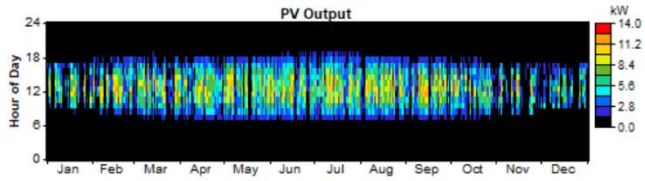
Opterećenje	Potrošnja (kWh/godina)	Procenat
Neodloživa opterećenja	8760	50%
Odloživa opterećenja	8747	49%
Prodaja u elektrodistributivnu mrežu	165	1%
Ukupno	17672	100%

TABELA IV. FOTONAPONSKI PANELI

Veličina	Vrednost	Jedinica
Nominalni kapacitet	11.1	kW
Ukupna proizvodnja	13013	kWh/godina
Minimalni iznos	0	kW
Maksimalni iznos	10.5	kW
Sati rada	4389	h/godina

U Tabeli IV je prikazan kapacitet fotonaponskih (solarnih) panela, kao i sati rada i ukupna proizvodnja električne energije na nivou godine, a na Sl. 5 su detaljnije prikazane izlazne

vrednosti snage fotonaponskih panela (PV Output) po mesecima i periodima dana (Hour of Day) u kojima su bili aktivni.

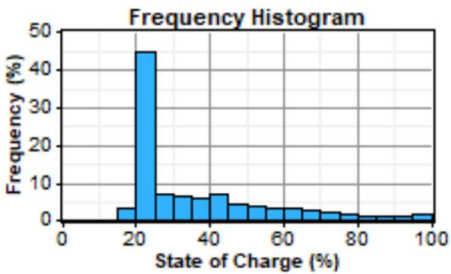


Sl. 5 Izlazne vrednosti snage fotonaponskih panela.

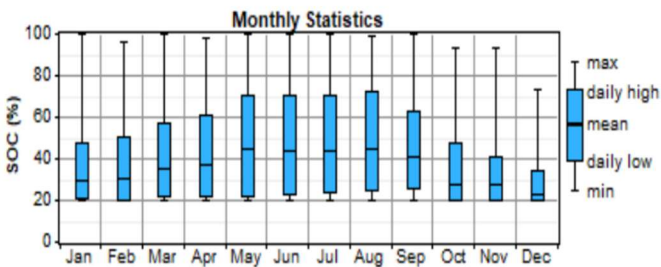
U Tabeli V su prikazane karakteristike baterije koja je sastavljena od baterijskih ćelija, a koja je korišćena u simulaciji. Da bi se detaljnije predstavile karakteristike punjenja baterija, na Sl. 6 je prikazan histogram učestanosti procenta napunjenosti baterije, na Sl. 7 je prikazana statistika napunjenosti baterije (SOC – State of Charge) po mesecima, a na Sl. 8 je prikazano stanje napunjenosti (Battery Bank State of Charge) baterije po mesecima i periodima dana (Hour of Day).

TABELA V. KARAKTERISTIKE BATERIJE

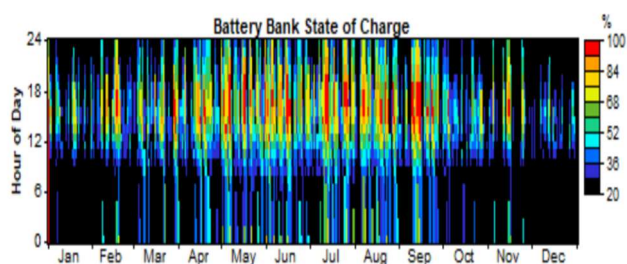
Veličina	Vrednost	Jedinica
Veličina niza	27	
Nizovi u paraleli	1	
Baterije	27	
Napon	324	V
Nominalni kapacitet	64.8	kWh
Korišćenje nominalnog kapaciteta	51.8	kWh
Autonomija	25.9	h
Propusnost životnog veka	24759	kWh
Ulazna energija	9426	kWh/godina
Izlazna energija	7586	kWh/godina
Trošenje baterije	52	kWh/godina
Gubici	1788	kWh/godina
Godišnja propusnost	8481	kWh/godina
Očekivani životni vek	2.92	godina



Sl. 6 Histogram učestanosti procenta napunjenosti baterije.



Sl. 7 Statistika napunjenosti baterije po mesecima.

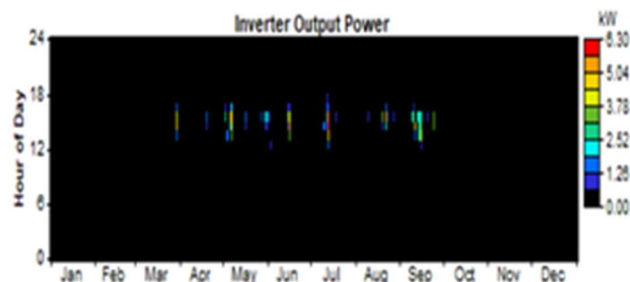


Sl. 8 Stanje napunjenosti baterije.

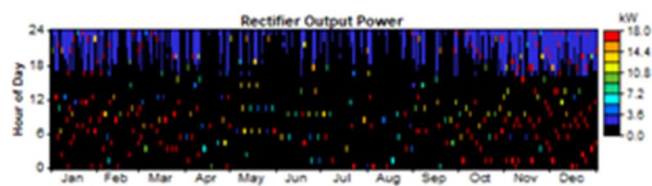
Iz Tabele VI se može videti statistika rada trofaznog hibridnog invertora. Na Sl. 9 je prikazana izlazna snaga invertora (Inverter Output Power), odnosno snaga električne energije koja se isporučuje u elektrodistributivnu mrežu, a na Sl. 10 je prikazana izlazna snaga ispravljača (Rectifier Output Power), odnosno snaga električne energije koja se preuzima iz elektrodistributivne mreže po mesecima i periodima dana.

TABELA VI. STATISTIKA RADA TROFAZNOG HIBRIDNOG INVERTORA

Veličina	Invertor	Ispravljač	Jedinica
Kapacitet	10	20	kW
Operativni sati	87	1529	h/godina
Ulazna energija	172	6777	kWh/godina
Izlazna energija	165	6506	kWh/godina
Gubici	7	271	kWh/godina



Sl. 9 Izlazna snaga invertora.



Sl. 10 Izlazna snaga ispravljača.

U Tabeli VII, Tabeli VIII i Tabeli IX, prikazane su količine energije koje su preuzete iz elektrodistributivne mreže i količine energije koje su isporučene u elektrodistributivnu mrežu po mesecima i ukupno za dnevnu i noćnu tarifu, kao i ukupne količine energije koje su preuzete iz i isporučene u elektrodistributivnu mrežu.

TABELA VII. MREŽA – DNEVNA TARIFA

Mesec	Kupljena energija (kWh)	Prodana energija (kWh)	Neto nabavka (kWh)
Januar	718	1	717
Februar	470	0	470
Mart	384	13	370
April	287	3	283
Maj	252	37	215
Jun	206	22	185
Jul	163	30	134
Avgust	178	18	160
Septembar	337	42	295
Oktobar	515	0	515
Novembar	748	0	748
Decembar	828	0	828
Godišnje	5086	165	4921

TABELA VIII. MREŽA – NOĆNA TARIFA

Mesec	Kupljena energija (kWh)	Prodana energija (kWh)	Neto nabavka (kWh)
Januar	185	0	185
Februar	132	0	132
Mart	162	0	162
April	150	0	150
Maj	74	0	74
Jun	65	0	65
Jul	87	0	87
Avgust	90	0	90
Septembar	118	0	118
Oktobar	192	0	192
Novembar	198	0	198
Decembar	238	0	238
Godišnje	1691	0	1691

TABELA IX. MREŽA – UKUPNO

Mesec	Kupljena energija (kWh)	Prodana energija (kWh)	Neto nabavka (kWh)
Januar	903	1	902
Februar	601	0	601
Mart	546	13	533
April	437	3	434
Maj	325	37	289
Jun	271	22	250
Jul	250	30	221
Avgust	268	18	250
Septembar	456	42	413
Oktobar	707	0	707
Novembar	946	0	946
Decembar	1066	0	1066
Godišnje	6777	165	6612

Izvršena simulacija pokazuje da je upravljanje energijom u predmetnoj stanici za punjenje električnih vozila izvršeno na način koji je obezbedio da se energija proizvedena iz sopstvenih resursa (solarni paneli) maksimalno koristi za sopstvene potrebe, odnosno minimalno isporučuje u mrežu. Od proizvedenih

13013kWh (Tabela II), samo 165kWh (Tabela IX) je predato u elektrodistributivnu mrežu, dok je ostatak, odnosno skoro 99% proizvedene energije, utrošen za sopstvene potrebe. Ovakav način upravljanja je od velikog interesa za stanice koje ne dobijaju nadoknadu za energiju isporučenu u elektrodistributivnu mrežu, ili dobijaju neki minimalni, znatno niži iznos od cene plaćene za primljenu energiju iz elektrodistributivne mreže. To je slučaj u mnogim zemljama, jer elektrodistribucije, odnosno dobavljači, uglavnom nisu zainteresovani da plaćaju energiju preuzetu iz privatnih solarnih elektrana.

Ukoliko stanica za punjenje električnih vozila ne bi imala terminal i bateriju, sva energija baterije od 7586kWh (Tabela V) bi bila isporučena u elektrodistributivnu mrežu. Dodavanjem 165kWh ovoj vrednosti dobijamo da bi ukupno 7751kWh, od proizvedenih 13013kWh, bilo isporučeno u elektrodistributivnu mrežu. Toliko energije bi se dodatno uzimalo iz mreže, dok bi se samo 5262kWh, odnosno 40% energije proizvedene iz sopstvenih izvora, trošilo za sopstvene potrebe. Cena struje se u poslednje vreme kretala od 100 do 300 EUR/MWh. Ako se računa da je prosečna cena električne energije 200 EUR/MWh, to znači da bi u režimu rada bez terminala i baterije vlasnik stanice morao da plati dodatnih 1550 EUR godišnje za troškove preuzete električne energije. Ovo pokazuje korisnost primene terminala u ovoj osnovnoj situaciji. Treba napomenuti da terminal donosi još veće uštede, odnosno još veći prihod u naprednom režimu u kojem se koristi za trgovinu električnom energijom.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisana stanica za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije i prikazani su rezultati simulacije rada parcijalno energetski nezavisne stanice tog tipa. Prikazani su i benefiti primene scenarija parcijalne energetske nezavisnosti u situacijama u kojima snabdevač nije spreman da preuzme proizvedenu električnu energiju, ili je spreman da je preuzme po niskoj ili čak negativnoj ceni. Na ovaj način se dobija značajno smanjenje troška za utrošenu električnu energiju u noćnim tarifama. S obzirom da se u ovom scenariju sva proizvedena energija potroši u stanici, odnosno ništa se ne isporuči u elektrodistributivnu mrežu, značajno se smanjuje i trošak mrežarine, kao i maksimalne snage.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] Q. A. Al-Haija and M. Smadi, "Parametric prediction study of global energy-related carbon dioxide emissions," In Proceedings of the International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, Turkey, June 2020.
- [2] H. Yu, Y. Liu, J. Li and M. Fang, "Investigations on the emission characteristics of China VI gasoline passenger cars," In Proceedings of the 4th International Conference on Power and Energy Engineering (ICPEE), Xiamen, China, November 2020.
- [3] B. Ersoz and H. I. Bulbul, "A research on importance of using renewable energy sources by organizations within the scope of Green Deal preparations," In Proceedings of the 11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Istanbul, Turkey, September 2022.
- [4] J. Vujasinovic, G. Savic and M. Prokin, "Terminal for remote control of renewable energy sources powered station for electric vehicles charging," In Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, Budva, Montenegro, June 2021.

- [5] P. Arunkumar and K. Vijith, "IOT enabled smart charging stations for electric vehicle," International Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 119, 2018, pp. 247-252.
- [6] J. Vujasinovic and G. Savic, "Demand side management and integration of a renewable sources powered station for electric vehicle charging into a smart grid," In Proceedings of the 15th International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, Romania, May 2021.
- [7] EvoCharge. Available online: <https://evocharge.com/resources/the-difference-between-level-1-2-ev-chargers> (accessed on 10th Feb 2025).
- [8] U.S. Department of Transportation. Available online: <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/charging-speeds> (accessed on 10th Feb 2025).
- [9] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen and M. Leahy, "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems," Applied Energy, vol. 87, 2010, pp. 1059-1082.
- [10] I. Batas Bjelic and R. M. Ciric, "Optimal distributed generation planning at a local level – A review of Serbian renewable energy development," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 39, 2014, pp. 79-86.

ABSTRACT

In this paper a charging station for electric vehicles powered by renewable energy sources is described. Three types of energy independence of such a station are defined and the results of the simulation of the operation of a partially energy-independent electric vehicle charging station powered by renewable energy sources are presented. The benefits of applying the scenario of partial energy independence in situations where the prosumer using the battery fully consumes the produced electricity for its own needs are also shown, which is especially evident when the produced electricity is paid significantly less than the consumed electricity.

PARTIALLY ENERGY-INDEPENDENT CHARGING STATION FOR ELECTRIC VEHICLES POWERED BY RENEWABLE ENERGY SOURCES

Jovan Vujasinović, Goran Savić, Ilija Batas Bjelić, Ilija Vujasinović