

Razvoj profilov električnih vozil za testiranje izbranih primerov uporabe tehnologij V2X

Tim Marentič, Igor Mendek, Dušan Golubović, Klara Anžur, Matej Zajc

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

E-pošta: tim.marentic@fe.uni-lj.si, matej.zajc@fe.uni-lj.si

Development of EV profiles for testing selected use cases with V2X technology

Abstract. The article presents electric vehicle (EV) profiles following selected use-cases for five charging stations (CSs) considering smart charging and discharging with vehicle to grid (V2G) to exploit their flexibility. The profiles are defined based on data on behavior of personal vehicles (traffic), historical measurements of the selected energy grid and literature. For each profile, we defined the $P(t)$ signal, the charging and discharging power of EVs as a function of time. These defined profiles will be used to test and evaluate the V2X (Vehicle to Everything) potential within the Slovenian demonstrator of the EV4EU project.

Keywords: electric vehicles (EV), EV profiles, vehicle-to-everything (V2X), vehicle-to-grid (V2G), energy grid

1 Uvod

Uporaba električnih vozil (EV) po svetu se povečuje in s tem tudi obremenjenost elektroenergetskega sistema. Zato je nujen razvoj orodij za oceno vpliva EV na omrežje. Prav tako je pomemben tudi razvoj orodij, ki bodo v pomoč pri oceni potenciala prožnosti, ki ga lahko EV vključena v virtualne elektrarne (VPP, ang. Virtual Power Plant) ponudijo omrežju oz. na trgu prožnosti in s tem pripomorejo k stabilnosti omrežja. EV lahko ponujajo prožnost z izvajanjem pametnega polnjenja ali njegove nadgradnje s tehnologijo V2G (ang. Vehicle-to-grid), na katero smo se osredotočili v članku. Ta omogoča dvosmerno izmenjavo električne energije med EV in omrežjem in je del širšega pojma tehnologije V2X (ang. Vehicle to Everything) [1], [2], [3].

Obnašanje uporabnikov EV je zelo raznoliko. Primere uporabe EV lahko delimo na dom in službo ter

zasebna in službena vozila [4], [5]. V večini primerov so EV priključena doma od popoldneva do naslednjega jutra. To ima drugačen vpliv pri oceni potenciala prožnosti napram EV, ki so priključena v službi (zaposleni ali službena vozila). Vpliv EV na omrežje je odvisen tudi od dneva v tednu (delavnik ali vikend oz. praznik) ter vremenskih razmer, katere vplivajo na PV proizvodnjo in porabo samih odjemalcev.

Iz naštetega je razvidno, da je potrebno prepoznati oz. definirati povprečne profile obnašanja EV za oceno njihovega vpliva na omrežje in potenciala prožnosti. Pri definiranju profilov je potrebno upoštevati tudi vpliv lokalnih razmer v omrežju [6].

Cilj tega članka je definirati nabor EV profilov za izbrane primere uporabe v Sloveniji, ki predstavljajo pet agregiranih polnilnic. Priključeni EV uporabljajo pametno polnjenje in praznjenje V2G, z namenom ponujanja prožnosti in sodelovanja v storitvah, kot so npr. regulacija napetosti (ang. Voltage Control) itd. ter doseganja zahtev EV uporabnikov. Za vsak profil smo definirali $P(t)$ signal, moč polnjenja oz. praznjenja EV v odvisnosti od časa. Profili se bodo oz. se uporabljajo za testiranje in oceno V2X potenciala na slovenskem demonstratorju EV4EU (ang. Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe) projekta [7], [8].

2 Pregled literature

Z željo po definiranju profilov, smo raziskali, kakšen pristop so drugi avtorji uporabili pri določanju profilov.

Običajno se uporabljajo historični podatki. V člankih [4] in [5] so uporabili meritev iz 270 polnilnih mest, ki se nahajajo v mestu Arnhem (Nizozemska) oz. razpoložljivo literaturo in interne pogovore z ključnimi akterji v sektorju e-mobilnosti, vključno s proizvajalci vozil, operaterji polnilnih mest (CPO, ang. Charge Point



Slika 1: Pet definiranih EV profilov z uporabo V2G za izbrane primere uporabe

Operator) in ponudniki storitev mobilnost (MSP, ang. Mobility Service Providers) ter ostalimi deležniki. Na podlagi metode rojenja (ang. Clustering) so v zgoraj omenjenih člankih definirali sedem [4] oz. devet različnih EV profilov [5]. Poleg tega so v [5] opredelili tudi območje stanja napoljenosti EV baterije (SOC, ang. State of Charge) ob priklopu in zahtevan SOC ob odklopu za posamezne profile.

Razumevanje razmer v elektroenergetskem sistemu in njegove obremenjenosti je pomembno pri predvidevanju vpliva EV na omrežje ter izrabi njihovega potenciala prožnosti. V raziskavi [9] so meritve obremenjenosti omrežja v okviru pilotnega okolja obdelali s statistično obdelavo podatkov. Namen je bil določitev ur v dnevu, v katerih prihaja do konične obremenitve omrežja. Te so definirali glede na sezono in tip dneva (delovnik, vikend itd.).

V nadaljevanju je opisana metodologija, ki pove kako in na podlagi katerih podatkov smo določili EV profile za izbrane primere uporabe.

3 Obnašanje uporabnikov vozil v Sloveniji in razmere v omrežju

Za definiranje izbranih profilov EV smo v našem primeru uporabili podatke o obnašanju uporabnikov vozil v Sloveniji. Te smo pridobili iz Statističnega urada Republike Slovenije [6]. Za določitev ur koničnih obremenitev in s tem tudi določitev kdaj omrežje potrebuje aktivacijo storitev za zagotavljanje njegove stabilnosti smo potrebovali podatke o obremenjenosti omrežja [9].

Kot je bilo navedeno v 2 poglavju, so nekateri avtorji pri določanju EV profilov uporabili metodo rojenja. Zanja se v našem primeru nismo odločili. Razlog je, da iz podatkov, ki jih imamo na voljo, različnih polnjenj med seboj ne moremo povezati s posameznim EV. Zato smo se v naši raziskavi odločili, da bomo EV profile določili na podlagi statistične obdelave podatkov o prometu in razmerah v omrežju ter literature. Ta pristop so ubrali tudi v [9].

Na podatkih verjetnosti začetka poti vozil [6] za namen dela in prostega časa smo izvedli statistično analizo. Določili smo ure, v katerih je največja verjetnost, da se vozila odpravijo na pot, da gredo v ali iz službe oziroma po opravkih v prostem času. Predpostavili smo, da vsa vozila svojo pot zaključijo znotraj iste ure kot so jo začela. Statistično to velja za 94,33 % poti [6]. Ugotovili smo, da obstaja največja verjetnost, da se uporabniki vozil odpravijo na delo okoli 7.00 zjutraj. Vrnitev iz službe poteka z največjo verjetnostjo med 15.00 in 16.00. Definirane ure smo uporabili pri določanju EV profilov.

Glede na uporabo vozil v prostem času lahko najverjetneje trdimo, da bodo vozila pot pričela okoli 11.00 ter med 18.00 in 19.00. Ti ugotovitvi smo uporabili pri definiranju profilov, vezanih na vikend.

SOC ob priklopu in zahtevan SOC ob odklopu EV za posamezne profile smo določili na podlagi [5]. Pri določanju SOC smo upoštevali tudi optimalno izrabo EV baterij [10].

Za definiranje razmer v elektroenergetskem omrežju smo se uprli na študijo [9], ki določa ure konične obremenitve izbranega omrežja. Ugotovitve študije smo prilagodili, da so te aktualne današnjim razmeram v lokalnem omrežju.

Zaradi spreminjajočih se razmer v omrežju, smo določili povprečne ure med delovnikom in vikendom v katerih se pojavi konična obremenitev omrežja.

Določili smo, da je med delovnikom izbrano omrežje v povprečju konično obremenjeno dopoldan med 8.00 in 10.00 ter popoldan med 19.00 in 21.00. Med vikendom je omrežje v povprečju konično obremenjeno med 18.00 in 21.00. Omrežje, predvsem okoli 12.00 ni obremenjeno oz. nastajajo PV viški.

Omenjene ugotovitve smo upoštevali pri definiranju EV profilov. Predpostavili smo, da se v urah konične obremenitve, EV lahko samo praznijo z uporabo tehnologije V2G in s tem razbremenijo omrežje (ponudijo prožnost) oz. se ne polnijo. V ostalih urah velja, da omrežje ni obremenjeno. Gibanje cene električne energije v odvisnosti od dneva in ure v naši raziskavi nismo upoštevali.

4 Profili uporabe V2G doma ter v službi

Na podlagi statistične analize izvedene na podatkih opisanih v poglavju 3, smo definirali pet EV profilov za primere uporabe doma in v službi (zaposleni in službena vozila). Za vsak profil smo definirali tudi $P(t)$, moč polnjenja oz. praznjenja EV v odvisnosti od časa priključenosti EV. Profili so zastavljeni tako, da EV ponujajo svojo prožnost omrežju s sodelovanjem v storitvah takrat, ko je to potrebno in s tem pripomorejo k večji stabilnosti omrežja. Poleg tega se zagotovi tudi zahtevan SOC ob odklopu. V nadaljevanju definirani profili predstavljajo pet agregiranih polnilnic s priključenimi EV, kjer ima vsaka moč 8 kW. Tako skupna maksimalna moč polnjenja oz. praznjenja polnilnic znaša 40 kW. Za posamezni profil smo definirali tudi zahtevano začetno stanje za proženje kot je ura aktivacije in SOC ob pričetku. Nabor petih definiranih profilov, je prikazan na Slika 1.

4.1 Uporaba V2G doma

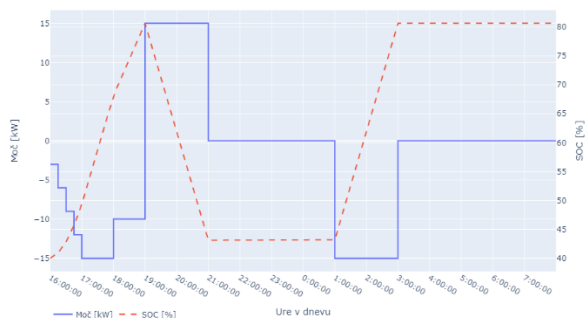
Na podlagi zgoraj opisanih vhodnih podatkov smo definirali dva EV profila, ki predstavljata EV doma z uporabo V2G. Eden med delovnikom, drugi med vikendom.

4.1.1 Delovnik

Profil, ki prikazuje uporabo V2G doma med delovnikom je prikazan na Slika 2. Predstavljeni profil prikazuje priklop EV ob 16.00 ter odklop ob 8.00 zjutraj, naslednji dan (Poglavje 2). Na podlagi literature [5] smo določili, da je SOC ob priklopu EV 40 % ter zahtevan ob odklopu 80 %.

Iz Slika 2 je razvidno, da se takoj ob priklopu EV polnijo (negativna moč predstavlja polnjenje) z namenom pridobitve zadostnega SOC, da se v nadaljevanju lahko praznijo V2G (pozitivni predznak

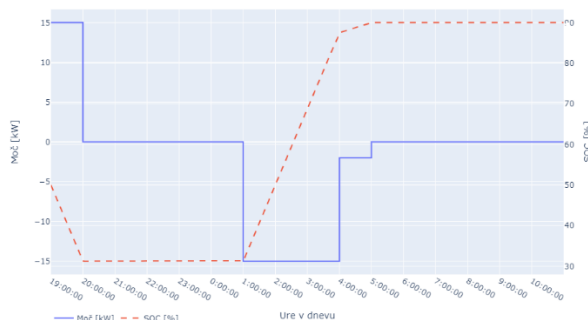
moči). Z aktivacijo svoje prožnosti pripomorejo k večji stabilnosti omrežja. Nato se EV v večernih urah ponovno polnijo, da se doseže zahtevan SOC ob odklopu. Upoštevali smo, da se vsi EV ne priključijo istočasno.



Slika 2: 1. EV profil z uporabo V2G doma – delovnik. Z modro črto je podana moč polnjenja oziroma praznjenja in z rdečo črtkano je podan SOC.

4.1.2 Vikend

Profil prikazan na Slika 3 prikazuje polnjenje in praznjenje EV doma med vikendom z uporabo V2G. Predstavljen profil prikazuje priklop EV ob 19.00 ter njihov odklop ob 11.00, naslednji dan. SOC ob priklopu smo določili 50 % ter zahtevan SOC ob odklopu 90 %, z razlogom, da imajo naslednji dan EV uporabniki na voljo zadosten doseg za izvajanje poti v prostem času.



Slika 3: 2. EV profil z uporabo V2G doma – vikend

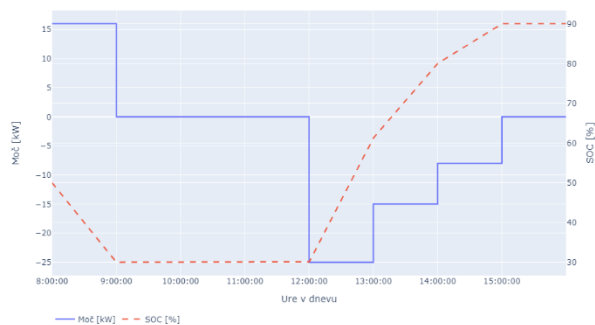
Razvidno je, da se ob priklopu EV pričnejo prazniti, ker je omrežje takrat v povprečju konično obremenjeno, tako EV z aktivacijo prožnosti in posledično sodelovanjem v storitvah povečajo stabilnost omrežja. V večernih urah, ko omrežje ni več obremenjeno se EV polnijo, da se doseže zahtevan SOC.

4.2 Uporaba V2G v službi – zaposleni

Definirali smo EV profil, ki ponazarja EV z uporabo V2G v službi, ko se zaposleni s svojim EV pripeljejo v in iz službe (Slika 4). Ta predstavlja priklop EV ob 8.00 ter odklop ob 16.00 (povprečni delovnik v Sloveniji). Določili smo, da imajo EV ob priklopu SOC 50 % ter ob odklopu zahtevan 90 %. S tem se doseže, da imajo uporabniki EV na voljo dovolj dosega za pot domov.

Kot je razvidno iz Slika 4, se ob priklopu EV pričnejo prazniti, saj je ob času priklopa omrežje med delovnikov konično obremenjeno. EV se pričnejo polniti ob 12.00, ko je pričakovana največja PV proizvodnja. Tako se lahko EV polnijo z viški PV proizvodnje in s tem

razbremenijo omrežje ter povečajo samooskrbo. Polnijo se toliko časa, da se doseže zahtevan SOC.



Slika 4: 3. EV profil z uporabo V2G služba – zaposleni

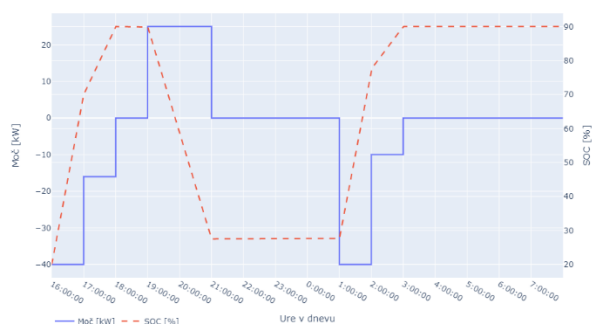
Vpliv izbranega profila na stabilnost omrežja je odvisen tudi od vremenskih razmer, saj te vplivajo na PV proizvodnjo in posledično na proizvedene viške. Zato je potrebno pri oceni vpliva EV zaposlenih upoštevati tudi predvideno PV proizvodnjo.

4.3 Uporaba V2G – službena vozila

Definirali smo tudi dva EV profila, ki prikazujeta uporabo službenih EV med delovnikom, ko so ta v uporabi in med vikendom, ko se načeloma ne uporabljajo.

4.3.1 Delovnik

Na Slika 5 je prikazan profil EV, ki prikazuje službene EV med delovnikom z uporabo V2G. Definirani profil prikazuje priklop službenih EV ob 16.00, ko se delovnik konča ter njihov odklop ob 8.00 naslednji dan, ko se delovnik nadaljuje. SOC ob priklopu EV smo določili na 20 %, predpostavili smo, da se EV med delovnikom izpraznijo zaradi opravljanja službenih poti. Zahtevan SOC ob odklopu znaša 90 % z namenom, da imajo EV naslednji dan na voljo čim večji doseg.

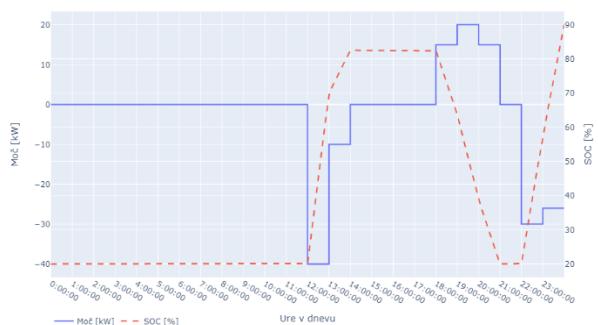


Slika 5: 4. EV profil z uporabo V2G službena vozila – delovnik

Iz Slika 5 je razvidno, da se EV ob priklopu pričnejo polniti z namenom, da pridobijo dovolj energije, da bodo zmožni sodelovati v storitvah prožnosti, ko bo omrežje konično obremenjeno. Poleg tega je v obdobju, ko se EV priključijo, v povprečju omrežje neobremenjeno. EV se nato pričnejo prazniti z namenom, da razbremenijo omrežje med konično obremenitvijo. V večernih urah, ko omrežje ni obremenjeno, se EV polnijo, da se doseže zahtevan SOC.

4.3.2 Vikend

Slika 6 prikazuje profil službenih EV med vikendom z uporabo V2G tehnologije. Ker načeloma med vikendom službena EV niso v uporabi, smo predpostavili, da so priključena cel dan. Določili smo, da je SOC ob priklopu EV 20 %, saj so se zaradi uporabe med delovnikom izpraznila. Zahtevan SOC ob odklopu pa 90 %, da imajo dovolj dosega za naslednji delovni dan.



Slika 6: 5. EV profil z uporabo V2G službena vozila – vikend

Razvidno je (Slika 6), da se EV ob 12.00 pričenejo polniti, saj se v teh urah pričakuje viške PV proizvodnje, kateri se lahko uporabijo za polnjenje. Poleg tega je v povprečju omrežje takrat neobremenjeno (Poglavje 3). S polnjenjem ob 12.00 se poveča tudi samooskrba. EV nato sodelujejo v storitvah prožnosti s praznjenjem V2G v urah, ko se pričakuje, da bo omrežje konično obremenjeno. V večernih urah, ko je omrežje neobremenjeno, se EV ponovno polnijo z namenom dosege SOC ob odklopu.

Tudi pri oceni vpliva službenih EV je potrebno upoštevati vremenske razmere, saj te vplivajo na PV proizvodnjo in posledično samooskrbo.

5 Zaključek

V članku so predstavljeni EV profili, ki so bili razviti znotraj projekta EV4EU in se oziroma se bodo testirali na slovenskem demonstratorju [7], [8]. Profili za pet različnih primerov uporabe (dom in služba) so specifični za Slovenijo in ponazarjajo pet agregiranih polnilnic. Priključeni EV uporabljajo V2G tehnologijo pametnega polnjenja ter praznjenja, z namenom ponujanja prožnosti in sodelovanja v storitvah na trgu in posledično zagotavljanja stabilnosti omrežja ter doseganja zahtev EV uporabnikov.

Za vsak opredeljen profil smo definirali $P(t)$ signal, moč polnjenja oz. praznjenja EV v odvisnosti od časa priključenosti EV.

Proženje definiranih EV profilov na arhitekturi z VPP znotraj projekta EV4EU, ki je prikazana v [8], je in bo v pomoč pri testiranju in oceni potenciala prožnosti ter ponujanja storitev prožnosti, ki jih EV lahko ponudijo z uporabo pametnega polnjenja in V2X. Poleg tega lahko izbrani EV profili služijo agregatorju oz. CPO pri oceni potenciala prožnosti, ki ga EV lahko ponudijo na trgu in s tem pripomorejo k večji stabilnosti omrežja.

V prihodnje načrtujemo nadgradnjo definiranih EV profilov z upoštevanjem novega tarifnega sistema.

6 Zahvala

Hvala slovenskim partnerjem projekta EV4EU Elektro Celje in GEN-I za posredovane podatke in informacije. Raziskave podpira projekt HE EV4EU (2022-2025).

This research work was funded by European Union's Horizon Europe R&I programme under grant agreement no. 101056765. Views and opinions expressed in this document are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the grating authority can be held responsible for them. This work also was funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) under UIDB/50021/2020.

Literatura

- [1] European Commission, „European Commission,“ 28 10 2022. [Elektronski]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6462.
- [2] M. N. Eisler, „False Starts: The Checkered History of Vehicle-to-Grid Power,“ *IEEE Spectrum* 60 (4), pp. 46-53, 2023.
- [3] AGEN, „Vzpostavitev trga s prožnostjo aktivnega odjema v Sloveniji - Izhodišča,“ 2020.
- [4] M. Cañigüeral in J. Meléndez, „Flexibility management of electric vehicles based on user profiles: The Arnhem case study,“ *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Izv. 133, št. 107195, 2021.
- [5] G. Rancilio, A. Cortazzi, G. Viganò in F. Bovera, „Assessing the Nationwide Benefits of Vehicle-Grid Integration during Distribution Network Planning and Power System Dispatching,“ *World Electric Vehicle Journal*, Izv. 15, št. 4, 2024.
- [6] RS, Statistični urad, „Milijarda podatkov v podatkovni bazi SiStat,“ Statistični urad RS, [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>. [Poskus dostopa 11 7 2024].
- [7] EV4EU, „EV4EU,“ 20 2 2024. [Elektronski]. Available: <https://ev4eu.eu/>.
- [8] I. M. A. K. M. M. H. M. M. Z. Tim Marentič, „Estimation of electric vehicles with V2G capabilities potential for market participation,“ v *IEEE MELECON*, Porto, 2024.
- [9] A. Kos, K. Kožel, D. Bobek, Ž. Stepančič in D. Gabrijelčič, „Končno poročilo projekta Kritične Konične Tarife Project n: 646428,“ Flex4Grid Prosumer Flexibility Services for Smart Grid Management, 2019.
- [10] S. Blanco, „How to Maximize EV Range,“ J.D.Power, 2022.