

## Implementacija V2G modela u cilju poboljšanja karakteristike opterećenja energetskog sistema korišćenjem PSO algoritma

ANDRIJA D. OSTOJIĆ, Univerzitet Crne Gore,

Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

MARTIN P. ČALASAN, Univerzitet Crne Gore,

Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

SAŠA V. MUJOVIĆ, Univerzitet Crne Gore,

Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

Stručni rad

UDC: 629.331-835:621.355

DOI: 10.5937/tehnika19068410

*Ovaj rad se bavi uticajem električnih vozila na elektroenergetsku mrežu, kroz koncept Vehicle-to-grid, sa stanovišta popravljavanja dnevne karakteristike opterećenja. U cilju traženja optimalnog rasporeda razmjene energije između baterija električnih automobila i mreže korišćen je Particle swarm optimisation (PSO) algoritam. U radu je pokazana efikasnost primjene navedenog algoritma, kao i mogućnost korišćenja električnih vozila u popravljanju karakteristike sistema, posebno smanjujući uzimanje energije iz mreže u periodima velikog mrežnog opterećenja i povećavajući uzimanje energije iz mreže u periodima malog mrežnog opterećenja. Svi zaključci su izvedeni uz poštovanje ograničenja u pogledu stepena napunjenosti (state-of-charge – SOC) baterija automobila koji učestvuju u V2G sistemu.*

**Ključne riječi:** mreža, punjenje, baterija, opterećenje, vozilo

### 1. UVOD

U današnjem svijetu sve više pažnje se poklanja problemima energetske efikasnosti i zaštite životne sredine. U ovu ideju se dobro uklapaju električna vozila, kao tehnologija koja će, kako sva predviđanja pokazuju, postati najzastupljeniji vid transporta u 21. vijeku. Štaviše, prema [1] broj električnih vozila u svijetu će dostići brojku od 250 miliona u 2030. godini. Ono što električna vozila preporučuje u smislu očuvanja životne sredine jeste to što ona ne proizvode izduvne gasove tokom vožnje. Osim toga, važno je istaći i da je konverzija energije oko 5 puta efikasnija kod električnih automobila u odnosu na automobile sa motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem. Međutim, uticaj električnih vozila na elektro-energetski sistem - EES (tzv. vehicle-to-grid – V2G koncept) je složen problem, za čije rješavanje se mora uzeti u obzir veći broj parametara i pogleda [2]. Trenutno stanje, implementacija, zahtjevi, prednosti, izazovi i strategije za

V2G interfejsu pojedinačnih vozila i voznih parkova dato je u [3].

Periodi punjenja električnih vozila (tj. uzimanje energije iz mreže) moraju biti pametno raspoređeni tako da se minimizuje njihov nepovoljan uticaj na karakteristiku opterećenja EES-a u toku dana. Osim toga, optimalan tajming priključivanja električnih vozila na mrežu može doprinijeti smanjenju troškova punjenja vozila [4], povećanju brzine punjenja vozila i slično. Međutim, za to je potreban razvoj odgovarajuće infrastrukture i, prije svega, razvoj softvera i komunikacija [5]. Sa druge strane, neregulisano punjenje električnih vozila pri njihovom masovnom, nekontrolisanom, uključivanju u EES može doprinijeti značajnom povećanju maksimalne vrijednosti opterećenja u sistemu u kritičnim periodima dana. Prema tome, nekoordinisano uključivanje vozila u mrežu može dovesti do povećanja vrijednosti viših harmonika, povećanja gubitaka, preopterećivanja napojnih vodova i u krajnjem slučaju i do ispada sistema. Zbog svega toga, opcija pametnog (tj. koordinisanog, optimalnog i rasporedjenog) punjenja električnih vozila je neophodnost savremenih EES.

Razmatranje V2G sistema je relativno nov problem, koji dobija na značaju sa naglim porastom broja električnih automobila. Štaviše, kako broj električnih vozila u pojedinim zemljama raste, tako se i pojavljuju

---

Adresa autora: Andrija Ostojić, Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Cetinjski put bb, Crna Gora

e-mail: andrijaostojic0@gmail.com

Rad primljen: 26.08.20219.

Rad prihvaćen: 18.09.20109.

naučni radovi koji se bave problemima implementacije električnih vozila u njihovim EES [6, 7]. Takođe, pojavljuju se i radovi koji se bave pravilnim rasporedom priključivanja električnih vozila na mrežu. Tako se npr. u [8] razmatra uticaj povećanog broja vozila na mrežu i analiziraju se tehničke potrebe same mreže. Sa druge strane, pojavljuju se i istraživanja koja analiziraju različite koncepte konekcije električnih vozila i EES [9].

Ovaj rad se bavi analizom uticaja električnih vozila na karakteristiku opterećenja sistema. Naime, cilj je sagledati mogućnost „peglanja“ karakteristike opterećenja pravilnim redoslijedom punjenja i pražnjenja električnih vozila. U ovu svrhu, u radu se predlaže upotreba PSO algoritma.

PSO algoritam (Particle Swarm Optimisation – teorija rojeva) je jedan moćan i često korišćen algoritam u brojnim sferama nauke – estimacija parametara solarnih ćelija [10], estimacija parametara transformatora [11], proračun optimalnih tokova snaga [12] i slično. Njegova glavna odlika jeste brzina konvergencije, laka implementacija, mala zahtijevana računarska kompleksnost i slično.

Sam rad je organizovan na sljedeći način. U Poglavlju 2 diskutovan je uticaj električnih vozila na energetska mrežu, dok je u Poglavlju 3 ukratko opisan PSO algoritam. U četvrtom poglavlju prikazan je opis problema i predlog rješenja. Rezultati proračuna prikazani su u poglavlju 5. Na kraju rada, u zaključku date su smjernice za budući rad.

## 2. UTICAJ ELEKTRIČNIH VOZILA NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM

Proces u kom električna vozila treba da zamijene vozila koja koriste motore sa unutrašnjim sagorijevanjem će biti i dug i komplikovan. Na svijetu već postoji oko 1 milijarda motornih vozila u upotrebi, nasuprot nekoliko miliona električnih. Da bi se ova tranzicija odvijala što optimalnije potrebne su brojne analize u energetskom sektoru.

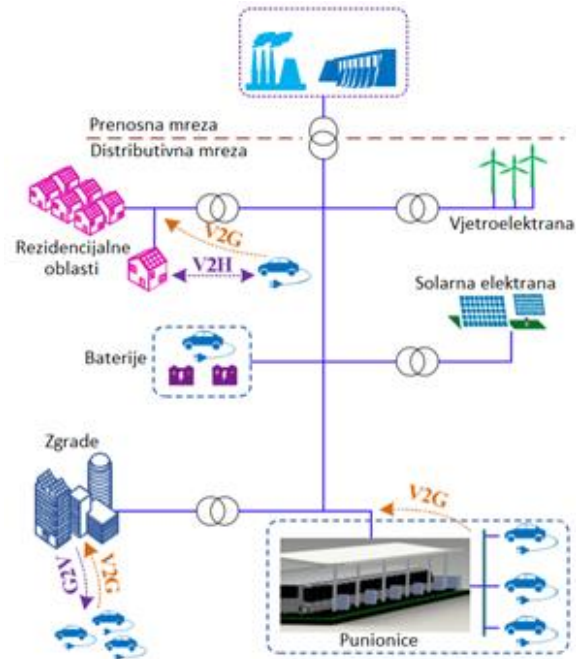
„Vehicle-to-grid“ (V2G) sistem jeste sistem koji konceptualno omogućava sve benefite koji se očekuju od učestvovanja električnih vozila u mreži (slika 1) [13]. Za funkcionisanje ovog sistema potrebni su distribuirani sistemi kontrole, jer bi centralizovana kontrola svakog električnog vozila predstavljala ogroman komputacioni zadatak.

Stoga je ideja da se električna vozila u mreži grupišu u manje grupe koje se kontrolišu iz jednog centra, a da se zatim svi ti centri međusobno koordinišu i usklađuju uzimanje energije ili predaju energije u mrežu. Samim tim, ovi sistemi podrazumijevaju upotrebu bi-direkcionih punjača automobila, a koji će i bilježiti količinu razmijenjene energije,

kontrolisati protok energije u svakom trenutku i omogućiti razmjenu informacija u sistemu.

Mogući benefiti električnih vozila po EES su:

- Regulacija frekvencije i napona – podrazumijeva učešće električnih automobila u regulaciji sistema, onda kada je to potrebno. Pogodna okolnost za ovu opciju jeste to što ovaj proces traje obično samo nekoliko minuta.



Slika 1 - V2G koncept

Popravljanje karakteristike opterećenja energetskog sistema - predstavlja korak dalje u odnosu na pametno organizovanje punjenja automobila. Automobili mogu da vraćaju energiju u mrežu, pri čemu baterije električnih automobila funkcionišu kao generatori u sistemu, što bi bilo potrebno učiniti u periodima najvećeg (peak) opterećenja. Na ovaj način, tj. angažovanjem električnih automobila u periodima kada je cijena najveća, moguće je smanjiti cijenu električne energije koju plaćaju potrošači.

- Eliminacija viših harmonika u mreži - Električna vozila predstavljaju nelinearno opterećenje i samim tim potencijalno mogu da naruše kvalitet energije u mreži. Međutim, pravilnim sistemom kontrole, ovaj problem se može prevazići i preokrenuti.
- Obrtne rezerve - U slučaju velike potražnje ili kvara u mreži, električna vozila i njihove baterije bi mogli igrati ulogu obrtnih rezervi, odnosno mreža bi se mogla osloniti na njihove kapacitete kao prvu pomoć u uspostavljanju normalnog funkcionisanja.
- Distribuirano skladištenje jeftine energije ili viška energije - Sa porastom učešća obnovljivih izvora

energije u elektroenergetskoj mreži, problem skladištenja energije dobija na značaju, iz razloga što su obnovljivi izvori energije po prirodi nepredvidljivi i zavise od spoljnih uticaja. Ovaj problem bi riješilo postojanje kapaciteta za skladištenje energije proizvedene u periodima kada je potražnja mala, radi njenog kasnijeg korišćenja u periodu veće potražnje. Baterije električnih automobila su značajno velikih kapaciteta i mogu poslužiti u ovu svrhu, potencijalno kroz određeni sistem beneficija za vlasnike električnih vozila.

- Kontrolabilno opterećenje u mreži – Mogućnost da se baterije električnih vozila pune različitim snagama, ostavlja prostora da se kontrolom tih snaga regulišu energetske prilike u mreži. Snaga punjenja bi se mogla smanjivati ili povećavati u zavisnosti od potreba mreže i uz poštovanje zahtjeva vlasnika vozila.

V2G sistem objedinjuje sve gore navedene benefite. Međutim, treba naglasiti da postoje sumnje oko toga u kojoj mjeri ovakav način angažovanja baterija električnih automobila, u okviru V2G sistema, utiče na životni vijek istih. Međutim, dosadašnja istraživanja su pokazala da taj uticaj nije toliko značajan da može da ugrozi isplativost ovog sistema. Štaviše, u [14] je pokazano da sistem regenerativnog kočenja značajno gore utiče na životni vijek baterije, usljed češće smjene ciklusa punjenja i pražnjenja.

Za implementaciju V2G sistema, pored tehničkih prepreka postoje i druge prepreke, kao što su potreba donošenja zakona koji bi regulisali funkcionisanje ovog sistema, saradnja automobilskih kompanija, promjena svijesti vozača u određenim aspektima i dr.

### 3. PSO ALGORITAM

PSO algoritam je optimizacioni algoritam koji iterativno unapređuje potencijalno rešenje pokušavajući da ga približi konačnom rešenju. Ideja na kojoj je ovaj algoritam baziran i kasnije razvijen, bazirana je na modelovanju kretanja ptica ili insekata u jatima, odnosno rojevima. Detaljan opis ovog algoritma može se naći u [10-12].

Sušтина PSO algoritma jeste da on traži rješenje u unaprijed definisanom opsegu. Na početku se definiše, kako opseg parametara, tako i početne vrijednosti svih promjenjivih (najčešće nasumično). Nakon definisanja početnih vrijednosti, i granica, PSO algoritam shodno svojim matematičkim zakonitostima iterativno pretražuje definisanu oblast u cilju pronalaska optimalnog rješenja.

Kretanje promjenjivih u definisanom prostoru pretrage vrši se na osnovu unaprijed definisane funkcije cilja, tzv. kriterijumske funkcije ili objektivne funkcije. Vrijednost ove funkcije definiše i tačnost i

blizinu optimalnog rješenja problema. Rješenje kod koga je vrijednost objektivne funkcije nula smatra se idealnim rješenjem, što je u praksi teško izvodljivo.

Odluka PSO algoritma jeste u tome da ovaj algoritam za svaki parametar, tokom iteracija definiše sopstvenu (ličnu) i globalnu poziciju/optimum. Sopstvena pozicija svojstvena je svakoj promjenljivoj pojedinačno, dok je globalni optimum zajednički za sve. Kroz iteracije, vrijednost parametara se mijenja, a konačno rješenje koje algoritam odredi ustvari je konačni globalni optimum, tj. rješenje koje ima minimalnu vrijednost kriterijumske funkcije. Međutim, promjene vrijednosti parametara iz jedne u drugu iteraciju uslovljene su i tzv. inercijalnom komponentom kojom se izražava tendencija da se kretanje promjenljive (njena brzina i pozicija) nastavi po prethodnom pravcu.

Ako su  $x_i$  i  $v_i$  vektori pozicije i brzine, pripisani  $i$ -toj promjenljivoj,  $p_i$  - njena trenutna najbolja pozicija, a  $g$  - trenutni globalni optimum, onda se kretanje u prostoru pretrage može opisati sljedećim matematičkim relacijama:

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + c_1(p_i(t) - x_i(t)) + c_2(g(t) - x_i(t)), \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (2)$$

gdje su  $c_1$  i  $c_2$ , konstante ubrzanja, parametar  $w$  tzv. inercijski težinski koeficijent, dok je  $t$  iterativni korak.

### 4. OPIS PROBLEMA I PONUĐENOG REŠENJA

Problem koji se rješava u ovom radu je sljedeći - kako na osnovu poznate karakteristike opterećenja mreže (snaga-vrijeme zavisnost) organizovati punjenje automobila i korišćenje energije iz baterija istih u cilju ujednačenja krive potrošnje, uz uvažavanje stepena napunjenosti baterija automobila.

U tu svrhu, za pronalaženje optimalnog rešenja, korišćen je prethodno opisani PSO algoritam, čiji parametri su  $w=0.9$ ,  $c_1 = 0.5$  i  $c_2 = 0.1$ . Algoritam je realizovan kroz programski kod napisan u MATLAB okruženju (R2016b - 64 bit), dok su simulacije izvršene na računaru sa 8 GB radne memorije i i7 (4750HQ @ 2.00GHz) procesorom.

U ovom radu predložena je sljedeća kriterijumsku funkciju koja kvantitativno pokazuje kvalitet rešenja. Njena matematički oblik je sljedeći:

$$F = k_1 * S + k_2 * R + k_3 * MAX + k_4 * MIN, \quad (3)$$

gdje članovi  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  i  $k_4$  predstavljaju težinske koeficijente uz pomoć kojih se daje primat nekom od članova funkcije.

Prvi član kriterijumske funkcije ( $S$ ) teži da minimizuje sumu odstupanja stvarne vrijednosti karakteristike opterećenja od idealne vrijednosti, pri čemu

idealna vrijednost predstavlja aritmetičku sredinu niza vrijednosti opterećenja. Ovaj član se računa kao

$$S = \sum_{j=1}^{24} \left( P_{lj} - P_{arv} + \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \right) \quad (4)$$

gdje je:  $P_{lj}$  - vrijednost opterećenja u sistemu u toku  $j$ -tog sata,  $P_{arv}$  - aritmetička sredina niza  $P_{lj}$ ,  $P_{ij}$  - snaga punjenja (ili pražnjenja ako je negativna)  $i$ -tog automobila u toku  $j$ -tog sata.

Drugi član teži da minimizuje razliku između maksimalne i minimalne vrijednosti opterećenja sistema u toku jednog dana. Ovaj član ima sledeći matematički zapis:

$$R = \left( \max \left( P_{lj} + \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \right) - \min \left( P_{lj} + \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \right) \right) \quad (5)$$

Uloga trećeg i četvrtog člana jeste da onemoguće da krajnja karakteristika ima ekstremnije vrijednosti od početne. Njihovi matematički zapisi su sledeći:

$$MAX = \max \left( \max \left( P_{lj} + \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \right) - \max(P_{lj}), 0 \right) \quad (6)$$

$$MIN = \max \left( \min(P_{lj}) - \min \left( P_{lj} + \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \right), 0 \right) \quad (7)$$

Ograničenje napunjenosti baterija („State-of-charge“ - SOC) takođe je definisano u algoritmu. Njihova je uloga da obezbijede da SOC svakog automobila u sistemu uvijek bude u dozvoljenim granicama. Za minimalnu vrijednost SOC izabrano je 30%, a za maksimalnu 95%. U slučaju da se od automobila zahtjeva snaga koju on ne može da obezbijedi zbog SOC ograničenja, mora doći do korekcije. Tada se ovaj nedostatak pokušava nadomjestiti uzimanjem dodatne snage od ostalih automobila u sistemu. Ako to nije moguće uraditi, koriguje se vrijednost razmijenjene snage između V2G sistema i mreže za onoliko koliko iznosi prekoračenje.

## 5. REZULTATI SIMULACIJA

U simulacijama je pretpostavljen sistem u kojem postoji 15 električnih vozila, pri čemu svako vozilo ima bateriju kapaciteta 45 kWh i može se puniti ili prazniti maksimalnom snagom od 7.7 kW.

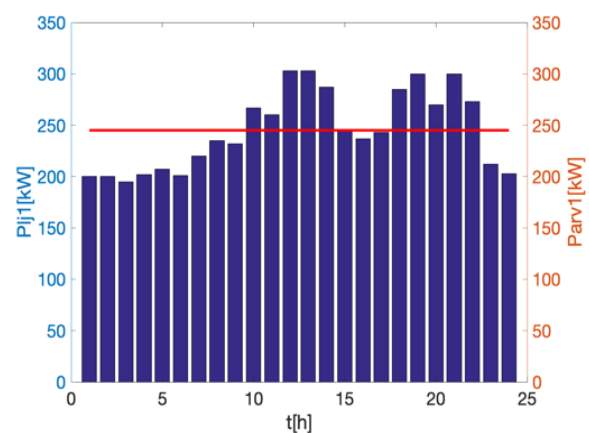
Da bi se pokazala efikasnost PSO algoritma, analizirana su dva slučaja – kada je opterećenje sistema u toku 24 h bez velikih fluktacija snage (CASE 1 – slike 2-4) i slučaj kada u toku 24 h postoje velike razlike u fluktacijama snage (CASE 2 – SLIKE 5-7). Početne karakteristike opterećenja sistema preuzete su iz [15]. U oba slučaja podrazumijevana je proizvoljna početna napunjenost baterija automobila. U simulacijama je

korišćenje automobila za transport modelovano tako što se baterija svakog automobila prazni dva puta u toku dana, u periodima između 07h – 09h i 18h – 20h. Baterije automobila se, u tu svrhu, isprazne za ukupno 30% kapaciteta, te prema tome taj dio energije ne može učestvovati u V2G sistemu.

Na slikama na kojima je prikazana karakteristika opterećenja (početna, kao i modifikovana) punom linijom je prikazana srednja vrijednost opterećenja.

### CASE 1

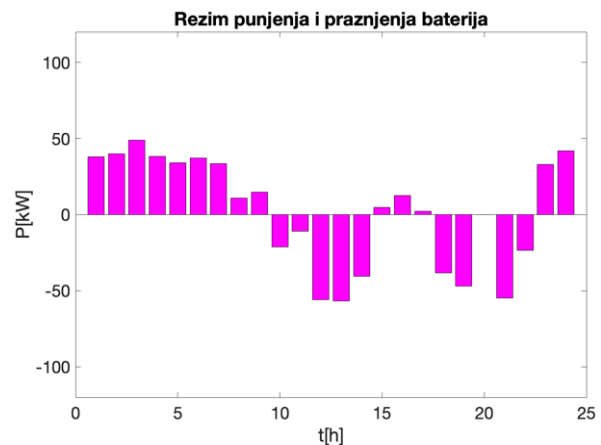
Shodno početnoj karakteristici opterećenja u prvoj simulaciji (slika 2), prikazan je optimizovani režim punjenja i pražnjenja automobila u sistemu (slika 3) i karakteristika opterećenja sa V2G sistemom (slika 4).



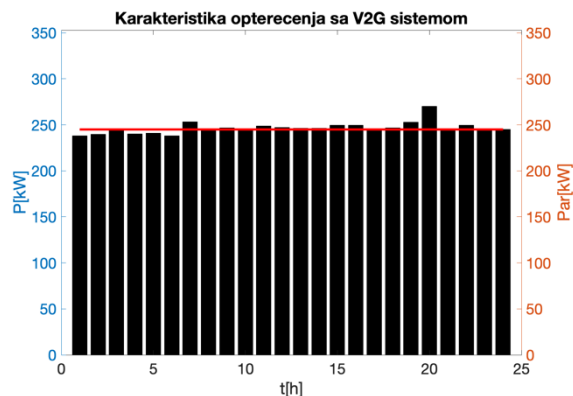
Slika 2 - Početna karakteristika opterećenja u prvoj simulaciji

Vidi se da algoritam dobro funkcioniše u ovom slučaju jer omogućava izuzetno dobro peglanje karakteristike opterećenja. Sa slike 4 jasno se vidi da je odstupanja karakteristike opterećenja od idealne karakteristike izuzetno malo.

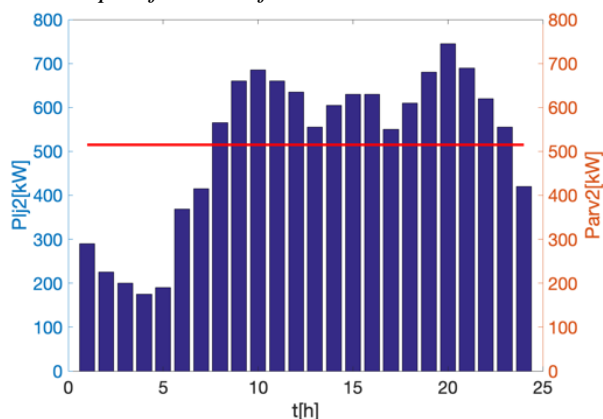
Međutim, jasno je da su u posmatranom slučaju baterije električnih vozila dovoljnih kapaciteta da mogu da poprave karakteristiku opterećenja.



Slika 3 - Režim punjenja vozila u prvoj simulaciji



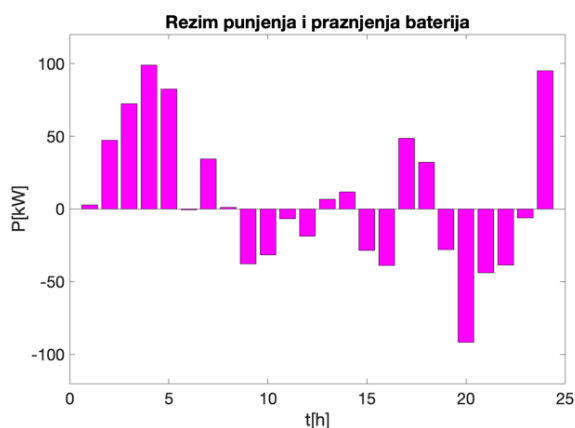
Slika 4 - Karakteristika opterećenja sa V2G sistemom u prvoj simulaciji



Slika 5 - Početna karakteristika opterećenja u drugoj simulaciji

## CASE 2

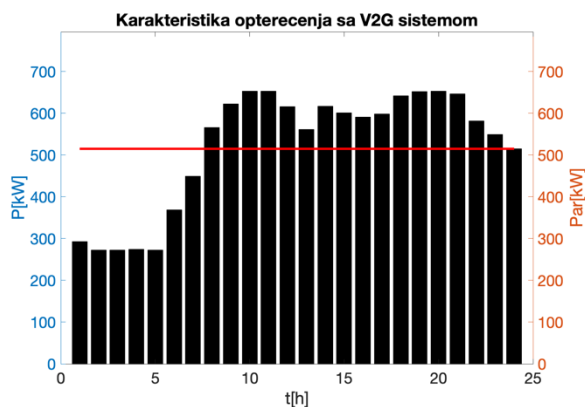
Slično prethodnom, shodno početnoj karakteristici opterećenja u drugoj simulaciji (slika 5), prikazan je režim punjenja i pražnjenja automobila u sistemu (slika 6) i karakteristika opterećenja sa V2G sistemom (slika 7).



Slika 6 - Režim punjenja vozila u drugoj simulaciji

U razmatranom slučaju odnos minimalne i maksimalne vrijednosti snage na karakteristici opterećenja u toku 24 h je veći od tri puta. Zbog toga, posmatrana agregacija automobila može samo u ograničenoj mjeri

da popravi karakteristiku opterećenja. Međutim, i pored toga što nije očigledna značajna promjena u obliku karakteristike, vidi se poboljšanje, gdje je maksimalna snaga manja za oko 15%, a razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti snage je smanjena za više od 30%.



Slika 7 - Karakteristika opterećenja sa V2G sistemom u drugoj simulaciji

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je analiza uticaja električnih vozila na elektroenergetsku mrežu, kroz „Vehicle-to-grid“ sistem. Prikazani su rezultati dvije simulacije sa različitim početnim karakteristikama opterećenja. U obje simulacije V2G sistem je uspio da u značajnoj mjeri popravi karakteristiku opterećenja. Upravo prikazani rezultati idu u prilog činjenici da pametno organizovanje punjenja električnih automobila predstavlja neophodan korak u procesu njihovog masovnog uključivanja u EES, i predstavlja samo jednu od mogućnosti koju pruža V2G.

Budući rad u ovoj oblasti biće okrenut ka uzimanju u obzir dodatnih faktora, kao što je promjena cijene električne energije u toku jednog dana, ponašanje i navike vozača ili mogućnost kvarova.

Pored već obrađenog cilj je omogućiti i neke od ostalih regulatornih usluga koje električna vozila mogu pružiti elektroenergetskoj mreži, kao što su regulacija frekvencije i napona, skladištenje viška energije ili obrtne rezerve.

## 7. ZAHVALNICA

Istraživanje predstavljeno u ovom radu dio je istraživanja koje se sprovode u okviru bilateralnog projekta „Istraživanja mogućnosti elektroenergetskog sistema sa distribuiranim izvorima i aktivne uloge električnih i hibridnih vozila u gradovima i turističkim centrima u Srbiji i Crnoj Gori“, koji realizuju Univerzitet Crne Gore – Elektrotehnički fakultet Podgorica i Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka.

## LITERATURA

- [1] IEA "Global EV Outlook 2019", IEA, Paris, [www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/](http://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/), 2019.
- [2] C. Li, Y. Cao, Y. Kuang, B. Zhou, *Influences of Electric Vehicles on Power System and Key Technologies of Vehicle-to-Grid*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.
- [3] M. Yilmaz and P. T. Krein, Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 12, pp. 5673-5689, Dec. 2013.
- [4] H. Turker and S. Bacha, Optimal Minimization of Plug-In Electric Vehicle Charging Cost With Vehicle-to-Home and Vehicle-to-Grid Concepts, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 11, pp. 10281-10292, Nov. 2018.
- [5] B. Sah, P. Kumar, R. Rayudu, S. K. Bose and K. P. Inala, „Impact of Sampling in the Operation of Vehicle to Grid and Its Mitigation“, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 7, pp. 3923-3933, July 2019.
- [6] J. R. Pillai and B. Bak-Jensen, „Integration of Vehicle-to-Grid in the Western Danish Power System“, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 12-19, Jan. 2011.
- [7] Z. Luo, Z. Hu, Y. Song, Z. Xu and H. Lu, „Optimal Coordination of Plug-in Electric Vehicles in Power Grids With Cost-Benefit Analysis—Part II: A Case Study in China“, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 4, pp. 3556-3565, Nov. 2013.
- [8] T. Han, A. Mao, S. Kuai and B. Ye, „Load ratio optimization of Urban Power Grid Considering penetration of electric vehicles“, *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Chongqing, pp. 1738-1742, 2018.
- [9] C. Liu, K. T. Chau, D. Wu and S. Gao, Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies, *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 11, pp. 2409-2427, Nov. 2013.
- [10] D. Jovanović, M. Čalasan, M. Radulović, „Estimacija parametara solarnih ćelija primjenom PSO algoritma“, *Časopis saveza tehničara i termičara Srbije – Tehnika*, ISSN 0040-2176, vol. 68, No. 1, pp. 91-96. 2013.
- [11] D. S. Mujičić, M. Čalasan, M. Radulović, „Primjena PSO algoritma u estimacija parametara transformatora“, *Časopis saveza tehničara i termičara Srbije – Tehnika*, ISSN 0040-2176, vol. 68, No. 2, pp. 251-257, 2013.
- [12] M. A. Abido, „Optimal power flow using particle swarm optimization“, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 24, No. 7, pp. 563–571, 2002.
- [13] T. Mao, X. Zhang, B. Zhou, „Modeling and Solving Method for Supporting ‘Vehicle-to-Anything’ EV Charging Mode“, *Applied science*, Vol. 8, No. 48, pp. 1-16, 2018.
- [14] S.B.Peterson, J.Apt, J.F.Whitacre – Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle to grid, *Journal of Power Sources*, Volume 195, Issue 8, pp 2385-2392, 15 April 2010,
- [15] H. Hai-Ying, H. Jing-Han, W. Xiao-Jun, T.Wen, „Optimal Control Strategy of Vehicle-to-Grid for Modifying the Load Curve Based on Discrete Particle Swarm Algorithm“, *4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, Weihai, Shandong, China, July 2011.

## SUMMARY

## IMPLEMENTATION OF THE V2G MODEL FOR OPTIMISING THE LOAD CURVE OF THE POWER SYSTEM USING PSO ALGORITHM

*This paper deals with the impact of the electric vehicles on the power grid, as a part of “Vehicle-to-grid” system, through improving the daily load curve of the power system. In order to generate optimal energy transfer regime between electric vehicles batteries and the grid, Particle swarm optimisation algorithm was used. High efficiency of the PSO algorithm for this purpose is shown, as well as the possibility of using the electric vehicles for improving the daily load curve of the power system, specifically, lowering energy consumption in periods of high loads (peak periods), and raising energy consumption in periods of small loads. All conclusion are derived while keeping the “State-of-charge” (SOC) of the batteries in a predefined range.*

**Key words:** network, charging, battery, load, vehicle