

Optimalni nabor profilov uporabnikov električnih vozil za sodelovanje v storitvah

Igor Mendek, Tim Marentič, Klara Anžur, Matej Zajc

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
e-pošta: igor.mendek@fe.uni-lj.si, matej.zajc@fe.uni-lj.si

Optimal set of electric vehicles user profiles for participation in services

Abstract. This article presents the methods and results of a study investigating the optimal composition, the best mix, of electric vehicle (EV) user profiles, utilized by an aggregator to participate in the maximum number of balancing services and potentially achieve maximum earnings. The least favourable mix is also presented. The study is based on EV4EU charging stations (CSs) datasets and the Slovenian balancing services market for the year 2022. In the first step, user profiles are defined using the K-Means method based on the CSs data. All possible combinations of profiles are compiled and evaluated against the requirements of the balancing market in 2022. The aim is to determine the best and worst combinations of profiles for participation in the services.

Key words. Electric vehicle, Users profile, K-Means, Optimization, Vehicle to Everything (V2X)

1 Uvod

Število električnih vozil (EV) narašča, takšen trend pa je pričakovati tudi v prihodnje [1]. EV so zanimiva tudi za agregatorje iz vidika integracije baterij EV v virtualne elektrarne (VPP). Z integracijo agregator pridobi nov vir, ki ga lahko uporabi za zagotavljanje storitev na trgih prožnosti. Eden izmed razlogov za vključevanje EV je visoka učinkovitost celotnega cikla praznjenja in polnjenja baterij EV, ki presega 90% [2]. En cikel pomeni, da se baterija izprazni od polnega do praznega stanja in nato ponovno napolni. Naslednji razlog, ki potrjuje da ima integracija EV potencial, je dejstvo, da so EV parkirana približno 95% časa, kar pomeni, da večino časa lahko sodelujejo v storitvah [3].

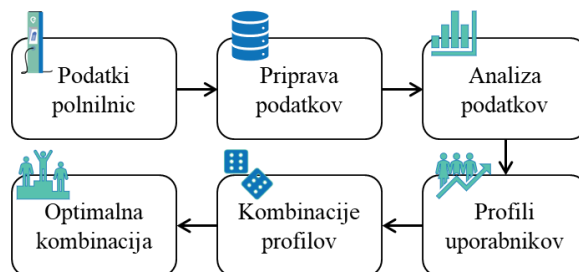
Da EV lahko sodelujejo pri zagotavljanju storitev prožnosti, potrebujejo tehnologijo V2G (ang. Vehicle to Grid), ki omogoča dvosmerno izmenjavo električne energije med EV in omrežjem [4]. Ta tehnologija spada v širši pojem V2X (ang. Vehicle to Everything).

Trenutna polnilna infrastruktura še ne omogoča, da bi bila vsa EV vedno priklopljena na polnilnice in posredno na omrežje, saj je polnilnic premalo [5]. Zato je za agregatorje pri oceni potenciala prožnosti, ki ga lahko EV ponujajo, ključnega pomena, da lahko natančno predvidijo, kdaj in kje bo priklučeno določeno število EV. Ena od možnih metod za predvidevanje prožnosti, ki je uporabljena tudi v naši raziskavi, je analiza zgodovinskih podatkov.

Najlažje predvidljivi so uporabniki, ki polnijo EV doma. Glede na predhodne študije priklopijo EV takoj ob prihodu domov [6]. Druga skupina so uporabniki, ki polnijo na delovnem mestu v času službenega časa, kar je v večini primerov med 8. in 16. uro. Tretja skupina so službena vozila, ki jih zaposleni med delovnim časom uporabljajo, izven delovnega časa pa so parkirana in preko polnilnice priklučena na omrežje [7].

V tej raziskavi, so razviti novi dodatni profili uporabnikov EV, ki temeljijo na podatkih javnih polnilnic. Opravljena je analiza podatkov in njihovo razvrščanje v gruče (ang. Clustering), kjer gruče predstavljajo profile uporabnikov. Pristop je bil razvit v okviru projekta EV4EU, katerega rezultat je osem oziroma deset profilov [8].

Iz profilov, predstavljenih v tej študiji, so sestavljeni izbori kombinacij. Cilj te raziskave je ugotoviti, katera je najboljša kombinacija profilov uporabnikov agregiranih EV z namenom sodelovanja v sistemskih storitvah. Učinkovitost kombinacije profilov je ovrednotena s podatki izravnalnega trga. Na sliki 1 je prikazan izbrani pristop.



Slika 1: Potek izvedbe študije.

2 Priprava podatkov

Podatke, uporabljene v analizi smo pridobili v okviru projekta EV4EU [9]. Gre za skupno 66.619 sej polnjenja, ki so bile zabeležene med 1. 11. 2020 in 9. 1. 2023. Pred posredovanjem so bili podatki anonimizirani. Prvi nabor podatkov beleži informacije o posamezni seji. Ti podatki vključujejo: čas začetka seje, čas zaključka seje, dovedeno energijo (kWh), tip priklopa/vtiča in trajanje seje.

Podatki drugega nabora vključujejo meritve moči (kW) v 15-minutnih intervalih. Iz teh zapisov je mogoče razbrati, v katerih časovnih intervalih je bila polnilnica uporabljena za polnjenje in kolikšna je bila moč polnjenja.

Za zagotovitev enotnega formata je potrebno podatke drugega nabora preurediti, iz prvega pa izločiti

nepotrebna polja. Predhodne študije so pokazale, da je za kreiranje uporabniških profilov ključno poznati vsaj čas priklopa EV, dovedeno energijo in celoten čas priklopa [8].

Čas začetka seje oziroma priklopa EV v drugem naboru je določen kot prvi časovni interval, v katerem je bila moč večja od določene spodnje meje. Čas trajanja seje pa kot zadnji časovni interval v tem nizu, ki je večji od spodnje meje. Dovedeno energijo izračunamo kot vsoto moči izbranih časovnih intervalov in trajanja seje.

Manjkajoče vrednosti ovirajo pravilno izvedbo razvrščanja v gruče. V študiji so bili časovni intervali z manjkajočimi vnosi odstranjeni, da bi se izognili uporabi umetnih vrednosti v določenih poljih.

Druga oblika šuma izhaja iz zapisov z netočnimi podatki, ki na primer podajajo količine dovedene energije, ki niso mogoče, ali podajajo predolg čas seje. Zato smo določili mejne vrednosti za dovedeno energijo in trajanje polnjenja. Na podlagi teh kriterijev je iz nabora odstranjenih dodatnih 122 sej, nadaljnja analiza se opravi na 66.497 sejah.

Za določitev optimalnega nabora kombinacij profilov je bila opravljena primerjava z zahtevami izravnalnega trga. Ti podatki so javno dostopni [10]. Podani so za posamezno sistemsko storitev, primarno, sekundarno in terciarno regulacijo, tako za pozitivno kot negativno izravnalno energijo. Za sekundarno in terciarno regulacijo so podani tudi podatki o cenah opravljenih storitev. Ti podatki so na voljo v 15-minutnih intervalih, v študiji pa so bili uporabljeni podatki za leto 2022.

3 Profili uporabnikov EV

Število gruč oziroma profilov EV uporabnikov in njihove lastnosti so določene z uporabo metod razvrščanja v gruče. Kot prve so bile uporabljene metode OPTICS, DBSCAN in Mean Shift, v katerih algoritem sam določi optimalno število gruč. Ker so omenjene metode generirale zelo različno število gruč, OPTICS 1, DBSCAN 429 in Mean Shift 3, smo uporabili metode, kjer je število gruč potrebno določiti, kot začetni kriterij.

Izbrali smo skupino metod, ki z iteracijami minimizirajo vrednost funkcije vsote kvadratov razdalj (SSE, ang. Sum of square errors) in merijo natančnost oziroma kakovost razvrščanja [8]:

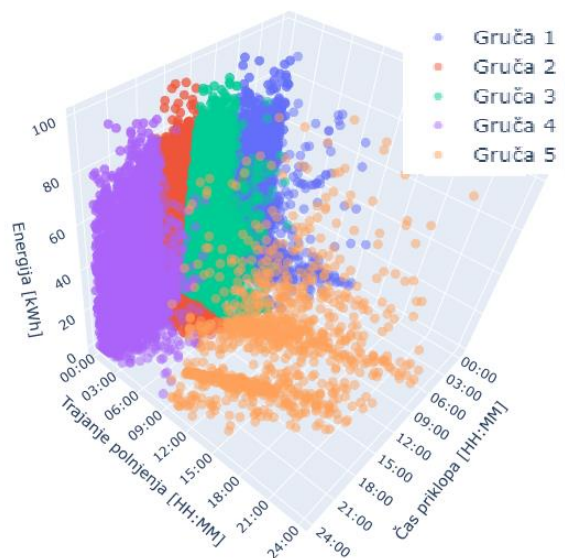
$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in C_i} \|x_j - \mu_i\|^2, \quad (2)$$

kjer je x_j element iz množice nabora podatkov in μ_i težišče skupine C_i .

Takšne metode so na primer K-Means, Fuzzy C-Means in BIRCH. Za določitev optimalnega števila gruč je bila uporabljena metoda 'elbow'. Pri tej metodi iz grafa SSE v odvisnosti od števila gruč razberemo vrednost, kjer se krivulja najbolj lomi. Za naš primer smo razbrali, da optimalno število gruč pet. Za pet gruč je na sliki 2 prikazan rezultat metode K-Means. Na rezultatih te metode smo definirali profile EV uporabnikov.

Kot je vidno so prve štiri gruče združene glede na čas začetka in zaključka seje in so na pogled postavljene kot

štirje vzporedni pasovi. Za naš primer optimizacije je ta kriterij zadovoljiv, saj nas primarno zanima kdaj so EV določenega profila priključena v omrežje.



Slika 2: Prikazuje razporeditev gruč glede na čas priklopa, trajanje priklopa in prejeta energijo za metodo K-Means.

Peta gruča je raztresena po celotnem dnevu. Primerljiva razvrstitev je tudi za BIRCH metodo, medtem ko metoda Fuzzy C-Means tudi peto gručo generira kot pas vzporeden preostalim štirim.

Pri analizi vhodnih podatkov je bilo ugotovljeno, da je peta gruča generirana na podlagi podatkov le petih polnilnic in osamelcev drugih polnilnic, a je njihovo število zanemarljivo.

Peta gruča (Slika 2), kaže tudi odvisnost med časom priklopa in njegovim trajanjem polnjenja. Kasneje v dnevu, ko je opravljen priklop, krajši je čas polnjenja.

Za gruče oziroma profile uporabnikov predstavljene na sliki 2 so v tabeli 1 podani podatki. Glede na čase priklopov in odklopov, je razvidno, da je prva gruča nočni profil uporabnikov. EV tega profila so priključena med 00:00 in 8:50 uro. Časovno temu sledi jutranji profil, to je tretja gruča, katere EV so priključena med 7:45 in 13:05 uro. EV popoldanskega profila so priključeni med 12:30 in 17:45 uro in so predstavljeni v drugi gruči. V četrti gruči so predstavljeni večerni profili, katerih vozila so priključena med 17:10 in 00:35 uro naslednjega dne. Profili teh štirih gruč so primerljivi po povprečnem času priklopa. Ta je med 35 in 50 minut. Prav tako so primerljivi po prejeti energiji, katera znaša med 25 in 30 kWh.

Pri analizi časov, kdaj so EV priključena, ugotovimo, da prve štiri gruče niso tako ostro razmejene, kot je to vidno iz slike 2. Časi priklopa in odklopa tretje gruče se namreč prekrivajo s časi prve in druge gruče. Prav tako se čas priklopa četrte gruče prične pred odklopom druge gruče.

Izmed gruč izstopa peta gruča, saj se razprostira čez celoten dan. Tudi povprečno trajanje priklopa je občutno

daljše kot pri prejšnjih profilih in znaša 12:54 ur. Ta profil odstopa tudi glede prejete energije, ki v povprečju znaša 17 kWh.

Tabela 1. Profili EV uporabnikov

Profil		1	2	3	4	5
Čas priklopa [HH:MM]	priklop	00:00	12:30	07:45	17:10	00:30
	odklop	8:50	17:45	13:05	24:35	23:45
Energija [kWh]	povprečje	24.98	29.82	29.76	26.25	17.33
	povprečje	00:49	00:36	00:36	00:37	12:54
Trajanje priklopa [HH:MM]	minimum	00:00	00:00	00:00	00:00	06:45
	maksimum	13:00	06:45	08:30	08:15	24:00
Prožnost [kWh]	negativna	18.40	13.56	13.62	17.13	26.05
	pozitivna	32.21	37.05	36.99	33.48	24.56

Na podlagi vrednosti povprečne prejete energije profila je izračunana prožnost, ki bi jih EV ob uporabi V2G imela. Pri izračunu je za povprečno kapaciteto baterije EV upoštevana vrednost 72.3 kWh [11]. Privzeto je še, da so v povprečju uporabniki polnili do 80% stanja polnosti baterije (SoC, ang. State of Charge).

S pomočjo tako določenega končnega SoC in povprečne prejete energije sta izračunani negativna in pozitivna prožnost. Meji SoC za sodelovanja EV v storitvah prožnosti smo določili znotraj pasu 20-90%.

4 Optimalna sestava voznega parka

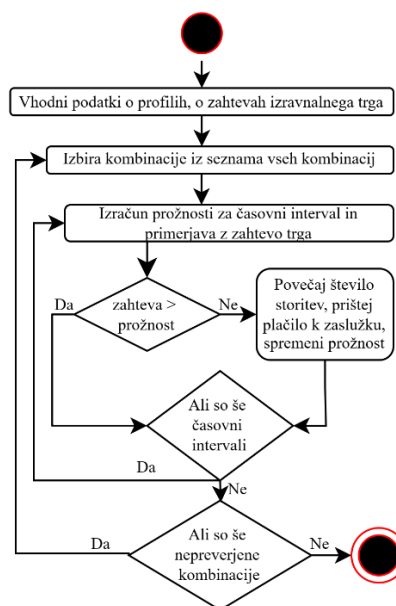
Pri določanju najboljše kombinacije profilov je kot kriterij upoštevano največje število storitev, ki jih takšna kombinacija lahko zagotovi. Ta pristop omogoči agregatorju vpogled katere profile vključiti v VPP, da lahko teoretično sodeluje v največ možnih storitvah. Drugi upoštevan kriterij je potencialni zaslužek, ki je vsota plačil za opravljene storitve v sekundarni in terciarni regulaciji. Potencialni zaslužek poda agregatorju vpogled v kombinacijo profilov, ki lahko prinese največji zaslužek.

Za simuliranje optimalne sestave voznega parka, smo določili da so EV z različnimi profili povezani z omrežjem preko 15 polnilnic. Pet EV profilov lahko na 15 polnilnic razporedimo na 3876 različnih kombinacij.

Za vsako od kombinacij preverimo koliko storitev lahko zagotovi v celotnem letu in kolikšen je pri tem potencialni zaslužek. Za optimizacijo nismo razvili optimizacijske funkcije, saj gre v navedenem primeru zgolj za preštevanje v koliko storitvah lahko določena kombinacija sodeluje. Algoritem je podan na sliki 3. Implementiran je v programskem jeziku Python.

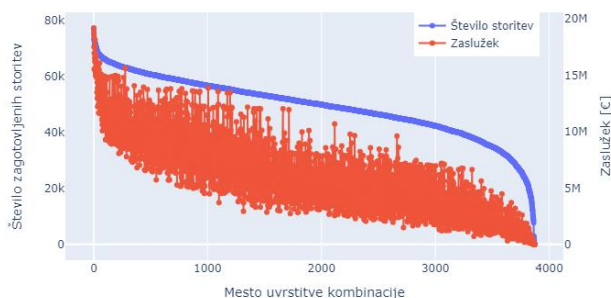
V prvem koraku uvozimo podatke o zahtevah trga. Nato algoritem iz seznama izbere kombinacijo profilov. Za vsak 15-minutni interval se izračuna negativna in pozitivna prožnost, ki jo določena kombinacija EV profilov lahko ponudi. Ti vrednosti primerjamo z zahtevami trga v obravnavanem časovnem intervalu. V kolikor kombinacija agregiranih EV profilov lahko zadovolji zahtevi, povečamo števec, izračunamo novi vrednosti prožnosti in ceno storitve prištejemo k

potencialnemu zaslužku. Po končanem postopku se pomaknemo v nov 15-minutni interval. Ob zaključku zadnjega časovnega intervala, program izstopi iz funkcije in ponovi postopek za naslednjo kombinacijo na seznamu, dokler le teh ne zmanjka.



Slika 3: Algoritem za določanje optimalnega nabora profilov za sodelovanje v izravnalnih storitvah.

Rezultati primerjave kombinacij profilov so predstavljeni na sliki 4. Izrisano je skupno število sodelovanj v storitvah in potencialni zaslužek sodelovanja v sekundarni in terciarni regulaciji po posamezni kombinaciji. Kombinacije so razvrščene od tiste z največjim do tiste z najmanjšim številom sodelovanj. Namen slike 4 je prikazati pomembnost izbire prave kombinacije na poslovni rezultat. Klub zelo širokem pasu, je namreč viden trend padanja. Tako število storitev kot tudi potencialni zaslužek v območju najboljših 100 in najslabših 200 kombinacij zelo upadeta.



Slika 4: Število sodelovanj v storitvah in potencialni zaslužek za sodelovanje v sekundarni in terciarni regulaciji za vse kombinacije definiranih EV profilov.

V letu 2022 je bilo vseh zahtev za storitve 93.457, kar predstavlja približno 133 GWh. Za sekundarno in terciarno regulacijo, skupaj 53.602 zahtev, pa je bilo plačanih 26.665.921 €. Zaradi odsotnosti podatkov cene za primarno regulacijo, potencialni zaslužek v tabeli 2 ni podan.

Iz tabele 2 je razvidno, da je pri najboljših kombinacijah najbolj zastopan tretji profil, kjer so EV

priključena med 7:45 in 13:05 uro, najmanj pa peti profil. Peti profil je najbolj zastopan profil med najslabšimi kombinacijami, kar je bilo ugotovljeno z analizo rezultatov.

V tabeli 2 je podan tudi delež storitev, ki ga kombinacija profilov zagotovi, napram vsem zahtevam. Razvidno je, da nobena od kombinacij ne zagotovi vseh zahtev.

Tabela 2. Lestvica 10 najboljših kombinacij EV profilov. V stolpcih kombinacije profilov so podana števila EV posameznega profila v kombinaciji

	Kombinacija profilov					Število storitev	
	1	2	3	4	5	Skupaj	Delež
1	1	4	10	0	0	77.117	0.83
2	1	4	9	1	0	76.582	0.82
3	0	12	3	0	0	75.295	0.81
4	3	0	10	2	0	73.296	0.78
5	2	2	8	3	0	73.134	0.78
6	4	2	9	0	0	72.942	0.78
7	3	2	10	0	0	72.706	0.78
8	3	0	9	1	2	72.220	0.77
9	3	0	12	0	0	72.137	0.77
10	3	1	10	1	0	72.056	0.77

Ob štetju števila storitev, ki jih posamezna kombinacija lahko zagotovi, smo računali tudi potencialni zaslužek za sodelovanje v sekundarni in terciarni regulaciji. Najboljše tri kombinacije po številu zagotovljenih storitev so tudi najboljše tri kombinacije po potencialnem zaslužku.

5 Zaključek

Cilj raziskave je bil raziskati različne kombinacije profilov EV uporabnikov in jih ovrednotiti glede na število možnih zagotovitev storitev z baterijami EV in dvosmerno izmenjavo energije z uporabo tehnologije V2G. V ta namen smo na podlagi podatkov javnih polnilnic razvili pet profilov EV uporabnikov.

Ugotovili smo, da je profil tretje gruče najbolj izražen. To je profil, kjer so EV priključena med 7:45 in 13:05 uro. Najboljša kombinacija pa ni sestavljena samo iz tega profila. Najboljše so kombinacije, ki vsebujejo zadostno število EV tretjega profila za doseganje zahtev v omenjenem časovnem obdobju. Temu pa so dodani EV drugih profilov, ki lahko sodelujejo v zahtevah izven omenjenega časovnega obdobja. Kljub temu, da so EV petega profila priključena cel dan, pa njihova za četrtino manjša prožnost ta profil definira kot najslabši za integriranje v kombinaciji.

Ta študija lahko služi kot vodilo agregatorju pri vključevanju EV z namenom sodelovanja na trgu prožnosti. Nadgradnja študije je lahko razlikovanje sej na delovnike ter vikende in praznike.

Za bolj realno sliko pa je vsekakor potrebno vključiti še profile uporabnikov, ki polnijo doma ali v službi, predvsem službena vozila. S tem bi se nabor profilov skoraj podvojil in otežil simulacijo, a se bi še bolj približali realnem stanju.

6 Zahvala

Hvala slovenskim partnerjem projekta EV4EU, Elektro Celje in ABB, 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 granting 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] H. Morais et al., „D1.1, Electric Road Mobility Evolution Scenarios“, 2022.
- [2] W. Schram, N. Brinkel, G. Smink, T. van Wijk in W. van Sark, „Empirical Evaluation of V2G Round-trip Efficiency“, *2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, pp. 1-6, 2020.
- [3] P. Barter, „Cars are parked 95% of the time“. Let's check!,“ 22 2 2013. [Elektronski]. Available: <https://www.reinventingparking.org/2013/02/cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html>. [Poskus dostopa 21 7 2024].
- [4] M. N. Eisler, „False Starts: The Checkered History of Vehicle-to-Grid Power“, *IEEE Spectrum*, Izv. 60, pp. 46-53, 2023.
- [5] I. Mendek, T. Marentič, K. Anžur in M. Zajc, „A Case Study on Electric Vehicles as Nationwide Battery Storage to Meet Slovenia's Final Energy Consumption with Solar Energy“, *Energies*, Izv. 17, št. 11, 4 6 2024.
- [6] P. Morrissey, P. Weldon in M. O'Mahony, „Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour“, *Energy Policy*, Izv. 89, 2016.
- [7] T. Marentič, I. Mendek, A. Kos, M. Malenšek, H. Morais in M. Zajc, „Estimation of electric vehicles with V2G capabilities potential for market participation“, *Conference: The 22nd IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference IEEE MELECON 2024*, 2024.
- [8] A. Lekidis, M. Forte, C. P. Guzman, G. Papadakis, N. Iliopoulos in A. Georgakis, „D3.3, EVs use Clustering results report“, 2024.
- [9] „EV4EU - Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe“, [Elektronski]. Available: <https://ev4eu.eu/>. [Poskus dostopa 21 7 2024].
- [10] „Podatki izravnalnega trga“, [Elektronski]. Available: <https://ot.borzen.si/Domov/Podatki-trga/Podatki-izravnalnem-trgu>. [Poskus dostopa 21 7 2024].
- [11] „Electric Vehicle Database“, [Elektronski]. Available: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>. [Poskus dostopa 12 2 2024].