

Ante Višić  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[ante.visic@hep.hr](mailto:ante.visic@hep.hr)

Marijo Brkić  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[marijo.brkic@hep.hr](mailto:marijo.brkic@hep.hr)

Renato Ćucić  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[renato.cucic@hep.hr](mailto:renato.cucic@hep.hr)

## MODEL POVEĆANJA DOSTUPNOSTI ELEKTRIČNIH VOZILA KRAJNJIM KORISNICIMA

### SAŽETAK

Iako je proteklih godina zastupljenost električnih vozila u stalnom porastu, visoka cijena, dugotrajno punjenje i malen doseg čine ih inferiornima u odnosu na vozila s unutrašnjim izgaranjem.

U ovom referatu bit će prikazan model kojem je cilj povećati dostupnost električnih vozila krajnjim korisnicima. Model predlaže kupnju električnog vozila bez baterije, čime se znatno smanjuje početna cijena električnog vozila, uz uzimanje baterija u najam. Punjenje baterija odvijalo bi se na automatiziranim postajama koje izmjenjuju prazne baterije punima, te se tako vrijeme provedeno na punionici svodi na minimum. Problem dosega rješava se ponudom baterija većeg kapaciteta ili ugradnjom više baterija odjednom, te planskom izgradnjom postaja za izmjenu baterija na strateškim lokacijama. U referatu su razmotrene dodatne pogodnosti ovakvog modela, te je dan osvrt na potencijalne probleme i poteškoće u realizaciji.

**Ključne riječi:** električna vozila, punionice, baterijski spremnici, doseg, cijena EV

## THE MODEL OF INCREASING THE AVAILABILITY OF ELECTRIC VEHICLES TO END USERS

### SUMMARY

Although there has been a steady increase in the number of electric vehicles in recent years, the high cost, long charging and low range make them unappealing compared to vehicles with internal combustion engines.

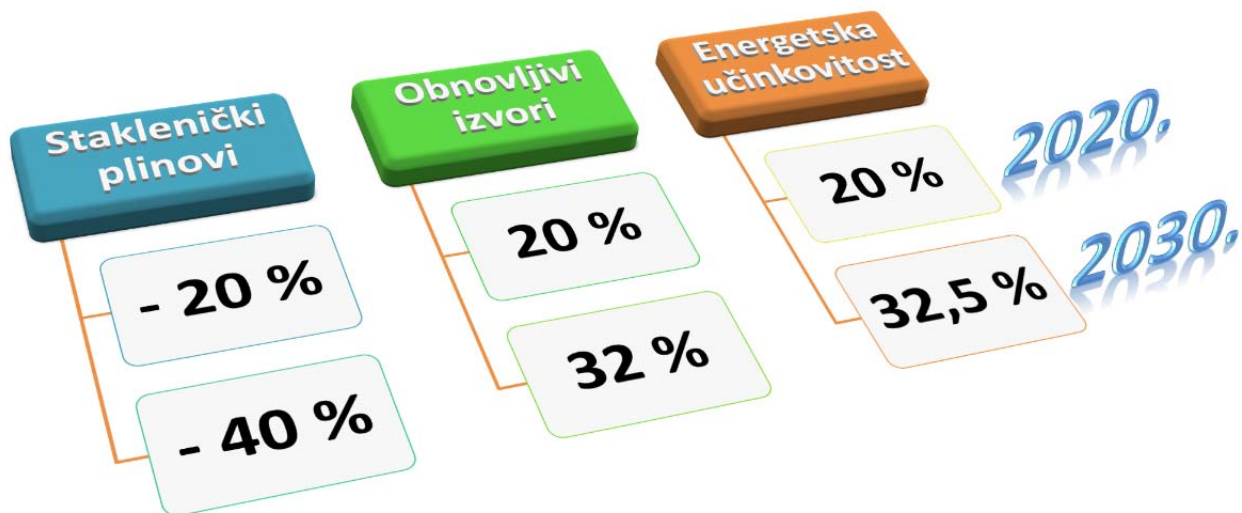
This paper will show a model that aims to increase the availability of electric vehicles to the end-user. The model proposes buying electric vehicles without a battery, thereby reducing the initial price of electric vehicles, with the user paying rent for the use of batteries. Battery charging will be performed at automated stations that replace empty batteries with full ones, reducing time spent at station to a minimum. The range problem will be solved by offering a battery with larger capacity or installing more than one battery at a time, and building stations that change batteries at strategic locations. This paper considers the additional benefits of this model, as well as the potential problems in realization.

**Key words:** electric vehicles, charging stations, battery packs, range, EV price

## 1. UVOD

### 1.1. Motivacija

Globalno zatopljenje ili globalno zagrijavanje je postupno zagrijavanje Zemljine površine i najnižih slojeva atmosfere uzrokovano učinkom staklenika, što dovodi i do globalnih promjena klime. Klima se mijenjala i u Zemljinoj prošlosti, no smatra se da sadašnje globalno zagrijavanje nastaje zbog povećanih emisija stakleničkih plinova [1]. Upravo zbog toga se teži smanjenju emisija stakleničkih plinova. Politika Europske Unije je da se ostvare ciljevi Pariškog sporazuma o zadržavanju zagrijavanja ispod 2 °C u odnosu na predindustrijsko razdoblje, kao i nastavak napora za ograničenje rasta temperature za 1,5°C. EU se obvezala da će smanjiti emisiju stakleničkih plinova za 20% s obzirom na razine iz 1990-ih godina do 2020. godine, dok će se povećati energetska učinkovitost za 20% i ukupni udio obnovljivih izvora na 20%. Do 2030. godine emisija stakleničkih plinova bi se trebala smanjiti za 40% s obzirom na razine iz 1990-ih godina, a energetska učinkovitost se treba povećati za 32%, te ukupni udio obnovljivih izvora treba se povećati na 32,5%.



Slika 1. Dugoročni ciljevi za suzbijanje globalnog zagrijavanja

Da bi se ostvarili ovako ambiciozni ciljevi, potrebne su promjene i reforme u svim sektorima. Tako i u sektoru prometa. Pred proizvođače se stavljaju sve stroži uvjeti dozvoljenih emisija stakleničkih plinova, a potrošači imaju veća davanja s obzirom na navedene emisije. To je doprinijelo popularnosti električnih vozila. Proizvođači ulažu znatna sredstva u razvoj električnih vozila, a za krajnje korisnike su osigurani razni poticaji. Iako su uložena znatna sredstva i napor u razvoj električnih vozila, krajnjim korisnicima su još uvijek primamljivija vozila s unutrašnjim izgaranjem.

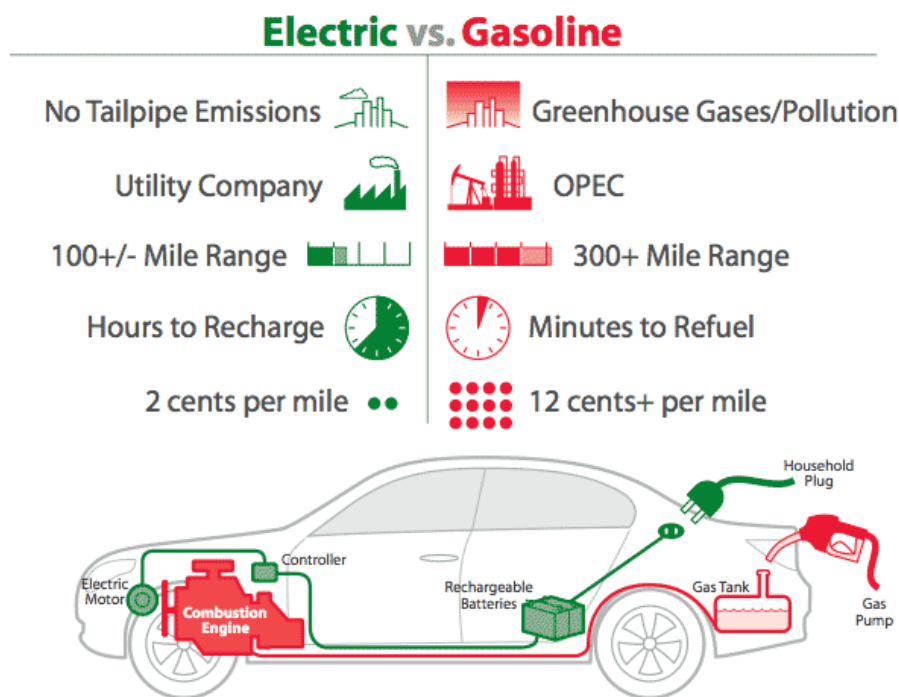
### 1.2. Električni automobili

Električni automobil je automobil koji se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, ili drugim uređajima za pohranu energije. Električni automobili su bili popularni krajem 19. i početkom 20. stoljeća, dok su unapređenja motora s unutarnjim izgaranjem i masovna proizvodnja jeftinijeg vozila na benzin doveli do smanjenja korištenja vozila na električni pogon. Energetske krize 1970-ih i 80-ih dovele su do kratkotrajnog zanimanja za električne automobile, te se sredinom 2000. obnovio interes u proizvodnji električnih automobila, uglavnom zbog zabrinutosti oko ubrzanog povećanja cijene nafte i potrebe za smanjenjem emisije stakleničkih plinova [4].

Prednost električnih automobila nad automobilima s unutrašnjim izgaranjem je u tome što nemaju štetne emisije stakleničkih plinova. Cijena prevoženog kilometra je znatno jeftinija kod električnih automobila. Također, motori s unutarnjim izgaranjem su relativno neučinkoviti u pretvaranju energije goriva za pogon jer se većina energije troši u obliku topline. S druge strane, elektromotori su učinkovitiji u

pretvorbi pohranjene energije u energiju potrebnu za vožnju. Vozila na električnu energiju ne troše energiju dok miruju, a dio od energije izgubljenе prilikom kočenja se ponovno koristi kroz regenerativno kočenje, koje koristi do jedne petine energije normalno izgubljene tijekom kočenja. Obično konvencionalni benzinski motori učinkovito koriste samo 15% energetskog sadržaja goriva za kretanje vozila ili za napajanje dodatne opreme. Dizel motorima može se dosegnuti učinkovitost od 20%, dok je učinkovitost vozila na električni pogon oko 80% [4].

Naravno, postoje i mane električnih vozila zbog kojih su automobili s unutrašnjim izgaranjem još uvijek popularniji. Početna cijena električnog automobila je znatno viša od cijene automobila s unutrašnjim izgaranjem. Mreža punionica goriva je znatno razgranatija od električnih punionica. Automobili s unutrašnjim izgaranjem imaju znatno veći doseg, te je vrijeme punjenja na punionicama znatno kraće od vremena punjenja električnih automobila.



Slika 2. Razlike između električnog i benzinskog automobila

## 2. MODEL POVEĆANJA DOSTUPNOSTI ELEKTRIČNIH VOZILA KRAJNJIM KORISNICIMA

Postoje tri osnovne zapreke u masovnom prihvaćanju električnih vozila, a to su visoka početna cijena vozila, doseg i dugo vrijeme punjenja. Stanice za zamjenu baterija mogu pomoći u rješavanju navedenih prepreka, te mogu pružiti i dodatne pogodnosti.

### 2.1. Stanice za zamjenu baterija

Zamjena baterija je proces u kojemu se ispražnjena baterija zamijeni s potpuno napunjenom baterijom na stanici za zamjenu baterija (SZZB). SZZB se ponaša kao agregator koji pruža infrastrukturu gdje se brojne baterije pune, a potpuno napunjene baterije su dostupne korisnicima.

U daljnjem tekstu je opisano kako stanice za zamjenu baterija mogu riješiti osnovne zapreke za masovno prihvaćanje električnih vozila.

### 2.1.1. Visoka početna cijena

Već je bilo pokušaja da se naprave stanice za zamjenu baterija, ali koncept nije bio dobro prihvaćen od krajnjih korisnika. Prema nekim podacima, 40-50% ukupne cijene električnog automobila otpada na bateriju. Stoga ne čudi da vlasnici električnih automobila nisu bili voljni zamijeniti svoju novu ispražnjenu bateriju s drugom napunjenom baterijom upitne kvalitete. Stoga ovaj model predlaže da se u potpunosti razdvoji automobilski dio i energetska dio. To znači da je krajnji korisnik vlasnik automobila, ali ne i baterije. Bateriju uzima u najam, te ona postaje varijabilni trošak. Dakle, korisnik na stanici za zamjenu baterija uzima u najam napunjenu bateriju pri čemu plaća najam baterije, te potrošenu energiju. Ovim pristupom početna cijena električnih vozila se znatno smanjuje, što električne automobile čine i više nego konkurentima automobilima s unutrašnjim izgaranjem. Na ovaj način se rješava i problem kod zamjene baterija. Naime korisnik se više ne bi loše osjećao da zamjeni svoju vlastitu bateriju (o kojoj vodi posebnu brigu), baterijom upitne kvalitete i upitnog kapaciteta. Pošto baterija nije u njegovom vlasništvu i ako se desi da dobije „lošiju“ bateriju, neće ga posebno smetati jer će već pri sljedećoj izmjeni dobiti drugu bateriju.

### 2.1.2. Doseg

Problem dosega riješio bi se na način da bi postojala opcija ugradnje veće baterije ili ugradnje više od jedne baterije. Također, planskom izgradnjom mreže stanica za zamjenu baterija na strateškim lokacijama, problem dosega bi bio riješen.

### 2.1.3. Dugo vrijeme punjenja

AC punjenje, pa čak i brzo DC punjenje zahtjeva jako puno vremena u usporedbi s vremenom punjenja automobila s unutrašnjim izgaranjem. Stanice za zamjenu baterija u potpunosti rješavaju ovaj problem. Prema nekim podacima, automatizirane stanice za zamjenu baterija mogu izmijeniti bateriju za manje od minute. Prema izvedenim pokusima, vrijeme za izmjenu baterije na takvoj stanici je manje od vremena koje je potrebno za napuniti spremnik automobila na benzinskoj crpki.

## 2.2. Dodatne pogodnosti

Osim što rješavaju osnovne tri zapreke (visoka početna cijena vozila, doseg i dugo vrijeme punjenja) za masovno prihvaćanje električnih vozila, automatizirane stanice za zamjenu baterija pružaju i dodatne pogodnosti.

Dok je za stanice za punjenje električnih automobila potrebna velika površina (zbog dugotrajnog punjenja broj vozila se nagomila pa je potreban veći broj punjača i popratnih parkirnih mjesta), za stanicu za izmjenu baterija je dovoljno samo jedan kiosk za izmjenu baterija (pošto je vrijeme izmjene vrlo kratko, nema potrebe za velikim brojem mjesta za izmjenu).



Slika 3. Lijevo: stanica za punjenje, desno: stanica za izmjenu baterija

Brzo punjenje i punjenje na mjestima gdje je visoka temperatura okoline dovodi do ubrzane degradacije baterije. Na stanicama za izmjenu baterija moguće je baterije sporije puniti, te se punjenje odvija kontroliranom okolišu s nižim temperaturama.

Većina punjenja baterija može se obavljati po noći kada je struja jeftinija i kada je opterećenje mreže manje. Pošto bi stanice za izmjenu baterija morale imati veći broj baterija, postoji mogućnost da za vrijeme vršnih opterećenja u mreži djeluju kao proizvođači električne energije i predaju energiju u mrežu. Tada je cijena električne energije veća, pa bi se ukupan profit povećao, te bi stanice za izmjenu baterija bile profitabilnije.

Recikliranje i odlaganje istrošenih baterija bi bilo mnogo bolje organizirano i dio početnih investicija bi se vratio recikliranjem.

### 2.3. Isplativost modela

Da bi model bio održiv, mora biti isplativ za ponuditelja usluge, tj. vlasnika automatiziranih stanica za zamjenu baterija, te samih baterija. Prema nekim podacima trenutna cijena baterija se kreće oko 160 eura po kWh. Preračunato u kune to iznosi oko 1184 kn/kWh. Za proračun je uzeta baterija od 52 kWh čiji je deklarirani doseg 395 km s jednim punjenjem. Proizvođač tvrdi da baterija mora izdržati minimalno 1000 punjenja do maksimalnog kapaciteta. Iako s 1000 punjenja ispada da baterija može preći minimalno 395 000 kilometara, referentno ćemo uzimati 300 000 kilometara. Cijena baterije od 52 kWh iznosi

$$52 \text{ kWh} * 160 \text{ eur/kWh} = 8320 \text{ eur.}$$

Preračunato u kune to iznosi 61 568 kn. Dakle, na 300 000 km baterija će odraditi oko 760 ciklusa punjenja i pražnjenja. Ako podijelimo 61 568 kn na 760, dobijemo oko 81 kunu. Dakle za napunjenu bateriju potrebno je naplatiti 81 kn uz troškove punjenja baterije. Pošto će stanice za zamjenu baterija puniti baterije kada im je to najpovoljnije, realno je očekivati da će cijena od 1 kn/kWh pokriti troškove punjenja. Dakle, za potpuno napunjenu bateriju troškovi iznose

$$81 \text{ kn} + 52 \text{ kn} = 133 \text{ kn.}$$

Zbog inicijalnih troškova, realna cijena izmjene potpuno napunjene baterije od 52 kWh bi iznosila od 150 do 200 kuna. To za krajnjeg korisnika znači da bi cijena prelaženja 100 km iznosila od

$$150 \text{ kn} / 3,95 = 37,97 \text{ kn.}$$

do

$$200 \text{ kn} / 3,95 = 50,63 \text{ kn.}$$

Cijena prelaska 100 km kod automobila s unutrašnjim izgaranjem stoji prosječno oko 60 kuna. Ako uzmemo u obzir da bi početna cijena električnog automobila bez baterije (jer se ovaj model bazira na toj ideji) bila konkurentna početnoj cijeni automobila s unutrašnjim izgaranjem, te da bi cijena prelaska 100 km bila jeftinija kod električnih vozila, postaje očito da bi električni automobili bili isplativija opcija za krajnjeg korisnika, čak i bez uračunavanja dodatnih povlastica kod kupnje, registracije, itd.

Što se tiče ponuditelja usluge, on bi mogao ostvariti dodatnu zaradu sudjelovanjem u regulaciji sustava (ovdje bi se mogle koristiti starije baterije koje više nemaju svoj maksimalni kapacitet i ne bi se stavljale u opticaj) pružanjem energije u mrežu kada je cijena veća, tj. u vrijeme vršnih opterećenja, te punjenjem kada je cijena niža, tj. kada je opterećenje minimalno. Nadalje, potpuno iskorištene baterije koje idu u reciklažu, također imaju neku vrijednost i na tome bi se vratio dio inicijalnih investicija. Kao što je već spomenuto cijena kWh baterije iznosi oko 160 eur/kWh. Neka predviđanja kažu da će cijena baterija biti ekvivalentna 100 eur/kWh do 2023. godine.

## 2.4. Problemi i poteškoće u realizaciji

Ovaj model osim prednosti u odnosu na klasične punionice električnih vozila ima i specifične nedostatke.

Prilikom izmjene baterija automobil i sama baterija moraju biti savršeno poravnati da bi se izbjegla oštećenja kako na automobilu, tako i na samoj bateriji. Baterija mora biti mehanički i električki izolirana. Samo postrojenje bi trebalo biti poprilično veliko ako se uzme u obzir da je potrebno baterije skladištiti, puniti, održavati te na kraju i reciklirati. Dio postrojenja mora biti pod zemljom kako bi se moglo efikasno pristupiti bateriji automobila bez njegovog podizanja.

Sljedeća velika prepreka dolazi u obliku standardizacije. Većina proizvođača proizvodi i svoje baterije koje se međusobno razlikuju. Baterije različitih proizvođača razlikuju se, na primjer, u dimenzijama, naponu i zahtjevima za punjenje. Pošto bi s tehničke strane bilo teško izvedivo da svaka stanica za punjenje električnih automobila ima na raspolaganju odgovarajući broj svih dostupnih tipova baterija, bilo bi neophodno standardizirati baterije koje se primjenjuju u električnim vozilima. Proizvođači ne žele ograničenja u dizajnu svojih automobila i baterija niti su skloni dijeliti s drugim tvrtkama nešto što doživljavaju kao vlastito intelektualno vlasništvo pa je standardizacija baterija gotovo nemoguća misija. Nepovoljna okolnost je u tome što i tehnologija u tom području vrlo brzo napreduje i promjene su neizbježne. Uspješni primjeri primjene stanica za zamjenu baterija pokazuju da je najbolji pristup standardizacija na razini pojedinačne tvrtke. Standardizacija na razini više tvrtki se do sada pokazala kao manje uspješna, no moguće je da će s razvojem novih tehnologija i njihovom širom primjenom takva suradnja postati privlačnija većem broju tvrtki.

Da bi cijeli sustav funkcionirao, potrebno je izgraditi gustu mrežu punionica na odgovarajućim lokacijama. Izgradnje jedne punionice te njeno opremanje adekvatnim brojem baterijskih spremnika zahtjeva znatna financijska sredstva, što takvu investiciju čini manje privlačnom za ulagače u odnosu na klasične punionice. Također, riječ je o tehnologiji koja se brzo razvija i lako je moguće da će nova generacija baterija moći ponuditi znatno veći doseg s istom veličinom uz skraćenje vremena punjenja, što unosi dodatni faktor rizika u ulaganje.

## 3. ZAKLJUČAK

Automatizirane stanice za zamjenu baterija mogu riješiti neke probleme koji otežavaju šire prihvaćanje za masovno prihvaćanje električnih vozila. U modelu koji je prikazan u radu predlaže se da krajnji korisnik ne kupuje bateriju uz električni automobil, već da je uzima u najam. Na taj način bi se znatno smanjila visoka početna cijena električnog automobila, dok bi same stanice trebale znatno skratiti vrijeme punjenja električnih vozila.

Iako model daje rješenje za sve probleme krajnjih korisnika koji se povezuju s električnim vozilima, vidljivo je da postoje određeni nedostaci koje otežavaju njegovu primjenu. To su prvenstveno nedostatak standardizacije na području baterija za električna vozila i veliki početni troškovi izgradnje mreže stanica za zamjenu baterija.

Međutim, uspješni primjeri realizacije ovog modela pokazuju da kvalitetna rješenja već postoje. Uglavnom je riječ o većim tvrtkama kojima je lakše podnijeti financijski rizik te koje pored izgradnje i upravljanja mrežom stanica za zamjenu baterija proizvode vlastita električna vozila pa je time proces razvoja odgovarajućih baterija znatno olakšan. Također, optimalan smještaj stanica za zamjenu (uz prometnije ceste, u većim gradovima i sl.) je od velike važnosti. Dodatna primjena ovog modela bi mogla biti u gradskom prijevozu. Troškovi investicija bi bili znatno manji jer bi se izgradilo nekoliko stanica za zamjenu baterija na strateškim lokacijama. Pošto su sva vozila jednaka, koristila bi standardizirane baterije. Mnogo lakše bi bilo predvidjeti dnevnu potrošnju, tj. zalihu baterija s obzirom na vozni red.

## 4. LITERATURA

- [1] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Globalno\\_zatopljenje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Globalno_zatopljenje)
- [2] <https://www.hgk.hr/documents/eu-ets-prezentacijamzoeii5bd976d0d7951.pdf>

- [3] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/631047/IPOL\\_BRI\(2019\)631047\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/631047/IPOL_BRI(2019)631047_EN.pdf)
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_automobil](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_automobil)
- [5] <https://sites.google.com/site/electriccars123/environmental-benefits>
- [6] <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/day-to-day/charging/what-is-the-price-of-an-electric-car-battery/>
- [7] [https://www.greencarreports.com/news/1126308\\_electric-car-battery-prices-dropped-13-in-2019-will-reach-100-kwh-in-2023](https://www.greencarreports.com/news/1126308_electric-car-battery-prices-dropped-13-in-2019-will-reach-100-kwh-in-2023)
- [8] <https://evreporter.com/battery-swapping/>