Analiza isplativosti upotrebe električnog automobila

Škoda, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:982586

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

ANALIZA ISPLATIVOSTI UPOTREBE ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

Diplomski rad

Dino Škoda

Osijek, 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1

2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI ... 2

2.1. POVIJEST RAZVOJA ... 2

2.2. VRSTE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA ... 3

2.2.1. Baterijski električni automobili ... 3

2.2.2. Hibridni električni automobili ... 4

2.2.3. Punjivi hibridni električni automobili ... 5

2.3. PREGLED SPECIFIKACIJA I USPOREDBA BATERIJSKIH ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA S KONVENCIONALNIM AUTOMOBILIMA ... 6

2.3.1. Kia Soul ... 6

2.3.2. Volkswagen Golf ... 11

2.3.3. Obrazloženje ... 15

3. PUNJENJE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA ... 17

4. UTJECAJ PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU ... 19

4.1. VOZILO NAPAJA MREŽU ENGL. VEHICLE-TO-GRID (V2G) ... 19

4.1.1. Regulacija frekvencije ... 20

4.1.2. V2G u kombinaciji s obnovljivim izvorima energije ... 22

4.1.3. V2G mreža korisnika ... 23

4.2. KONTROLIRANO PUNJENJE ... 23

4.2.1. Punjenje električnog automobila s najmanjim troškovima ... 24

4.2.2. Punjenje električnog automobila u periodima smanjenog opterećenja distributivne mreže ... 24

4.2.3. Nekontrolirano punjenje ... 24

4.3. STVARNO OPTEREĆENJE TRANSFORMATORSKE STANICE I SIMULACIJA ... 25

4.3.1. Opterećenje transformatorske stanice uz utjecaj punjenja električnih automobila ... 26

4.3.2. Opterećenje transformatorske stanice obzirom na povećanje broja električnih automobila ... 29

5. UTJECAJ NA OKOLIŠ ... 34

6. ZAKLJUČAK ... 37

LITERATURA ... 39

SAŽETAK ... 41

ABSTRACT ... 41

ŽIVOTOPIS ... 42

PRILOG ... 43

1. UVOD

Svakim danom interes za električnim automobilima raste. Iako su električni automobili skuplji od konvencionalnih automobila, imaju puno prednosti naspram konvencionalnih automobila te ih sve češće možemo vidjeti na prometnicama.

Osnovni problem kasnog razvoja električnih automobila je u baterijama koje su bile teške, velikog unutarnjeg otpora, male specifične energije, visoke cijene, no u posljednjih petnaestak godina pojavom Li-ion baterija kreće i razvoj električnih automobila. Danas svaki proizvođač automobila uz konvencionalne, u ponudi ima barem jedan električni model automobila.

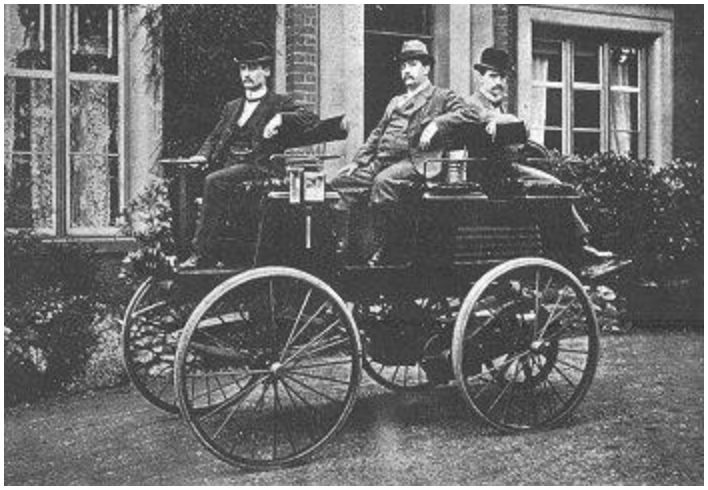
Ovaj rad je podijeljen na četiri poglavlja. Prvo poglavlje opisuje povijest razvoja električnih automobila, podjelu i tehno-ekonomsku usporedbu baterijskih električnih automobila s konvencionalnim električnim automobilima. Drugo poglavlje pojašnjava načine punjenja električnih automobila i uvod je u treće poglavlje s utjecajem opterećenja punjenja električnih automobila na distributivnu mrežu. Posljednje poglavlje bavi se tematikom utjecaja na okoliš.

2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

Električni automobili su cestovna vozila koja koriste električnu energiju za pogon električnog motora. Najčešći korišteni izvor električne energije su punjive baterije, ali je moguće napajanje iz gorivih ćelija te drugih uskladištenih izvora energije.

2.1. Povijest razvoja

Ideja električnog automobila započinje između 1832. i 1839. godine, kada je Robert Anderson konstruirao prvi električni automobil koji kao izvor električne energije koristi ne punjive baterije. Razvojem punjivih olovnih baterija 1859. godine, Thomas Parker, 1884. godine, počinje s proizvodnjom električnog automobila koji je koristio njegove, posebno namijenjene, punjive baterije.[1]



Slika 2.1 Električni automobil Thomas Parkera [2]

Do 20-tih godina 20. stoljeća nastavlja se razvoj električnih automobila, no zbog problema s dometom i punjenjem baterija te ubrzanim razvojem motora s unutarnjim izgaranjem, električni automobili prestaju s napretkom. Tijekom 20. stoljeća, bilo je nekoliko neuspjelih pokušaja povratka električnih vozila na ceste, naročito u SAD-u.

Posljednjih 10 godina, razvojem novih baterija na bazi litija, s kojima je omogućen veći domet uz manju masu baterija, počinje ubrzani razvoj električnih automobila kao što su: Tesla Roadster, Mitsubishi iMiEV, Nissan Leaf, Tesla Model S, Kia Soul EV i drugi.

2.2. Vrste električnih automobila

Prema broju električnih motora mogu se podijeliti na:

- električni automobili s jednim električnim motorom (prednji ili stražnji pogon)
- električni automobili s dva električna motora (prednji i stražnji pogon)
- električni automobili s četiri električna motora (pogon svakog kotača zasebno)

Prema punjenju baterija i vrsti motora mogu se podijeliti na:

- baterijski električni automobili (engl. *BEV – battery electric vehicle*)
- hibridni električni automobili (engl. *HEV – hybrid electric vehicle*)
- punjivi hibridni električni automobili (engl. *PHEV – plug-in hybrid electric vehicle*)

2.2.1. **Baterijski električni automobili**

Baterijski električni automobili koriste električnu energiju uskladištenu u baterijama za pokretanje električnog motora. Kada se baterije isprazne, mogu se puniti spajanjem na električnu mrežu u kući, na poslu ili spajanjem na odgovarajuće brze punjače uz prometnice. Ova vrsta automobila je specifična, jer nema motor s unutarnjim izgaranjem te time, za vrijeme svog rada ne stvara CO_2 i druge ispušne plinove, što ju čini izvrsnim prijevoznim sredstvom u gradovima. Također, smanjuju rasipanje energije na nekoliko načina:

- regenerativnim kočenjem - automobil energiju za zaustavljanje pohranjuje nazad u baterije
- stupnjem djelovanja – elektromotori imaju stupanj veći od 90%, dok motori s unutarnjim izgaranjem do 40%
- na semaforima i u gradskim gužvama potrošnja je minimalna jer elektromotor ne radi u mirovanju
- mogućnost punjenja kod kuće

Osnovu baterijskog električnog vozila čine: elektromotor, kontroler elektromotora i punjive baterije. Da bi ovo vozilo bilo funkcionalno potrebni su još:

- 12V baterija ili DC/DC pretvarač za potrebe trošila unutar automobila kao što su svjetla, radio, podizači stakala i dr.
- električni grijač – elektromotor zbog visokog stupnja djelovanja ne proizvodi dovoljno topline za zagrijavanje putničke kabine

- električna vakuumska pumpa – prilikom kočenja olakšava vozaču da ne mora koristiti veliku silu za stiskanje papučice gasa
- papučica gasa(potenciometar) – ovisno o otklonu potenciometra, šalje se naponski signal na kontroler elektromotora
- punjač – ugrađeni AC/DC ispravljač

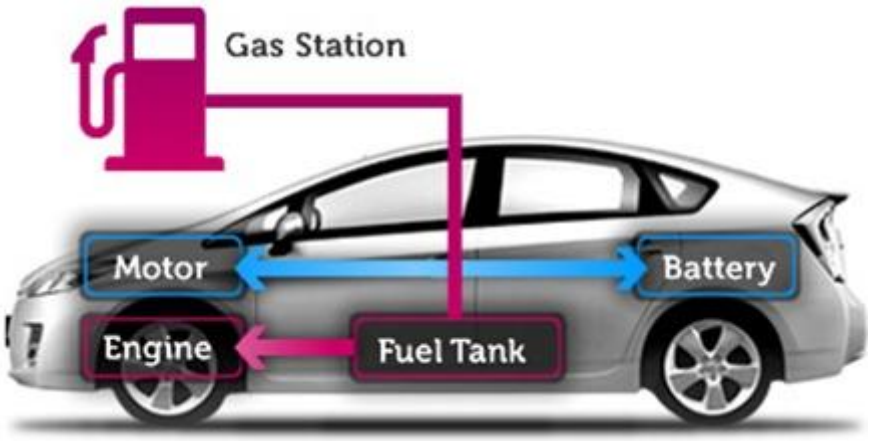
2.2.2. **Hibridni električni automobili**

Hibridni električni automobili su vrsta automobila koja koristi motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor za pogon vozila. Svrha im je da poboljšaju performanse i/ili smanje potrošnju goriva.

Osnovna svrha električnog stroja u hibridnom automobilu je da može raditi kao motor i generator. Pri pokretanju automobila i naglim ubrzanjima, uz motor s unutarnjim izgaranjem, uključuje se električni stroj koji se ponaša kao motor i napaja se iz baterija, dok se prilikom kočenja ponaša kao generator i puni baterije. Takav oblik motor-generatora dovodi do Start-stop sustava. U gradskim gužvama on isključuje motor s unutarnjim izgaranjem te smanjuje potrošnju goriva i emisije CO2.

Mogućnost regenerativnog kočenja kao i kod baterijskog električnog automobila, vraća električnu energiju u baterije i smanjuje zagrijavanje i trošenje kočnica uzrokovano mehaničkim kočenjem.

Vožnja isključivo električnim pogonom je ograničena zbog baterije malog kapaciteta te omogućava brzinu uglavnom do 50 km/h i autonomiju od svega nekoliko kilometara.



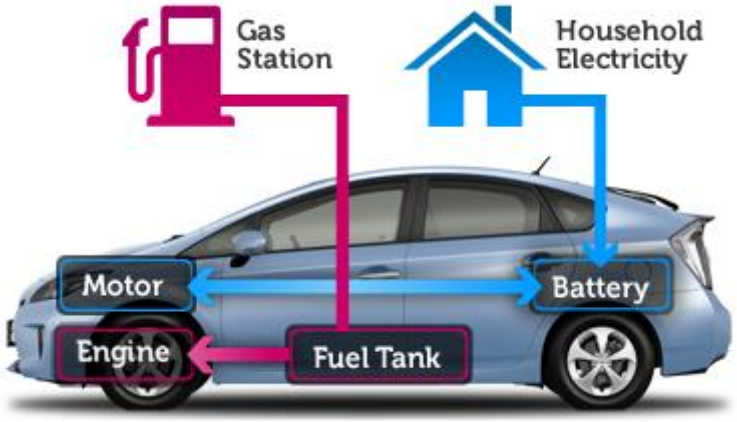
Slika 2.2 Prikaz hibridnog električnog automobila [3]

Osnovna podjela hibridnih električnih automobila:

- serijski hibrid – kotače pogoni isključivo elektromotor, motorom s unutarnjim izgaranjem preko generatora proizvodi električnu energiju za punjenje baterija
- paralelni hibrid – kotače pogoni elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem ili oba motora istovremeno
- serijsko-paralelni hibrid – kotače pogoni motor s unutarnjim izgaranjem uz potporu električnog motoru u svrhu dodatne snage ili kod pokretanja

2.2.3. **Punjivi hibridni električni automobili**

Ovo vrsta hibridnih električnih automobila ima iste komponente kao i hibridni električni automobili uz povećan kapacitet baterija i mogućnost punjenja na električnu mrežu. Veći kapacitet baterija omogućava veći domet isključivo na električni pogon, uglavnom 30-50 km. Prednosti ove vrste automobila su što svakodnevne potrebe odlaska do dućana, posla i drugo, možemo obavljati isključivo na električni pogon, dok za odlaske na veće udaljenosti koristimo motor s unutarnjim izgaranjem.



Slika 2.3 Prikaz punjivog hibridnog električnog automobila [3]

2.3. Pregled specifikacija i usporedba baterijskih električnih automobila s konvencionalnim automobilima

U daljnjem tekstu biti će prikazana usporedba baterijskih električnih automobila s njihovim benzinskim i dizelskim modelima na period od 8 godina koliko proizvođači daju jamstvo na baterije za kupnju novog električnog automobila te prijeđenih 120 000 km.

2.3.1. **Kia Soul**



Slika 2.4 Vanjski izgled - Kia Soul EV (lijevo) i Kia Soul (desno) [4]



Slika 2.5 Unutarnji izgled - Kia Soul EV (lijevo) i Kia Soul (desno) [4]

2.3.1.1 Tehnički podaci [4]

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 VGT
Motor	3 – fazni sinkroni elektromotor	4 – cilindarski benzinski	4 – cilindarski dizelski
Pogon	prednji	prednji	prednji
Najveća snaga	81,4 kW pri 2730 -8000 min^{-1}	97 kW pri 6300 min^{-1}	94 kW pri 4000 min^{-1}
Najveći okretni moment	285 Nm pri 0-2730 min^{-1}	161 Nm pri 4850 min^{-1}	260 Nm pri 2750 min^{-1}
Mjenjač	Automatski	6 – stupanjski ručni	6 – stupanjski ručni
Omjer brzina	8,206	4,4	4,188
Najveća brzina [km/h]	145	185	180
Ubrzanje [0-100 km/h]	12	11	11.2
Masa / nosivost [kg]	1588 / 372	1417 / 383	1532 / 388
Emisija CO2 [g/km]	0	151	125
Potrošnja na 100 km	13 kWh	6,5 L	4,8 L
Autonomija [km]	200	830	1125
Kapacitet baterije / spremnika goriva	27 kWh	54 L	54 L

2.3.1.2 Cijena tehničkog pregleda i obveznog auto osiguranja (C_1) [5]

$$C_1 = (TP + NC + NO + AU + AO) \cdot T \tag{2-1}$$

$$C_{1EV} = (202 + 181 + 7 + 237 + 2842)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-2}$$

$$C_{1GDI} = (202 + 181 + 7 + 237 + 3232)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-3}$$

$$C_{1CRDI} = (202 + 181 + 7 + 237 + 3232)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-4}$$

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 CRDI
C_1 [kn]	**27 752**	**32 640**	**32 696**

C_1 ukupna cijena tehničkog pregleda i obveznog auto osiguranja

TP tehnički pregled vozila

NC naknada za ceste

NO naknada za okoliš

AU administrativne usluge

AO obvezno auto osiguranje

2.3.1.3 Trošak goriva nakon prijeđenih 120 000 km (C_2) [6]

$$C_2 = \frac{D}{100} \cdot P \cdot E \tag{2-5}$$

$$C_{2EV} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{13\ kWh}{100\ km} \cdot 0{,}55625\ kn/kWh \tag{2-6}$$

$$C_{2GDI} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{6{,}5\ L}{100\ km} \cdot 9{,}612\ kn/L \tag{2-7}$$

$$C_{2CRDI} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{4{,}8\ L}{100\ km} \cdot 8{,}762\ kn/L \tag{2-8}$$

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 CRDI
C_2 [kn]	**8 677**	**74 974**	**50 469**

C_2 trošak goriva

D udaljenost

P potrošnja

E električna energija / benzin / dizel

2.3.1.4 Cjenik redovnih servisa ukupno nakon 8 godina (C_3) [4]

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 CRDI
12 mjeseci ili 15000 km [kn]	315	958	-
24 mjeseci ili 30000 km[kn]	836	1 599	2 354
36 mjeseci ili 45000 km [kn]	315	1 137	-
48 mjeseci ili 60000 km [kn]	836	1 689	2 563
60 mjeseci ili 75000 km [kn]	315	958	-
72 mjeseci ili 90000 km [kn]	836	2 078	2 384
84 mjeseci ili 105000 km [kn]	315	958	-
96 mjeseci ili 120000 km [kn]	836	1 689	2 563
C_3 [kn]	**4 604**	**11 066**	**9 864**

2.3.1.5 Cijena automobila (C_4) [4]

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 CRDI
C_4 [kn]	**272 990**	**191 990**	**196 990**

2.3.1.6 Ukupni troškovi nakon 8 godina i 120 000 km (C)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \tag{2-9}$$

$$C_{EV} = 27\,752 + 8\,677 + 4\,604 + 272\,990 \tag{2-10}$$

$$C_{GDI} = 32\,640 + 74\,974 + 11\,066 + 191\,990 \tag{2-11}$$

$$C_{CRDI} = 32\,696 + 50\,469 + 9\,864 + 196\,990 \tag{2-12}$$

	Kia Soul EV	Kia Soul 1.6 GDI	Kia Soul 1.6 CRDI
C [kn]	**314 023**	**310 669**	**290 019**
Državni poticaj za kupnju novog vozila [kn]	70 000	0	0
C uz državni poticaj [kn]	**244 023**	**310 669**	**290 019**

2.3.2. **Volkswagen Golf**



Slika 2.6Vanjski izgled –Volkswagen e-Golf (lijevo) i Volkswagen e-Golf(desno)[7]



Slika 2.7 Unutarnji izgled – Volkswagen e-Golf (lijevo) i Volkswagen e-Golf (desno) [7]

2.3.2.1 Tehnički podaci [7]

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
Motor	3 – fazni sinkroni elektromotor	4 – cilindarski benzinski	4 – cilindarski dizelski
Pogon	prednji	prednji	prednji
Najveća snaga	85 kW pri 3000 min^{-1}	81 kW pri 4800-6000 min^{-1}	94 kW pri 3200-4000 min^{-1}
Najveći okretni moment	270 Nm pri 3000 min^{-1}	200 Nm pri 1500-3500 min^{-1}	250 Nm pri 1500-3000 min^{-1}
Mjenjač	Automatski	Automatski	Automatski
Omjer brzina	9,76	3,87	4,38
Najveća brzina [km/h]	140	194	200
Ubrzanje [0-100 km/h]	10,4	10,9	10,5
Masa / nosivost [kg]	1585 / 450	1205 / 590	1280 / 535
Emisija CO2 [g/km]	0	112	102
Potrošnja	12,7 kWh/100km	4,9	3,9
Autonomija [km]	190	1020	1282
Kapacitet baterije / spremnika goriva	24,2 kWh	50 L	50 L

2.3.2.2 Cijena tehničkog pregleda i obveznog auto osiguranja (C_1) [5]

$$C_1 = (TP + NC + NO + AU + AO) \cdot T \tag{2-13}$$

$$C_{1e} = (202 + 181 + 7 + 237 + 3232)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-14}$$

$$C_{1TSI} = (202 + 181 + 7 + 237 + 2842)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-15}$$

$$C_{1TDI} = (202 + 181 + 7 + 237 + 3232)\ kn \cdot 8\ godina \tag{2-16}$$

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
C_1 [kn]	**30 872**	**29 520**	**32 696**

2.3.2.3 Trošak goriva nakon prijeđenih 120 000 km (C_2) [6]

$$C_2 = \frac{D}{100} \cdot P \cdot E \tag{2-17}$$

$$C_{2e} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{12{,}7\ kWh}{100\ km} \cdot 0{,}55625\ kn/kWh \tag{2-18}$$

$$C_{2TSI} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{4{,}9\ L}{100\ km} \cdot 9{,}612\ kn/L \tag{2-19}$$

$$C_{2TDI} = \frac{120000\ km}{100} \cdot \frac{3{,}9\ L}{100\ km} \cdot 8{,}762\ kn/L \tag{2-20}$$

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
C_2 [kn]	**8 477**	**56 518**	**41 006**

2.3.2.4 Cjenik redovnih servisa ukupno nakon 8 godina (C_3) [8]

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
12 mjeseci ili 15000 km [kn]	662	1 297	1 297
24 mjeseci ili 30000 km[kn]	-	1 643	1 810
36 mjeseci ili 45000 km [kn]	662	1 297	1 297
48 mjeseci ili 60000 km [kn]	-	1 643	1 810
60 mjeseci ili 75000 km [kn]	662	1 297	1 297
72 mjeseci ili 90000 km [kn]	-	1 643	1 810
84 mjeseci ili 105000 km [kn]	662	1 297	1 297
96 mjeseci ili 120000 km [kn]	-	1 643	1 810
C_3 [kn]	**2 648**	**11 760**	**12 428**

2.3.2.5 Cijena automobila (C_4) [7]

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
C_4 [kn]	**294 080**	**183 890**	**197 070**

2.3.2.6 Ukupni troškovi nakon 8 godina i 120 000 km (C)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \tag{2-21}$$

$$C_e = 30\,872 + 8\,477 + 2648 + 294\,080 \tag{2-22}$$

$$C_{TSI} = 29\,520 + 56\,518 + 11\,760 + 183\,890 \tag{2-23}$$

$$C_{TDI} = 32\,696 + 41\,006 + 12\,428 + 197\,070 \tag{2-24}$$

	e-Golf	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI
C [kn]	**336 077**	**281 689**	**283 202**
Državni poticaj za kupnju novog vozila [kn]	70 000	0	0
C uz državni poticaj [kn]	**266 077**	**281 689**	**283 202**

2.3.3. **Obrazloženje**

Na primjeru automobila Kia Soul, uzmemo li u obzir državni poticaj od 70 000 kuna za kupnju električnog automobila, dolazimo do prividne uštede električne izvedbe od 66 660 kuna u odnosu na izvedbu s benzinskim motorom te 46 000 kuna u odnosu na izvedbu s dizel motorom.

Nadalje, na primjeru automobila Volkswagen Golf, uzmemo li u obzir državni poticaj od 70 000 kuna za kupnju električnog automobila, dolazimo do prividne uštede električne izvedbe od 15 610 kuna u odnosu na izvedbu s benzinskim motorom te 17 130 kuna u odnosu na izvedbu s dizel motorom.

Ušteda je veća kod automobila marke Kia zbog manje razlike u cijeni automobila te nešto veće potrošnje izvedbe motora s unutarnjim izgaranjem.

Međutim, uzmemo li u obzir deklariranu autonomiju električnih automobila, koja je nedostatna za duža putovanja te vrijednost automobila koja je manja zbog baterija smanjenog kapaciteta nakon isteka jamstva na baterije, zbrinjavanje stare baterije i kupnja nove baterije, možemo

zaključiti kako niti uz državni poticaj nije moguće ostvariti značajniju financijsku uštedu upotrebom električnog automobila.

3. PUNJENJE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Početkom „ozbiljnije“ proizvodnje električnih automobila, početkom 21. stoljeća, elektroenergetska mreža u Hrvatskoj i svijetu nije bila prilagođena za punjenje električnih automobila izvan svojih kuća. Postupnim razvojem i sve većim brojem električnih automobila na cestama, dolazi i do prilagodbe elektroenergetske mreže uz autoceste, kao što su veći presjeci vodova, energetski transformatori veće snage, postavljanje obnovljivih izvora energije uz električne punionice. Kako bi sve bilo usklađeno, 2010. godine Europska komisija u dokumentu „Europska strategija o energetski učinkovitim vozilima“ (engl. *A European Strategy on clean and energy efficient vehicles)*, donosi niz direktiva kojima će se omogućiti brže, pristupačnije i sigurnije punjenje električnih automobila na punionicama.

Nadalje, postoje različite snage/brzine punjača električnih automobila ovisno o namjeni.

Tablica 3.1.: Podjela brzine punjača električnih automobila [9]

	Vrsta priključka	Snaga punjača [kW]	Vrijeme punjenja i lokacija
Standardno punjenje	Jednofazni AC	< 3,7	6 - 9 sati kuća
Ubrzano punjenje	Jednofazni ili trofazni AC	7 - 40	1 – 3 sata trgovački centri, punionice unutar središta grada
Brzo punjenje	Trofazni AC ili DC	> 50	< 30 minuta autoceste

Kako je vidljivo iz tablice 3.1. brzina punjenja električnog automobila ovisi o snazi punjača. Standardno punjenje kod kuće je svakodnevno punjenje i najčešće se koristi tijekom noćnih sati kada je cijena električne energije niža. To je ujedno i način punjenja koji najmanje šteti baterijama. Ubrzano i brzo punjenje koristi se u situacijama kada preostali kapacitet baterija

nije dovoljan da se vratimo kući ili stignemo na odredište. To je oblik punjenja koji se koristi povremeno jer ima negativan utjecaj na baterije. Prilikom brzog punjenja, veća je i struja kojom punimo baterije koja dovodi do zagrijavanja i smanjenja životnog vijeka baterija.

4. UTJECAJ PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

Do prije nekoliko godina, pogon osobnih automobila se oslanjao isključivo na motore s unutarnjim izgaranjem. Međutim, posljednjih godina se trend kupnje automobila s električnim pogonom povećava iz godine u godinu te su predviđanja kako će u budućnosti u potpunosti zamijeniti automobile koji koriste motor s unutarnjim izgaranjem. Električni automobili imaju uskladištene energije u baterijama od nekoliko desetaka kilovatsati što im omogućuje dovoljan domet za gradsku i međugradsku vožnju, ali kako se tržište električnih automobila bude razvijalo i napredovalo, tako će se i kapacitet baterija u električnim automobilima povećavati kako bi se povećao i domet samog automobila. Punjenje takvih baterija će rezultirati i većim utjecajem na distributivnu mrežu i proizvodnju električne energije.

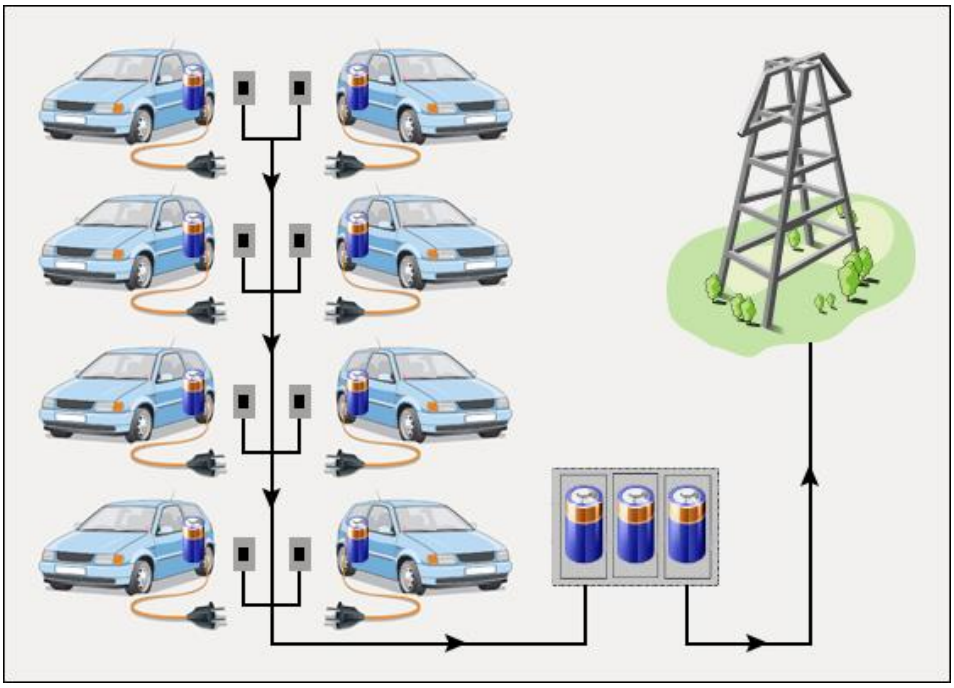
Obzirom na zabrinutost o klimatskim promjenama i povećanje energetske učinkovitosti, u distributivnim mrežama pojavio se sve veći broj obnovljivih izvora električne energije snage do nekoliko megavata koji uzrokuju neravnotežu elektroenergetskog sustava koja nije zanemariva. Pojava sve većeg broja električnih automobila stvara zabrinutost, ali i nudi potencijalno rješenje problema neravnoteže elektroenergetskog sustava. Električni automobili koriste punjače za punjenje baterija te postoji mogućnost da se putem tih istih punjača električna energija vrati nazad u mrežu. Za vrijeme velike proizvodnje električne energije električni automobili bi se punili, dok bi za vrijeme velikog opterećenja elektroenergetskog sustava davali električnu energiju natrag u elektroenergetski sustav. Ovakav koncept elektroenergetskog sustava naziva se Pametna mreža (engl. *Smart grid).* [10]

4.1. Vozilo napaja mrežu engl. *Vehicle-to-grid (V2G)*

Primjer korištenja baterija električnih automobila kao spremnika električne energije elektroenergetskog sustava naziva se engl. *Vehicle-to-grid (V2G).* U elektroenergetskom sustavu vrlo je malo prostora za pohranu električne energije, pa proizvodnja i potražnja moraju biti usklađeni kako bi frekvencija bila što bliže 50 Hz. Jedan električni automobil ima mali spremnik električne energije, ali nekoliko stotina ili tisuća takvih automobila može činiti pristojnu rezervu elektroenergetskog sustava. Veliki broj osobnih automobila najveći dio dana miruje ispred našeg doma, radnog mjesta i slično te su upravo iz tog razloga mogu koristiti kao V2G i donositi određenu financijsku korist vlasnicima automobila. Baterije električnih automobila napravljene su da mogu podnositi velike oscilacije snage upravo zbog potreba

vožnje. Kada se koristi nekoordinirano punjenje električnih automobila, vozilo se puni najvećom snagom do potpune napunjenosti. To uzrokuje oscilacije u elektroenergetskom sustavu, što može dovesti do preopterećenja sustava, odstupanja napona, kvalitete električne energije i efikasnosti elektroenergetskog sustava.

Zbog neravnoteže elektroenergetskog sustava unosom iz obnovljivih izvora energije, težak je zadatak uskladiti proizvodnju i potražnju električne energije. Međutim, električni automobili mogli regulirati neravnotežu punjenjem i pražnjenjem baterija u pravom trenutku. Komunikacija između vozila i distributivne mreže je ključna. Za V2G ideju potreban je priključak na mrežu, komunikacijska veza između dispečera i punjača automobila te pokazatelj stanja napunjenosti baterije. Električna energija iz baterija mogla bi se koristiti za smanjenje vršnih vrijednosti opterećenja elektroenergetskog sustava, za regulaciju frekvencije i napona.



Slika 4.1 Primjer vozila napajaju mrežu (V2G) [11]

4.1.1. **Regulacija frekvencije**

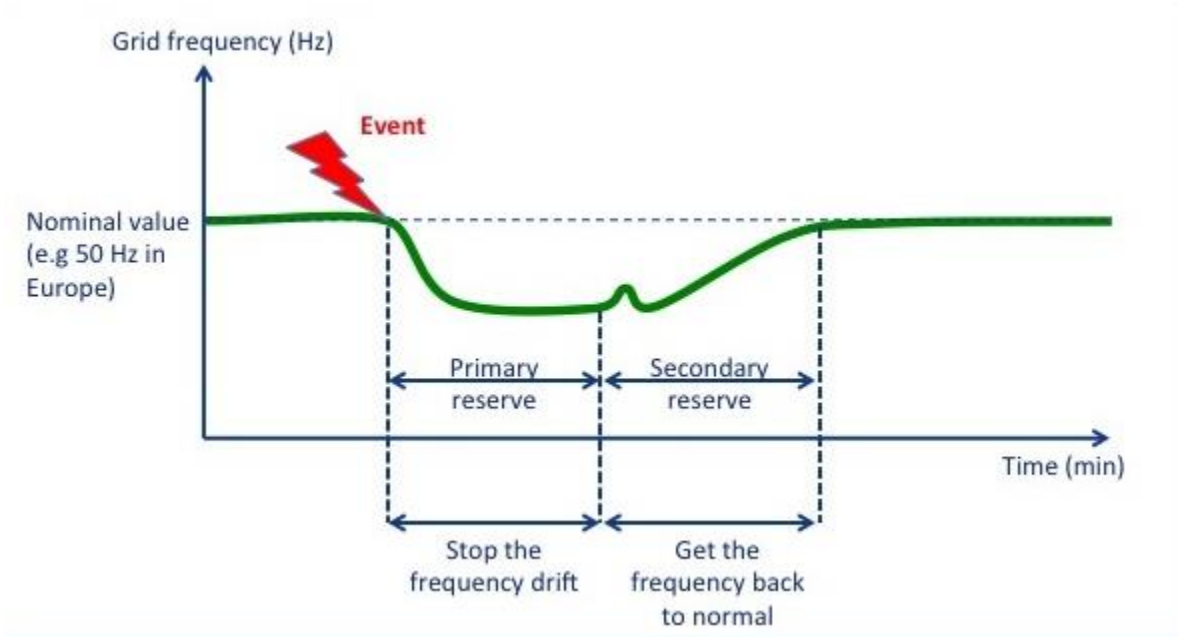
Jedna od prednosti ovakvim načinom upravljanja mrežom su rezerve za regulaciju frekvencije i napona uz smanjenje neravnoteža i zagušenja. Regulacija frekvencije osigurava prema standardima frekvenciju od 49,99 do 50,01 Hz. To se osigurava primarnim, sekundarnim i tercijarnim rezervama. [12]

4.1.1.1 Primarna rezerva

Primarna rezerva regulira frekvenciju i stabilizira europsku mrežu od mogućeg prekida opskrbe (engl. *Blackout).* Regulacija frekvencije je konstantna i u potpunosti automatizirana unutar jedne sekunde. Stoga, rezerva mora biti uvijek dostupna.

4.1.1.2 Sekundarna rezerva

Sekundarne rezerve su također automatizirane te imaju raspon djelovanja od 15 minuta. Ako je frekvencija manja od 50 Hz, tada baterije u električnom automobilu služe kao izvor električne energije te predaju električnu energiju mreži, a ako je frekvencija iznad 50 Hz baterije preuzimaju električnu energiju iz mreže te započinje punjenje. Utjecaj na baterije je kratko pražnjenje od nekoliko sekundi tijekom punjenja.



Slika 4.2 Primjer utjecaja primarne i sekundarne rezerve [12]

4.1.1.3 Tercijarna rezerva

Tercijarne rezerve koriste se za veće neravnoteže i zagušenja u elektroenergetskom sustavu. Za razliku od prethodnih rezervi, tercijarna se aktivira ručno svega nekoliko puta godišnje. Mora se osigurati snaga kroz 15 minuta.

4.1.1.4 Mogućnosti primjene

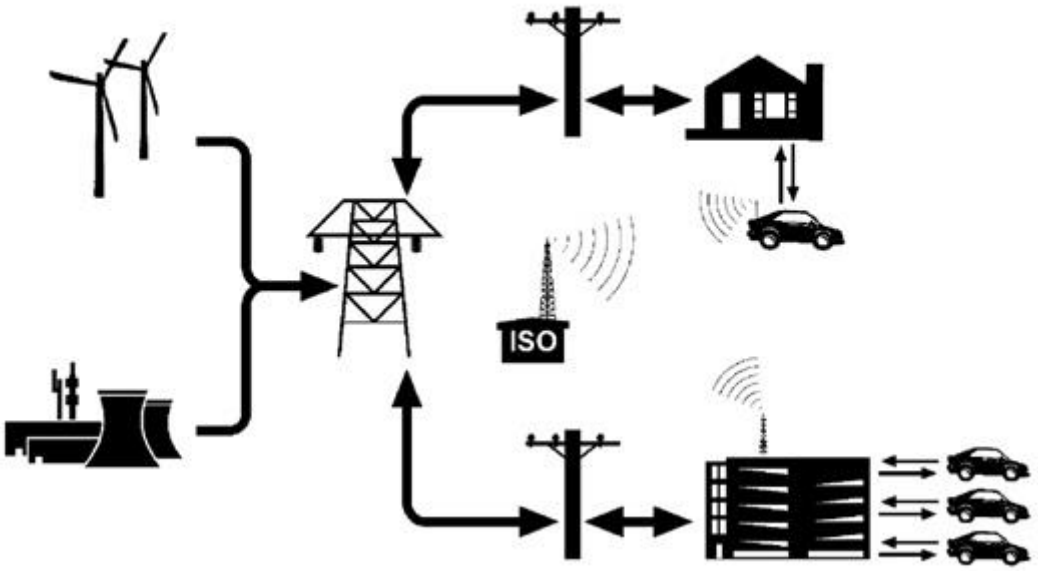
Od tri objašnjene rezerve, obzirom na što manji utjecaj na "zdravlje" baterije električnog automobila, regulaciju od jedne sekunde i ekonomsku stranu, primarna rezerva ima najveći potencijal za primjenu u elektroenergetskom sustavu.

Električni automobili imaju mogućnosti za potporu distributivnom sustavu ali ekonomski i tehnički nisu najpogodniji za sve vrste potpora. Jedan od razloga je, još uvijek visoka cijena baterija po kilovatsatu električne energije, efikasnost i životni vijek, ali su pogodni za kratkotrajno uravnoteženje oscilacija napona i frekvencije u elektroenergetskom sustavu.

4.1.2. V2G u kombinaciji s obnovljivim izvorima energije

Manja ovisnost o proizvodnji električne energije iz fosilnih goriva zajedno sa smanjenjem emisije stakleničkih plinova, zahtijeva povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, posebno iz solarnih elektrana i vjetroelektrana. Oba načina proizvodnje iz obnovljivih izvora je teško predvidjeti te su velike oscilacije u proizvodnji takve električne energije. Upravo zbog tih oscilacija teško ih je uklopiti u postojeći elektroenergetski sustav.

Veliki spremnici energije za elektroenergetske sustave su skupi i s ekonomske strane neisplativi. Međutim, jedna od prednosti V2G ideje je dostupnost baterija iz električnih automobila koje se ionako većinu vremena ne koriste. To iziskuje dodatne sustave upravljanja koji će uspješno predviđati stanje napunjenosti baterija i trenutnu raspoloživost. Vjetroelektrane su dobar primjer kombinacije s električnim automobilima. Električna snaga koja dolazi s naletima vjetra povećava potrebu za regulacijom. Reguliranim punjenjem/pražnjenjem nekoliko tisuća električnih automobila smanjile bi se oscilacije u kvaliteti proizvedene električne energije.



Slika 4.3 Kombinacija obnovljivog izvora energije, elektrane i V2G [13]

4.1.3. V2G mreža korisnika

Dva su moguća rješenja povezivanja vlasnika električnih automobila s operatorom elektroenergetskog sustava. Jedan način bi bio povezivanje svakog korisnika s operatorom elektroenergetskog sustava izravno, signalno i energetski, dok drugi način okuplja više korisnika u jedan veći sustav pohrane energije koji se povezuje i komunicira s operatorom elektroenergetskog sustava. Oba rješenja su vrlo slična, ali drugo ima potencijal za dodatne prihode. Obzirom da raspolaže većim kapacitetom pohranjene energije ima mogućnosti pregovarati o cijeni predane ili primljene električne energije ovisno o trenutnoj ponudi/potražnji električne energije na tržištu.

4.2. Kontrolirano punjenje

Punjenje baterija električnih automobila može se podijeliti na nekoliko načina:

- punjenje električnog automobila s najmanjim troškovima
- punjenje električnog automobila u periodima smanjenog opterećenja distributivne mreže
- nekontrolirano punjenje

4.2.1. **Punjenje električnog automobila s najmanjim troškovima**

Punjenje električnog automobila s najmanjim troškovima pogoduje najviše vlasnicima vozila koji imaju dvotarifna brojila. Oni odlučuju da neće puniti svoje električne automobile odmah nakon završetka radnog vremena i općenito tijekom dana u vrijeme skuplje tarife struje, nego će pričekati jeftiniju tarifu struje tijekom noći te na taj način dodatno uštedjeti na punjenju automobila. Osim za vlasnike električnih automobila, ovaj način odgovara i elektroenergetskom sustavu jer je opterećenje tijekom noći niže a u sustavima gdje ima vjetroelektrana mogu se stvoriti viškovi električne energije iz obnovljivih izvora koji su idealna kombinacija s punjenjem električnih automobila.

4.2.2. **Punjenje električnog automobila u periodima smanjenog opterećenja distributivne mreže**

Punjenje električnog automobila u periodima smanjenog opterećenja distributivne mreže zahtijeva dodatno moderniziranje elektroenergetskog sustava te potpisivanje ugovora s vlasnicima električnih automobila. U ovom slučaju, prilikom svakog pada opterećenja u elektroenergetskom sustavu, priključeni električni automobili na mrežu bi započinjali s punjenjem snagom koja odgovara sustavu, a punjenje bi se prekidalo ili smanjivalo prilikom povećanja opterećenja u sustavu. Ovakav način bi omogućio stabilniji elektroenergetski sustav s manje pozitivnih i negativnih skokova opterećenja.

Nadalje, u ljetnim mjesecima kada ima više sunca i kada je veća proizvodnja električne energije iz fotonaponskih elektrana, viškovi proizvodnje bi se mogli iskoristiti također za punjenje baterija električnih automobila uz povoljniju dnevnu cijenu električne energije za vlasnike električnih automobila.

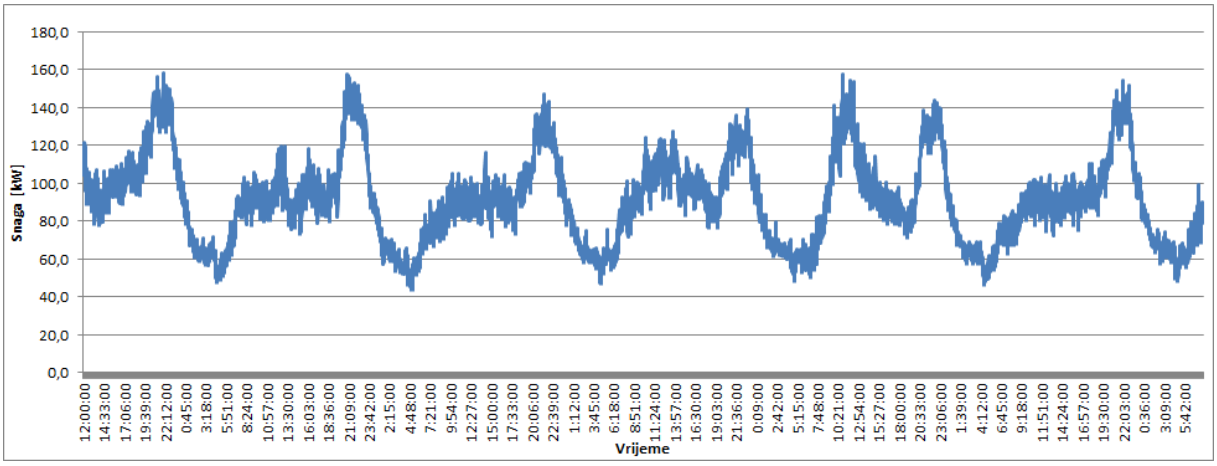
4.2.3. **Nekontrolirano punjenje**

Za nekontrolirano punjenje pretpostavlja se punjenje pri kojem se ne obraća pozornost na cijenu punjenja baterija niti na trenutno opterećenje mreže. Primjer mogu biti električni automobili koji se pune velikim snagama na autocestama i u gradovima ili kućanstva s jednotarifnim brojilima kojima je cijena električne energije jednaka tijekom cijelog dana te ne žele čekati noć kako bi napunili svoje električne automobile. Baterije električnih automobila pune se najvećom dopuštenom snagom priključka na mreži. Ovo je najgori mogući način, financijski za vlasnike električnih automobila te operatere distributivne mreže jer uz obnovljive izvore energije uzrokuje dodatnu neravnotežu u elektroenergetskom sustavu.

4.3. Stvarno opterećenje transformatorske stanice i simulacija

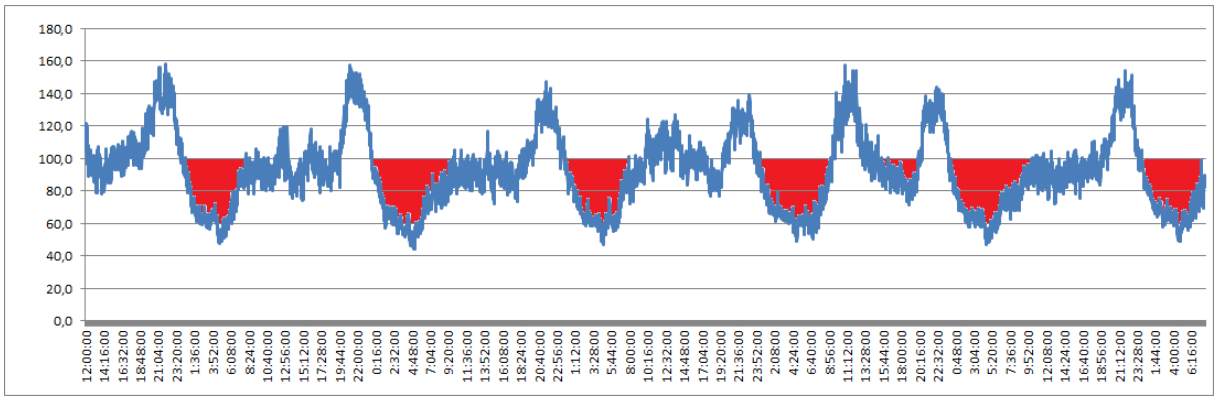
Snimljena je snaga opterećenja na sekundarnoj strani transformatora 10/0,4 kV. Transformatorska stanica smještena je u Lastovskoj ulici u Osijeku. Nazivna snaga transformatora je 630 kVA, spoj Dy5. Područje koje napaja transformatorska stanica čini oko 170 stambenih jedinica i javna rasvjeta.

Na slici 4.2. možemo vidjeti opterećenje transformatorske stanice za period 5 dana, od 27.05.2015. do 02.06.2015. godine. U promatranom periodu najveće opterećenje iznosi 158,5 kW, najmanje 44,4 kW, dok prosječno opterećenje iznosi 91,5 kW. Obzirom da ova karakteristika prikazuje stvarno opterećenje kroz 5 dana, vidimo kako se srednje opterećenje kreće između 80 – 115 kW. U večernjim satima, 20 – 24 sata, opterećenje dostiže svoje vrhove koji kreću od 120 kW pa sve do 158,5 kW koliko iznosi najveće opterećenje kroz 5 dana mjerenja te je na smanjenje ovoga opterećenja teško utjecati jer je tada većina stanovništva u svojim domovima. [14]



Slika 4.4 Opterećenje transformatorske stanice od 27.05.2015. do 02.06.2015. godine [14]

Međutim, na minimume opterećenja koji iznose oko 45 kW možemo utjecati. Dijelovi označeni crveno na slici 4.3., prikazuju potencijal koji je moguće iskoristiti kako bi podignuli do 50% minimume opterećenja koji se pojavljuju. Prednost za iskorištenje sniženog opterećenja je i što se pojavljuje u noćnim satima kada je jeftinija električna energija što pogoduje vlasnicima električnih automobila. Potencijal je moguće iskoristiti kontroliranim punjenjem električnih automobila, pri kojem distributer električne energije određuje kada je pogodno vrijeme za punjenje automobila i s kolikom snagom.



Slika 4.5 Potencijal za povećanje opterećenja označeno je crvenom bojom

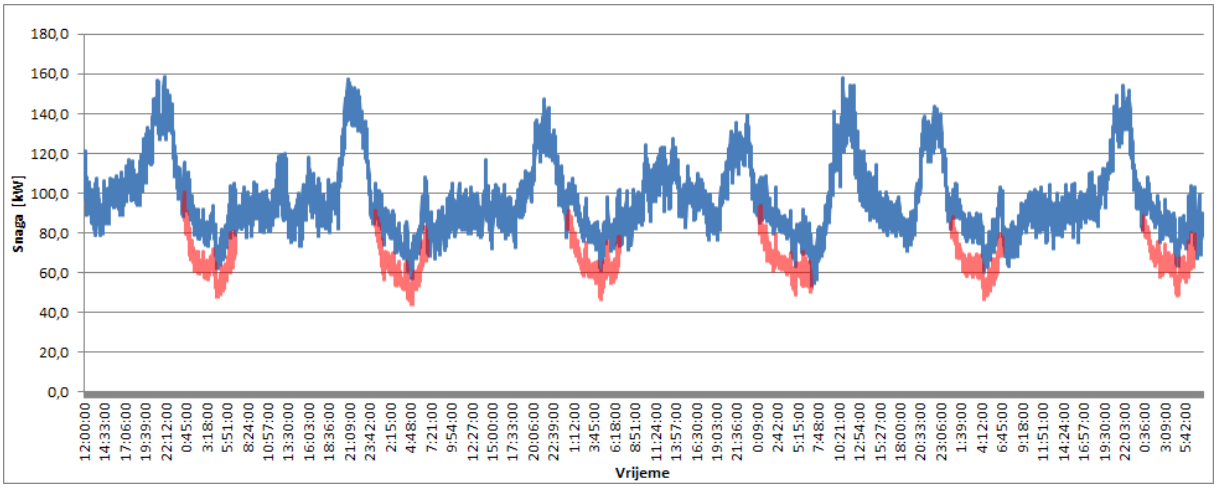
4.3.1. **Opterećenje transformatorske stanice uz utjecaj punjenja električnih automobila**

Ovdje će se simulirati stvarno opterećenje transformatorske stanice s dodatnom snagom opterećenja uz postupno povećanje snage punjenja baterija električnih automobila. Dio karakteristike osjenčan crvenom bojom prikazuje trenutno opterećenje transformatorske stanice, dok plavo osjenčani dio predstavlja potencijal za unapređenje.

Jedna opcija bi bila izjednačavanje minimuma opterećenja u noćnom periodu sa snagom opterećenja tijekom dana. Simulirano je povećanje opterećenja od 30% u periodu od 22:00 do 07:00 sati. Utjecaj na povećanje opterećenja ima 30% povećanje opterećenja zbog povećanog broja električnih automobila. Vršno opterećenje u noćnom terminu se nije promijenilo, ali se minimalno opterećenje povećalo s 44,4 kW na 54,1 kW, dok je prosječna snaga povećana s 91,5 kW na 96,7 kW. Na ovaj način bi se smanjile razlike između pozitivnih i negativnih vrhova opterećenja te bi elektrane radile s manjim oscilacijama u proizvodnji, a pogoduje i iskorištenje vjetroelektrana.

Tablica 4.1 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najmanja snaga	44,4 kW	54,1 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	96,7 kW

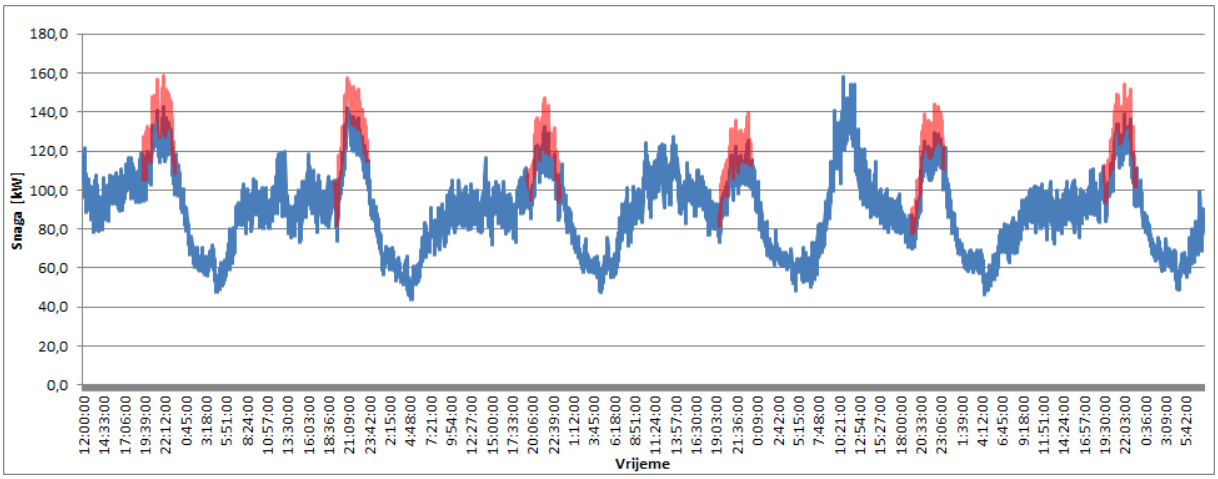


Slika 4.6 Razmjerno povećanje minimuma opterećenja

Druga opcija bi bila iskorištenje preostale uskladištene električne energije iz baterija električnih automobila za smanjenje vrhova opterećenja u periodu od 20 sati do 23 sata, kada je većina stanovništva u svojim kućama i koristi električnu energiju. Simulirano je smanjenje opterećenja od 10% u periodu od 20:00 do 23:00 sata. Utjecaj na smanjenje opterećenja ima 10% električne snage koju distributivna mreža 'povlači' iz električnih automobila. Dnevno vršno opterećenje se smanjilo s 158,5 kW na 157,9 kW, dok je prosječna snaga smanjena na 89,3. Na taj bi se način smanjila vršna opterećenja, a baterije električnih automobila imaju dovoljno vremena da se do jutra u potpunosti napune.

Tablica 4.2 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	157,9 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	89,3 kW

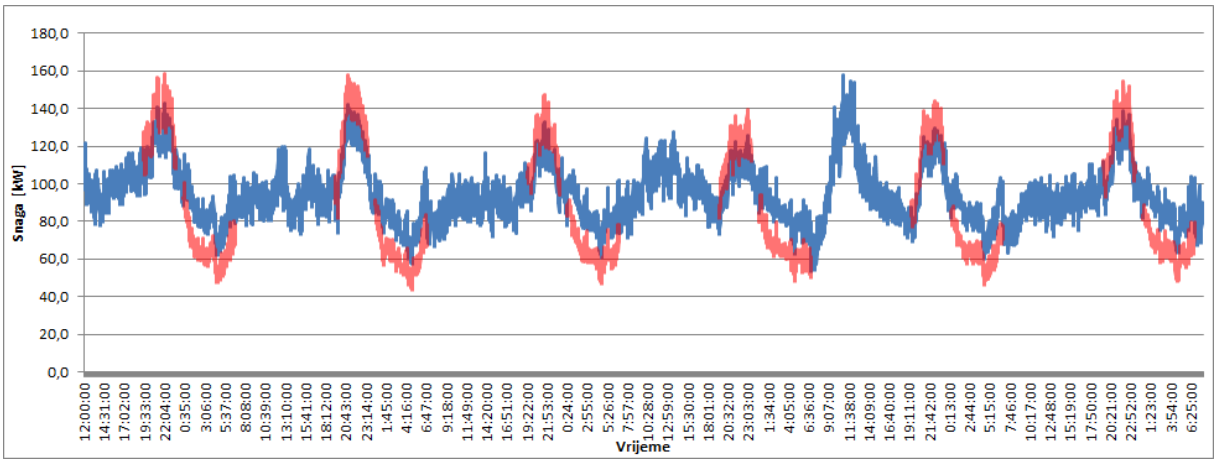


Slika 4.7 Razmjerno smanjenje maksimuma opterećenja

Kao treću opciju možemo kombinirati prethodne dvije opcije kako bi dobili što uravnoteženiju mrežu sa što manje minimuma i maksimuma opterećenja koja odgovara i vlasnicima električnih automobila zbog jeftinije električne energije u noćnim satima, a i elektroenergetskom sustavu. Simulirano je smanjenje opterećenja od 10% u periodu od 20:00 do 23:00 sata, te povećanje opterećenja od 30% u periodu od 22:00 do 07:00 sati. Kao rezultat, dnevno vršno opterećenje se smanjilo na 157,9 kW, dok je prosječna snaga povećana s 91,5 kW na 94,5 kW.

Tablica 4.3 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	157,9 kW
Najmanja snaga	44,4 kW	54,1 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	94,5 kW



Slika 4.8 Kombinacija povećanja minimuma i smanjenje maksimuma opterećenja

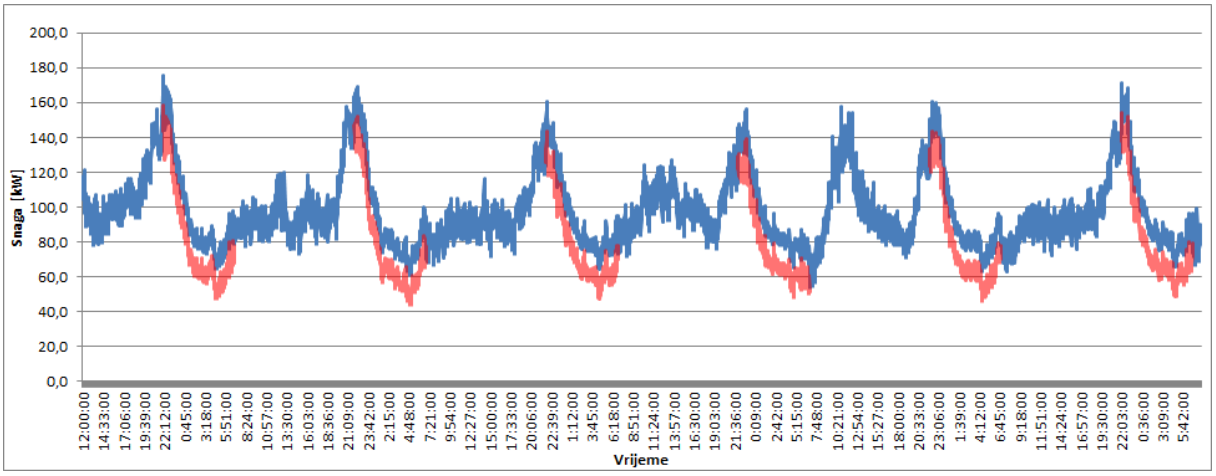
4.3.2. **Opterećenje transformatorske stanice obzirom na povećanje broja električnih automobila**

Ovdje će se simulirati stvarno opterećenje transformatorske stanice s dodatnom snagom opterećenja. Dodatnu snagu opterećenja predstavlja punjenje 10, 20 ili 50 električnih automobila, koji su zamijenili konvencionalne automobile. Simulacije se odnose na transformatorsku stanicu smještenu u Lastovskoj ulici u Osijeku koja napaja područje koje čini oko 170 stambenih jedinica i javna rasvjeta. Pretpostavka je da svaka stambena jedinica ima jedan automobil. U simulaciji je korišten, kao referentni, podatak o snazi punjenja električnog automobila dobiven snimanjem punjenja automobila Peugeot Partner electric, a koji iznosi 1,7 kW [14]. Dio karakteristike osjenčan crvenom bojom prikazuje stvarno opterećenje transformatorske stanice, dok plavo osjenčani dio predstavlja potencijal za unapređenje.

Povećanje opterećenja kada bi se 10 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima prikazuje slika 4.9. Na stvarno opterećenje dodano je opterećenje punjenja 10 električnih automobila koje iznosi 17 kW u periodu od 22:00 do 07:00 sati. Primjećuje se kako se dnevno vršno opterećenje povećalo s 158,5 kW na 175,5 kW, dok je prosječna snaga povećana na 98 kW.

Tablica 4.4 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja kada bi se 10 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	175,5 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	98 kW

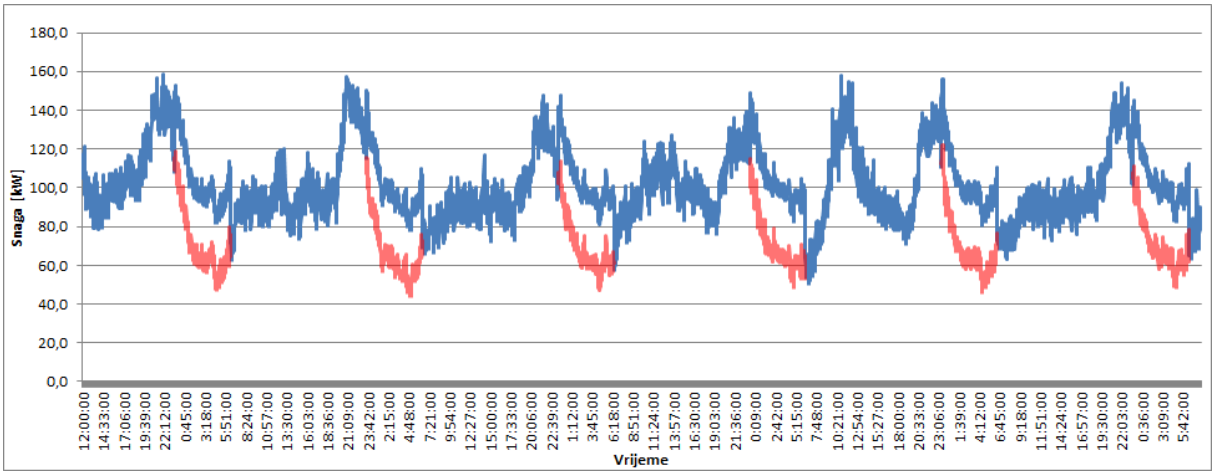


Slika 4.9 Povećanje opterećenja kada bi se 10 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Slika 4.10. prikazuje povećanje opterećenja kada bi se 20 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima. Na stvarno opterećenje dodatno je opterećenje punjenja 20 električnih automobila koje iznosi 34 kW u periodu od 23:30 do 6:30 sati. Početak punjenja je pomaknut 90 minuta od početka jeftinije tarife struje kako bi se izbjeglo veliko povećanje vršnog opterećenja koje je najveće oko 22:00 sata. Primjećuje se kako je dnevno vršno opterećenje ostalo isto, dok je prosječna snaga povećana na 101,7 kW.

Tablica 4.5 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja kada bi se 20 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	158,5 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	101,7 kW

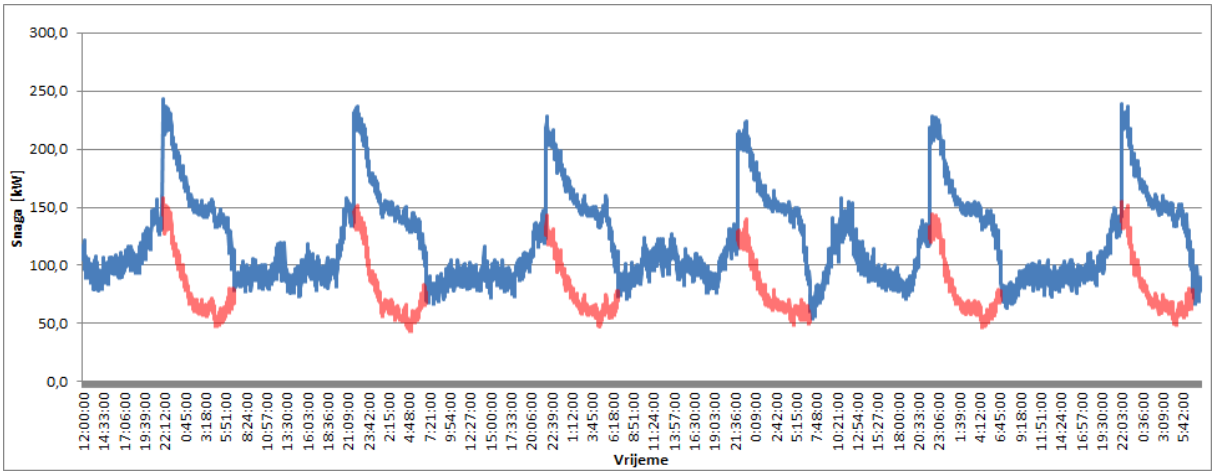


Slika 4.10 Povećanje opterećenja kada bi se 20 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Slijedeća slika 4.11. daje uvid što bi se dogodilo kada bi se 50 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima i započinjali punjenje oko 22:00 sata kada počinje jeftina tarifa struje. Prema slici može se vidjeti kako bi dodatno opterećenje od 85 kW uzrokovalo velike skokove dnevnog vršnog opterećenja do 50% te bi se opterećenje do 07:00 sati postepeno smanjivalo ovisno o napunjenosti baterija električnih automobila. Utjecaj je još i veći uzme li se u obzir 50% povećanje opterećenja jedne regije ili cijele države.

Tablica 4.6 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja kada bi se 50 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	243,5 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	122,6 kW



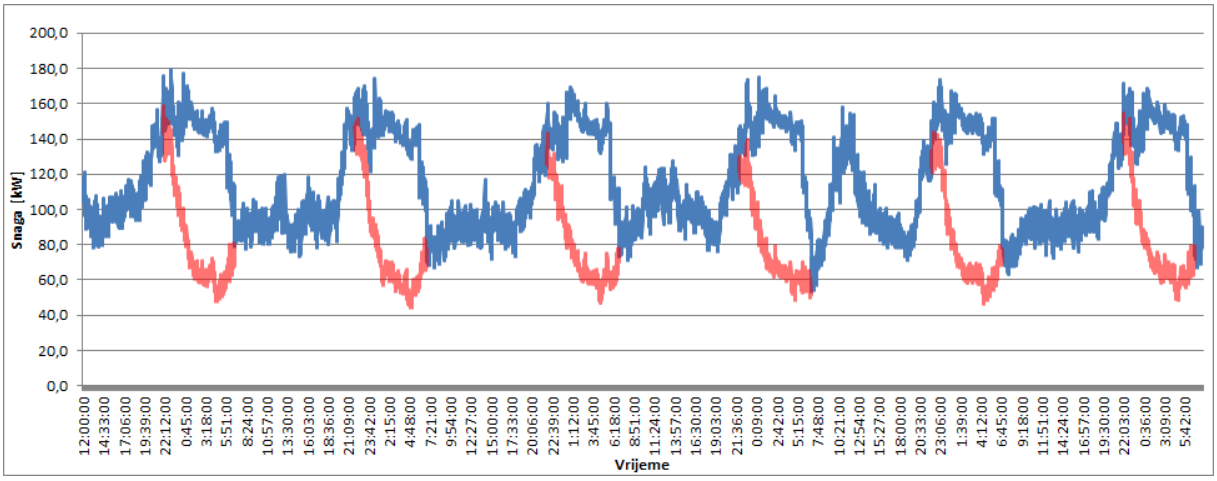
Slika 4.11 Povećanje opterećenja ukoliko se 50 konvencionalnih automobila zamijeni električnim automobilima

Stoga, ukoliko dođe do povećanja broja električnih automobila, ideja je omogućiti postepeno povećanje opterećenja punjenja što prikazuje slika 4.12. Na primjer, od 22:00 do 23:00 puniti svako vozilo s 20% snage punjenja ili 0,34 kW, od 23:00 do 24:00 puniti svako vozilo s 40% snage punjenja ili 0,68 kW, od 00:00 do 00:30 puniti svako vozilo s 60% snage punjenja ili 1,02 kW, od 00:30 do 1:00 puniti svako vozilo s 80% snage punjenja ili 1,36 kW te od 1:00 puniti svako vozilo s najvećom snagom punjenja sve do 100% napunjenosti baterija. Na ovaj način opterećenje tijekom noći izjednačilo bi se s najvećim dnevnim opterećenjem. Ovakav pristup bi odgovarao vlasnicima električnih automobila jer bi tijekom noći napunili baterije električnih automobila po najpovoljnijoj cijeni, ali ukoliko se proizvedena energija ne bi dobila iz nekog od obnovljivih izvora energije, npr. vjetroelektrana, to bi izazvalo financijski udar na proizvođače električne energije koji bi morali koristiti velike količine goriva za elektrane na konvencionalna goriva koje bi električnu energiju prodavale po niskoj cijeni, a imale velike

pogonske troškove. U ovom slučaju dnevno vršno opterećenje povećalo se na 179 kW, a prosječna snaga se povećala do 116,3 kW.

Tablica 4.7 Podaci stvarnog i simuliranog opterećenja kada bi se 50 konvencionalnih automobila zamijenilo električnim automobilima

Parametar	Stvarno opterećenje	Opterećenje uz utjecaj punjenja električnih automobila
Najveća snaga	158,5 kW	179 kW
Prosječna snaga	91,5 kW	116,3 kW



Slika 4.12 Povećanje opterećenja ukoliko se 50 konvencionalnih automobila zamijeni električnim automobilima

5. UTJECAJ NA OKOLIŠ

Iz mnogo razloga, uključujući nove tehnologije i sve veću brigu o okolišu, tržište električnih automobila se u posljednjih nekoliko godina počelo ubrzano razvijati. Ulogu u razvoju imaju i države koje potiču građane na kupnju električnih automobila različitim poticajima kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova. Sve je raširenije uvjerenje da su električni automobili 100% zeleni i bolji, napredniji od automobila na konvencionalna goriva. Za transport se koristi do 30% ukupne potrošnje energije i zato je potrebno naći čistiji oblik transporta. No, utječu li uistinu električni automobili na smanjenje stakleničkih plinova?

Električni automobili ne stvaraju CO2 i ispušne plinove tijekom svog rada i kretanja, ali punjenje baterija se još uvijek odvija preko električne mreže, do koje električna energija još uvijek najčešće dolazi iz velikih termoelektrana na ugljen, naftu i prirodni plin. Prerada i transport sirovina do elektrana također dodatno povećava utjecaj stakleničkih plinova. Stoga je potrebno uzeti u obzir cjeloživotnu analizu, od proizvodnje električnog automobila, proizvodnje i prijenosa električne energije do priključaka na električnu mrežu pa sve do razgradnje. Svaka zemlja ima različite omjere proizvodnje električne energije iz obnovljivih i neobnovljivih izvora energija. U većini država veliki udio proizvodnje električne energije imaju elektrane na ugljen. Tako proizvodnja električne energije ispušta emisiju CO_2 u zemljama poput Indije i Kine u iznosu 700 – 900 g/kWh, SAD oko 500 g/kWh a Europa ima prosjek od 330 g/kWh proizvedene električne energije.[15] U tablici 5.1. možemo vidjeti kako različite tehnologije proizvodnje električne energije stvaraju emisiju CO_2.

Tablica 5.1.: Prikaz emisija CO_2 [16]

Tehnologija	**Prosjek**	**Niska**	**Visoka**
	CO_2 g/kWh		
Lignit	1054	790	1372
Ugljen	888	756	1310
Nafta	733	547	935

Prirodni plin	499	362	891
Solarni paneli	85	13	731
Biomasa	45	10	101
Nuklearna energija	29	2	130
Hidroelektrane	26	2	237
Vjetroelektrane	26	6	124

U Republici Hrvatskoj prema izvještaju HROTE za 2015. godinu 32% električne energije proizvedeno je iz neobnovljivih izvora energije. [17] Prema tablici 5.2. možemo vidjeti kako se emisija CO2 po proizvedenom kilovatsatu električne energije iz termoelektrana na području Republike Hrvatske kreće od 600 g/kWh do 1000 g/kWh.

Tablica 5.2.: Prikaz emisija CO_2 termoelektrana u Republici Hrvatskoj [18]

ELEKTRANA	GORIVO	SPECIFIČNA EMISIJA
TE Plomin 1	Ugljen	1000 – 1040 g/kWh
TE Plomin 2	Ugljen	935 - 985 g/kWh
TE Rijeka	TLU	750 - 830 g/kWh
KTE Jertovec	Prirodni plin	640 - 666 g/kWh
TE Plomin C500	Ugljen	722 g/kWh

Usporedbom onečišćenja okoliša s gore navedenim podacima i podacima današnjih automobila kod kojih se emisija CO_2 kreće 200 – 250 g/km, električni automobili su odlično rješenje za zemlje poput Islanda, Norveške i Austrije u kojima je proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora veća od 80%. U tim zemljama primjena električnih automobila dobiva svoj puni smisao jer je električna energija dobivena uz nisku emisiju štetnih plinova. U zemljama poput SAD, Kine, Indije koje manje od 30% proizvedene električne energije dobivaju iz

obnovljivih izvora korištenje električnih automobila nije najpogodnije rješenje, ali zbog velike naseljenosti i velikog broja automobila imaju mogućnost onečišćenje "premjestiti" dalje od velikih gradova.

Razvojem obnovljivih izvora energije paralelno treba poticati i upotrebu električnih vozila, jer nije cilj premjestiti emisiju stakleničkih plinova na drugo mjesto na Zemlji, nego smanjiti njen utjecaj.

Country	L/100 km	km/L
Paraguay	1.1	93
Iceland	1.1	92
Sweden	1.5	68
Brazil	1.8	57
France	1.9	52
Canada	2.7	37
Spain	3.8	26
Russia	4.1	24
Italy	4.7	21
Japan	4.9	21
Germany	5.0	20
United Kingdom	5.4	19
United States	5.8	17
Mexico	5.9	17
Turkey	5.9	17
China	7.9	13
Indonesia	8.3	12
Australia	9.1	11
South Africa	10.0	10
India	11.9	8

Slika 5.3. Ekvivalent emisija stakleničkih plinova stvorenih od električnih automobila i automobila s unutarnjim izgaranjem [19]

Slika 5.3. daje pregled potrošnje električnih automobila ovisno o postotku dobivene električne energije iz obnovljivih izvora. Tako možemo vidjeti kako se u državama s dna ne bi trebala poticati upotreba električnih automobila, jer bi utjecaj na okoliš bio nepovoljniji nego upotrebom automobila s unutarnjim izgaranjem, dok bi države s vrha trebale uvesti politiku poticanja kupnje električnih automobila. Prema tablici, u Indiji, potrošnja električnog automobila bi imala ekvivalent potrošnje 11,9 L/ 100 km automobila s unutrašnjim izgaranjem, dok bi u Švedskoj ekvivalent potrošnje iznosio 1,5 L/100 km. Države poput Japana i Njemačke su na granici te napredak u narednih nekoliko godina u upotrebi električnih automobila očekuje se kao posljedica ulaganja u obnovljive izvore energije i brze električne punjače.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio jer utvrditi tehno-ekonomsku isplativost kupnje baterijskog električnog automobila te koliko bi prijelaz s konvencionalnih na baterijske električne automobile imao utjecaja na elektroenergetski sustav i na okoliš.

U prvom poglavlju uz povijest i podjelu obrađena je tehno-ekonomska analiza Kia Soul i Volkswagen Golf automobila u električnoj, benzinskoj i dizelskoj izvedbi, dostupnih u Hrvatskoj. Analiza je provedena na rok 8 godina i 120 000 km iz razloga jer oba proizvođača daju jamstvo na baterije 8 godina, a prosjek prijeđenih kilometara godišnje uz servisni interval je oko 15 000.

Kia Soul EV je automobil koji svojim performansama i autonomijom može ravnopravno konkurirati svojoj benzinskoj i dizelskoj izvedbi u gradskoj i međugradskoj vožnji. S ekonomske strane, uz 30 % veću početnu investiciju za kupnju električne izvedbe, cijene registracije vozila su 10 % manje i redovnih servisa do 60 % manje u odnosu na konvencionalne izvedbe te dolazimo do uštede u potrošnji energenta do 90% u odnosu na benzinsku izvedbu i do 80% u odnosu na dizelsku izvedbu. Nakon 8 godina i 120 000 prijeđenih kilometara, troškovi za električnu izvedbu su 2 % veći u odnosu na benzinsku i 8 % veći u odnosu na dizelsku izvedbu te uz državni poticaj od 70 000 kn jednokratno, troškovi za električnu izvedbu su 22 % manji u odnosu na benzinsku i 16 % manji u odnosu na dizelsku izvedbu

Volkswagen e-Golf također svojim performansama može konkurirati svojoj benzinskoj i dizelskoj izvedbi u gradskoj i međugradskoj vožnji. Oko 35% veća početna investicija za kupnju električne izvedbe, cijene registracije vozila su jednake i redovnih servisa do 80% manje u odnosu na konvencionalne izvedbe te dolazimo do uštede u potrošnji energenta do 85% u odnosu na benzinsku izvedbu i do 80% u odnosu na dizelsku izvedbu. Nakon 8 godina i 120 000 prijeđenih kilometara, troškovi za električnu izvedbu su 16% veći u odnosu na benzinsku i dizelsku izvedbu te uz državni poticaj od 70 000 kn jednokratno, troškovi za električnu izvedbu su 6 % manji u odnosu na benzinsku i dizelsku izvedbu.

Trenutno je i autonomija od 200 km za Kia Soul EV i 190 km za Volkswagen e-Golf nedostatak pri dužim vožnjama, ali s razvojem brzih punionica u narednim godinama taj će nedostatak biti otklonjen.

Analizom dolazimo do zaključka kako je kupnja električne izvedbe analiziranih automobila financijski isplativa na rok od 8 godina, ali uzmemo li u obzir da nakon tog perioda kapacitet baterije naglo opada, a s njime i domet vozila, preporuča se zamjena baterije što iziskuje nove troškove. Nadalje, u ovom radu nisu uzeti troškovi rezervnih dijelova, s kojima bi ušteda korištenjem električnog automobila bila još i veća.

U drugom i trećem poglavlju dolazimo do zaključka kako bi se kontroliranim punjenjem većeg broja električnih automobila smanjilo vršno i povećalo minimalno opterećenje što bi bila dodatna prednost u vođenju elektroenergetskog sustava. Nadalje, postoje opcije gdje bi se obnovljivi izvori energije kombinirali s mrežom baterijskih sustava električnih automobila, ali i ideja o korištenju uskladištene energije električnih automobila za regulaciju frekvencije 50 Hz. Međutim, to iziskuje velika dodatna ulaganja u postojeći elektroenergetski sustav.

Posljednje poglavlje govori o utjecaju na okoliš. Kako bi se električni automobili smatrali „zelenim“ vozilima, potrebno je unaprijediti postojeći elektroenergetski sustav te elektrane na goriva i ugljen zamijeniti obnovljivim izvorima energije. Kada to bude ispunjeno, tek tada će električni automobili biti vozila što bliže nultim emisijama stakleničkih plinova, koja zadovoljavaju svoju namjenu u potpunosti.

LITERATURA

[1] Glavaš, Hrvoje; Antunović, Mladen; Keser: Cestovna vozila na električni pogon

[2] Električni automobil Thomas Parkera

https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Parker_(inventor) (16.03.2017.)

[3] Hibridni električni automobil

http://kingofwallpapers.com/hybrid.html (16.03.2017.)

[4] Kia Motors Adria Group – ovlašteni zastupnik Kia vozila

https://www.kia.hr/ (20.12.2016.)

[5] CROATIA tehnički pregledi

[6] Ministarstvo gospodarstva

http://www.min-go.hr/ (15.12.2016.)

[7] Ovlašteni zastupnik Volkswagen vozila

https://www.volkswagen.hr/

[8] Autozubak – ovlašteni servis Volkswagen vozila

[9] A European Strategy on clean and energy efficient vehicles

[10] Putrus , Suwanapingkarl, Johnston, Bentley, Narayana: Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks

[11] V2G

http://www.jarman-international.com/news-events/tag/smart-cars/#.WLFLzzvhA2w

(20.02.2017.)

[12] Else Veldman and Remco A. Verzijlbergh: Distribution Grid Impacts of Smart Electric Vehicle Charging From Different Perspectives

[13] Kombinacija obnovljivog izvora energije, elektrane i V2G

https://johncarlosbaez.wordpress.com/2016/05/08/vehicle-to-grid/ (20.02.2017.)

[14] Diplomski rad, Utjecaj električnih vozila na opterećenje i kvalitetu električne energije u distribucijskoj mreži, Marko Rekić 2015.

[15] Understanding CO_2 Emissions from the Global Energy Sector

[16] HROTE izvještaj

http://files.hrote.hr/files/PDF/RJP/GI_2015_HROTE_Struktura_ukupne_preostale_el_en_za_2015_za_WEB_HR.pdf

[17] Dražen Lovrić: Emisije stakleničkih plinova iz termoenergetskih postrojenja HEP-a

[18] Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources

[19] "Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe"

SAŽETAK

U ovom radu opisana je povijest razvoja električnih automobila i nekoliko podjela električnih automobila. U radu je izvršena tehno-ekonomska analiza upotrebe električnog automobila usporedno s automobilima s unutarnjim izgaranjem na primjeru Volkswagen Golf i Kia Soul automobila. Istaknute su prednosti kombiniranja uskladištene energije električnih automobila, obnovljivih izvora energije i elektroenergetskog sustava. Na kraju se analizirao utjecaj električnih automobila na okoliš.

ABSTRACT

This paper describes the history of the development of electric cars and several divisions of electric cars. In the paper, the techno-economic analysis of the electric car parallel to cars with internal combustion engine in the case of Volkswagen and Kia Soul car. The advantages of combining the stored energy of electric cars, renewable energy and power system. Finally, the analysis of the impact of electric cars on the environment.

ŽIVOTOPIS

Dino Škoda rođen je 31. kolovoza 1991. godine u Zagrebu. Osnovnu školu „Retfala“ pohađa od 1998. do 2006. godine, kada upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju Osijek. Srednju školu završava 2010. godine te iste godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Godine 2014. završava preddiplomski studij elektrotehnike i upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.

PRILOG

I. SUGLASNOST

HEP OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA d.o.o.

ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK
DIREKTOR
31 000 OSIJEK, Šetalište kard. F. Šepera 1a

TELEFON • 385(0)31 • 244-309
TELEFAKS • 385(0)31 • 244-020
POŠTA • 31200 • SERVIS
IBAN • HR2523900011400023895

DINO ŠKODA

Kapelska 36
31 000 OSIJEK

NAŠ BROJ I ZNAK 4008- 210 /16/DI/LJE

VAŠ BROJ I ZNAK

PREDMET Suglasnost

DATUM 08.01.2016.

SUGLASNOST

Shodno vašem traženju suglasni smo da u svrhu izrade vašeg diplomskog rada „Analiza isplativosti kupnje električnog automobila i utjecaj punjenja električnog vozila na opterećenje distributivne mreže“ koristite podatke o punjenju našeg električnog vozila Peugeot Partner Electric, koje mjerenje je izvršio u svibnju 2015.g. Marko Rekić, mag.ing.

Direktor
p.o.
Danijel Ilić, dipl.oec.

HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o. ZAGREB
DISTRIBUCIJSKO PODRUČJE
ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK