

## Analiza uticaja električnih vozila na životnu sredinu

Nikola Ivković<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.68.01.07

Stručni rad

Primljen: 05/01/2022

Prihvaćen: 18/03/2022

Korespondent autor:

ivkkovic@gmail.com

*Кljučне реч:*

Električni automobili  
Zagađenje životne sredine  
Obnovljivi izvori energije

### REZIME

Električni automobili pokreću se pomoću elektromotora, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru ili baterijama. Moguće prednosti ovakvih automobila u odnosu na konvencionalne uglavnom se ogledaju u manjem zagađenju vazduha u gradovima, manjoj zavisnosti od fosilnih goriva, isplativosti na duži period, i slično. Prema procenama kompanije Blumberg, godine 2035. polovina prodatih automobila širom sveta biće električni automobili. Električni automobili imaju brojne ekološke prednosti, međutim, važno je skrenuti pažnju na poreklo električne energije. Energetske potrebe čovečanstva svrstavaju se u tri velike grupe: električna energija, saobraćaj i grejanje. Ukupno posmatrano, 84.3% utrošene energije u 2019. godini potiče od fosilnih goriva. Jasno je da gotovo sva energija potrebna za saobraćaj još uvek potiče od fosilnih goriva, a kada je proizvodnja električne energije u pitanju, čak 63.3% potiče od fosilnih goriva (Our World In Data, 2019.). Drumski transport odgovoran je za 22% ukupne emisije CO<sub>2</sub>, rekordnih 40% NO<sub>x</sub>, 12% partikularnih čestica (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) (Stepanović & Tubić, 2017.). Iako se saobraćaj širom sveta sve više realizuje upotrebom električne energije, njena proizvodnja često nije ekološki čista. Ipak, pojedine države razvile su energetske sisteme oslanjajući se gotovo sasvim na izvore energije koji manje zagađuju, ili izvore energije koji ne zagađuju životnu sredinu. U okviru ovog rada prikazane su uporedne analize zagađenja vazduha automobila sa motorom SUS i na električni pogon, i to: analiza zagađenja vazduha po različitim modelima vozila i analiza u različitim državama. Razmatran je uticaj i direktnih i indirektnih efekata pomoću aplikacije Climobile App, luksemburškog instituta za nauku i tehnologiju.

### 1. Uvod

Razvoj tehnologije u oblasti električnih vozila u proteklim decenijama i očekivani nestanak fosilnih goriva najavljuju sve veću primenu električnih automobila. Međutim, električna vozila i dalje nisu široko zastupljena. Procena je da ih je 2020. godine u čitavom svetu bilo oko 6,8 miliona, od čega je 3 miliona (oko 44%) ušlo u upotrebu tek te godine (M. Carlier, 2021.). Uporedo sa nastankom i razvojem električnih vozila, došlo je do unapređenja motora sa unutrašnjim sagorevanjem i masovne proizvodnje jeftinijih vozila na benzin. Ovakav razvoj situacije usporio je porast broja električnih automobila u upotrebi. Ipak, i dalje se predviđa da će u nekom trenutku električni automobili postati dominantni u odnosu na one sa pogonom na fosilna goriva.

Pretpostavlja se da je u ovom trenutku oko 63% građana zapadnih zemalja zainteresovano za prelazak na ovu vrstu automobila (Union of Concerned Scientists, 2019.). Glavni razlozi zbog kojih ovaj udeo nije veći pre svega jesu još uvek visoka cena ovih automobila, malo rastojanje koje mogu preći nakon jednog punjenja, kao i veliko vreme potrebno da se njihove baterije napune.

Imajući u vidu prethodno navedeno, u ovom radu biće prikazani ključni problemi koji se javljaju u oblasti automobilizma na električni pogon. Takođe, biće prikazan uticaj koji električni automobili imaju na životnu sredinu, i dato poređenje ovih automobila sa onima koji koriste motore sa unutrašnjim sagorevanjem.

## 2. Ključni problemi u razvoju električnih automobila

### 2.1. Visoka inicijalna cena

Procenjeno je da u Sjedinjenim Američkim Državama cena električnih automobila treba da bude oko 36.000 dolara (Castrol, 2020.) kako bi njihova prodaja porasla, a trenutne cene tri najprodavanija automobila na električni pogon – Tesla Model 3, Chevy Volt i Nissan Leaf upravo se nalaze u ovom rangu (Tesla 3 košta oko 38.000 dolara, a preostala dva oko 32.500 dolara). Časopis Automotive Engineering tvrdi da su troškovi nabavke električnog automobila u proseku oko 12.000 dolara veći u odnosu na konvencionalne automobile. Posmatrajući i operativne i troškove održavanja, električni automobili svakako predstavljaju isplativije ulaganje, međutim inicijalna razlika je još uvek previše velika da bi se veći broj vozača opredelio za kupovinu vozila na električni pogon. Masovnija kupovina ovih vozila izazvala bi masovniju proizvodnju, a zatim i pojeftinjenje samih automobila. Tako se dolazi do problema „kokoške i jajeta”, gde još uvek nije izvodljivo dovoljno spustiti cenu kako bi prodaja porasla, a prodaja ne raste upravo zbog visoke cene. Velika većina vlasnika električnih automobila poseduje nova vozila. Sa porastom broja ovih vozila na tržištu raste i broj polovnih vozila koja se mogu naći u prodaji, pa se tokom narednih godina može očekivati porast broja ovih vozila upravo zbog sve većeg broja ljudi koji nisu njihovi prvi vlasnici, i samim tim ih nabavljaju po daleko pristupačnijim cenama.

Najskuplji element električnih vozila jeste baterija. Vodeće kompanije se poslednjih godina uspešno bore sa ovim problemom, i uspele su u nameri da značajno smanje cenu najskuplje komponente. Godine 2013. prosečna baterija Tesla automobila koštala je 668 dolara po kilovat-času, što je značilo da je cena baterije za Tesla Model 3 iznosila dve trećine od ukupne cene automobila. Do 2020. godine ta cena opala je na 137 dolara. Iz Tesle predviđaju da će do 2023. cena biti 100 američkih dolara.

### 2.2. Problem punjenja električnih automobila

Proizvođači električnih automobila ustanovili su da kupci žele da napune baterije svojih automobila od 0% do 100% za 31 minut (Castrol, 2020.). Ovo predstavlja pravi izazov za proizvođače, imajući u vidu da neki modeli još uvek nemaju ni mogućnost brzog punjenja. Pomenuti Ševrolet model je tek 2021. godine izbacio verziju sa mogućnošću brzog punjenja, koja za 31 minut napuni bateriju tek do 38%. Nisan ima nešto bolje performanse, za isto vreme napuni 62%, dok Tesla 3 napuni čak 83% baterije za ovo vreme u idealnim uslovima, sa najbržim modelom superpunjača. Ipak, to omogućuje prelazak tek 315 kilometara puta. U uslovima hladnog vremena, trajanje punjenja se povećava, a domet smanjuje.

Za masovnu upotrebu električnih automobila potrebno je obezbediti široko dostupne brze punjače koji bi zadovoljili potrebe vozača. Kada je u pitanju punjenje baterija u kućnim uslovima, pomenuti Tesla Model 3 ima bateriju od 50 kilovat-časova, što zahteva moćan uređaj za pretvaranje električne energije da bi uopšte mogao da puni ovakvu bateriju. Trenutno postoji pretvarač od 7,7 kilovata za punjenje Tesla Modela 3, koji se može koristiti za punjenje automobila kod kuće, pomoću relativno jeftinog uređaja i na standardnim utičnicama. Međutim, ovaj pretvarač najbrže može napuniti bateriju automobila od 0% do 100% za nešto manje od deset sati. Ako se ovakav vid punjenja uporedi sa točenjem goriva na benzinskim stanicama kod automobila sa unutrašnjim sagorevanjem, jasno je da u pogledu prelaska veće kilometraže električni automobili deluju manje privlačno. Kako bi ovi automobili postali konkurentniji, mora se naći adekvatno rešenje za punjenje njihovih baterija. Pretvarač od 250 kilovata, koji bi bateriju ovog automobila potpuno napunio za trideset minuta, dostupan je na tržištu za oko 57.000 dolara. Nemoguće je očekivati da bi individualni korisnici prihvatili ove, kao ni znatno niže troškove prapratne opreme koju zahteva korišćenje električnih vozila. Ono što je potrebno za masovnu upotrebu električnih automobila jeste veliki broj široko dostupnih brzih punjača. Države još uvek nisu zainteresovane za ovakve investicije, pa ukoliko bi kompanija Tesla za svoje mušterije obezbedila stanicu za napajanje sa 6-8 brzih punjača jačine od 120 do 150 kilovata, morala bi da izdvoji oko 250 hiljada dolara (Tesla, Inc., 2017.), a najpribližniji ekvivalent u vidu Volkswageneve stanice, za američko tržište koštao bi i do 350 hiljada dolara (Electrify America, 2020.).

Ono što predstavlja dodatan problem prilikom punjenja električnih automobila jesu svojstva samih baterija. Kao što je slučaj i sa drugim litijum-jonskim baterijama, brzina punjenja nije konstantna, već zavisi od stepena dopunjenosti baterije. Prvih dvadeset procenata, od 0% do 20% baterija se puni značajno brže u odnosu na zadnjih 20%, od 80% do 100%. Brzina punjenja neće direktno zavistiti od toga koja je snaga stanice, već koliko električne energije baterija može da prihvati. Ova svojstva baterije praktično znače da je brže napuniti bateriju od 0% do 50% i voziti do pražnjenja, pa zatim proces ponoviti još jednom, nego sačekati da se baterija odjednom napuni od 0% do 100% i voziti do pražnjenja. Veća jačina punjača ne znači nužno i brže punjenje baterije automobila, naročito u prvoj polovini punjenja, tako da vremena punjenja ne variraju značajno koristeći punjač od 150 ili 250 kilovata. Ako je za korisnike vremenski isplativije da pune baterije svojih vozila češće do određenog procenta, to znači da u sistemu nije potrebno imati previše jake punjače, već veliki broj punjača, što predstavlja veliki problem imajući u vidu visoku cenu brzih punjača.

Prosečan stanovnik SAD živi na 4 minuta od stanice za snabdevanje gorivom a na pola sata od stanice sa Tesla brzim punjačima. Kako bi se postiglo da i ove stanice budu na manje od 5 minuta udaljene od prosečnog stanovnika, pored postojećih 1.000 potrebno je izgraditi još preko 30.000 ovakvih stanica, što bi koštalo blizu 8 milijardi dolara (Tesla, Inc., 2017.). Tako se dolazi do situacije u kojoj prodaja vozila ne raste zbog nedovoljnog broja stanica, a stanice se ne grade zbog nedovoljnog broja vozila. Da bi se steklo dovoljno sredstava za izgradnju potrebne infrastrukture potrebno je prodavati vozila, koja se ne prodaju upravo zbog nedostatka infrastrukture, što je još jedan problem „kokoške i jajeta”.

Pored svega navedenog, prisutna je i borba za tržište među različitim proizvođačima, koja rezultira nekompatibilnim punjačima za različita vozila. Tesla punjači imaju sopstveni utikač, a njihovi automobili mogu koristiti i utikač J1772. Takođe, Tesla punjači mogu koristiti nastavak kako bi koristili model punjača CHAdeMo, a postoji i četvrti tip utikača – CCS, sa kojim Tesla automobili nisu kompatibilni. Ukupan broj punjača u SAD mogao bi biti dovoljan da se problemi punjenja prevaziđu, ali borba različitih proizvođača za monopol, koja se ogleda u različitim tehnologijama punjenja, dovodi do dodatnih komplikacija za korisnike. U Evropi, sa druge strane, ovaj problem ne postoji, budući da je CCS model de fakto standard. Na nivou Evropske Unije ovaj model propisan je kao obavezni, dok susedne države slede istu praksu, izbegavajući problem koji se javlja u Americi.

### 2.3. Problem skladištenja energije

Ukoliko se uporedi energetska potencijal fosilnih goriva koja se koriste za pogon konvencionalnih automobila i baterija koje skladište električnu energiju za pogon električnih automobila, uočava se jasna razlika. Trenutno postojeće tehnologije za pohranu energije ne omogućuju da se energija skladišti dovoljno efikasno. Baterije koje se koriste u automobilizmu previše su velike i previše teške u odnosu na energiju koju sadrže, da bi mogle da pariraju fosilnim gorivima.

Na primer, jedan galon benzina, što iznosi 3,78 litara, prema Agenciji za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Država poseduje 33,7 kilovat-časova energije. To je 8,9 kilovat-časova energije po litru. U okviru studije iz 2018. koja je obuhvatila 8 različitih proizvođača litijum-jonskih baterija (Quinn i dr., 2018.) utvrđeno je da je da najbolja postojeća ćelija baterija koje se koriste za automobile skladišti 684 vat-časova po litru. Dakle, po pitanju zapremine, benzin je bio 13 puta efikasniji u odnosu na najbolju litijum-jonsku bateriju 2018. godine. Kada se tome doda noseća struktura, kablovi i sistem za hlađenje baterija, jasno je koliko su u ovom pogledu konvencionalna vozila još uvek efikasnija.

Ono što predstavlja još veći problem proizvođačima električnih automobila jeste težina baterija. Koristeći prethodni primer, može se ustanoviti da jedan galon benzina, koji teži približno 2,7 kilograma, poseduje gustinu energije od 12400 vat-časova po kilogramu. Na osnovu podataka iz navedene studije, najefikasnija baterija u ovom pogledu imala je gustinu energije od 240 vat-časova po kilogramu, što je 51 puta manje energije po kilogramu težine, posmatrajući samo ćelije baterija, bez prateće opreme.

### 2.4. Domet automobila

Proizvođači su ustanovili da korisnici žele automobile koji mogu da nakon jednog punjenja pređu bar 470 kilometara. Od prethodno pomenutih modela, Ševroletov automobil može da pređe 417km, Tesla 381km, dok Nisan kaska sa mogućnošću da pređe tek 240km. Za vožnju automobila na kratkim distancama u većini slučajeva korisnici električnih automobila neće imati problem. Kao što je navedeno u prethodnim delovima ovog poglavlja, kućno punjenje omogućava da se baterija automobila napuni do 100% za desetak sati, što će omogućiti prelazak barem 240 kilometara. Kada su u pitanju vožnje do udaljenih odredišta, potrebno je mnogo detaljnije planirati putovanje električnim automobilom u odnosu na konvencionalni automobil. U oblastima gde je gustina superpunjača mala, ovo može predstavljati veliki problem i odlučujuću prepreku prilikom kupovine automobila. Za domet električnih automobila direktno su vezana dva prethodno pomenuta parametra; brzina punjenja i kapacitet baterija. Kada se proces punjenja unapredi, odnosno ubrza, i kada energetska kapaciteti baterija budu prošireni, domet će biti značajno veći. Rešavanje ovog problema u godinama koje dolaze utabaće put široj upotrebi električnih automobila. Vodeći proizvođači već u 2022. godini planiraju da na tržište lansiraju modele znatno većeg dometa, pa se očekuje da neki od skupljih Teslinih modela prelaze i do 650km nakon jednog punjenja.

### 3. Analiza električnih automobila sa ekološkog aspekta

Generalni je zaključak da bi, čak i slučaju najpozitivnijeg scenarija brzine uvođenja električnih vozila u saobraćajni tok brojnih zemalja, efekti smanjenja emisije polutanata odnosno unapređenja kvaliteta vazduha bili minimalni u narednoj deceniji (Stepanović & Tubić, 2019.). Benefiti korišćenja vozila na električni pogon često bivaju precenjeni u pogledu očuvanja životne sredine. Kod razmatranja efekata koji vozila imaju na životnu sredinu neophodno je uključiti veliki broj parametara, ali takođe i posmatrati životnu sredinu u celini. Na količinu zagađujućih materija koja će biti emitovana utiče sam sklop vozila, njegovih sistema i delova sistema, uslovi u kojima se realizuje vožnja, vrsta kolovoznog zastora, tip terena, brzina kretanja, starost vozila i pojedinačnih delova vozila,

vrsta pogonskog goriva, kao i niz drugih faktora koje je gotovo nemoguće sagledati i valorizovati u celini. Trenutni efekat koji vozila ostvaruju na životnu sredinu ogleda se u zagađenju vazduha, ali značajan je i uticaj na zagađenje vode prilikom crpljenja fosilnih goriva, na zemljište zbog odlaganja raznih materija koje su nusproizvod prilikom proizvodnje vozila, pogonskih goriva i drugih sirovina koje su potrebne za korišćenje motornih vozila. Kod korišćenja električnih automobila najveće zagađenje ostvaruje se prilikom iskopavanja litijuma i drugih sirovina potrebnih za baterije, kao i odlaganje baterija nakon isteka njihovog životnog veka. Istovremeno, veliki udeo električne energije proizvodi se sagorevanjem fosilnih goriva, što takođe ostvaruje negativne efekte na životnu sredinu, odnosno izmešta izvor zagađenja sa puteva i ulica i koncentriše ga tamo gde se nalazi elektrana. Pritom, ne zagađuju jednako sve elektrane na ugali; tehnologije u Srbiji i zemljama regiona značajno više zagađuju vazduh u odnosu na one u zapadnoj Evropi. Kada je reč o hidroelektranama, koje često imaju status ekološki čistih proizvođača energije, takođe postoje negativni efekti na životnu sredinu. Negativni efekti hidroelektrana ogledaju se u ugrožavanju živih bića i njihovog habitata, zagađenju vode, sprečavanju migracije riba, i slično. Mini-hidroelektrane još više uništavaju ekosistem reka, o čemu govori studija Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (Ristić i dr., 2018.).

Kako bi se izvukli zaključci o veličini zagađenja u saobraćaju, u okviru ovog poglavlja data je analiza o proizvodnji električne energije i eksploataciji fosilnih goriva, kao i zagađenju prilikom proizvodnje samih automobila.

### 3.1. Energetske potrebe i proizvodnja električne energije u Srbiji

Prema podacima Komisije za zaštitu konkurencije Republike Srbije, 2018. godine u našoj zemlji promet motornih benzina ostvaren od strane učesnika na tržištu iznosio je oko 562 miliona litara (1 litar benzina  $\approx$  0.75kg). Ukupan promet dizel goriva iznosio je oko 2 milijarde i 70 miliona litara (1 litar dizela  $\approx$  0.83kg), a tečnog naftnog gasa 362,5 miliona litara (1 litar TNG  $\approx$  0.51kg). Uzevši da jedan litar ova tri pogonska goriva ima prosečnu energetska vrednost od 8,92kWh, dolazimo do rezultata da se u Srbiji godišnje u saobraćaju potroši oko 26 milijardi i 700 miliona kilovat-časova energije. Prema izveštaju Elektroprivrede Srbije iz 2018. godine, te godine je u Srbiji ukupno potrošeno 35 milijardi i 605 miliona kilovat-časova energije. Korišćenjem fosilnih goriva u saobraćaju 2018. godine potrošeno je tek 25% manje energije u odnosu na ukupno potrošenu električnu energiju. Jednostavnim poređenjem zaključuje se da ukoliko bi istovremeno sva vozila počela da troše električnu energiju umesto energije dobijene sagorevanjem fosilnih goriva, godišnja potrošnja električne energije porasla bi za 75%.

Elektroprivreda Srbije u svom godišnjem izveštaju navodi da je proizvodnja električne energije 2018. iznosila 34345 gigavat-časova, a potrošeno je i 1259 gigavat-časova energije koje je EPS dokupio. Proizvodnja uglja bila je 36.977.836 tona, što predstavlja važnu cifru kada je reč o zagađenju životne sredine. Država Srbija najveći deo električne energije proizvodi pomoću fosilnih goriva. EPS u svom izveštaju takođe navodi da je 2018. godine, od ukupnih 34345 gigavat-časova, 22.954 proizvedeno u termoelektranama, i to:

- TE Nikola Tesla A – 7878GWh
- TE Nikola Tesla B – 7733GWh
- TE Kolubara – 560GWh
- TE Morava – 444GWh
- TE Kostolac A – 2010GWh
- TE Kostolac B – 4329GWh

Ostatak električne energije proizveden je u tri termoelektrane-toplane (ukupno 238GWh), i u dvanaest hidroelektrana (11153 GWh). Ovi podaci govore da je oko 68% električne energije proizvedeno u termoelektranama koje zagađuju vazduh, prvenstveno PM česticama, azotnim oksidom (NO<sub>x</sub>) i sumpor dioksidom (SO<sub>2</sub>). Ono što je specifično po pitanju srpskih elektrana i elektrana u okolnim zemljama jeste njihovo enormno veće zagađenje u odnosu na ostale elektrane u Evropi. Organizacija HEAL u svom izveštaju (2019.) navodi da prosečna termoelektrana u Srbiji emituje 20 puta više sumpor dioksida i 16 puta više PM čestica nego prosečne evropske termoelektrane. Zemlje regiona i Srbija, sa ukupno 16 termoelektrana na ugali emituju više zagađenja nego 250 termoelektrana u Evropskoj Uniji (Tabela 1).

Prema podacima iz izveštaja o stanju životne sredine u JP Elektroprivreda Srbije za 2019. godinu, sve srpske termoelektrane daleko premašuju vrednosti emisije zagađujućih materija utvrđene nacionalnim planom za smanjenje glavnih zagađujućih materija koje potiču iz postrojenja za sagorevanje (NERP).

**Tabela 1.** Prosečne emisije TE na ugali u EU i regionu

Zagađivač vazduha	EU – prosečne emisije po TE na ugali (tona/MW)	Srbija i zemlje regiona - prosečne emisije po TE na ugali (tona/MW)
Sumpor dioksid - SO <sub>2</sub>	4	82
PM Čestice	0.2	3.3
Azotni oksid - NO <sub>x</sub>	3.9	9.5

Izvor: (HEAL, 2019.)

### 3.2. Zagađenje prilikom proizvodnje litijumskih baterija

Osnovni element baterija električnih automobila jeste litijum, najlakši od svih poznatih metala, a prosečna baterija pored 8 kilograma ovog elementa, sadrži oko 35 kilograma nikla, 20 kilograma mangana i 14 kilograma kobalta, prema američkoj Argon laboratoriji.

Porastom upotrebe električnih automobila, cena litijuma raste, a on se uveliko koristi i za baterije laptop računara i mobilnih telefona. Najveća ležišta rude litijuma nalaze se u Južnoj Americi, ali i Kini i Australiji, gde se uveliko eksploatiše. Najveća kompanija za kopanje litijuma poznata je po razaranju ekosistema širom sveta, pa čak i po izazivanju građanskih ratova, a od nedavno posluje i u našoj zemlji, upravo zbog pronađenih ležišta litijuma. Kopanje ruda ostavlja posledice na čitav ekosistem, i može direktno ugroziti živote i zdravlje ljudi. Životnu sredinu zagađuje pre svega toksična otpadna jalovina, ali i pare agresivnih kiselina koje se koriste za obradu litijuma. Scenario razaranja ekosistema već je viđen u Papui Novoj Gvineji, Namibiji, Mičgenu, Madagaskaru, Kamerunu, Indoneziji i drugim zemljama, prilikom iskopavanja različitih ruda. Potrebno je skoro 1900000 litara sveže vode za proizvodnju jedne tone litijuma. U Nevadi je utvrđeno da ovi procesi imaju uticaj na ribu i do 250 kilometara nizvodno od rudnika. Postoji briga vezana i za kobalt, koji je najskuplji element baterija, i takođe je toksičan ukoliko se njime pogrešno rukuje.

Proizvodnja konvencionalnih automobila proizvodi oko 8 tona CO<sub>2</sub> eq., slično kao i proizvodnja električnog automobila bez baterije. Kada se dodaju emisije za proizvodnju baterije, proizvodnja čitavog električnog automobila emituje oko 15 tona CO<sub>2</sub> eq. (Emilson i dr., 2019.). Kada je reč o elementima baterija, osim iskopavanja i korišćenje samih baterija može imati negativne posledice. Osim što je neophodno pravilno rukovati ovim baterijama, mora se voditi računa i prilikom njihovog odlaganja. Odložene litijum-jonske baterije mogu reagovati u dodiru sa određenim supstancama i izazvati požar.

### 3.3. Zagađenje prilikom iskopavanja fosilnih goriva

Kada analiziramo zagađenje koje potiče od proizvodnje električne energije za automobile, i upoređujemo sa zagađenjem automobila sa motorom SUS, trebalo bi analizirati i zagađenje koje potiče od crpljenja fosilnih goriva za ove motore.

Nafta se obično nalazi na oko 1800 metara pod zemljom, a izvlači se korišćenjem velikih naftnih platformi, koje najčešće rade pomoću električne energije i koriste oko 120000kWh energije godišnje. To je količina koja može pogoniti Tesla Model 3 da pređe oko 673000 kilometara. Ovakvih naftnih platformi ima oko 435000 samo u SAD, i one troše dovoljno energije da se napaja 15 miliona automobila za isti vremenski period. Jasno je da je u pitanju izuzetno velika količina energije koja se koristi samo za izvlačenje nafte iz zemlje. Za izvlačenje nafte na moru koriste se generatori koji rade na dizel. Prateći problem prilikom vađenja nafte iz mora jeste njeno povremeno izlivanje u vodu koje uništava ekosistem. Transport ovih energenata takođe je skup, zahtevan i zagađujuć proces. Velike količine energenata prevoze se brodovima koji koriste visoko zagađujuća pogonska goriva. Pretpostavlja se da prevoz nafte godišnje

emituje oko 100 miliona tona CO<sub>2</sub> godišnje. Sledeći korak je rafinisanje nafte koje takođe izaziva zagađenje, i to u gradovima i naseljima, blizu čoveka. Poslednji deo lanca predstavlja prevoz goriva do benzinskih stanica, što ponovo stvara zagađenje.

Proces izvlačenja, prerade i upotrebe fosilnih goriva je prljava tehnologija koja značajno zagađuje životnu sredinu u svakom koraku obrade i korišćenja. Kada bi se ove enormne količine energije utrošene samo na obezbeđivanje goriva do krajnjeg korisnika odmah koristile za pogon električnih automobila, okruženje bi bilo značajno manje zagađeno.

### 3.4. Reciklaža baterija na kraju životnog veka

Kako bi se zadovoljile predviđene potrebe tržišta u nastupajućim godinama, neophodno je iskopati ogromne količine metala. Uporedo sa povećanim potrebama za metalima dolazi do kraja životnog veka baterija u upotrebi. Iskopavanje metala na početku i odlaganje na kraju životnog veka ne može se odvijati u nedogled. Za održiv sistem neophodno je uspostaviti efikasan proces reciklaže iskorišćenih baterija. Kada je u pitanju recikliranje metala litijum-jonskih baterija, problem je što je ono trenutno skuplje od iskopavanja novog metala. Dakle, zbog neisplativosti reciklaže često se pribegava proizvodnji novih baterija. U tom slučaju iskorišćene baterije bivaju jednostavno odložene. Litijum-jonske baterije sačinjene su od fosfata, aluminijuma, bakra, grafita i raznih štetnih soli i plastičnih materijala koji su izrazito štetni po životnu sredinu. Za rešenje ovih problema neophodno je uključivanje novih tehnologija, ali i učešće država (Huang i dr., 2018.). Tehnologija razvoja litijum-jonskih baterija na putu je da eliminiše određene elemente iz sastava baterije, kao što su kobalt i nikl, i da unapredi proces recikliranja.

Suština je smanjiti udeo ili potpuno eliminisati skupe i otrovne metale, i tako smajiti cenu reciklaže. Prevažilaženje ovog problema dovešće do efikasnije upotrebe materijala, smanjiti zahteve za iskopavanjem ruda i olakšati primenu električnih automobila.

## 4. Zagađenje vazduha automobila sa motorom SUS i na električni pogon – uporedna analiza

Za potrebe poređenja zagađenja vazduha sagorevanjem fosilnih goriva u konvencionalnim motorima i zagađenja od proizvodnje električne energije ekološki „prljavim” tehnologijama, u ovom poglavlju korišćena je aplikacija Climobile App. Ova aplikacija razvijena je na luksemburškom Institutu za nauku i tehnologiju 2019. godine i koristi se za upoređivanje emisije CO<sub>2</sub> ekvivalenata koju stvara automobil koji se pogoni na fosilna goriva sa emisijom istih čestica koju stvara proizvodnja količine električne energije potrebne za pogon električnog automobila.

Aplikacija korisniku dozvoljava odabir modela automobila na fosilna goriva, i modela automobila na električni pogon, životni vek baterije električnog automobila, kao i način proizvodnje električne energije za električni automobil. Takođe, moguće je prilagoditi čitav set drugih relevantnih parametara.

Za države Evropske Unije i SAD već je definisan način dobijanja električne energije, pa se može samo odabrati država u kojoj se baterija automobila puni, a za ostale države može se izabrati izvor dobijanja energije, i to: biomasa, uglj, gas, geotermalni izvori, hidroenergija, nuklearna energija, nafta, solarni paneli ili vetrenjače. Mogućnost kombinovanja više različitih izvora energije nije data korisnicima. Kao izlazni rezultat korisnik dobija na uvid podatke o prosečnom dometu električnog vozila, količini potrebne električne energije (kWh/km), emisiji gasova staklene bašte pri proizvodnji energije i u skladu sa prostornim razmeštajem stanica za punjenje automobila, i kao najvažnije podatke, količinu emitovanih CO<sub>2</sub> eq. čestica po kilometru od strane automobila na fosilna goriva i od strane elektrane pri proizvodnji električne energije za električni automobil. Za konvencionalne automobile dati su podaci prema NEDC (New European Driving Cycle), što predstavlja teorijsku vrednost, ali i podaci o realnoj emisiji, što su uglavnom nešto veće vrednosti, a dobijene su na osnovu proračuna ICCT (International Council on Clean Transportation). Svaka od navedenih vrsta merenja izduvnih gasova ima prednosti i mane i može se primeniti u različite svrhe. Laboratorijska ispitivanja podrazumevaju testiranje vozila pomoću dinamometra. Dinamometri simuliraju uslove rada u skladu sa unapred definisanim ciklusom testiranja (stabilno stanje i prolazni ciklusi) (Milenković i dr., 2020.) Sve vrednosti emisija koje aplikacija prikazuje jesu vrednosti koje vozilo emituje za čitav svoj životni vek.

#### 4.1. Uporedna analiza zagađenja vazduha po različitim modelima vozila

U ovom poglavlju biće predstavljeni rezultati poređenja modela električnih automobila i modela sa motorom SUS, od istog proizvođača, ali i sličnih automobila različitih proizvođača. Cilj je uporediti što sličnije modele automobila, sa akcentom na zagađenje koje emituje motor SUS i zagađenjem koje se emituje prilikom proizvodnje električne energije za automobile. Imajući u vidu da je za ovakve proračune važno kako se dobija električna energija za pogon električnih automobila, u okviru ovih poređenja biće korišćen primer Nemačke. Poreklo električne energije proizvedene u Nemačkoj 2019. godine je sledeće: 47.3% električne energije iz obnovljivih izvora, 39.6% od uglja i zemnog gasa, 13.1% od nuklearnih elektrana (Deutsche Welle). NEDC vrednosti oslikavaju laboratorijske uslove, a realne vrednosti su bliže stvarnim vrednostima emisija. Oznaka SUS pored modela automobila označava motor sa unutrašnjim sagorevanjem a oznaka E električni automobil.

**Tabela 2.** Uporedna analiza emisija automobila sa motorom SUS i na električnu energiju

Model	Životni vek	Domet el. automobila i potrebna energija	Emisija pri proizvod. i distribuciji energije	Emisija po km
Reno Fluence 1.5 dCi (2015.) – SUS	200000km	176km 0.119kWh/km	73.1 g CO <sub>2</sub> /km	NEDC - 177 g CO <sub>2</sub> /km Realno - 223 g CO <sub>2</sub> /km
Reno Fluence ZE(2015) – E				119 g CO <sub>2</sub> /km
Toyota Aygo 1.0 (2017) – SUS	200000km	285km 0.137kWh/km	84 g CO <sub>2</sub> /km	NEDC - 141 g CO <sub>2</sub> /km Realno - 178 g CO <sub>2</sub> /km
Reno ZOE (2017) - E				138 g CO <sub>2</sub> /km
KIA Soul 1.6 (2017) – SUS	240000km	201km 0.127kWh/km	78.3 g CO <sub>2</sub> /km	NEDC - 178 g CO <sub>2</sub> /km Realno - 228 g CO <sub>2</sub> /km
KIA Soul EV –E (2017)				135 g CO <sub>2</sub> /km
Mercedes C-Class 63 AMG S (2017) – SUS	400000km	600km 0.158kWh/km	97.3 g CO <sub>2</sub> /km	NEDC - 236 g CO <sub>2</sub> /km Realno - 311 g CO <sub>2</sub> /km
Tesla Model S 100D (2017) – E				150 g CO <sub>2</sub> /km
Volkswagen Up 1.0 75 (2017) – SUS	240000km	152km 0.117kWh/km	71.9 g CO <sub>2</sub> /km	NEDC - 148 g CO <sub>2</sub> /km Realno - 189 g CO <sub>2</sub> /km
Volkswagen Upe (2017) - E				104 g CO <sub>2</sub> /km

Izvor: Istraživanje autora (korišćena aplikacija ClimobileApp)

Rezultati poređenja emisija u posmatranim primerima su različiti. Kod modela Reno Fluence, ubedljivo manje zagađujućih materija emituje električna verzija automobila, a slično je i sa Volkswagen Up i KIA Soul modelima. Kada su u pitanju automobili više klase, Mercedes C AMG u poredjenju sa Tesla Modelom S, gotovo dvostruko manje emisija ima upotreba električnog automobila. Međutim, kod poređenja benzina Toyota Aygo i Renault ZOE, emisije su približno jednake – Toyota u laboratorijskim uslovima emituje tek 3 grama CO<sub>2</sub> čestica više po pređenom kilometru. Zaključuje se da električni automobili posmatrani u konkretnim primerima emituju manje zagađujućih čestica, na modelu proizvodnje električne energije u Nemačkoj

#### 4.2. Uporedna analiza zagađenja vazduha u različitim državama

Za poređenje u okviru ovog poglavlja korišćeni su modeli Škoda Citigo 1.0 proizveden 2017. sa motorom SUS, i Škoda CITIGOe iV proizveden 2020. godine koji je električni model. Životni vek je podešen na 240000km. Uzeti su slični modeli novije proizvodnje kako bi se što bolje uporedile emisije ovih modela na primerima različitih zemalja Evrope i Severne Amerike. Za svaku od država navedeno je koji procenat električne energije proizvodi od neobnovljivih izvora.

**Tabela 3.** Uporedna analiza emisija automobila na električnu energiju u različitim državama

Država	% El. Energije iz neobnovljivih izvora	Emisija pri proiz. energije i distrib.	Emisija po km - E
Norveška	3% (2019.)	5.01g CO <sub>2</sub> /km	38 g CO <sub>2</sub> /km
Nemačka	40% (2019.)	99.3g CO <sub>2</sub> /km	137 g CO <sub>2</sub> /km
Slovenija	32% (2019.)	51.8g CO <sub>2</sub> /km	87.3 g CO <sub>2</sub> /km
Ujedinjeno Kraljevstvo	79% (2019.)	101g CO <sub>2</sub> /km	139 g CO <sub>2</sub> /km
Srbija	68% (2019.)	94g CO <sub>2</sub> /km	131 g CO <sub>2</sub> /km
Vermont	10% (2018.)	4.84g CO <sub>2</sub> /km	37.8 g CO <sub>2</sub> /km
Vajoming	87% (2019.)	150g CO <sub>2</sub> /km	190 g CO <sub>2</sub> /km

Izvor: Istraživanje autora (korišćena aplikacija ClimobileApp)

Rezultati jasno pokazuju da države koje proizvode više električne energije iz neobnovljivih izvora imaju manje potencijalne koristi od primene električnih automobila. Države su odabrane tako da reprezentuju različite elektroenergetske sisteme, od Norveške koja koristi gotovo isključivo obnovljive izvore, do Vajominga koji 87% električne energije dobija iz neobnovljivih izvora. Srazmerno udelu neobnovljivih izvora dobijeni su rezultati emisije gasova staklene bašte.

## 5. Zaključak

Cilj ovog rada nije potcenjivanje mogućnosti električnih automobila, već pregled činjenica prilikom razmatranja o ekološkim uticajima korišćenja električnih automobila. Potrebno je obratiti više pažnje na to odakle dolazi električna energija koja se koristi u saobraćaju, ali i električna energija uopšte. Ideja rada je upravo skrenuti pažnju na to koliko je svet daleko od održivog razvoja, na to da proizvodnja električne energije često nije ekološki prihvatljiva, kao ni korišćenje baterija od litijuma i drugih metala čije su iskopavanje i obrada izuzetno štetni po životnu sredinu. Potencijalne koristi od primene električnih automobila utoliko su veće koliko se elektroenergetski sistem oslanja na obnovljive izvore energije. Ovo se najbolje vidi na obrađenom primeru Norveške, koja gotovo čitavu količinu električne energije proizvodi iz obnovljivih izvora.

Električni automobili nisu ekološki potpuno čisti. Oni mogu postati potpuno ekološki čisti kada se energija za njihovo pokretanje bude dobijala isključivo od izvora koji ne zagađuju životnu sredinu, i kada proizvodnja, pre svega njihovih baterija, bude efikasnija. Neophodno je usavršiti i pojeftiniti proces reciklaže baterija električnih automobila, smanjiti njihovu težinu, ubrzati proces punjenja i produžiti im vek trajanja.

U većini slučajeva upotreba električnih automobila emituje manje zagađujućih materija u odnosu na vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem po kilometru. Upotreba električnih automobila ima sve više benefita sa porastom pređenih kilometara u poređenju sa konvencionalnim automobilima.

Takođe, ova tehnologija je tek na početku svog razvoja, za razliku od automobila sa motorima SUS, koji su usavršavani duže od jednog veka, i njihove emisije se ne mogu značajno smanjiti. Sve dok gorivo sagoreva u motoru, moraju se emitovati zagađujuće materije. Sa druge strane, inženjeri se znatno kraće bave električnim automobilima, te ostaje puno prostora za unapređenja. Treba težiti potpunom oslanjanju na obnovljive izvore energije, kao i što čistijim tehnologijama proizvodnje komponenti ovih automobila. Kada u cirkulaciji bude dovoljno metala i kada se tehnologija reciklaže dovoljno razvije, moći će da se obustavi iskopavanje ruda u svrhe električnih automobila, što će dodatno smanjiti negativne uticaje na životnu sredinu. Automobilska industrija, kako električna, tako i ona konvencionalna, mora težiti ka razvoju tehnologija koje smanjuju emisiju zagađujućih materija prilikom proizvodnje i eksploatacije vozila. Na osnovu rezultata ovog rada stiče se utisak da je na polju reciklaže električnih automobila i njegovih komponenta moguće ostvariti najveći pomak ka manjem zagađenju životne sredine u godinama koje dolaze. Imajući u vidu koliko različitih faktora utiče na zagađenje koje potiče od saobraćaja, neophodno je uspostaviti savršenije metodologije za kvantifikaciju zagađenja i obaviti temeljnija istraživanja sa pouzdanijim rezultatima.

## Environmental impact analysis of electric vehicles

**Nikola Ivković**

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade

**Abstract:** Electric cars are powered by electric motors, using electricity stored in a battery or batteries. The possible advantages of such cars compared to conventional ones are mainly reflected in less air pollution in cities, less dependence on fossil fuels, cost-effectiveness for a longer period, and the like. According to Bloomberg estimates, in 2035, half of the cars sold worldwide will be electric cars. Electric cars have numerous environmental benefits, however, it is important to draw attention to the origin of electricity. The energy needs of humanity are divided into three major groups: electricity, traffic and heating. Overall, 84.3% of energy consumed in 2019 comes from fossil fuels. It is clear that almost all the energy needed for transport still comes from fossil fuels, and when it comes to electricity production, as much as 63.3% comes from fossil fuels (Our World In Data, 2019). Road transport is responsible for 22% of total CO<sub>2</sub> emissions, a record 40% of NO<sub>x</sub>, 12% of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) (Stepanović & Tubić, 2017). Although traffic around the world is increasingly realized through the use of electricity, its production is often not environmentally friendly. However, some countries have developed energy systems relying almost entirely on less polluting or non-polluting energy sources. Within this paper, comparative analyzes of air pollution of cars with SUS engine and electric drive are presented, namely: analysis of air pollution by different vehicle models and analysis in different countries. The impact of both direct and indirect effects using the Climobile App, a Luxembourg institute of science and technology, was considered.

**Key words:** electric cars, environmental pollution, renewable energy sources

### Zahvale

Izradu rada pomogli prof. dr Draženko Glavić i prof. dr Marina Milenković.

## Literatura

- [1] Carlier, M., Battery electric vehicles in use - worldwide 2016-2020 (27.12.2021.): <https://www.statista.com/statistics/270603/worldwide-number-of-hybrid-and-electric-vehicles-since-2009/>.
- [2] Stepanović, N., & Tubić, V. (2017). Alternative fuel vehicle as the technology for reduction of negative transport influence on the environment. *Put i saobraćaj*, 63(3), 57-65.
- [3] Quinn, J., Waldmann, T., Richter, K., Kasper, M., Wolfahrt-Mehrens, M, (2018). Energy Density of Cylindrical Li-Ion Cells: A Comparison of Commercial 18650 to the 21700 Cells. *Journal of The Electrochemical Society*. 165.A3284-A3291.10.1149/2.0281814jes.
- [4] Hronično zagađenje ugljem (HEAL) - (27.12.2021.): [https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2019/03/Chronic-Coal-Pollution-report\\_SRB.pdf](https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2019/03/Chronic-Coal-Pollution-report_SRB.pdf).
- [5] Milenković, M., Stepanović, N., Glavić, D., Tubić, V., Ivković, I., & Trifunović, A. (2020). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of environmental management*, 258, 110007.
- [6] Electric cars and batteries: how will the world produce enough? - (27.12.2021.), *Nature*: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02222-1>.
- [7] Azmi, M., Tokai, A. (2016). Environmental Risk Trade-off for New Generation Vehicle Production: Malaysia Case, Canadian Center of Science and Education, Ontario.
- [8] Emilsson, E., Dahllof, L. (2019). Lithium-Ion Vehicle Battery Production, IVL Swedish Environmental Research Institute, Swedish Energy Agency.
- [9] Ristić, R., Malušević, I., Polovina, S., Milčanović, V., & Radić, B. (2018). Male hidroelektrane derivacionog tipa: beznačajna energetska korist i nemerljiva ekološka šteta, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [10] Huang, B., Pan, Z., Su, X., & An, L. (2018). Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of Power Sources*, 399, 274–286. doi:10.1016/j.jpowsour.2018.07.11.
- [11] Real-world vehicle fuel consumption gap in Europe at all-time high (2017.), ICCT - (27.12.2021.): <https://theicct.org/news/EU-real-world-vehicle-fuel-consumption-gap-all-time-high>.
- [12] Stepanović, N., & Tubić, V. (2019). Analiza ekoloških efekata uvođenja električnih vozila u realan saobraćajni tok. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 65(2), 19-27.