

Sodelovanje električnih vozil v lokalnih storitvah prožnosti: ocena potenciala prožnosti za izbrani primer uporabe tehnologij V2X

Tim Marentič¹, Dušan Golubović^{1,3}, Anton Kos², Andreja Smole³, Matej Zajc¹

¹ – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
tim.marentic@fe.uni-lj.si, matej.zajc@fe.uni-lj.si

² – Elektro Celje, Vrnčeva ul. 2a, 3000 Celje
anton.kos@elektro-celje.si

³ – GEN-I, Dunajska c. 119, 1000 Ljubljana
dusan.golubovic@gen-i.si, andreja.smole@gen-i.si

Povzetek - V članku smo za izbrani primer, kateri je v skladu s slovenskim demonstratorjem projekta EV4EU, simulirali in ocenili zmožnost ter uporabo potenciala prožnosti V2G (ang. Vehicle-to-Grid) električnih vozil (EV) z namenom sodelovanja v lokalnih storitvah in posledično sodelovanja EV na trgu prožnosti ter, da se zagotovijo zahteve uporabnikov EV. Za izbrani primer podamo rezultate simulacij za časovno obdobje enega meseca. Le-ta vsebuje 10 dvosmernih polnilnic, ki so priključene na isto transformatorsko postajo (TP) skupaj z drugimi odjemalci in dvema sončnima elektrarnama. Virtualna elektrarna (VPP), agregira polnilnice kar omogoči sodelovanje EV v storitvi upravljanje prezasedenosti. Ugotovili smo, da se je izbrana storitev prožnosti v povprečju aktivirala 19,2 krat v obdobju simulacije, pri čemer so EV zagotovila 251,64 kWh pozitivne prožnosti. V obdobju simulacije EV v povprečju nudijo agregatorju in posledično operaterju distribucijskega omrežja 118 MWh negativnega in 93,8 MWh pozitivnega potenciala prožnosti. Za dani primer lahko EV v povprečju nudijo prožnost 55 % časa priključenosti. Iz vpogleda v širšo sliko, lahko zaključimo, da s povečevanjem deleža EV raste tudi aktivirana prožnost, pri 100 % deležu znaša 567 kWh, pri 50 % pa 251,64 kWh. Ugotovitve, služijo pri razvoju slovenskega demonstratorja EV4EU projekta.

Ključne besede: električna vozila, upravljanje prezasedenosti, V2G, V2X, potencial prožnosti, storitve prožnosti, trg prožnosti

Participation of electric vehicles in local flexibility services: assessment of flexibility potential for a selected use case with V2X technologies

Abstract –In this article, for the selected case, which aligns with the Slovenian demonstrator of the EU project EV4EU, we simulated and assessed the capability and flexibility potential of Vehicle-to-Grid (V2G) electric vehicles (EVs) for participation in local flexibility services. This in turn enables EVs to participate in the flexibility energy market while ensuring that user requirements are met. The results are presented for the selected case, where the simulation covers one month. The case includes 10 bidirectional charging stations (CSs) connected to the same secondary substation with consumers and two solar power plants. A virtual power plant (VPP) aggregates the CSs, allowing EVs to participate in congestion management flexibility service. Our results indicates that the selected flexibility service was activated an average of 19.2 times during the simulation period, with EVs providing 251.65 kWh of positive flexibility. Throughout the simulation period, the EVs offer on average 118 MWh of negative and 93.8 MWh of positive flexibility potential to the aggregator and thus to the distribution system operator. For the given case, EVs could provide flexibility for 55 % of their connection time on average. A broader analysis indicates that as the share of EVs increases, so does the activated flexibility by EVs, reaching 567 kWh at a 100 % EV share and 251.64 kWh at 50 %. These findings contribute to the development of the Slovenian demonstrator of the EV4EU project.

Keywords: electric vehicles, congestion management, V2G, V2X, flexibility potential, flexibility services, flexibility market

1 UVOD

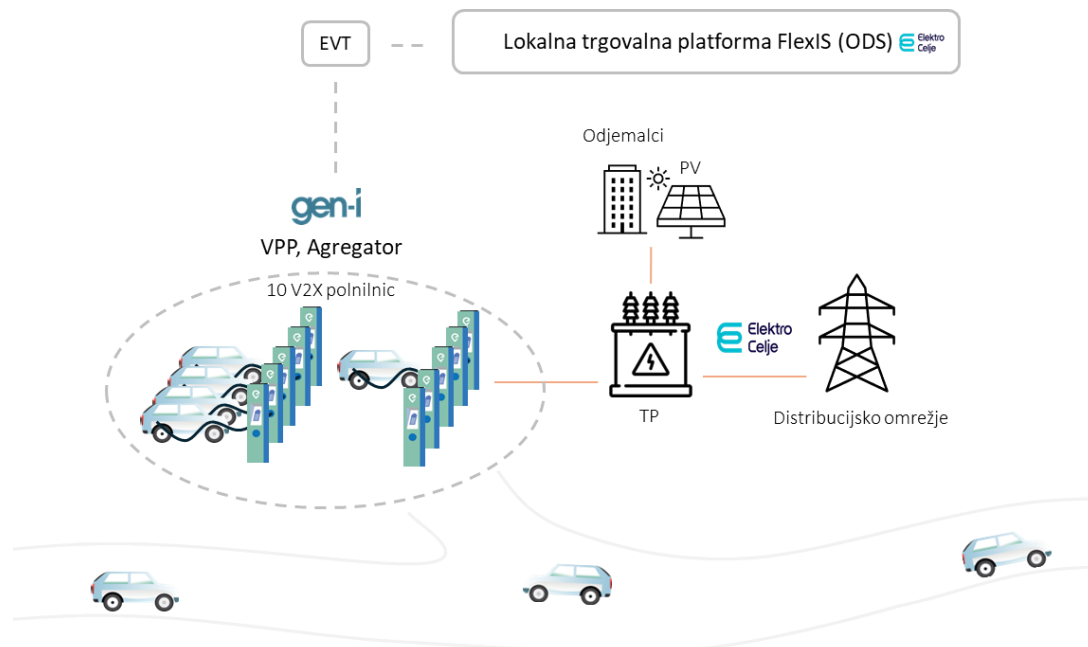
Zeleni energetska prehod, katerega cilj je doseči ogljično nevtralnost Evropske Unije do leta 2050, med drugim spodbuja vpeljavo električnih vozil (EV), kar prinaša mnogo izzivov [1]. Eden izmed teh, je večanje obremenitve elektroenergetskega omrežja, kar lahko posledično povzroči njegovo nestabilnost. To prinaša vse večjo potrebo po dodatni negativni in pozitivni prožnosti s pomočjo katere operaterji omrežja zagotavljajo njegovo stabilnost na lokalni in nacionalni ravni.

Z uporabo tehnologije V2G (ang. Vehicle-to-Grid), se lahko EV spremenijo iz bremena v vir prožnosti, saj ta poleg polnjenja EV omogoča tudi njihovo praznjenje [2]. S tem se poveča potencial prožnosti EV, ki ga ta lahko nudijo na trgu prožnosti in posledično operaterju omrežja oz. agregatorju. Uporaba tehnologije V2G se po svetu povečuje, prav tako pa ta prinaša poleg prej omenjenih prednosti tudi priložnosti za vse deležnike [3], [4]. Zaključimo lahko, da se z večanjem števila EV ne bo povečevala samo obremenitev omrežja ampak tudi potencial prožnosti, ki ga bo lahko operater omrežja izkoristil za zagotavljanje stabilnosti.

Evropski projekt EV4EU, raziskuje celotno evalvacijo tehnologije V2X (ang. Vehicle-to-Everything) katera je širši pojem tehnologije V2G [5]. Cilj projekta EV4EU - Upravljanje električnih vozil za ogljično nevtralnost Evrope, ki ga financira program Evropske unije Obzorje Evropa za raziskave in inovacije, je implementirati strategije upravljanja EV od spodaj navzgor in razviti na uporabnika osredotočene rešitve V2X, ki ustvarjajo pogoje za množično vpeljavo EV [5]. V okviru projekta EV4EU smo tudi raziskovalno aktivni v grozdu projektov V2X cluster in EU iniciativi BRIDGE.

Znotraj slovenskega konzorcija, ki ga sestavljajo GEN-I, Elektro Celje, ABB in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, razvijamo celovito rešitev vzpostavitve lokalnega trga prožnosti z razvojem inovativnih storitev V2X.

Na slovenskem demonstratorju bomo analizirali, testirali in ocenili potencial za sodelovanje EV v storitvah V2X na lokalnem in nacionalnem trgu prožnosti [6], [7]. Predlagani poslovni primeri uporabe, ki bodo testirani na slovenskem demonstratorju, so predstavljeni v [8].



Slika 1: Konceptualna zasnova slovenskega demonstratorja projekta EV4EU [6]

Za sodelovanje EV na trgu prožnosti je potrebno zagotoviti ustrezno infrastrukturo, ki omogoča agregiranje večjega števila vozil. EV so lahko agregirana v virtualno elektrarno (VPP, ang. Virtual Power Plant) s katero upravlja agregator [9]. V okviru slovenskega demonstratorja razvijamo in testiramo optimalno upravljanje z VPP agregiranih polnilnic V2X, ki bodo postavljene v Krškem pri poslovni stavbi GEN-I [6], [7], [10].

Agregator na podlagi podatkov s strani EV in njegovih uporabnikov, kot je npr. čas priključenosti in zahtevana napolnjenost baterije (SOC, ang. State of Charge) ob odklopu, izračuna potencial prožnosti, ki mu ga agregirana vozila nudijo v opazovanem obdobju. EV lahko agregatorju nudijo pozitivni potencial prožnosti, katerega zagotovijo s praznjenjem oz. zmanjšanjem moči polnjenja in negativni, katerega zagotovijo s polnjenjem oz. povečanjem moči polnjenja EV. Potencial prožnosti EV je odvisen od cestnega prometa EV in navad uporabnikov, saj ima omenjeno vpliv na priključenost EV na polnilnice [2], [6], [7], [11].

Prožnost EV lahko agregator ponuja na različnih trgih prožnosti do katerih dostopa s pomočjo trgovnih platform. V primerjavi z nacionalnim trgom prožnosti, ki je v celoti vzpostavljen, pa lokalni trg prožnosti še ni vzpostavljen [12].

V okviru slovenskega demonstratorja EV4EU projekta razvijamo trgovno platformo *FlexIS*, namenjeno trgovanju lokalne prožnosti [5]. Trgovna platforma razvita v okviru projekta OneNet, je razširjena za potrebe slovenskega dela projekta EV4EU in povezuje akterje vključene v trgovanje s prožnostjo. Razvoj znotraj slovenskega demonstratorja se izvaja na produkcijski ravni, in bo v uporabi tudi po koncu projekta EV4EU [6].

V primeru, da operater distribucijskega omrežja (ODS) na izbrani transformatorski postaji (TP) oz. delu omrežja zazna, da bo prišlo do težav, na platformi poda razpis za aktivacijo prožnosti. Agregator skladno s svojimi razpoložljivimi kapacitetami na ta razpis poda ponudbo, v primeru, da je izbran na razpisu izvede tudi aktivacijo storitve in aktivira predhodno zakupljene količine s strani ODS [5].

Na slovenskem demonstratorju poleg postavitve demonstracijskega okolja, izvedbe testiranj in meritev izvajamo tudi simulacije, ki služijo pri razvoju in oceni uporabe demonstratorja. Dvosmerne polnilnice ne bodo javno dostopne, saj tehnologija V2G in ustrezni EV še niso v komercialni uporabi.

Zaradi dejstva, da je področje V2X in uporaba prožnosti iz EV novo, in nekateri podatki poslovna skrivnost, za slovenski demonstrator razvijamo simulacijsko orodje *V2GFlex*. Z razvojem simulacijskega orodja, želimo oceniti potencial slovenskega demonstratorja v kolikor bi bila EV in V2G tehnologija v masovni uporabi.

Simulacijsko orodje *V2GFlex* in njegovi rezultati so vezani na slovenski demonstrator pri oceni potenciala prožnosti V2G EV, ki ga agregator lahko nudi na trgu prožnosti izbranega operaterja omrežja in posledično sodelovanja EV v storitvah prožnosti. Prav tako je orodje v pomoč pri določanju ocene vpliva EV na omrežje [13].

Za izbrani primer skladen s slovenskim demonstratorjem, v okviru katerega agregirana EV sodelujejo v storitvi prožnosti upravljanje prezasedenosti so v članku prikazani simulacijski rezultati in ugotovitve za obdobje enega meseca. Ti zajemajo razmere na izbranem TP, potencial negativne in pozitivne prožnosti EV, število priključenih EV na polnilnico v odvisnosti od časa, cestni promet EV in analizo ter oceno uspešnosti aktivacij prožnosti EV za sodelovanje v izbrani storitvi ter uspešnost izpolnitve zahtev uporabnikov EV. Za zaključek je predstavljen še vpogled v širšo sliko za izbrane rezultate simulacije, ob spreminjajočem se deležu EV.

2 SIMULACIJA 10 AGREGIRANIH DVOSMERNIH POLNILNIC ZA SODELOVANJE EV V STORITVI PROŽNOSTI UPRAVLJANJE PREZASEDENOSTI

V simulaciji, izbrani primer, ponazarja parkirišče z desetimi javnimi dvosmernimi polnilnicami. Definirali smo, da ima vsaka polnilnica maksimalno moč polnjenja oz. praznjenja 22 kW. Predpostavili smo, da so vse polnilnice priključene na isti TP, na katerega so prav tako priključeni odjemalci in sončni elektrarni (PV).

Vseh 10 polnilnic je agregiranih v VPP, katera aktivira ponujeno prožnost s strani EV za namene zagotavljanja storitve upravljanje prezasedenosti, kadar je to potrebno. Na ta način se v simulaciji zagotavlja stabilnost izbranega TP in posledično omrežja ODS. Sodelovanje EV v storitvi upravljanje prezasedenosti smo izbrali z razlogom, ker to sovпада s storitvijo, ki jo ODS potrebuje v lastnem omrežju.

Izbrani TP, ki ga v okviru simulacije simuliramo v realnosti ni preobremenjen, zato smo za potrebe simulacije, mejo za proženje izbrane storitve znižali in s tem poizkusili simulirati, da je izbrani TP preobremenjen. V kolikor se meja za aktivacijo prekorači, smo predpostavili, da je TP preobremenjen in je aktivacija izbrane storitve potrebna, da se zagotovi njegova stabilnost.

Predpostavili smo, da EV lahko sodelujejo v storitvah prožnosti v območju SOC med 20 in 80 odstotki, kar poveča življenjsko dobo baterije [14]. Prav tako smo predpostavili, da ima vsak EV, ki se priključi na polnilnico kapaciteto baterije 72 kWh, kar ustreza povprečni kapaciteti [15].

Zgoraj opisane predpostavke predstavljajo okvir naše simulacije. Rezultati simulacije predstavljajo temelje za razvoj in oceno uporabe slovenskega demonstratorja projekta EV4EU med in po koncu projekta [5].

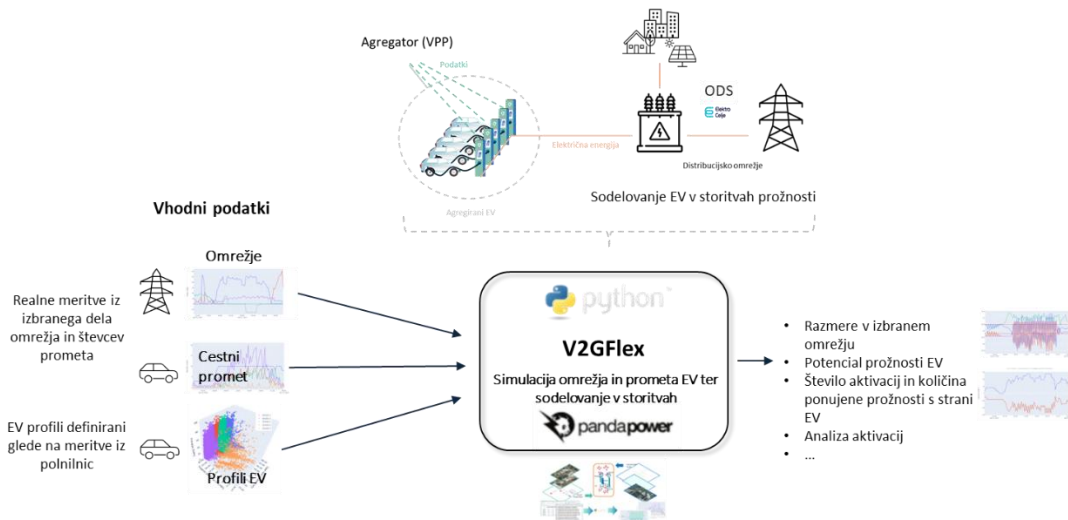
V simulaciji smo uporabili vhodne podatke - realne meritve iz izbranega TP v lasti Elektro Celje in števec cestnega prometa. Uporabili smo meritve delovne in jalove moči (v TP in iz TP) iz izbranega TP ter meritve cestnega prometa iz števca prometa »00367« kateri se nahaja v okolici izbranega TP. Vse vhodne podatke smo pridobili za obdobje od 1.7.2024 do 11.8.2024, kar smo določili za obdobje simulacije. Delež EV v prometu mimo polnilnic smo določili na 50 odstotkov. Verjetnost, da, bo uporabnik priključil EV na polnilnico znaša 10 odstotkov. Vsakemu EV, ki se priključi na polnilnico, orodje *V2GFlex* opisano v poglavju 2.1 dodeli ustrezen EV profil, katere smo razvili v [16].

S simulacijo v obdobju enega meseca za izbrani primer smo ocenili potencial negativne in pozitivne prožnosti, ki ga EV lahko nudijo agregatorju oz. operaterju omrežja in količino zahtevanih aktivacij agregiranih EV za sodelovanje v storitvi upravljanje prezasedenosti z namenom zagotavljanja stabilnosti izbranega dela omrežja. Poleg tega morajo biti zagotovljene tudi vse zahteve s strani uporabnikov EV.

2.1. Ocena in simulacija uporabe potenciala prožnosti V2G EV za sodelovanje v storitvah

Razvoj simulacijskih orodji za pomoč pri oceni potenciala prožnosti, ki ga EV lahko nudijo na trgu prožnosti oz. agregatorju in operaterju omrežja, je ključnega pomena – in njihova vloga bo v prihodnosti še bolj izrazita, ko se bo delež EV večal [17].

Kot že omenjeno v okviru slovenskega demonstratorja EV4EU projekta razvijamo simulacijsko orodje *V2GFlex* (Slika 2), ki za izbrani model, kateri je v skladu s slovenskim demonstratorjem simulira in oceni zmožnost uporabe potenciala prožnosti V2G EV z namenom sodelovanja v storitvah prožnosti in posledično sodelovanja EV na tem trgu. Upoštevajo se tudi zahteve uporabnikov EV. Poleg tega lahko simulacijsko orodje dodatno koristi pri oceni vpliva EV na omrežje. Razvito orodje *V2GFlex* izvaja simulacijo iz vidika agregatorja oz. VPP.



Slika 2: Simulacijsko orodje *V2GFlex* slovenskega demonstratorja za oceno in simulacijo uporabe potenciala prožnosti V2G EV z namenom sodelovanja v storitvah prožnosti in posledično sodelovanja EV na tem trgu

Simulacijsko orodje smo razvili v programskem jeziku Python s pomočjo knjižnice PandaPower, ki omogoča simulacijo razmer v elektroenergetskem omrežju [18]. Vhodni podatki orodja so meritve delovne in jalove moči iz izbranega dela omrežja, katere se uporabijo za simulacijo elektroenergetskega dela. Kot vhodni podatek, meritve iz izbranega števca cestnega prometa služijo pri simulaciji cestnega prometa mimo polnilnic. Za namen simuliranja prometa se določi tudi delež EV v prometu. Prav tako smo v orodju določili, da se vsakemu EV, ki se priključi na polnilnico opredeli ustrezen EV profil iz nabora petih razvitih v [16]. Profile smo razvili z uporabo realnih meritev in izbrane metode grozdenja [16].

Na podlagi vhodnih podatkov, se s pomočjo razvitih algoritmov simulira sodelovanje EV v izbrani storitvi prožnosti, razmere v izbranem delu elektroenergetskega omrežja, promet in posledično število EV, ki se priključijo na polnilnice. Pri izvajanju simulacije določimo omejitve kot je npr. območje SOC v katerem lahko EV sodelujejo v storitvah, meja za proženje izbrane storitve, itd.

Rezultat simulacije predstavljajo razmere na izbranem TP, potencial negativne in pozitivne prožnosti EV, število priključenih EV na polnilnico v odvisnosti od časa in promet EV. Poda se tudi analiza in ocena uspešnosti aktivacij izbrane storitve ter uspešnost izpolnitve zahtev uporabnikov EV.

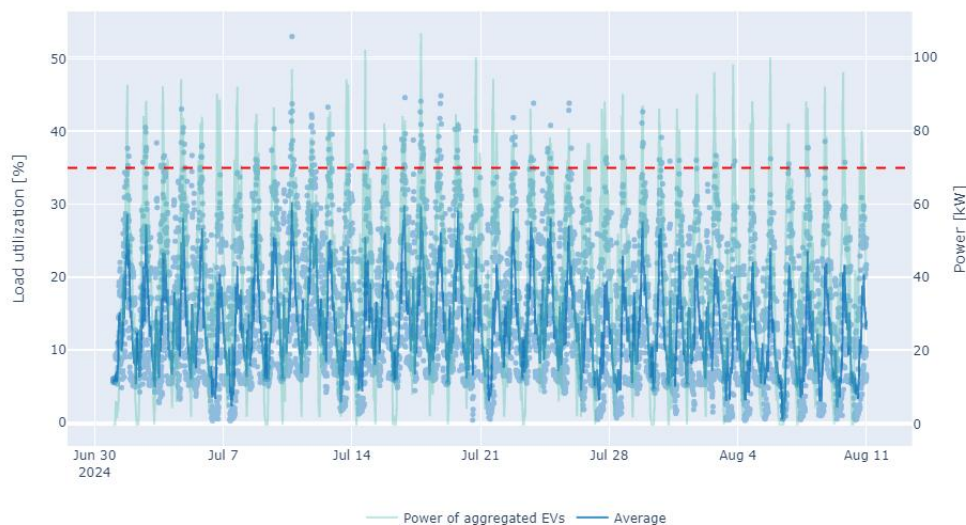
3 REZULTATI: OCENA POTENCIALA PROŽNOSTI V2G EV IN SODELOVANJE V STORITVI UPRAVLJANJE PREZASEDENOSTI

V nadaljevanju predstavimo rezultate simulacije izbranega primera za obdobje med 1.7 in 11.9.2024. Pri tem smo privzeli, da je v prometu mimo polnilnic delež EV 50 odstotkov. Nadalje smo določili, da vsa agregirana EV, ki so priključena na polnilnice sodelujejo v storitvi upravljanje prezasedenosti (poglavje 2). Rezultati zajemajo povprečne vrednosti desetih izvedenih iteracij, z namenom zagotavljanja večje natančnosti oz. relevantnosti.

Na koncu, je za izbrani primer predstavljen še vpogled v širšo sliko, ob spreminjajočem se deležu EV.

3.1. Razmere na TP in sodelovanje EV v izbrani storitvi prožnosti

Na Slika 3 je prikazana obremenitev TP (modra barva) za izbrano obdobje simulacije, katera je predstavljena v odstotkih. Z rdečo linijo je prikazana meja pri kateri se je prožila storitev upravljanje prezasedenosti, katero zagotavljamo z EV. Mejo za proženje storitve upravljanje prezasedenosti smo določili pri 35 odstotni obremenjenosti TP. Izbrani TP, ni preobremenjen, zato smo izbrali mejo čez katero se obremenitev TP nekajkrat povzpne in nam zagotavlja omejitev oziroma signal za aktivacijo. Na Slika 3 je prikazana tudi moč agregiranih EV (zeleno barva), kjer pozitivne vrednosti predstavljajo rabo električne energije iz omrežja.



Slika 3: Simulirana obremenitev TP za izbrani primer: sodelovanje EV v storitvi prožnosti upravljanje prezasedenosti. Obremenitev TP je označena z modro, moč agregiranih EV pa z zeleno. Z rdečo je označena meja za aktivacijo izbrane storitve prožnosti

Razvidno je, da je meja za proženje storitve v povprečju večkrat presežena, ko vrednosti obremenitve TP prečijo zastavljeno mejo. Omenjeno privede do zahtev po proženju, katere je agregator zagotovil z agregiranimi EV. Natančnost simulacije je 15 minut, zaradi česar je odziv aktivacije EV viden v naslednjem intervalu. Iz slika 3 je razvidno, da kar nekaj prekoračitev obremenitve TP sovпада s polnjenjem EV, saj se moč agregiranih EV večkrat ujema s prekoračenimi vrednostmi obremenitve TP. To pa ne pomeni, da EV negativno vplivajo na omrežje, saj ta s svojo prožnostjo v naslednjem intervalu poskrbijo, da je TP ponovno obremenjen znotraj meje.

Iz analize aktivacij smo ugotovili, da se je storitev upravljanje prezasedenosti v povprečju aktivirala 19,2 krat v obdobju simulacije, največ aktivacij v iteraciji je bilo 25, najmanj pa 13. Zaključimo lahko, da so EV v povprečju

sodelovala v storitvah prožnosti 0,65 odstotkov časa priključenosti EV. Uspešnost aktivacij prožnosti iz EV za sodelovanje v izbrani storitvi prožnosti je bila zelo zanesljiva, saj je bilo v povprečju samo en odstotek aktivacij neuspešnih. To pomeni, da agregator z agregacijo prožnosti EV v povprečju v enem odstotku aktivacij EV ni uspel zagotoviti zahteve po proženju izbrane storitve.

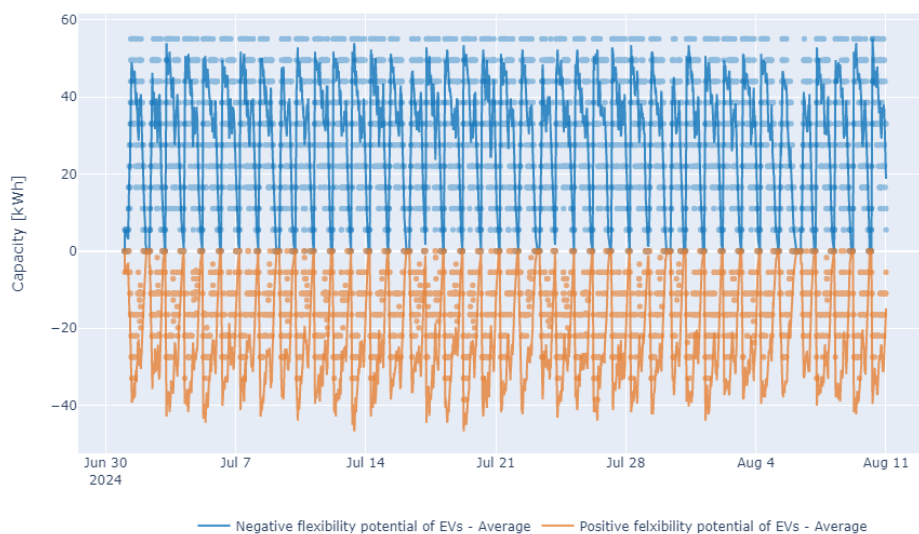
V vseh aktivacijah so EV nudila svojo pozitivno prožnost, saj do preobremenitve TP z viški iz PV ni prišlo. EV so v povprečju ponudila 251,64 kWh pozitivne prožnosti, kar pomeni, da so iz svojih baterij zaradi aktivacij storitev prožnosti izpraznila 251,64 kWh električne energije nazaj v omrežje. To predstavlja približno 3,5 v celoti izpraznjenih baterij EV, če upoštevamo povprečno kapaciteto 72 kWh [15].

Iz omenjenega lahko zaključimo, da se baterija posameznega EV v povprečju ne bi bistveno dodatno obremenjevala zaradi sodelovanja v storitvah, kar je pozitivno za EV uporabnika oz. lastnika. Zato lahko sklepamo, da bi bili lastniki EV pripravljeni sodelovati v storitvah [5].

EV so za obdobje simulacije v povprečju iz omrežja porabila 38684,3 kWh, da so dosegla zahtevan SOC ob odklopu, v omrežje pa so oddala samo 4,38 kWh. Iz tega lahko zaključimo, da ko so EV sodelovala v storitvi upravljanje prezasedenosti, so dejansko zmanjšala agregirano moč s katero so se ta polnila, saj so oddano moč iz baterij EV uporabila ostala vozila za njihovo polnjenje. To pomeni, da nazaj v omrežje niso oddajala velike količine električne energije.

3.2. Potencial prožnosti EV in cestni promet

V poglavju 3.2 podrobno predstavljamo rezultate, ki se nanašajo na negativni in pozitivni potencial prožnosti iz EV ter na cestni promet mimo izbranih polnilnic. Na Slika 4 je prikazan negativni in pozitivni potencial prožnosti agregiranih V2G EV. Z temno modro črto je na Slika 4 prikazana povprečna vrednost negativnega potenciala EV, in meja nihanja tega potenciala v obdobju desetih iteracij simulacije. Enako velja za pozitivni potencial prožnosti iz EV, samo, da je ta prikazan z oranžno barvo.



Slika 4: Ocena negativnega (modra) in pozitivnega (oranžna) potenciala prožnosti EV na podlagi rezultatov simulacije za izbrano obdobje

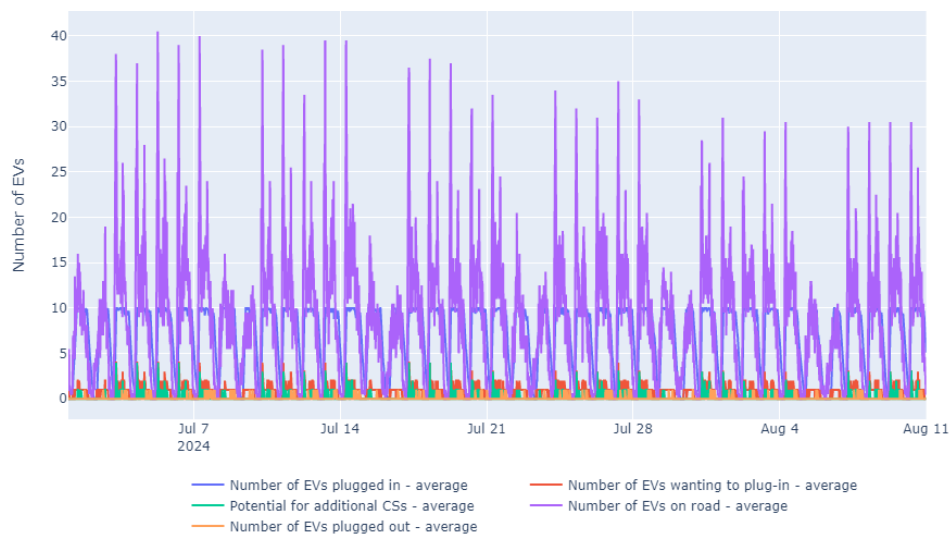
Iz Slika 4 je razvidno, da v celoti gledano EV agregatorju nudijo več negativnega kot pozitivnega potenciala, razlog je v tem, da imajo EV ob priklopu po večini baterijo izpraznjeno pod 50 odstotki. Zaradi česar ta ob priklopu nudijo več negativnega potenciala. Opazimo tudi, da je negativni potencial omejen na 55 kWh na 15 minutni interval, razlog je v omejitvi infrastrukture polnilnic, saj vsaka lahko polni oz. prazni največ z močjo 22 kW. Razvidno je, da bi EV agregatorju lahko potencialno nudili še večji negativni potencial prožnosti, katerega pa zaradi omejitev polnilne infrastrukture ne morejo.

Iz Slika 4 je dodatno razvidno, da skozi čas potencial prožnosti niha, razlog je v priklapljanju in odklapanju EV, kar vpliva na prožnost, ki jo EV lahko nudijo agregatorju v danem trenutku. V celotnem obdobju simulacije, EV v povprečju nudijo agregatorju 118 MWh negativnega potenciala prožnosti in 93,8 MWh pozitivnega. Na osnovi

simulacije lahko zaključimo, da v določenih časovnih intervalih, EV agregatorju ne nudijo potenciala prožnosti, razlog je nezasedenost polnilnic oziroma ne-priključenost EV na polnilnice. Posledično agregator v vsakem trenutku simulacije ne more ponujati EV prožnosti operaterju omrežja.

Poleg potenciala prožnosti EV iz vidika električne energije, lahko prožnost EV ocenimo tudi s časovnega vidika. Iz analize je razvidno, da so polnilnice v obdobju simulacije zasedene 721 ur in 4 minute, kar pomeni, da nanje EV niso priključena 26 odstotkov časa simulacije. Iz tega lahko zaključimo, da EV agregatorju ne nudijo prožnosti 26 odstotkov časa simulacije.

Ocena časovne prožnosti temelji na podobnem postopku kot v [2]. Potencial prožnosti se izračuna iz zahtevanega časa za polnjenje vsakega EV, da doseže zahtevani SOC ob odklopu, in iz časa priključenosti EV. Ugotovili smo, da EV v povprečju lahko agregatorju nudijo prožnost 397 ur in 3 minute, kar pomeni, da so EV za sodelovanje v storitvah prožnosti na voljo 55 odstotkov časa priključenosti. Vsi EV, ki so se priključili na polnilnico, so se tudi uspešno napolnili do željenega SOC.



Slika 5: Simuliran cestni promet EV mimo polnilnic (vijolično), število priključenih EV (modro), število EV, ki se želijo priključiti (rdeče), število odklopljenih EV (oranžno) in potreba po postavitvi dodatnih polnilnic v odvisnosti od časa simulacije (zeleno)

Slika 5 prikazuje podatke simulacije o prometu, koliko EV se je priključilo in odklopilo iz polnilnic v danem intervalu, število EV, ki se želijo priključiti in potencial za dodatno postavitev polnilnic. Vijolična črta na Slika 5 nam prikazuje cestni promet EV mimo polnilnic, katera imajo 10 odstotno verjetnost, da se priključijo na polnilnico. Število EV, ki se želijo priključiti na polnilnico v danem trenutku je prikazano z rdečo barvo. Število odklopljenih EV je prikazano z oranžno. Z modro je prikazana zasedenost polnilnic, razvidno je, da so te čez dan pretežno zasedene. Ponoči, polnilnice po večini niso zelo zasedene.

V nekaterih primerih je število EV, ki se želijo priključiti večje, kot pa je na voljo prostih polnilnic, kar pomeni, da se določena vozila ne morejo pričeti polniti, čeprav bi se želela. Potreba po postavitvi dodatnih polnilnic v določenem intervalu je na Slika 5 prikazana z zeleno barvo. Vrednost je določena kot razlika med številom EV, ki se želijo priključiti na polnilnico in številom prostih polnilnic, kadar je število EV, ki se želijo priključiti večje. Izbrani parameter je lahko dodatna pomoč agregatorju oz. upravljalcu polnilnih mest (CPO, ang. Charge Point Operator) pri načrtovanju umeščanja in postavitve dodatnih polnilnic.

3.3. Vpliv spreminjajočega se deleža EV na potencial prožnosti EV in na aktivacije izbrane storitve

Tabela 1 prikazuje vpogled v širšo sliko simuliranega primera. Ta prikazuje vpliv deleža EV na izbrane rezultate simulacije. Zaključimo lahko, da se negativni in pozitivni potencial prožnosti, ki ga agregirana EV lahko nudijo agregatorju povečuje z deležem EV. To je pričakovano, saj se skupna kapaciteta baterij EV, ki so priključena povečuje, ob upoštevanju hkratne zagotovitve polnilne infrastrukture.

Opazimo lahko, da se z deležem EV večja tudi število aktivacij storitve upravljanje prezasedenosti, razlog je v odvisnosti povečanja števila priključitev EV na polnilno infrastrukturo in prekoračitvijo meje za proženje storitve. To nam pove, da je TP vse bolj obremenjen ob večanju deleža EV. Glede na to, da se število aktivacij povečuje, lahko iz Tabela 1 razberemo, da povečevanje deleža EV vpliva tudi na povečanje števila neuspešnih aktivacij, kar v primeru s 100 odstotnim deležem EV v povprečju znaša 13,9 odstotka aktivacij.

Zaključimo lahko, da se prav tako povečuje potreba po aktivirani prožnosti iz EV, ta v primeru s 100 odstotnim deležem EV znaša 567 kWh, medtem ko znaša 251,64 kWh ob 50 odstotnem deležu EV. Opazimo tudi, da pri 10 odstotnem deležu EV, v nobenem primeru ni potrebe po izvedbi aktivacije storitve upravljanje prezasedenosti, saj TP ni nikoli toliko obremenjen, da bi bila aktivacija le te potrebna. Za izbrani primer lahko zaključimo, da 10 odstotni delež EV nima večjih vplivov na stabilnost TP in na povečanje potrebe po aktivacijah izbrane storitve, kar pa ne velja za primer s 50 in 100 odstotnim deležem EV.

Tabela 1: Vpliv deleža EV na potencial prožnosti EV in na zahteve po aktivaciji izbrane storitve prožnosti

	Delež EV		
	10%	50%	100%
Negativni potencial prožnosti [MWh]	104,3	118	131,5
Pozitivni potencial prožnosti [MWh]	82,6	93,8	104,4
Število uspešnih aktivacij	0	19,2	46
Odstotek neuspešnih aktivacij [%]	0	1	13,9
Aktivirana prožnost [kWh]	0	251,6	567

4 ZAKLJUČEK

Podnebni ukrepi EU za ogljično nevtralnost do 2050 spodbujajo vpeljano EV, kar vpliva tudi na povečanje obremenitev elektroenergetskega omrežja. Ena izmed rešitev je lahko tehnologija V2G, ki spremeni EV iz bremena v vir prožnosti. Evropski projekt EV4EU, raziskuje celotno evalvacijo tehnologije V2X katera je širši pojem tehnologije V2G. V okviru slovenskega demonstratorja EV4EU projekta, razvijamo celovito rešitev vzpostavitve lokalnega trga prožnosti z razvojem inovativnih storitev V2X.

Znotraj slovenskega demonstratorja razvijamo simulacijsko orodje *V2GFlex*, kjer želimo oceniti potencial demonstratorja v kolikor bi bila EV in V2G tehnologija v masovni uporabi. V članku omenjeno orodje, zagotavlja dodatno pomoč pri oceni in simulaciji uporabe potenciala prožnosti V2G EV za sodelovanje v storitvah in sodelovanje EV na trgu prožnosti za izbrani primer. Pri čemer smo upoštevali tudi zahteve uporabnikov EV.

V članku smo za izbrani primer skladen s slovenskim demonstratorjem EV4EU projekta, kjer agregirana EV sodelujejo v storitvi prožnosti upravljanje prezasedenosti, predstavili rezultate simulacije in ugotovitve. Za izbrani primer (50 odstotni delež EV) smo predstavili rezultate simulacije vezane na aktivacije storitve upravljanje prezasedenosti z namenom zagotavljanja stabilnosti izbranega TP, kjer smo analizirali število, količino in uspešnost aktivacij izbrane storitve iz agregiranih EV. Ocenili smo količino in časovno razpoložljivost negativnega in pozitivnega potenciala prožnosti, ki ga EV lahko nudijo agregatorju v obdobju simulacije. Podali smo ugotovitve kakšne omejitve izbrana polnilna infrastruktura predstavlja pri izrabi potenciala prožnosti in zagotavljanju zahtev po priklopu EV. Prav tako smo naredili vpogled v širšo sliko simuliranega primera, kjer je prikazan vpliv deleža EV na potencial prožnosti EV in na zahteve po aktivaciji izbrane storitve prožnosti.

Ugotovitve pridobljene z analizo rezultatov iz razvitega simulacijskega orodja *V2GFlex*, služijo pri razvoju in oceni kapacitet slovenskega demonstratorja EU projekta EV4EU med in po koncu projekta. Rezultati izbranega primera, bodo služili pri razvoju strategij za sodelovanje agregatorjev, ODS in CPO na trgih električne energije in izrabe potenciala prožnosti V2G EV. Prav tako lahko rezultati služijo pri izračunu izbranih kazalnikov uspešnosti, ki smo jih definirali v okviru projekta EV4EU in nadgradnji poslovnih modelov.

V okviru nadaljnje raziskave bi bilo smotno pridobiti rezultate za celotno leto in razširiti območje simulacije na več TP ter spreminjati izbrane vhodne parametre in oceniti oz. analizirati njihov vpliv. S to analizo bi poglobili

razumevanje ocene potenciala prožnosti V2G EV in njihovo sodelovanje v storitvah ter oceno vpliva EV na izbrani del omrežja. Prav tako na izbrano tematiko lahko v prihodnje sledijo zaključki na nivoju države [19].

5 ZAHVALA

Raziskave podpira projekt Obzorje Evropa EV4EU (2022-2025) v okviru pogodbe 101056765. Zahvala slovenskim partnerjem projekta EV4EU Elektro Celje in GEN-I za posredovane podatke in informacije.

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.

REFERENCE

- [1] E. Comission, „The European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent,“ 24 12 2024. [Elektronski]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [2] T. Marentič, I. Mendek, A. Kos, M. Malenšek, H. Morais in M. Zajc, „Estimation of electric vehicles with V2G capabilities potential for market participation,“ v *IEEE MELECON 2024*, Porto, 2024.
- [3] T. Price, „Bidirectional EVs Could Drive Business Value To Your Front Door,“ Forbes, 26 9 2024. [Elektronski]. Available: https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2024/09/26/bidirectional-evs-could-drive-business-value-to-yourfrontdoor/?utm_content=309550608&utm_medium=social&utm_sourcelinkedin&hss_channel=lcp-27064223. [Poskus dostopa 24 12 2024].
- [4] G. V. Research, „Vehicle to Grid Technology Market,“ Grand View Research, San Francisco, 2024.
- [5] EV4EU, „EV4EU,“ 20 2 2024. [Elektronski]. Available: <https://ev4eu.eu/>.
- [6] I. Mendek, et.al., „Deliverable D7.1 Detailed definition and implementation plan of Slovenian Demonstrator,“ Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe (EV4EU) Horizon Europe funded project, grant agreement 101056765, 2023.
- [7] T. Marentič, et.al., „Deliverable D4.4 Impact of mass deployment of V2X in energy markets and services,“ Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe (EV4EU) Horizon Europe funded project, grant agreement 101056765, 2024.
- [8] M. Zajc, et.al., „Deliverable D1.4 Business models centred in the V2X value chain,“ Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe (EV4EU) Horizon Europe funded project, grant agreement 101056765, 2023.
- [9] M. Zajc, M. Kolenc in N. Suljanović, „11 - Virtual power plant communication system architecture,“ v *Smart Power Distribution Systems*, Academic Press, 2019, pp. 231-250.
- [10] T. Marentič, I. Mendek, K. Anžur in M. Zajc, „Dvosmerna izmenjava električne energije V2G za razvoj storitev prožnosti z agregacijo voznega parka električnih vozil,“ *Elektrotehniški vestnik*, Izv. 90, št. 5, pp. 259-264, 2023.
- [11] S. Striani, T. Unterluggauer, P. B. Andersen in M. Marinelli, „Flexibility potential quantification of electric vehicle charging clusters,“ *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Izv. 40, p. 101547, 2024.
- [12] AGEN, „Vzpostavitev trga s prožnostjo aktivnega odjema v Sloveniji - Izhodišča,“ 2020.
- [13] A. Mehinovic, N. Suljanovic in M. Zajc, „Quantifying the impact of flexibility asset location on services in the distribution grid: Power system and local flexibility market co-simulation,“ *Electric Power Systems Research*, Izv. 238, p. 111037, 2025.
- [14] S. Blanco, „How to Maximize EV Range,“ J.D.Power, 2022.
- [15] EV Database, „Electric Vehicle Database - Useable battery capacity of full electric vehicles,“ Electric Vehicle Database, [Elektronski]. Available: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>. [Poskus dostopa 20 12 2024].
- [16] I. Mendek, T. Marentič, K. Anžur in M. Zajc, „Optimalni nabor profilov uporabnikov električnih vozil za sodelovanje v storitvah,“ v *Triintrideseta mednarodna Elektrotehniška in računalniška konferenca ERK 2024*, Portorož, 2024.
- [17] M. Khalid, J. Thakur, J. Thakur in M. Topel, „Impact of public and residential smart EV charging on distribution power grid equipped with storage,“ *Sustainable Cities and Society*, Izv. 104, p. 105272, 2024.
- [18] PandaPower, „PandaPower,“ PandaPower, [Elektronski]. Available: <https://www.pandapower.org/>. [Poskus dostopa 24 4 2024].
- [19] 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, p. 2733, 2024.