

Dimenzionisanje rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije

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

Željko Despotović
Institut Mihailo Pupin
Beograd, Srbija
zeljko.despotovic@pupin.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 opisan postupak dimenzionisanja rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. Pored toga, opisana je i podela stanica za punjenje električnih vozila, data je kategorizacija punjača električnih vozila, kao i prikaz rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila. Pokazano je da se sa postojećim stanjem tehnologije, rezidencijalna stanica za punjenje električnih vozila može implementirati i jednostavno integrisati u okvir tipičnog domaćinstva, stvarajući održivo i efikasno rešenje.

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

I. UVOD

Značaj dobijanja energije iz obnovljivih izvora se povećava kako problemi zagađenja vazduha postaju sve izraženiji [1]. Značajno povećanje emisije ugljen-dioksida, kao rezultat korišćenja fosilnih goriva, jedan je od glavnih uzroka zagađenja vazduha [2]. Korišćenje obnovljivih izvora energije je jedan od najboljih načina da se smanji količina toksičnih gasova koji se ispuštaju u atmosferu. Zbog velikog porasta broja automobila širom sveta, zagađenje vazduha, posebno štetnim PM česticama, postaje sve veći izazov i problem [3]. Ove čestice nastaju kao produkt sagorevanja goriva kod automobila na benzin i dizel pogon.

Glavni načini na koje se pomenuti problemi mogu rešiti su korišćenje obnovljivih izvora energije i korišćenje električnih vozila u što većoj meri. Drugim rečima rečeno, veliko smanjenje zagađenja vazduha bilo bi omogućeno upotrebom električnih automobila koji koriste punjače koji se napajaju energijom iz obnovljivih izvora. S tim u vezi, neophodno je obezbediti i odgovarajuće upravljanje stanicama za punjenje električnih vozila koje se napajaju iz obnovljivih izvora energije.

U literaturi su opisani načini za upravljanje stanicom za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije [4], kao i načini za integraciju stanica za punjenje električnih vozila u pametne mreže [5], [6]. Pregled stanja u oblasti sistema za upravljanje energijom u domaćinstvu je predstavljen u [7]. Sa druge strane, u ovom radu će biti reči o tome kako dimenzionisati jedan tip stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora energije.

U drugom poglavlju ovog rada su navedene i opisane kategorije punjača električnih vozila, kao i kategorije stanica za punjenje električnih vozila. U trećem poglavlju je opisano dimenzionisanje rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. U četvrtom poglavlju je predstavljen kratak zaključak.

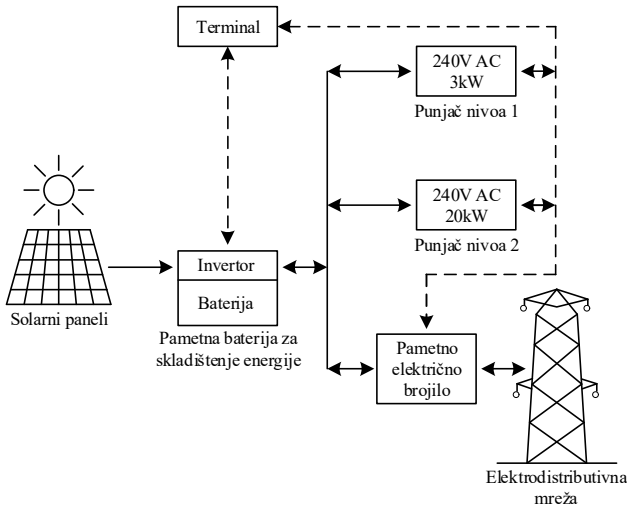
II. KATEGORIJE PUNJAČA ELEKTRIČNIH VOZILA I STANICA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

Uopšteno govoreći, punjači električnih vozila se mogu kategorisati u tri nivoa u zavisnosti od njihove snage [8]:

- Punjači nivoa 1 su jednofazni punjači (sa jednosmernim ili naizmeničnim strujama), koje prvenstveno koriste rezidencijalni korisnici ili domaćinstva [9], [10]. Ovi punjači, koji imaju efektivnu vrednost naizmeničnog napona do 240V i mogu da isporuče maksimalne struje između 13A i 16A, obično imaju snagu oko 3kW u Evropi. Njihova snaga 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), koji se prvenstveno koriste u javnim prostorima i od strane industrijskih korisnika [9], [10]. Ovi punjači se ređe koriste u domaćinstvima. Ovaj tip punjača može da obezbedi 80A maksimalne struje, pri efektivnoj vrednosti naizmeničnog napona između 208V-240V, sa tipičnom snagom od oko 20kW.
- Punjači nivoa 3 su punjači sa jednosmernim strujama, koji se prvenstveno koriste za brzo punjenje u javnim prostorima, posebno onim koji su dostupni na dužim putovanjima [9], [10]. Ovi punjači imaju snagu od 240kW i mogu isporučiti 400A maksimalne struje pri maksimalnom jednosmernom naponu od 600V. Od punjača do punjača, naponi i struje se u izvesnoj meri mogu razlikovati od navedenih vrednosti.

Stanice za punjenje električnih vozila se mogu podeliti, u zavisnosti od veličine i zahteva koje ispunjavaju, u tri različite kategorije: rezidencijalne, komercijalne i industrijske.

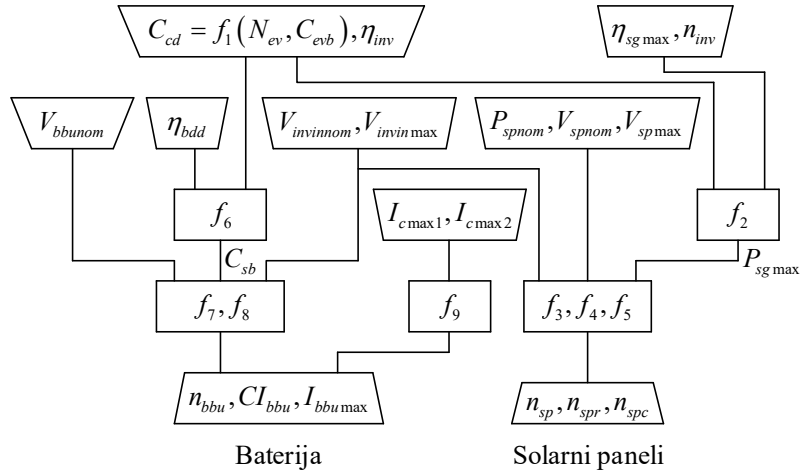
Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Vlade Republike Srbije ugovorima pod brojevima 451-03-137/2025-03/200103 i 51-03-136/2025-03/200034.



Sl. 1 Rezidencijalna stanica za punjenje električnih vozila.

Rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila su namenjene za korišćenje isključivo za potrebe domaćinstava.

Punjači električnih vozila



Sl. 2 Dijagram toka postupka za dimenzionisanje rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila.

Na Sl. 2 je prikazan dijagram toka postupka za dimenzionisanje rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila. Opisi parametara iz dijagrama sa Sl. 2 su prikazani u Tabeli I. Pošto je rezidencijalna stanica za punjenje električnih vozila namenjena samo za potrebe odgovarajućeg domaćinstva, polazi se od pretpostavke da će stanica u jednom danu imati dovoljno energije za punjenje dva putnička automobila:

$$N_{ev} = 2. \quad (1)$$

Tipična baterija putničkog automobila ima kapacitet:

$$C_{evb} = 24\text{kWh} \quad (2)$$

tako da je za punjač nivoa 1 (koji može da obezbedi maksimalnu struju od $I_{cmax1}=16\text{A}$) potrebno 7.8 sati za punjenje 80% kapaciteta baterije, dok je punjaču nivoa 2 (koji može da obezbedi maksimalnu struju od $I_{cmax2}=80\text{A}$) potrebno 1.2 sata. To pokazuje da je rezidencijalnoj stanici dnevno potrebno:

Predviđeno je da ove stanice imaju jedan ili dva punjača za električna vozila. Jedan punjač za električna vozila nivoa 1, ili jedan punjač za električna vozila nivoa 2, ili dva punjača za električna vozila nivoa 1, ili maksimalna opcija — koja je prikazana na Sl. 1 — jedan punjač za električna vozila nivoa 1 i jedan punjač za električna vozila nivoa 2 su opcije koje mogu da zadovolje potrebe jednog domaćinstva. Sve što je potrebno za napajanje ovih stanica su solarni paneli. Na dijagramu, prikazanom na Sl. 1, pune linije predstavljaju tokove energije, dok isprekidane linije predstavljaju komunikacione signale. Strelice predstavljaju smerove tokova energije i komunikacionih signala, odnosno strelice pokazuju da li su tokovi energije i komunikacije jednosmerni ili dvosmerni.

III. DIMENZIONISANJE REZIDENCIJALNE STANICE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

U ovom poglavlju je opisano dimenzionisanje rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije.

$$f_1 : C_{cd} = N_{ev} \cdot C_{evb} = 48\text{kWh} \quad (3)$$

električne energije. To znači da za autonomnu rezidencijalnu stanicu (tj. stanicu koja sama proizvodi dovoljno električne energije da ne zavisi od električne mreže), njena solarna elektrana mora imati kapacitet da proizvede 48kWh električne energije dnevno.

U zavisnosti od intenziteta sunčeve svetlosti tokom dana, snaga solarne elektrane varira i retko prelazi 80% maksimalne snage koju solarni paneli mogu proizvesti. Prema empirijskim nalazima, energija koju solarna elektrana može da proizvede tokom letnjih meseci može se izračunati kao energija koju bi solarna elektrana proizvela tokom perioda od 5 sati dok radi pri maksimalnoj snazi (čime je određena efikasnost η_{sgmax}). Shodno tome, pod pretpostavkom da nema gubitaka, lako se može izračunati da je samoodrživoj rezidencijalnoj stanici za punjenje električnih vozila potrebna solarna elektrana sa maksimalnom snagom:

$$C_{cd} / 5h = 9.6kW. \quad (4)$$

Međutim, mora se uzeti u obzir činjenica da se gubici dešavaju tokom konverzije i skladištenja energije, tako da je potrebno predvideti ukupne gubitke od oko 14%. Kada bi postojala samo konverzija energije iz jednosmernog napona solarnih panela u naizmenični napon punjača, gubici bi obično bili između 7% i 8% (što znači da je odgovarajuća efikasnost $\eta_{inv}=0.92-0.93$), što odgovara slučaju kada bi energija sa solarnih panela bila prosleđena direktno punjačima. Ali pošto stanica obično radi u režimu dvostruke konverzije energije (koji je označen kao $n_{inv}=2$ i koji obuhvata i skladištenje energije u baterijama pre konverzije u naizmenični napon punjača), očekivani gubici su između 14% i 16%. Prema tome, u slučaju kada je konverzija energije iz jednosmernog napona solarnih panela u naizmenični napon punjača 7%, ukupni gubici za režim dvostruke konverzije energije su:

$$7\% \cdot n_{inv} = 14\%. \quad (5)$$

Energija sa solarnih panela se konvertuje i skladišti u baterijama tokom dana, a tokom noći jednosmerni napon iz baterija se pretvara u naizmenični napon punjača. Shodno tome, potrebno je da solarna elektrana bude dizajnirana sa maksimalnom snagom:

$$f_2 : P_{sgmax} = 9.6kW / (1 - ((1 - \eta_{inv}) \cdot n_{inv})) = 11.1kW. \quad (6)$$

Ukupan broj solarnih panela, koji imaju nominalnu snagu $P_{spnom}=370W$, potrebnih za solarnu elektranu u tom slučaju je:

$$f_3 : n_{sp} = P_{sgmax} / P_{spnom} = 30. \quad (7)$$

Površina od 51m² potrebna za ove solarne panele može da stane na jednu polovinu krova tipične kuće u slučaju da kuća ima površinu osnove od 100m². Za maksimalnu efikasnost, najbolje je postaviti ove panele na južnu i jugoistočnu stranu krova.

TABELA I. OPIS PARAMETARA IZ DIJAGRAMA SA SL. 2

Naziv parametra	Opis parametra
N_{ev}	Broj putničkih automobila
C_{evb}	Kapacitet skladištenja energije baterije putničkog automobila
I_{cmax1}	Maksimalna izlazna struja koju može da obezbedi punjač nivoa 1
I_{cmax2}	Maksimalna izlazna struja koju može da obezbedi punjač nivoa 2
C_{cd}	Električna energija potrebna rezidencijalnoj stanici na dnevnom nivou
η_{sgmax}	Efikasnost solarne elektrane
η_{inv}	Efikasnost konverzije jednosmernog napona solarnog panela u naizmenični napon punjača
n_{inv}	Broj nivoa konverzije energije
P_{sgmax}	Maksimalna snaga solarne elektrane
n_{sp}	Ukupan broj solarnih panela
P_{spnom}	Nominalna snaga jednog solarnog panela
V_{invmin}	Nominalni ulazni napon invertora
V_{invmax}	Maksimalni ulazni napon invertora
V_{invmin}	Minimalni ulazni napon invertora
V_{spmax}	Maksimalni napon koji može da generiše solarni panel
V_{spnom}	Nominalni napon koji generiše solarni panel
n_{spr}	Broj redno povezanih solarnih panela
n_{spc}	Broj paralelno povezanih kolona solarnih panela
C_{sb}	Nominalni kapacitet skladištenja energije baterije u rezidencijalnoj stanici
η_{bdd}	Dubina pražnjenja baterije u rezidencijalnoj stanici
n_{bbu}	Ukupan broj elementarnih baterijskih jedinica u rezidencijalnoj stanici
V_{bbunom}	Nominalni napon elementarne baterijske jedinice
CI_{bbu}	Strujni kapacitet elementarne baterijske jedinice
I_{bbumax}	Maksimalna struja pražnjenja elementarne baterijske jedinice
f_1	Funkcija koja računa C_{cd} na osnovu (3)
f_2	Funkcija koja računa P_{sgmax} na osnovu (6)
f_3	Funkcija koja računa n_{sp} na osnovu (7)
f_4	Funkcija koja računa n_{spr} na osnovu (9)
f_5	Funkcija koja računa n_{spc} na osnovu (10)
f_6	Funkcija koja računa C_{sb} na osnovu (13)
f_7	Funkcija koja računa n_{bbu} na osnovu (14)
f_8	Funkcija koja računa CI_{bbu} na osnovu (15)
f_9	Funkcija koja računa I_{bbumax} na osnovu (16)

Invertor i baterija sačinjavaju pametnu bateriju. Optimizacija performansi povezanih baterija i invertora je ključna

komponenta upravljanja pametnim baterijama. Empirijski nalazi pokazuju da je pri izboru invertora za solarnu elektranu

preporučljivo izabrati onaj koji ima maksimalnu snagu koja je ekvivalentna 80% maksimalne snage solarnih panela. Sve dok solarni paneli ne proizvode više snage od toga, sistem funkcioniše pouzdano. Prednost ovog tipa invertora je što ima niži startni napon, što mu omogućava da funkcioniše čak i u situacijama kada je intenzitet sunčeve svetlosti manji. Kao rezultat, solarna elektrana će imati povećanu efikasnost. Nominalni ulazni napon invertora je obično oko $V_{invinom}=300V$ (pri čemu inverter može izdržati maksimalni napon $V_{invinmax}=500V$, a kada se pokreće dovoljan mu je napon $V_{invinmin}=100V$), u situaciji kada generiše jednofazno napajanje naizmjeničnom strujom. Kada inverter generiše trofazno napajanje naizmjeničnom strujom, nominalni ulazni napon invertora je obično oko $V_{invinom}=600V$ (pri čemu inverter može izdržati maksimalni napon $V_{invinmax}=1000V$, a kada se pokreće dovoljan mu je napon $V_{invinmin}=200V$). S obzirom da je maksimalni napon koji solarni panel može da generiše tipično $V_{spmax}=36V$, a njegov nominalni napon tipično $V_{spnom}=24V$, može se zaključiti da najmanje 13 solarnih panela treba da bude redno povezano da bi se dostigao napon $V_{invinom}$:

$$V_{invinom} / V_{spnom} = 12.5. \quad (8)$$

Pri ovom scenariju, dve kolone od 13 solarnih panela povezanih redno, i treća kolona od 4 solarna panela povezana redno, bi bile neophodne da bi se dostigao ukupan broj solarnih panela n_{sp} . Međutim, bolje rešenje je korišćenje dve paralelno povezane kolone od 15 redno povezanih solarnih panela:

$$f_4 : n_{spr} = 15, \quad (9)$$

$$f_5 : n_{spe} = 2. \quad (10)$$

Iako inverter može da radi i na nižim naponima, on ipak najbolje radi pri nominalnom naponu. Inverter koristi jednosmerni napon koji generišu solarni paneli kako bi ga pretvorio ili u jednosmerni napon od 300V za punjenje baterije ili u naizmjenični napon od 240V za direktno napajanje punjača električnih vozila. Ovo su dva osnovna načina na koje inverter može da funkcioniše. Postoji i dodatni, treći, režim rada, u kojem inverter transformiše energiju i jednosmerni napon sa baterija u naizmjenični napon od 240V tako da punjač može da dobije direktno napajanje. Takođe, inverter je u stanju da kombinuje različite režime rada. Jedan primer kombinovanja različitih režima rada je situacija u kojoj se baterija i punjač napajaju iz invertora koristeći energiju solarnih panela. Pored toga što može automatski da promeni svoj režim rada kao odgovor na eksterne komande, inverter takođe može da prepozna promene u okruženju i reaguje u skladu sa tim. Pošto inverter radi sa najmanjim gubicima i sa najboljim performansama pri svom nominalnom naponu, baterije se koriste za obezbeđivanje jednosmernog napona od 300V. Pošto su oba punjača u rezidencijalnoj stanici uključena, inverter u najgorem slučaju treba isporučiti maksimalnu struju od:

$$I_{cmax1} + I_{cmax2} = 96A. \quad (11)$$

Važno je izračunati kapacitet baterija kako bi se osiguralo da imaju dovoljno kapaciteta za skladištenje energije da izdrže celokupnu dnevnu proizvodnju električne energije solarne elektrane rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila. To je bitno zbog činjenice da se električni automobili u

domaćinstvima obično pune noću, a energija se prikuplja samo tokom dana kada je prisutna sunčeva svetlost. Stoga bi idealna baterija bila ona koja može da uskladišti energiju od:

$$C_{cd} = 48kWh. \quad (12)$$

Međutim, gubici između 7% i 8% koji se dešavaju tokom prenosa energije iz baterije na punjač, zahtevaju povećanje ove brojke. Pored toga, mora se obezbediti baterija sa nominalnim kapacitetom skladištenja energije od otprilike 65kWh, pošto baterija ne bi trebalo da se prazni preko 80% dubine pražnjenja (što odgovara $\eta_{bdd}=0.8$), odnosno ispod 20% kapaciteta baterije. Ovo se može izračunati na sledeći način:

$$f_6 : C_{sb} = C_{cd} / ((1-0.08) \cdot \eta_{bdd}) = 65kWh. \quad (13)$$

Ukupan broj od 25 elementarnih baterijskih jedinica sa naponom od $V_{bbunom}=12V$ mora biti povezan redno da bi se dostigao napon $V_{invinom}=300V$. Ovo se može izračunati na sledeći način:

$$f_7 : n_{bbu} = V_{invinom} / V_{bbunom} = 25. \quad (14)$$

U tom slučaju, strujni kapacitet svake od ovih elementarnih baterijskih jedinica bi trebao biti najmanje:

$$f_8 : C_{lbbu} = C_{sb} / (n_{bbu} \cdot 12V) = 216.7Ah. \quad (15)$$

To znači da se za ovu svrhu može koristiti komercijalno dostupna baterija sa naponom 12V i strujnim kapacitetom od 260Ah. Maksimalna struja pražnjenja baterija treba da bude najmanje:

$$f_9 : I_{bbumax} = I_{cmax1} + I_{cmax2} = 96A. \quad (16)$$

Litijum-jonska baterija sa naponom 12V i strujnim kapacitetom od 260Ah ima sledeće standardne dimenzije: 0.520m×0.268m×0.220m. To znači da jedno domaćinstvo mora izdvojiti oko 0.77m³ prostora za potrebe instaliranja ovih baterija.

Ova vrsta solarne elektrane koja sadrži inverter i bateriju takođe je sposobna da ispuni zahteve samoodržive rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila opremljene sa dva punjača za električna vozila nivoa 1. Jedina razlika je u tome što su baterija i inverter dovoljni da obezbede maksimalnu struju do 32A umesto 96A. Solarna elektrana dvostruko manjeg kapaciteta i maksimalne struje do 16A adekvatna je za potrebe autonomne rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila opremljene jednim punjačem za električna vozila nivoa 1. Za potrebe autonomne rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila sa jednim punjačem za električna vozila nivoa 2 potrebna je solarna elektrana dvostruko manjeg kapaciteta i maksimalne struje do 80A.

U ovoj analizi su razmotreni rutinski poslovi koje rezidencijalna stanica za punjenje električnih vozila obavlja na dnevnom nivou. U praksi mogu postojati varijacije u odnosu na opisani način rada stanice, kao npr. u sledećim scenarijima: više ili manje punjenja električnih vozila u jednom danu, različite količine solarne energije u jednom danu, itd. Sve su to slučajevi u kojima u rezidencijalnoj stanici za punjenje električnih vozila postoji ili višak ili manjak proizvedene električne energije u odnosu na opisani scenario. Zato je povoljna okolnost što je

stanica povezana na elektrodistributivnu mrežu, što omogućava prenos svih viškova električne energije u mrežu, kao i pokriće eventualnih nestašica preuzimanjem električne energije iz mreže.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu su opisane kategorije punjača električnih vozila, kao i kategorije stanica za punjenje električnih vozila. Poseban akcenat je stavljen na opis postupka dimenzionisanja rezidencijalne stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja pomoću obnovljivih izvora energije. Pokazano je i na koji način se rezidencijalna stanica za punjenje električnih vozila može implementirati i jednostavno integrisati u okvir tipičnog domaćinstva, stvarajući održivo i efikasno rešenje.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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] U. Zafar, S. Bayhan and A. Sanfilippo, "Home energy management system concepts, configurations, and technologies for the smart grid," IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 119271-119286.
- [8] MPowerUK. Available online: <https://www.mpoweruk.com/infrastructure.htm> (accessed on 31st Oct 2017).
- [9] EvoCharge. Available online: <https://evocharge.com/resources/the-difference-between-level-1-2-ev-chargers> (accessed on 10th Feb 2025).
- [10] U.S. Department of Transportation. Available online: <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/charging-speeds> (accessed on 10th Feb 2025).

ABSTRACT

In this paper the sizing procedure of a residential charging station for electric vehicles powered by renewable energy sources has been described. In addition, the division of electric vehicle charging stations is described, the categorization of electric vehicle chargers is given, as well as the presentation of residential electric vehicle charging station. It has been shown that with the current state of technology, a residential electric vehicle charging station can be implemented and easily integrated into the framework of a typical household, creating a sustainable and efficient solution.

SIZING OF RESIDENTIAL CHARGING STATION FOR ELECTRIC VEHICLES POWERED BY RENEWABLE ENERGY SOURCES

Jovan Vujasinović, Goran Savić, Željko Despotović, Ilija Vujasinović