

Primjena električnih vozila za smanjenje deficita snage u sistemu

Uroš Ognjenović¹, Saša Mujović¹, Lazar Šćekić¹

¹Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Dž. Vašingtona bb, Podgorica, Crna Gora

Apstrakt—Električna vozila (EVs – electric vehicles) su jedan od vodećih trendova u svijetu kada je u pitanju održivi razvoj i smanjenje emisije štetnih gasova. Prodor električnih vozila u elektroenergetski sistem znači povećano opterećenje, ali i omogućava plansko punjenje i pražnjenje ovih vozila uz benefit po sistem i korisnike električnih vozila. U ovom radu analizirana je primjena planskog punjenja i pražnjenja električnih vozila zasnovana na metodi igara na sreću, u cilju smanjenja deficita snage u sistemu.

Ključne riječi—električna vozila; agregator; plansko pražnjenje; plansko punjenje

I. UVOD

Električna vozila cjelokupnu snagu ili jedan njen dio obezbjeđuju iz električne mreže i dijele se na potpuno električna vozila (AEVs – all-electric vehicles) i hibridna vozila (PHEVs – plug-in hybrid electric vehicles). Potpuno električna vozila su pokretana od strane jednog ili više električnih motora. Energiju obezbjeđuju punjenjem sa električne mreže i njenim čuvanjem u baterijama. Ne troše fosilna goriva i ne proizvode toksične gasove niti gasove sa efektom staklene bašte. Hibridna vozila koriste baterije za napajanje električnog motora, ali pored toga posjeduju i motor sa unutrašnjim sagorijevanjem (ICE – internal combustion engine).

Nagli rast interesovanja za razvoj električnih vozila je dobrim dijelom rezultat negativnog uticaja na životnu sredinu usljed industrijskog razvoja, konflikta u zemljama izvoznicama nafte na Bliskom Istoku i sa tim u vezi visokom cijenom nafte. Finansijska ulaganja i podsticaji za razvoj i posjedovanje električnih vozila su zasnovani na percepciji da su električna vozila ekološki prihvatljiv vid transporta u budućnosti.

Električna vozila su tek na početku svog ubrzanog razvoja i prodora na tržište (iako je prvo električno vozilo proizvedeno davne 1832.) što znači da će međusobni uticaj električnih vozila i EES-a (elektroenergetskog sistema) da raste u narednom periodu što potvrđuju sledeće zanimljivosti:

- 2,6% prodatih automobila u svijetu u 2019. su bila električna vozila, što predstavlja značajan porast u odnosu na 2017. kada je taj udio bio 1%.

Uroš Ognjenović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: urosognjenovic@gmail.com).

Saša Mujović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: sasam@ucg.ac.me).

Lazar Šćekić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: slazar@ucg.ac.me).

- Norveška planira da u potpunosti izbacila iz upotrebe vozila sa motorom sa unutrašnjim sagorijevanjem do 2025., dok Francuska i Velika Britanija to planiraju da urade do 2040.
- Broj stanica za punjenje u Holandiji je u februaru 2020. iznosio nešto više od 37.000 (jedna stanica na 459 stanovnika) što Holandiju pozicionira na prvo mjesto u svijetu.
- Od ukupne potrošnje energije u Sjedinjenim Američkim Državama u 2005. u iznosu od 29.000 TWh, 28% odnosno 4.953 TWh je utrošeno u sektoru transporta. Ukoliko se pretpostavi da je ova energija utrošena isključivo u automobilima, dolazi se do zaključka da bi SAD trebalo da obezbijede energiju koja je veća od njene ukupne godišnje proizvodnje električne energije u istoj godini (4.055 TWh) za potpuni prelazak na električna vozila.

Imajući u vidu mogućnost kontrolisanog punjenja i pražnjenja, električna vozila se mogu posmatrati kao pokretni upravljivi sistemi za skladištenje električne energije. Interes korisnika električnih vozila je razlika između cijene električne energije predate u mrežu i cijene električne energije za punjenje. Kao rezultat učešća u V2G, dolazi do degradacije baterije tako da novčane naknade korisnicima moraju biti veće od troškova usljed degradacije baterije.

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je objašnjen problem planskog pražnjenja vozila. Metod igara na sreću, proces aukcije i benefit korisnika su opisani u trećem poglavlju. Rezultati proračuna potencijala upotrebe električnih vozila za smanjenje deficita snage u primorskoj regiji Crne Gore su dati u poglavlju broj četiri. Peto poglavlje sumira ovaj rad. Na kraju rada je dat spisak korišćene literature.

II. ELEKTRIČNA VOZILA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Istraživanja pokazuju da su špic sati za dolazak na posao električnim vozilom između 7:00 i 8:00 i da je vrijeme punjenja tokom radnih sati. Špic sati za povratak sa posla električnim vozilom su između 17:00 i 19:00 i vrijeme punjenja je između 19:00 i 6:00 narednog dana. Dakle, električno vozilo se može povezati na mrežu dva puta dnevno [1]. Pored toga, više od 90% vozila je parkirano negdje i 50% kod kuće tokom dana, što otvara mogućnost za ispomoc električnoj mreži ukoliko postoji odgovarajući stimulans [2]. Konkretno, zabrana prodaje automobila na benzin i dizel koja je predložena u nekim zemljama će promovisati prodor električnih vozila, tako da imaju veliki potencijal kao kontrolisano opterećenje [3].

Obzirom da se električna vozila mogu posmatrati kao distribuirani izvor energije i kao opterećenje koje može biti planirano, stvorena je ideja o sistemu vozilo-ka-mreži (V2G –

vehicle-to-grid). U V2G sistemu, energija može da teče između električne mreže i električnog vozila [1].

Za koordinaciju punjenja i pražnjenja električnih vozila se koristi agregator. Agregator je centralni entitet koji koordiniše i planira status električnih vozila. Očekuje se da će u budućnosti većina električnih vozila biti povezana na Internet preko VANET-a (Vehicular ad hoc network – Bežična ad-hok mreža), Wi-Fi-ja ili mobilne mreže. Električna vozila mogu da prenose informacije kao što je tip vozila, kapacitet baterije, neophodno punjenje, ruta, itd. agregatoru [4]. Sva električna vozila karakteriše i status napunjenosti (SoC – State of Charge) koji je nivo napunjenosti u odnosu na kapacitet baterije (između 0% i 100%).

Za određivanje uticaja električnih vozila na elektroenergetski sistem neophodno je razumjeti različite statuse koje električna vozila mogu imati u bilo kom trenutku. Razlikuje se 5 statusa [5]:

- Električna vozila na punjenju: Električna vozila su priključena na mrežu i preuzimaju energiju za punjenje njihovih baterija.
- Električna vozila u V2G sistemu: Električna vozila predaju energiju mreži.
- Električna vozila kao eksplicitna rezerva: Električna vozila su priključena na mrežu, ali ne preuzimaju niti injektiraju energiju u mrežu. U ovom slučaju, električna vozila mogu započeti proces punjenja ili pražnjenja na zahtjev agregatora, uzimajući u obzir trenutno stanje baterije.
- Električna vozila koja se koriste za transport. U ovom modu električna vozila nijesu priključena na mrežu, već se koriste za transport i troše energiju skladištenu u baterijama.
- Neiskorištena električna vozila: Električna vozila su priključena na mrežu, ali agregator odlučuje da ne koristi ova vozila za punjenje, V2G niti kao rezervu.

III. METOD IGARA NA SREĆU

Za učešće u V2G sistemu se primjenjuje mehanizam aukcije po prvoj cijeni (first-price auction). Pobjednici aukcije su učesnici koji su dali najviše ponude i oni plaćaju iznose koje su ponudili. Kao benefit ostvaruju razliku između cijene električne energije za punjenje električnih vozila i ponude, sa jedne strane, i cijene električne energije predate u mrežu, sa druge strane. Učesnici aukcije nisu upoznati sa ponudama drugih učesnika (sealed-bid auction – aukcija sa zatvorenim ponudama). Potrošači, odnosno učesnici aukcije koji ne žele da pobijede na aukciji i time učestvuju u V2G sistemu, mogu da daju ponudu za koju vjeruju da neće biti najviša. Time se obezbjeđuje autonomija – potrošači bi trebalo da sami odlučuju da li da učestvuju u V2G poređenjem benefita V2G i mobilnosti [3].

Aukcija se vrši za svaki 60-minutni interval pojedinačno za naredni dan. Na osnovu prognoze proizvodnje i potrošnje za naredni dan, $P_{pro}(t)$ i $P_{pot}(t)$, se određuje deficit snage po satima $P_{def}(t)$, gdje je t indeks intervala ($t \in \{1, 2, \dots, T\}$, gdje je T poslednji interval). Ovaj podatak se koristi za dobijanje podataka o idealnom broju idealnih vozila (idealna vozila su vozila čiji status baterije omogućava predaju određene količine energije mreži tokom odgovarajućeg intervala pri

određenoj snazi) $N_{ide}(t)$ koja bi predala električnu energiju sistemu. Ukoliko su sva električna vozila istih karakteristika, $N_{ide}(t)$ se dobija po formuli:

$$N_{ide}(t) = \text{floor}\left(\frac{P_{def}(t)}{P_{pra}}\right), t = 1, 2, \dots, T, \quad (1)$$

gdje je P_{pra} snaga kojom električna vozila predaju električnu energiju mreži [kW]. $\text{Floor}(P_{def}(t)/P_{pra})$ označava prvu manju cijelu vrijednost količnika $P_{def}(t)/P_{pra}$ – zaokruženu vrijednost.

V2G se realizuje kada se, na osnovu prognoze proizvodnje i potrošnje električne energije za naredni dan ustanovi da se makar u jednom od intervala javlja deficit snage $P_{def}(t)$ i kada je taj deficit veći od P_{pra} . Ovaj uslov se može predstaviti relacijom:

$$\sum_{t=1}^T N_{id}(t) \geq 1. \quad (2)$$

Neka se u nekom EES-u nalazi N električnih vozila. Broj vozila $N_{ide}(t)$ za određeni interval može biti veći, jednak, ili manji od stvarnog broja vozila u sistemu. U slučaju da je $N_{ide}(t)$ veće od ili jednako N , svi korisnici električnih vozila mogu da učestvuju u V2G, čime se gubi potreba za održavanjem aukcije u odgovarajućem intervalu. U ovoj situaciji, agregator određuje vrijednost po kojoj se električna energija otkupljuje od korisnika električnih vozila. Ova vrijednost se određuje po relaciji:

$$C_{otk} = k_1 C_{maks}, \quad (3)$$

gdje je:

C_{otk} – cijena otkupljene električne energije od potrošača [EUR/kWh]

k_1 – koeficijent kojim se obezbjeđuje benefit potrošaču u najnepovoljnijem slučaju kada je električno vozilo punjeno tokom perioda maksimalne cijene električne energije i koji je veći od 1 (npr. 1,1), za slučaj kada je $N_{ide}(t)$ veće od jednako N .

C_{maks} – maksimalna cijena električne energije tokom dana [EUR/kWh]

Kada je $N_{ide}(t)$ manje od N , odnosno kada je deficit u sistemu moguće pokriti sa brojem vozila koji je manji od stvarnog broja vozila u sistemu, održava se aukcija kako bi se odredio broj korisnika električnih vozila koji žele da učestvuju u V2G. Da bi korisnici električnih vozila ostvarili benefit pri učestvovanju u aukciji, moraju biti upoznati sa cijenom otkupa električne energije koja se može razlikovati od slučaja kada je $N_{ide}(t)$ veće od ili jednako N . Na osnovu ovog podatka, određuje se maksimalna moguća ponuda korisnika maksPonuda [EUR] koja donosi benefit po relaciji:

$$\text{maksPonuda} = \text{floor}(P_{pra}(k_2 - 1)C_{maks}), \quad (4)$$

gdje je k_2 koeficijent kojim se obezbjeđuje benefit potrošaču, za slučaj kada je $N_{ide}(t)$ manje od N .

U realnosti, električna vozila nisu idealna, već ih karakteriše SoC između 0% i 100% što direktno utiče na

mogućnosti isporuke električne energije mreži. Štaviše, usljed degradacije baterije, ne preporučuje se punjenje iznad 80% za model Nissan Leaf. Uvodi se i zahtjev da baterija nijednog električnog vozila ni u jednom trenutku ne smije da dostigne status napunjenosti manji od b kapaciteta baterije [r.j. – relativne jedinice] čime jedan dio korisnika automatski gubi mogućnost za učešće u V2G, a koji je rezultat upotrebe električnih vozila u prethodnom periodu (ovaj uslov se može eliminisati ako se uzme da je b jednako nuli što znači da se električna vozila mogu potpuno isprazniti ako se koriste za ispomoc mreži). Ovaj uslov se uvodi usljed činjenice da je glavna uloga električnih vozila transport pa se podrazumijeva da se baterija ne smije potpuno isprazniti. Neka je EV niz kapaciteta baterija svih električnih vozila u sistemu. Uslov za određivanje niza potencijalnih električnih vozila EV_{pot} , dužine N_{pot} , od svih vozila u sistemu, za učešće u planskom pražnjenju je sledeći:

$$EV(n) \geq bE_{bat} + P_{pra}, n = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

gdje je E_{bat} kapacitet baterije [kWh].

Dakle, električna vozila koja mogu da učestvuju u V2G su ona vozila koja imaju skladištenu minimalnu količinu energije plus količinu energiju koju mogu predati mreži tokom jednog sata pri snazi pražnjenja P_{pra} . Od niza svih električnih vozila u sistemu se dobija niz potencijalnih vozila EV_{pot} čija je dužina N_{pot} manja od ili jednaka N . Ovaj niz sadrži podatke o vozilima u sistemu koja zadovoljavaju (5).

Treba imati u vidu da vozila $EV_{pot}(j)$ ($j=1, 2, \dots, N_{pot}$) zadovoljavaju (5) samo za prvi interval posmatranog dana. Na kraju tog intervala, a u zavisnosti od upotrebe električnog vozila (punjenje, plansko pražnjenje, vožnja, itd.), električna vozila karakteriše SoC koji se razlikuje od SoC na početku intervala. Dakle, (5) je neophodno provjeriti za svaki od intervala za posmatrani dan.

Obzirom da se aukcija održava za naredni dan, tačni SoC električnih vozila u t -om intervalu nije poznat ni agregatoru ni korisniku. Međutim, SoC na početku dana se za proračune može opisati normalnom raspodjelom $N(0,6, 0,01)$ [1].

Iz niza EV_{pot} , na osnovu ponuda učesnika aukcije za učešće u V2G za odgovarajući interval, agregator određuje niz dobitnika aukcije EV_{dob} . Ovi korisnici su dužni da u datom intervalu obezbijede dogovorenu količinu energije mreži. U slučaju da korisnik, koji je pobijedio na aukciji za određeni interval, odluči da isključi vozilo sa mreže tokom tog istog intervala, što se u praksi može desiti, dužan je da plaća penale čiji iznos određuje sistem operator i čiji detalji su precizirani u ugovoru između ove dvije strane.

Obzirom na ograničeni kapacitet baterije, korisnici električnih vozila nisu u mogućnosti da učestvuju u V2G u svim mogućim intervalima. Za svakog pobjednika agregator vrši proračun dostupnog kapaciteta kako bi se odredio zahtijevani plan pražnjenja. Ukoliko agregator odredi da u k -tom ($k=1, 2, \dots, T$) intervalu dobitnik aukcije nije u mogućnosti da učestvuje u V2G, provjerava se da li je u t -im ($t=1, 2, \dots, k-1$) intervalima moguće dopuniti električno vozilo energijom neophodnom za učešće u planskom pražnjenju u k -tom intervalu. Opcije su sledeće:

- Ukoliko to jeste moguće, korisnik donosi odluku da priključi vozilo na mrežu u zahtijevanom intervalu ili da se povuče iz aukcije. U slučaju da odluči da se povuče iz aukcije, prvi gubitnik aukcije dobija priliku da učestvuje u V2G.
- Ukoliko to nije moguće, prvi gubitnik aukcije dobija priliku da učestvuje u V2G.
- Agregator automatski isključuje datog korisnika iz planskog pražnjenja za posmatrani interval i prvi gubitnik aukcije dobija priliku da učestvuje u V2G.

Pored određivanja plana pražnjenja, agregator može kao izlazni podatak da daje i dostupni kapacitet baterije u nekom trenutku, što bi korisnicima olakšalo planiranje upotrebe električnog vozila.

Za interakciju između agregatora (sistema) i korisnika električnih vozila je neophodno izgraditi odgovarajuću komunikacionu infrastrukturu.

IV. NUMERIČKI REZULTATI

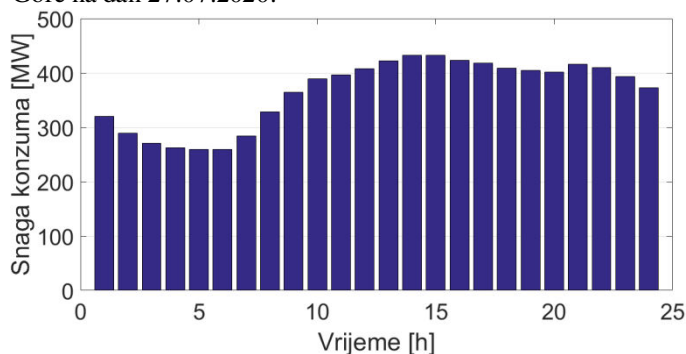
Posmatra se EES Crne Gore. Elektrane od velikog značaja za EES Crne Gore i njihove karakteristike su prikazane u tabeli I.

TABELA I
Velike elektrane u EES-u Crne Gore

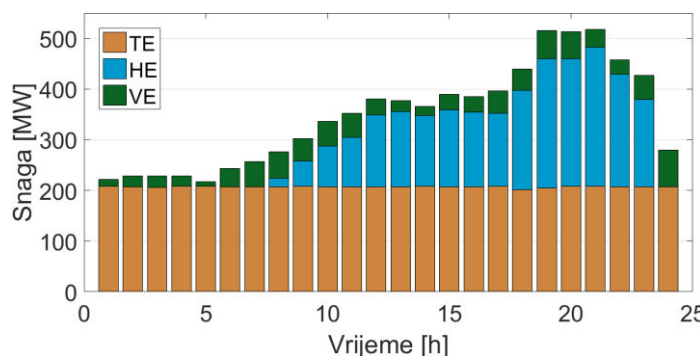
Elektrana	Tip	Instalisana snaga [MW]
HE Piva	Akumulaciona hidroelektrana	342
HE Perućica	Protočna hidroelektrana	307
TE Pljevlja	Termoelektrana na ugalj	210
VE Krnovo	Vjetroelektrana	72
VE Možura	Vjetroelektrana	46

EES Crne Gore je pretežno hidro sistem sa instalisanom snagom velikih hidroagregata od 649 MW što predstavlja 66,43%, odnosno približno dvije trećine ukupnih kapaciteta (nisu uračunate male hidroelektrane).

Ljetnje mjeseci u EES-u Crne Gore karakteriše naročito povećanje opterećenja u južnoj regiji kao rezultat izraženih turističkih aktivnosti. Na slici 1 je dat dijagram opterećenja konzuma, a na slici 2 proizvodnja proizvodnih jedinica Crne Gore na dan 27.07.2020.



Sl. 1. Konzum Crne Gore na dan 27.07.2020. (izvor ENTSO-E Transparency)

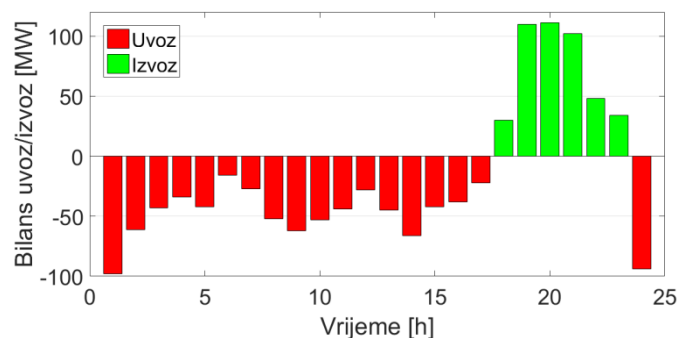


Sl. 2. Proizvodnja na dan 27.07.2020. (izvor ENTSO-E Transparency)

Na osnovu podataka sa slike 1 i 2 se zaključuje sledeće:

- TE Pljevlja tokom cijelog 24-časovnog perioda radi sa snagom koja je približno jednaka njenoj instalisanoj snazi od 210 MW i ta snaga se kreće u opsegu od 201 MW do 208 MW. Maksimalno se koristi raspoloživa snaga TE i tokom cijelog dana se javlja opterećenje koje je veće od tehničkog minimuma TE Pljevlja pa se ne javlja potreba za isključenjem date elektrane sa mreže.
- Energija vjetra se koristi u onoj mjeri u kojoj je to moguće – teži se što boljem iskorišćenju raspoložive energije.

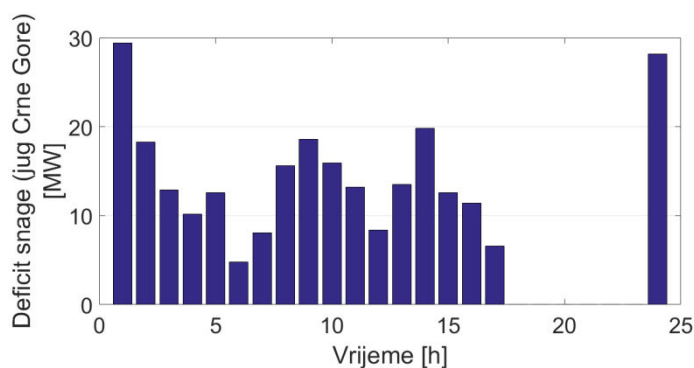
Na slici 3 dat je bilans snaga u EES-u Crne Gore na dan 27.07.2020.



Sl. 3. Bilans snaga uvoz/izvoz na dan 27.07.2020.

Električna energija se uvozi u periodu između 00:00 i 17:00, kao i između 23:00 i 00:00, dok se izvozi u periodu između 17:00 i 23:00 časa. Višak proizvodnje u sistemu tokom ovog perioda se može iskoristiti za punjenje električnih vozila, koja se u preostalim intervalima (kada se javlja manjak snage) mogu ponašati kao generatori električne energije. Izvezena količina električne energije tokom posmatranog dana iznosi 435 MWh, dok je uvezena količina približno dva puta veća i iznosi 867 MWh.

Ukoliko se uvede pretpostavka da, od ukupne nedostajuće količine energije, odnosno snage, 30% otpada na južnu regiju, dolazi se do podataka o deficitu snage prikazanih na slici 4.



Sl. 4. Nedostajuća snaga u južnoj regiji Crne Gore na dan 27.07.2020. (aproximacija od 30% ukupne nedostajuće snage u EES-u)

Na osnovu ovih podataka, ukupna nedostajuća količina energije u južnoj regiji Crne Gore na dan 27.07.2020. je 260,1 MWh (približno 260 MWh), a prosječna nedostajuća snaga je 14,45 MW. Nedostajuća količina energije bi mogla biti nadoknađena iz baterija električnih vozila za šta bi bilo neophodno priključiti na mrežu 5.200 vozila sa kapacitetom baterija 50 kWh i potpuno ih isprazniti. Međutim, električna vozila se koriste za transport tako da se uzima u obzir da ni u jednom trenutku ni jedno električno vozilo ne smije biti u potpunosti ispražnjeno. Time se zaključuje da u EES-u Crne Gore, tj u južnoj regiji, treba da postoji 6.500 električnih vozila sa baterijama kapaciteta 50 kWh koje ni u jednom trenutku ne padaju ispod stanja napunjenosti od 20%, odnosno 10 kWh, kako bi se pokrio deficit električne energije. U 2019. je u gradovima južne regije Crne Gore registrovano ukupno 66.410 vozila (Bar 17.232; Budva 11.922; Kotor 9.961; Tivat 7.397; Ulcinj 7.781; Herceg Novi 12.117) tako da se zaključuje da svako deseto vozilo treba da bude električno sa odgovarajućim karakteristikama.

U proračunu potencijala upotrebe električnih vozila u V2G sistemu u EES-u Crne Gore posmatraju se četiri stepena prisustva električnih vozila u južnoj regiji i to: 1.000 vozila, 5.000 vozila, 10.000 vozila i 20.000 vozila. Smatra se da su sva vozila istih karakteristika i to:

- Baterije su kapaciteta 50 kWh
- Snaga punjenja je 10 kW
- Snaga pražnjenja je 5 kW

Koeficijenti k_1 i k_2 su 1,1 i 1,2, respektivno. Na osnovu (5), minimalna količina energije neophodne za učešće u V2G, sa koeficijentom $b=0,2$, je 15 kWh.

SoC na početku dana se opisuje normalnom raspodjelom sa koeficijentima $\mu=0,6$ i $\sigma=0,1$. Zaključuje se da 99,87% vozila ispunjava (5), što nema značajniji uticaj na sistem (u odnosu na slučaj kada bi 100% vozila ispunjavala dati uslov), ali je poželjno voditi računa o pomenutom uslovu radi maksimalne udobnosti korisnika koji električno vozilo koriste prije svega za transport.

Po dvotarifnom modelu u Crnoj Gori, maksimalna cijena električne energije je jednaka cijeni električne energije tokom perioda visoke tarife i iznosi približno 0,103 EUR/kWh.

Električna vozila nijesu generatori električne energije, već pokretne baterije za njeno skladištenje. Dakle, pored V2G sistema, mora se uzeti u obzir i pitanje punjenja električnih

vozila tokom posmatranog dana sa ciljem bolje procjene njihovog uticaja na sistem. Iz ovog razloga, za svaki stepen prisustva električnih vozila se posmatraju dva podslučaja:

1. Kada korisnici električna vozila pune onda kada žele.
2. Kada korisnici električna vozila pune u periodu viška snage u sistemu.

Svi proračuni koji zavise od odluka potrošača koje imaju dva ishoda su izvedeni upotrebom funkcije koja nasumično generiše date odluke (npr. da li napuniti vozilo u posmatranom intervalu ili ne).

U tabelama II i III prikazani su rezultati proračuna za 8 posmatranih slučajeva. Date veličine su sledeće:

- Deficit energije u sistemu sa električnim vozilima [MWh] i u odnosu na deficit energije u originalnom sistemu [%]
- Suficit energije u sistemu sa električnim vozilima [MWh] i u odnosu na suficit energije u originalnom sistemu [%]
- Prosječna zarada planskog pražnjenja [EUR/kWh]
- Prosječna energija vozila na kraju dana [kWh]
- Prosječno pokrivanje deficita snage po satima [%] daje podatak o učešću električnih vozila u pokrivanju nedostatka snage u sistemu. Negativna vrijednost označava povećanje prosječnog pokrivanja deficita i javlja se isključivo kada korisnici vozila pune kada žele
- Prosječno pokrivanje suficita snage po satima [%] daje podatak o učešću električnih vozila (punjenju) u preuzimanju viška snage u sistemu

TABELA II
Rezultati proračuna (prvi dio)

Broj vozila	Deficit energije [MWh] (%)	Suficit energije [MWh] (%)	Prosječna zarada pražnjenja [EUR]
1.000 (1.)	258,62 (99,43)	425,39 (97,79)	0,0103
1.000 (2.)	239,64 (92,14)	416,6 (95,77)	0,0102
5.000 (1.)	259,03 (99,59)	390,50 (89,77)	0,0097
5.000 (2.)	158,30 (60,86)	338,24 (77,75)	0,0098
10.000 (1.)	305,88 (117,60)	378,82 (87,08)	0,0097
10.000 (2.)	61,325 (23,57)	254,97 (58,61)	0,0096
20.000 (1.)	444,45 (170,87)	374,50 (86,09)	0,0096
20.000 (2.)	0,025 (0,0096)	141,33 (32,49)	0,0097

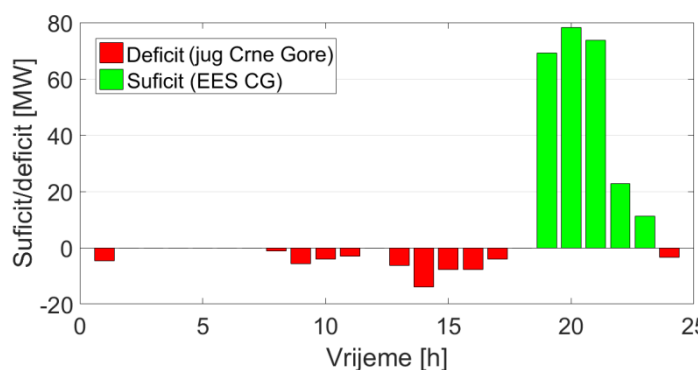
TABELA III
Rezultati proračuna (drugi dio)

Broj vozila	Prosječna energija vozila na kraju dana [kWh]	Prosječno pokrivanje deficita snage po satima [%]	Prosječno pokrivanje suficita snage po satima [%]
1.000 (1.)	38,13	-0,15	3,03
1.000 (2.)	27,94	9	6
5.000 (1.)	38,6690	-9,58	13,84
5.000 (2.)	28,9750	34,79	31,05
10.000 (1.)	40,1900	-43,62	17,58
10.000 (2.)	28,1195	65,06	42,86
20.000 (1.)	42,2390	-106,37	18,71
20.000 (2.)	31,6760	99,95	66,27

Na osnovu podataka iz tabela II i III se zaključuje sledeće:

- Uvođenjem električnih vozila u sistem se povećava deficit snage u sistemu kada korisnici električna vozila pune onda kada to smatraju za shodno (slučajevi 1.), a pritom ne dolazi do značajnijeg smanjenja suficita što je rezultat ravnomjernog punjenja vozila tokom cijelog dana.
- Kada se V2G kombinuje sa planskim punjenjem (slučajevi 2.), dolazi do znatnog smanjenja deficita snage sa povećanjem prisustva električnih vozila u sistemu.
- Prosječna energija skladištena u baterijama električnih vozila na kraju dana u slučajevima 2. iznosi u prosjeku 29,21 kWh, odnosno 97,37% prosječnog kapaciteta energije na početku dana, što govori da je V2G sistem u kombinaciji sa planskim punjenjem održiv i kada se primijeni na periode duže od jednog dana. U proračunima međutim nije uzeto u obzir korišćenje električnih vozila za prevoz, odnosno smanjenje dostupne energije u baterijama električnih vozila tokom dana.
- Kombinovanje V2G sistema i planskog punjenja pozitivno utiče na sistem, jer u suprotnom električna vozila praktično međusobno izmjenjuju električnu energiju (kada jedno električno vozilo predaje energiju mreži, drugo se puni, pa je uticaj na sistem manji nego kada bi se punjenje električnih vozila prebacilo u interval viška snage u sistemu).

Na slici 5 dat je prikaz deficita snage na jugu Crne Gore po satima i ukupan deficit u sistemu sa 10.000 električnih vozila koja se pune tokom perioda viška snage (slučaj 2.).



Sl. 5. Deficit snage na jugu Crne Gore i ukupni suficit u sistemu sa 10,000 (2.) električnih vozila na dan 27.07.2020.

Poredeći podatke sa slike 5 i podatke sa slike 3 i 4, zaključuje se da je deficit snage na jugu Crne Gore (pretpostavka o 30% deficita snage na nivou EES-a) značajno smanjen uvođenjem plana planskog pražnjenja vozila. U periodu između 1 i 6 časova u jutarnjim satima bilans snaga je jednak nuli. Primjećuje se i da je uticaj električnih vozila manji u kasnijim satima usljed pretpostavke da se električna vozila tokom posmatranog dana pune isključivo tokom perioda viška snage u sistemu, kada opet dostižu minimalnu količinu energije za učešće u V2G. Suficit snage u sistemu u periodu između 17 i 23 časa je takođe smanjen planskim punjenjem vozila. U intervalu između 17 i 18 časova se u potpunosti absorbuje višak proizvodne snage.

U proračunima o mogućem učešću električnih vozila u EES-u Crne Gore je zanemareno postojeće stanje. Naime, u 2018. godini je, od ukupnog broja registrovanih vozila od oko 235.000, registrovano tek nešto više od 100 električnih vozila, odnosno približno 0,043 %. Poredeći ovaj podatak i podatak o neophodnom broju vozila za pokrivanje nedostajuće snage u južnoj regiji Crne Gore, zaključuje se da se broj električnih vozila u ovoj regiji mora uvećati više od 300 puta.

Glavni uslov za prodor električnih vozila na tržište Crne Gore je uvođenje podsticajnih mjera za njihovu kupovinu i posjedovanje poput ukidanja poreza pri kupovini, besplatne registracije i parkinga, kao i izgradnje mreže stanica za punjenje. Pritom treba imati u vidu da su električna vozila još uvijek znatno skuplja od tradicionalnih vozila sa motorom sa unutrašnjim sagorijevanjem i da je kupovna moć građana Crne Gore znatno manja od kupovne moći zemalja koje su lideri u prelasku na električna vozila.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je obrađen problem primjene električnih vozila kao pokretnih upravljivih sistema za skladištenje električne energije i predaju energije mreži (V2G sistem) sa osvrtom i na pitanje planskog punjenja električnih vozila, a sa ciljem smanjenja deficita snage u sistemu. Izvedeni su proračuni za različite nivoe prisustva električnih vozila u elektroenergetskom sistemu Crne Gore za tipičan ljetnji dan

koji karakteriše relativno visoko opterećenje tokom cijelog dana i smjena intervala manjka i viška proizvodne snage u sistemu.

Iako V2G sistem dobija puni smisao kada se električna vozila pune tokom perioda niskih opterećenja i predaju energiju mreži tokom vrhova opterećenja, ovaj rad tretira pitanje upotrebe električnih vozila za davanje ispomoći sistemu onda kada mu je to potrebno, nezavisno od doba dana i trenutnog opterećenja. Za primjenu V2G sistema za pokrivanje deficita snage u realnim uslovima je neophodno uzeti u obzir brojne faktore koji utiču na stepen ispomoći mreži kao što su: prisustvo vozila u EES-u i očekivani udio ovih vozila u budućnosti, upotreba električnih vozila za transport i matematički modeli koji opisuju ovaj mod, održivost, odnosno ekonomska isplativost otkupa električne energije od korisnika električnih vozila, itd.

LITERATURA

- [1] H. Fu, Y. Han, J. Wang, Q. Zhao, "A Novel Optimization of Plug-In Electric Vehicles Charging and Discharging Behaviors in Electrical Distribution Grid", *J. Electr. Compute. Eng.*, vol. 2018, no 1-9, Aug., 2018.
- [2] D. Wu, D. C. Aliprantis, K. Gritza, "Electric Energy and Power Consumption by Light-Duty Plug-in Electric Vehicles", *IEEE Trans. Power Syst.: A Publication of the Power Engineering Society*, vol. 26, no 2, pp. 738-746, Jun., 2011.
- [3] H. Kikusato, Y. Fujimoto, S.-I. Hanada, D. Isogawa, S. Yoshizawa, H. Ohashi, Y. Hayashi, "Electric Vehicle Charging Management Using Auction Mechanism for Reducing PV Curtailment in Distribution Systems", *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 11, no. 3, pp. 1394-1403, Jul., 2019.
- [4] J. C. Mukherjee, A. Gupta, "Distributed Charge Scheduling of Plug-In Electric Vehicles Using Inter-Aggregator Collaboration", *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 1, pp. 331-341, Jan., 2016.
- [5] M. A. Ortega-Vazquez, F. Bouffard, V. Silva, "Electric Vehicle Aggregator/System Operator Coordination for Charging Scheduling and Services Procurement", *IEEE Trans. Power Syst.: A Publication of the Power Engineering Society*, vol. 28, no. 2, pp. 1806-1815, May, 2013.

ABSTRACT

EVs (electric vehicles) are one of the leading trends in the world when it comes to sustainable growth and reducing impact on the environment. EV penetration in power systems means an increased load, but it allows for planned charging and discharging which benefit both the system and the owners of EVs. This paper proposes the use of planned charging and discharging of EVs based on game theory, with the aim to reduce the power deficit in a system.

Index terms—electric vehicles; aggregator; planned discharging; planned charging

Use of Electric Vehicles for Reduction of Power Deficit in System

Uroš Ognjenović, Saša Mujović, Lazar Šćekić