

PRAĆENJE POREKLA ENERGIJE I OPTIMIZACIJA RADA HIBRIDNIH STANICA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

TRACKING ENERGY ORIGIN AND OPTIMIZING OPERATION OF HYBRID STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING

Andrija PETRUŠIĆ, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet Niš, Srbija
Nikola CVETANOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Distributivno područje Niš
Aleksandar JANJIĆ, GOPA International energy consultants, Srbija
Uroš ILIĆ, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet Niš, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Povećani broj električnih vozila zahteva nadogradnju i proširenje dostupne infrastrukture za punjenje. Nekontrolisani ciklusi punjenja znatno utiču na elektroenergetsku mrežu, te se iz tog razloga obnovljivi izvori energije i baterijski sistemi integrišu u hibridne stanice za punjenje. Instalacijom obnovljivog izvora i baterije u stanici za punjenje može pomoći "baferovanju" snage iz mreže, čime se izbegavaju nagli skokovi u potrošnji i posledičnih ograničenja u mreži. Do danas, poreklo energije iz baterije nije praćeno. U ovom radu predstavljeno je rešenje hibridne stanice za punjenje električnih vozila uparene sa malim fotonaponskim sistemom i skladištenjem energije u bateriji kako bi se eliminisali negativni efekti nekontrolisanog punjenja električnih vozila, uz tačan proračun udela obnovljive energije koja potiče iz baterijskog sistema. Metodologija za multikriterijumsku optimizaciju rasporeda punjenja/praznjenja baterije i nivoa punjenja električnih vozila zasniva se na teoriji višeatributske funkcije korisnosti. Kriterijumi optimizacije uključuju minimizaciju troškova punjenja, maksimizaciju obnovljive energije (kako sa solarnog postrojenja, tako i iz baterije) i minimizaciju degradacije baterije. Problem je rešen primenom genetskog algoritma prilagođenog funkciji multikriterijumske optimizacije. Metodologija je testirana na ilustrativnom primeru, i dokazano je da preference donosioca odluka značajno utiču na izbor optimalne strategije i optimalnog kapaciteta baterije.

Ključne reči: električni automobili, solarna elektrana, baterijski sistemi, multikriterijumska optimizacija, višeatributska funkcija korisnosti.

ABSTRACT

The increasing electric vehicle fleet requires an upgrade and expansion of the available charging infrastructure. The uncontrolled charging cycles greatly affect the electric grid, and for this reason, renewable energy sources and battery storage are getting incorporated into a hybrid charging station solution. Adding a renewable source and a battery to the charging station can help to "buffer" the power required from the grid, thus avoiding peaks and related grid constraints. To date, the origin of the energy coming from the battery has not been traced. In this paper, a solution of the hybrid electric vehicle charging station coupled with the small-scale photovoltaic system and battery energy storage is proposed to eliminate the adverse effects of uncontrolled electric vehicle charging, with the exact calculation of renewable energy share coming from energy stored in the battery. The methodology for the multicriteria optimization of the charging/discharging schedule of a battery and electric vehicle charging level is based on multi-attribute utility theory. The optimization criteria include the minimization of charging costs, maximization of renewable energy (from both the solar plant and the battery), and the minimization of battery degradation. The problem is solved using a genetic algorithm optimization procedure adapted to the multicriteria optimization function. The methodology is tested on an illustrative example, and it is proven that the decision-maker's preferences greatly affects the choice of the optimal strategy and the optimal battery capacity

Key words: Electric vehicles, Photovoltaic powerplant, energy storage system, multicriteria optimization, multiattribute utility theory

Andrija Petrušić, andrija.petrusic@elfak.ni.ac.rs
Nikola Cvetanović, nikola.cvetanovic@eds.rs
Aleksandar Janjić, aleksandar.janjin@gopa-intec.de
Uroš Ilić, uros.ilic@elfak.ni.ac.rs

1. UVOD

Zagađenje životne sredine, iscrpljivanje rezervi fosilne energije i rastuća očekivanja potrošača dovode do ubrzanog rasta broja električnih vozila (EV) [1, 2, 3]. Međutim, prema brojnim studijama u vezi sa tehnologijama punjenja EV [4], povećan nivo EV punjača i nedostatak koordinacije u šemama punjenja može dovesti do:

- a) Pada napona tokom perioda EV punjenja (posebno za brze punjače).
- b) Smanjenja kvaliteta električne energije (i spore i brze stanice za punjenje su izvori harmonijske distorzije, koje ne samo da zagađuju distributivni sistem, već i oštećuju osetljivu opremu priključenu na sistem)
- c) Propadanja EV baterije (smanjenje kapaciteta) čiji su dominantni faktori prenaponi i visoka temperatura. Do pogoršanja dolazi kada se nivo napona ili temperatura baterije poveća do tačke u kojoj propadanje elektroda počinje da se ubrzava.
- d) Preopterećenja transformatora distributivne mreže (u uslovima vršnog opterećenja postoje brojni slučajevi preopterećenja transformatora, što dovodi do degradacije i eventualnog kvara).
- e) Povećanih gubitaka energije (ukupni gubici distributivnog sistema će se povećavati linearno sa većim prodorom DC brze stanice za punjenje)

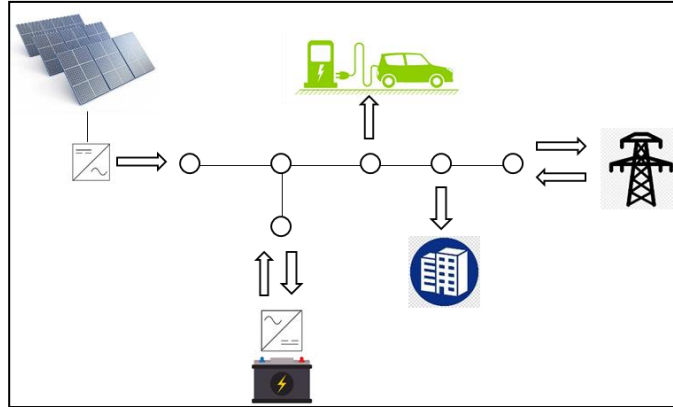
Obnovljivi izvori energije su važna komponenta za obezbeđivanje energije za punjenje EV [5,6]. PV generacija se često integriše u stanice za punjenje električnih vozila kako bi se smanjili troškovi i smanjio "CO₂ otisak", a različite strategije upravljanja se koriste za integraciju malih električnih vozila [7], za stambeni fotonaponski sistem povezan na mrežu sa priključnim hibridnim električnim vozila (PHEV) [8,9] i vozila sa solarnim punjenjem na električnu energiju i gorivne ćelije [10].

Glavni nedostatak punjenja EV iz PV je varijabilnost te se često koriste sistemi za skladištenje energije. EV punjač u kombinaciji sa energetske sistemom baterija (BES) predstavlja pouzdano rešenje za ublažavanje negativnih efekata na mrežu, kao što je smanjenje vršnog opterećenja od EV-a i koristi u smislu smanjenja gubitaka od dispečiranja električne energije. Takođe daje veliki doprinos regulaciji i ojačanju mreže.

U ovom radu predlaže se sistem punjenja koji eliminiše štetne efekte nekontrolisanog EV punjenja. Metodologija za višekriterijumsku optimizaciju rasporeda punjenja/praznjenja baterije i nivoa punjenja EV zasniva se na teoriji korisnosti sa više atributa. Kriterijumi optimizacije uključuju minimiziranje troškova punjenja, maksimiziranje udela obnovljive energije i minimiziranje degradacije baterije. Tačna količina obnovljive energije iz baterije izračunava se primenom principa superpozicije. Ovaj MINLP problem je rešen korišćenjem procedure optimizacije GA prilagođene funkciji optimizacije sa više kriterijuma. Metodologija je testirana na ilustrativnom primeru. Konačno, dodatna vrednost za vlasnike električnih vozila je dostupnost, jednostavnost infrastrukture za punjenje i transparentna tarifa za punjenje koja uključuje udeo obnovljive energije

2. METODOLOGIJA

U ovom radu biće analiziran pojedinačni sistem za punjenje električnih vozila priključenih na javnu distributivnu mrežu, koji se sastoji od solarne elektrane i sistema za skladištenje energije. Preko niskonaponskih AC vodova, vozilo se puni na sledeće načine: a) samo iz mreže, ako nema proizvodnje od fotonaponskih panela, b) samo od fotonaponskih panela, ako je proizvodnja dovoljno velika da pokrije opterećenje punjenje individualnog sistema i vozila, c) iz akumulatora, ako se baterija ne puni i nalazi se u režimu praznjenja, d) paralelno iz fotonaponske elektrane, mreže i baterije. Osnovna šema povezivanja je data na slici 1. Kako je jedan od poželjnih kriterijuma maksimizacija energije iz obnovljivih izvora (tj. solarne elektrane) potrebno je razviti metodologiju praćenja porekla energije. Ova metodologija će biti objašnjena u nastavku.



Slika 1 - Šema hibridnog sistema za punjenje

2.1 Praćenje energije tokom punjenja/praznjenja baterije

Energija koja se koristi za punjenje baterije dolazi iz javne mreže i PV elektrane. Kako je u uvodu navedeno, dosada nije razmatrana mogućnost praćenja i upravljanja poreklom energije za punjenje EV, jer nije analizirana mogućnost registrovanja porekla energije koja izlazi iz baterije. Dakle, potrebno je napraviti sistem koji može da prati koliko je energije iz obnovljivih izvora ušlo u bateriju, koliko je izašlo i na kraju, koliko se energije naplaćuje automobilu iz obnovljivih izvora ili iz mreže.

Označimo stanje napunjenosti baterije sa SOC, količinu akumulirane energije iz obnovljivih izvora (solarne) sa SOC_S i akumuliranu energiju iz mreže sa SOC_G . Snaga baterije P_B , P_{BS} i P_{BG} će biti pozitivna ako se baterija puni i negativna ako se prazni. Ponašanje baterije i praznjenja tokom vremenskog koraka Δt može se generalno modelovati na sledeći način

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \Delta t \cdot \frac{P_B(t)}{\eta} \quad (1)$$

$$SOC_S(t) = SOC_S(t-1) + \Delta t \cdot \frac{P_{BS}(t)}{\eta} \quad (2)$$

$$SOC_G(t) = SOC_G(t-1) + \Delta t \cdot \frac{P_{BG}(t)}{\eta} \quad (3)$$

$$SOC(t) = SOC_S(t) + SOC_G(t) \quad (4)$$

Ako je ukupna snaga koja prazni bateriju P_B , onda je snaga iz obnovljivih izvora (P_{BS}) i iz mreže (P_{BG}) data jednačinama (5) i (6), respektivno:

$$P_{BS}(t) = P_B(t) \frac{SOC_S(t)}{SOC(t)} \quad (5)$$

$$P_{BG}(t) = P_B(t) \frac{SOC_G(t)}{SOC(t)} \quad (6)$$

Napajanje dolazi iz tri izvora (PV, javna mreža i baterija), ali sadrži četiri komponente (jednačina 7): napajanje iz PV panela (P_S), napajanje iz javne mreže (P_B), napajanje baterije iz PV panela (P_{BS}) i napajanje baterije koje potiče iz mreže (P_{BG}).

$$P_{EV}(t) = P_{EVS}(t) + P_{EVBS}(t) + P_{EVBG}(t) + P_{EVG}(t) \quad (7)$$

2.2. Princip superpozicije

Prema teoremi superpozicije, svi osim jednog izvora energije unutar mreže u isto vreme će biti eliminisani, koristeći standardne jednačine tokova snage za određivanje padova napona i struja unutar modifikovane mreže

za svaki izvor napajanja posebno. Kada se odrede struje i naponi za svaki izvor napajanja koji radi zasebno, sve vrednosti se superponiraju.

U prvom koraku rešavaju se jednačine tokova snaga i određuju naponi i snage u pojedinačnim čvorovima. U drugom koraku, izračunate vrednosti napona su uzete kao konstantne i snage za sve superpozicionirane režime su izračunate. Originalna mreža je dekomponovana na N+2 podmreže, gde N predstavlja broj izvora energije, uključujući PV postrojenja i javnu mrežu. Bateriju u režimu pražnjenja predstavljaju dva izvora: akumulirana energija iz obnovljivog izvora i akumulirana energija iz mreže.

3. OPTIMIZACIJA SISTEMA

Cilj problema optimizacije je optimizacija satnog rasporeda punjenja/pražnjenja baterije i optimizacija snage potrebne za EV. Problem se tretira kao višekriterijumski, jer će se istovremeno uzeti u obzir tri kriterijuma. Optimizacija se zasniva na minimiziranju troškova snabdevanja, maksimizaciji obnovljive energije za punjenje EV i minimiziranju degradacije baterije.

Proces se sprovodi u dve faze. U prvoj fazi, planiranje je optimizovano korišćenjem 24 sata unapred predviđanja proizvodnje fotonaponskih postrojenja, potražnje za opterećenjem drugih potrošača i očekivanih dolaska električnih vozila. Svakog sata se prognoza ažurira i ako dođe do neočekivanih događaja, proces optimizacije se ponovo pokreće. Proces optimizacije ponovnog rasporeda počinje pri svakom dolasku EV-a, kada se kao ulaz uzimaju nove postavke vozača.

Prvi kriterijum je maksimizacija zelene (solarne) energije koja puni jedan EV.

$$\max(F_1) = \sum_{i=1}^{N_{EV}} \sum_{t=1}^T (P_{EVS,i}(t) + P_{EVBS,i}(t)) \quad (8)$$

Drugi kriterijum je minimizacija troškova snabdevanja energijom. Pod pretpostavkom da su cene energije različite za svaki sat, i pod pretpostavkom da se energija vraćena u mrežu prodaje po istoj ceni kao i za energiju kupljenu iz mreže, kriterijum se može matematički predstaviti na sledeći način:

$$\min(F_2) = \sum_{t=1}^T c(t) \cdot P_G(t) \quad (9)$$

Treći kriterijum se odnosi na starenje baterija.

$$\min(F_3) = \sum_{i=1}^T \left(e^{\frac{|P_B(i)| - P_{ref}}{C_{bat}}} \cdot \frac{|P_B(i)|}{P_{ref}} \cdot \Delta t \right) \quad (10)$$

Ograničenja procesa optimizacije se odnose na minimalno i maksimalno stanje napunjenosti baterije (11), minimalnu i maksimalnu dozvoljenu brzinu punjenja/pražnjenja (12), maksimalnu nazivnu snagu EV punjača (13) i kapacitet priključka za napajanje mreže (14).

$$SOC_{\min} \leq SOC_G(t) \leq SOC_{\max} \quad (11)$$

$$P_B^{\min} \leq P_B(t), P_{BS}(t), P_{BG}(t) \leq P_B^{\max} \quad (12)$$

$$P_{EV}(t) \leq P_{EV}^{\max} \quad (13)$$

$$P_G(t) \leq P_G^{\max} \quad (14)$$

Prvi korak u optimizaciji rasporeda je optimizacija jednog cilja svih prethodno objašnjenih ciljeva. Rezultat ove optimizacije su funkcije korisnosti zasnovane na maksimalnim pojedinačnim atributima korisnosti za troškove snabdevanja (USC), udeo obnovljive energije (URE) i degradaciju baterije (UBD). U drugom koraku, višestruka optimizacija se izvodi primenom MAUT-a za agregaciju korisnosti

Teorija korisnosti više atributa (MAUT) definiše korisnost ishoda sa više atributa kao funkciju korisnosti svakog atributa uzetog pojedinačno. Teorija navodi nekoliko mogućih funkcija i uslove koje treba ispuniti pod kojima bi svaka od ovih funkcija (multiplikativna, aditivna i multilinearana) bila odgovarajuća.

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\prod_i (1 + K k_i u_i(x_i)) - 1}{K}, \quad (15)$$

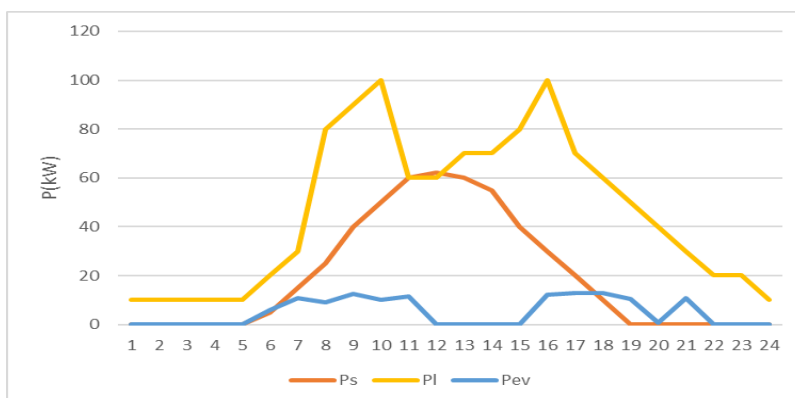
$U_i(k_i)$ - vrednost korisnosti za atribut i sa vrednošću k_i (u rasponu od 0 do 1),

k_i = parametar kompromisa za komponentu i ,

K = konstanta normalizacije

4. ILUSTRATIVNI PRIMER

Metoda je ilustrovana primerom hibridnog sistema prikazanog na slici 1. Sistem se sastoji od solarne elektrane nazivne snage $P = 100$ kW, jednog EV punjača nazivne snage 22 kW i baterije kapaciteta od 50 kWh. Početni SOC je 30 kWh, od čega je deo iz solarne elektrane SOC_s = 30 kWh, a deo iz mreže je SOC_g = 20 kWh. Cena električne energije je $c = 0,1$ €/kWh u periodu od 23 do 7 časova narednog dana, dok je cena $c = 0,2$ € / kWh u periodu od 7 do 23 časa. Predviđeni dijagrami proizvodnje iz solarne elektrane, očekivani broj i vreme punjenja vozila, kao i prognozirano opterećenje prikazani su na slici 2.



Slika 2 - Predviđene vrednosti za PV proizvodnju (PS), opterećenje potražnjom (PL) i EV punjenje (PEV)

Radi pojednostavljenja, svi pretvarači rade u režimu konstantnog faktora snage, bez proizvodnje reaktivne snage. Prvi slučaj predstavlja preliminarni optimalni raspored punjenja i pražnjenja baterije, kao i snagu punjenja EV i period punjenja za 24 sata unapred. Izvršene su jednokriterijumske optimizacije, po sva tri kriterijuma: minimalni troškovi nabavke, minimalno starenje akumulatora i maksimizacija punjenja automobila iz solarne energije. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1 - Jednokriterijumska optimizacija – rezultati

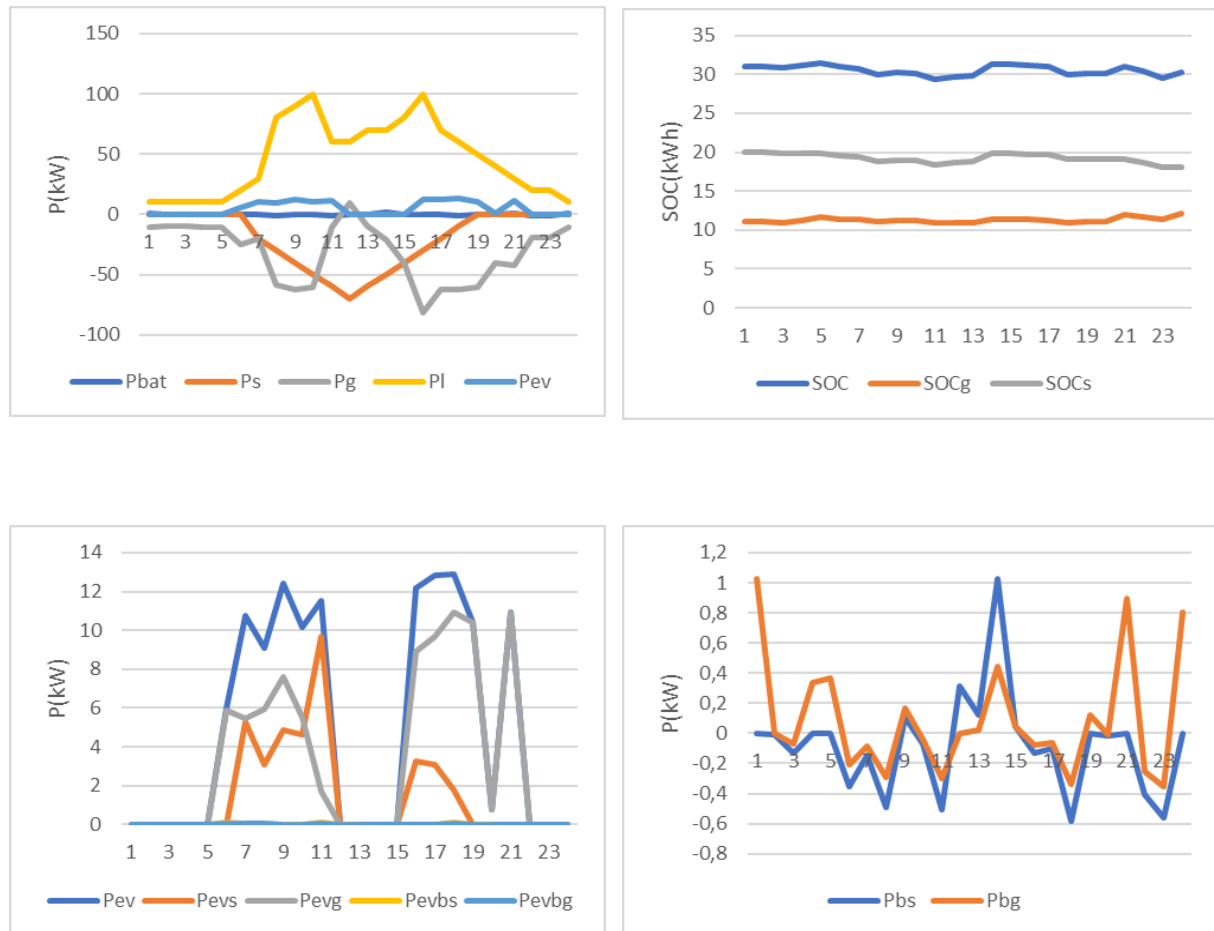
	F1 (kWh)	F2 (€)	F3 (%)
max F1	103.91	12,518	0.69
min F2	46.71	11,869	0.48
min F3	63.17	12,631	0

Rezultati maksimizacije udela solarne energije u procesu punjenja EV prikazani su na slici 8. Slika 8a prikazuje, pored prognoziranih vrednosti za PV proizvodnju i potražnju za opterećenjem - rezultujuću energiju iz mreže, snagu baterije i optimizovanu snagu EV punjenja. .

Problem optimizacije je rešen genetskim algoritmom u Matlabu. Optimizacija se vrši u dva koraka: u prvom koraku se određuju funkcije korisnosti za svaki kriterijum. U drugom koraku, pristup sa više atributa se koristi za zakazivanje baterije i EV punjenja. Ponderi faktora za svaki kriterijum su isti: $k_1 = k_2 = k_3 = 0,33$. Rezultati su prikazani na slici 3.

Slika 3a prikazuje, pored prognoziranih vrednosti za PV proizvodnja (PS) i potražnja za opterećenjem (PL)— napajanje iz mreže (Pg), napajanje baterije (Pbat) i optimizovanu snagu punjenja EV (Pev). Slika 3b predstavlja

stanje napunjenosti dva virtuelna „baterijska odeljka“ – za solarnu i mrežnu energiju. Slika 3c daje komponente napajanja EV, dok slika 3d predstavlja udeo obnovljive i baterije u optimizovanom rasporedu punjenja i pražnjenja baterija



Slika 3 - Rezultati optimizacije po jednom kriterijumu za kriterijume maksimalne solarne energije (a) tokovi snage, (b) stanje napunjenosti (SOC) baterije, (c) snaga punjenja EV, (d) raspored punjenja/pražnjenja baterije.

Analiza različitih slučajeva pokazuje značajne razlike između šema punjenja sa jednokriterijumskom i višekriterijumskom optimizacijom. Uočljive su i razlike u slučaju različitih preferencija donosilaca odluka. U slučaju kada je upravljanje baterijom optimizovano samo maksimiziranjem energije punjenja EV koja potiče iz obnovljivih izvora, iz solarne elektrane dolazi 103,91 kWh (86,7% potrebne energije). Većina ove energije dolazi direktno iz elektrane, u vreme kada se poklapaju najveće sunčevo zračenje i dolazak vozila. Baterija se sve više puni i prazni intenzivno, ali ne prelazi kapacitet baterije.

U slučaju višekriterijumske optimizacije, kriterijum degradacije baterije ima uticaj na proces punjenja/pražnjenja i količina obnovljive energije u proces punjenja je smanjen na 67,2 kWh (56%). Punjenje samog vozila je sada uravnoteženije i ne dostiže maksimalnu dozvoljenu vrednost. Konačno, u slučaju komplementarnog atributa, količina obnovljive energije u proces punjenja je povećan u poređenju sa prethodnim slučajem na 87,7 kWh (73%). Troškovi snabdevanja energijom su veći, ali konačno rešenje pokazuje uravnoteženost performanse svih kriterijuma.

Metodologija je pokazala da energija uskladištena u bateriji u velikoj meri zavisi od opterećenje ostalih potrošača u stanici jer je količina sunčeve energije proporcionalna odnosu pojedinačnog opterećenja (baterija, EV, potrošači) i ukupnog opterećenja mreže. U komplementarnom slučaju, izbalansiran je učinak u količini obnovljive energije, prevlađuju ukupni troškovi i degradacija baterije. U slučaju aditivne funkcije korisnosti, performansa jednog kriterijum nije u interakciji sa vrednošću drugih, ali su dva kriterijuma lošija nego u druga dva scenarija. U slučaju aditivnog modela maksimalna funkcija korisnosti je ostvarena pri kapacitetu baterije od 30 kWh. U slučaju da baterija nije instalirana, nema habanja baterije ($U_{bd} = 1$), ukupni troškovi su takođe blizu minimalnih vrednosti ($U_{sc} = 0,9$), ali udeo energije iz obnovljivih izvora je najmanji ($U_{res} = 0,62$). Kako se

kapacitet povećava, vrednost ove funkcije raste do maksimuma ($U_{res} = 0,85$). Ova vrednost takođe određuje ukupan maksimum sistema. Kako kapacitet baterije nastavlja da raste, udeo obnovljivih izvora energije se ne povećava zbog ograničene snage punjenja i pražnjenja baterija. U komplementarnom modelu akcenat je na uravnoteženim vrednostima svakog pojedinačnog kriterijuma. Tada se prednost daje nižim vrednostima kapaciteta baterije i troškovi sistema i degradacija baterija su podjednako važni koliko i udeo obnovljivih izvora. Optimalna vrednost kapaciteta baterije postiže se sa $C = 10$ kWh

5. ZAKLJUČAK

Sistem za skladištenje baterija služi kao tampon između distributivne mreže i krajnjeg korisnika. Snaga punjenja će se kontrolisati i stoga mnogo niža nego da nije bilo baterije unutar FCS, dok bi se punjenje dešavalo čak i tokom perioda kada vozila nisu povezana sa stanicom, osiguravajući da sistem za skladištenje baterija ima dovoljno energije za brzo punjenje EV kada potreban.

Kombinovanje brzog punjenja sa skladištenjem energije je strategija za ublažavanje uticaja na mrežu, posebno na nivou distribucije. Tokom vremena niske iskorišćenosti, baterija se može puniti konstantnom brzinom iz mreže ili iz solarne energije na licu mesta. Kada potražnja za snagom vozila pređe prag transformatora, stacionarna baterija povećava snagu na lokaciji. Ovo može ublažiti uticaj na mrežu i smanjiti troškove izbegavanjem troškova komunalnih usluga. Ova strategija može rezultirati značajnim uštedama za operatera stanice, posebno kako se povećava snaga punjenja.

LITERATURA

- [1] Larminie J, Lowry J. *Electric vehicle Technology Explained*. New York: Wiley; 2003.
- [2] Ehsani M, Gao Y, Gay SE, Emadi A. *Modern electric, hybrid electric, and fuel Cell Vehicles*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2005.
- [3] Wirasingha SG, Pihef AE. Plug-in hybrid electric factor. *IEEE Trans Veh Technol* 2011;60(3):1279–84.
- [4] Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments, ICCT, 2018
- [5] Bhatti, A.R, Salam Z. Aziz, M., Yee. K.P. ,Ashique, R.H, *Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 34–47
- [6] Kawamura N, Muta M. Development of solar charging system for plug-in hybrid electric vehicles and electric vehicles. In: 2012 Int conf renew energy res appl, IEEE; 2012. p. 1–5. <http://dx.doi.org/10.1109/ICRERA.2012.6477383>
- [7] Mesentean S, Feucht W, Kula H-G, Frank H. Smart charging of electric scooters for home to work and home to education transports from grid connected photovoltaic-systems. In: 2010 IEEE int energy conf, IEEE; 2010. p. 73–8. <http://dx.doi.org/10.1109/ENERGYCON.2010.5771778>
- [8] Gurkaynak Y, Khaligh A. Control and power management of a grid connected residential photovoltaic system with plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) load. In: 2009 Twenty-fourth annu IEEE appl power electron conf expo, IEEE; 2009. p. 2086–91. <http://dx.doi.org/10.1109/APEC.2009.4802962>.
- [9] Gurkaynak Y, Khaligh A. A novel grid-tied, solar powered residential home with plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) loads. In: 2009 IEEE veh power propuls conf, IEEE; 2009. p. 813–6. <http://dx.doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289765>.
- [10] Robalino DM, Kumar G, Uzoечи LO, Chukwu UC, Mahajan SM. Design of a docking station for solar charged electric and fuel cell vehicles. In: 2009 Int conf clean electr power, IEEE; 2009. p. 655–60. <http://dx.doi.org/10.1109/ICCEP.2009.5211977>.
- [11] RES based EV battery charging system: A review N. Sujitha, S. Krithiga *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 (2017) 978–988
- [12] Andrija Petrusic, Aleksandar Janjic *Renewable Energy Tracking and Optimization in a Hybrid Electric Vehicle Charging Station Appl. Sci.* 2021, 11(1), 245; <https://doi.org/10.3390/app11010245>