

Analiza ekoloških efekata uvođenja električnih vozila u realan saobraćajni tok

Nemanja Stepanović^{a*}, Vladan Tubić^a

^a Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.65.02.04

Stručni rad

Primljen: 20/03/2019

Prihvaćen: 01/06/2019

Korespondent autor:

n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Ključne reči:

Emisija gasova staklene bašte

Električna vozila

Obnovljivi izvori energije

REZIME

Drumski transportni sektor odgovoran je za 21% ukupne emisije CO₂, 39% ukupne emisije NO_x, odnosno 10% emisije partikularnih čestica (PM₁₀, PM_{2.5}). Upotreba putničkih automobila, kao izrazito dominantne kategorije vozila u saobraćajnom toku je u konstantnom porastu, što uprkos napretku tehnologije prečišćavanja izduvnih gasova može uzrokovati rast ili nedovoljno smanjenje emisije štetnih gasova. Zbog sve većih štetnih posledica po životnu sredinu i zdravlje ljudi, kao i nedavnim aferama koje su pogodile motore sa tehnologijom unutrašnjeg sagorevanja („Dieselgate afera“), fokus razvoja novih tehnologija ubrzano se orijentiše ka električnim vozilima. Planovi najvećih proizvođača automobila odnose se na dominantnu elektrifikaciju flote u narednih 10 godina. Međutim, nagli porast učešća električnih vozila u saobraćajnom toku može dovesti u pitanje infrastrukturu i kapacitet elektro mreže, odnosno pitanje „ekološkog otiska“ takvog trenda. U ovom radu razmatran je ukupni uticaj (tzv. Well-to-Wheel analiza) porasta učešća vozila na električni pogon na životnu sredinu. Poređenjem vozila sa motorima na unutrašnje saogrevanje i električnim motorima, uočen je izostanak ukupnog smanjenja emisije kod zemalja sa niskim udelom proizvedene električne enregije iz obnovljivih izvora. Well-to-Wheel analiza izvršena je i za nekoliko scenarija učešća električnih vozila u elektro-energetskoj mreži Republike Srbije.

1. Uvod

Transport predstavlja izuzetno značajan sektor u ukupnoj svetskoj ekonomiji, bez koga je nemoguće zamisliti život ljudi. Uprkos neophodnosti i izuzetnom značaju ove grane, konstantan rast doprinosi brojnim negativnim posledicama. Jedna od posledica koja sve više utiče na klimatske promene, ali i zdravlje ljudi jeste prekomerna emisija štetnih izduvnih gasova.

Transport putnika i robe vrši se kroz nekoliko vidova, sa sledećom modalnom raspodelom transportnih zahteva: skoro 79% kreće se putničkim automobilom, dok se ostatak od 21% kreće autobusima, vazдушnim, železničkim i vodnim saobraćajem. Što se tiče transporta robe (izraženim u transportnom radu: t*km), modalna raspodela izgleda nešto drugačije: 43% otpada na drumski transport, 41% na pomorski, 9% na železnički, 4% na rečni i 3% na cevni transport. (Van Mierlo, Magetto, 2007).

Drumski transport, sa svojim dominantnim učešćem u ukupnom transportnom sektoru, uzrokuje sve veći rast zahteva: u periodu od 1970. do 2005, prosečna mobilnost ljudi se duplirala sa 17 na 35 km. Ukupni transportni rad u Evropi se povećao za 25% u periodu između 1995. i 2008. godine, sa tendencijama daljeg rasta. Prethodno navedeno doprinosi porastu potražnje za naftnim derivatima, gde je zabeleženo povećanje od 26% od 1990. godine samo na nivou zemalja EU (Pasaoglu et al. 2012).

U pogledu emisije, transportni sektor doprinosi sa preko 27% ukupnih gasova koji uzorkuju efekat staklene bašte u 28 zemalja EU u 2016. godini. Zabeležen je rast udela emisije od čak 114% u vazдушnom, 33% u vodnom i 22% u drumskom sektoru u odnosu na nivo iz 1990. godine (EEA, 2018). Prema IPCC (2014), udeo različitih jedinjenja nastalih ljudskim aktivnostima u ukupnoj emisiji gasova staklene bašte je sledeći: CO₂ – 76%, CH₄ – 16%, N₂O – 6% i ostali gasovi oko 2%.

Sa svojim dominantnim učešćem, drumski transportni sektor drugi je najveći izvor emisije CO₂, sa oko 21% ukupno emitovanog ugljen dioksida u zemaljama EU. Analize su pokazale da bi se ovaj rast nastavio odnosno da bi se emisija CO₂ duplirala do 2050. godine, bez tehnološkog napretka pogonskih sistema vozila i politika ograničenja emisija. Evropska Unija je zbog toga 2010. godine usvojila strategiju po kojoj bi emisija CO₂ trebala da se smanji za 20% do 2020. i za čak 80% do 2050. godine u odnosu na nivo iz 1990. godine. Da bi se to postiglo, potrebno je postići smanjenje od oko 60% u transportnom sektoru (European Council, 2010; European Commission, 2011; EEA, 2018).

Pored emisije CO₂, drumski transport izvor je i ostalih polutanata. Naročito se izdvaja u emisiji NO_x, po čemu sa 39% predstavlja dominantan udeo emisije štetnih gasova u odnosu na sve ostale grane privrede zemalja EU. (EEA, 2018). Ovaj produkt sagorevanja, pre svega dizel motora, predstavlja izuzetno opasno jedinjenje za respiratorni sistem ljudi. Naročito je opasna visoka koncentracija NO_x u gradovima i urbanim sredinama, gde je na relativno malom prostoru prisutan u značajnoj količini. Istraživanja pokazuju da je 10.000 smrti u Evropi u 2013. godini povezano sa stvaranjem čestica PM2.5 i ozona, kao direktne posledice NO_x emitovanog od strane vozila (Jonson et al, 2017) Utvrđeno je da smanjenje emisije NO_x za samo 3 µg/m³ može dovesti do pada rizika smrtnosti uzrokovanih respiratornim bolestima za 10-18% (César et al, 2015).

Drumski transport jedan je od najvećih emitera i partikularnih čestica (PM10, PM2.5), takođe izuzetno opasnih po zdravlje ljudi, sa udelom od preko 10%. (EEA, 2018). Više od 400.000 preranih smrti su povezani sa trenutnim nivoom koncentracija PM2.5 u 28 zemalja EU. Istraživanja pokazuju da je realna emisija partikularnih čestica od 2,5 µm ili manjih (PM2.5) na putevima zemalja članica EU, koja potiče isključivo od putničkih vozila sa dizel motorom, odgovorna za 9390 preranih smrti. Takođe je pokazano da bi se skoro 50% preranih smrti (oko 4.500) moglo izbeći da je nivo emitovanog NO_x, a posledično i PM2.5, iz putničkih vozila bio na nivou vrednosti ostvarenih u laboratorijskim testiranjima (Jonson et al, 2017).

Značaj razlike između vrednosti ostvarenih laboratorijskim testiranjima, koja se obavljaju prilikom zvaničnih homologacija vozila i utiču na proračune poreza ali i ekoloških uticaja i benefita, i realnih vrednosti emisija izduvni gasova, posebno je istakla jedna od najvećih afera u automobilskoj industriji – afera „Dieselgate“. Afera je otkrivena 2015. godine u SAD i odnosila se na softversku prevaru koju je počinila Volkswagen grupacija. Naime, u 11 miliona vozila opremljenih dizel agregatima, koja su proizvedena između 2008. i 2015. godine instaliran je softver koji je u laboratorijskim uslovima uključivao, a u realnim uslovima vožnje isključivao sisteme za prečišćavanje izduvni gasova, smanjujući time potrošnju goriva i poboljšavajući performanse vozila. Na ovaj način, realno ostvarene emisije NO_x bile su za 15 do 35 puta

veće od EPA standarda (SAD), odnosno 4 puta više od Evropskih granica - 0,85 g/km⁻¹ umesto 0,18 g/km⁻¹ (Thompson et al, 2014; Chosiere et al, 2017). Posmatrajući pomenuti period prodaje spornih vozila, istraživanja na vozilima VW grupe prodatih u Nemačkoj (oko 2,6 miliona) pokazuju da će realno ostvarene emisije NO_x (gde se posledično emituju i PM2.5, ozon itd.) uzrokovati procenjenu vrednost od oko 1200 preranih smrti, odnosno 13.000 izgubljenih godina života, uz troškove od 1,9 milijardi evra (Chosiere et al, 2017).

Prethodno navedeni podaci, uz brojna istraživanja koja nedvosmisleno ukazuju na negativan uticaj drumskog transportnog sektora, ubrzala su iznalaženje alternativnih rešenja pogona. Jedno od rešenja koje se najviše forsira u prethodnih nekoliko godina i koja, prema trenutnim prognozama treba da predstavlja osnov za mobilnost ljudi u bliskoj budućnosti, predstavljaju električna vozila. Brojna istraživanja, prognoze proizvođača automobila i različitih interesnih grupa, ističu nultu emisiju ovakvih vozila i značajan doprinos smanjenju ukupnih štetnih efekata kojima su vozila sa motorima na unutrašnje sagorevanje u velikoj meri doprinela. Pored smanjenja uticaja na životnu sredinu, često se ističe i ekonomska prednost, kroz smanjenje troškova goriva, koji predstavljaju jednu od komponenata troškova eksploatacije vozila (Tadić i Glavić, 2019).

Međutim, najave ubrzane elektrifikacije voznog parka širom sveta mogu imati i negativne efekte na životnu sredinu, dislociranjem emisije (proizvodnja i reciklaža baterija) i preopterećenjem postojećih elektro-energetskih sistema brojnih zemalja. Cilj ovog rada se upravo odnosi na pregled ukupnih direktnih i indirektnih efekata (tzv. *Well-to-Wheel* analiza) povećanjem učešća električnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku. Poseban osvrt u radu odnosi se na simulaciju povećanog učešća električnih vozila u Srbiji, odnosno njihov uticaj na životnu sredinu.

2. Uticaj alternativnog pogona na životnu sredinu

2.1. Alternativni pogonski sistemi

Velika većina vozila (oko 99% ukupnog broja vozila na putevima) koristi tehnologiju motora sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS). Tehnologija SUS motora prisutna je duže od jednog veka. Uz konstantna usavršavanja u pogledu efikasnosti u proteklim decenijama, ona je i dalje jako niska pa tako najčešće varira između 33 i 43%, u zavisnosti od toga da li je u pitanju benzinski, dizel ili motor pogonjen gasom (CNG, LPG). (Gupta et al. 2016) Blagi potencijal za dalje usavršavanje SUS motora postoji ali je on blizu svojih granica. Prethodno nabrojani štetni efekti drumskog transporta na životnu sredinu direktna su posledica procesa sagorevanja fosilnih goriva u SUS motorima.

Zbog svega opisanog u ovom i prethodnom poglavlju, da bi se ostvarili zacrtani ciljevi smanjenja emisija CO₂, NO_x i ostalih polutanata, neophodan je bio razvoj alternativnih pogonskih tehnologija. Proizvođači su počeli sa masovnom serijskom proizvodnjom alternativnih pogona krajem prošlog veka. Postoji nekoliko sistema koji se danas koriste u većem ili manjem obimu, a reč je pre svega o hibridnim, električnim i vozilima pogonjenih gorivnim ćelijama, koji su ukratko opisani u nastavku (Stepanović i Tubić, 2017).

Hibridna električna vozila (HEV) zasnivaju se na dva izvora energije – agregatu za pretvaranje energije (motor SUS ili gorivnih ćelija) i agregatu za akumuliranje proizvedene energije (akumulatori ili ultrakapacitatori). Kompletan pogonski sistem sačinjavaju: toplotni (SUS) motor, električni generator, električni motor, energetski pretvarač i akumulatorske baterije. Smisao postojanja HEV se nalazi u činjenici da ova vozila nemaju problema sa radiusom kretanja jer koriste hemijsko gorivo za pogon toplotnog motora i istovremeno su ekološki čistija i efikasnija u odnosu na klasična vozila jer koriste pogodnosti električnog pogonskog sistema. Postoje tri konfiguracije HEV: serijska i paralelna i serijsko-paralelna.

Električna vozila (EV) ili električna vozila na baterije (BEV) su vozila koja nisu opremljena motorom na unutrašnje sagorevanjem već isključivo elektromotorom koji crpi energiju iz baterija. Baterije su najčešće smeštene u podu vozila a njihova najvažnija karakteristika je energetski kapacitet odnosno korisna specifična energija i gustina. Baterije sa jednom od najvećih vrednosti specifične energije, ugrađene u modele Tesla automobila - Model 3 (Panasonic 2170), imaju odnos od čak 247 Wh/kg, što predstavlja značajan napredak ostvaren u relativno kratkom vremenu (Cleantechica, 2019). Posmatrajući *Tank-to-Wheel* analizu, električna vozila ne emituju nikakve polutante, što je poželjno naročito u gusto naseljenim gradovima.

Vozila na gorivne ćelije (FCEV – *fuel cell electric vehicle*) su posebna vrsta električnih vozila koja umesto baterija koriste najčešće vodonične gorivne ćelije za napajanje električnog motora pogonskom energijom. Gorivna ćelija je elektrohemijska ćelija koja direktno pretvara hemijsku energiju goriva (u automobilima je to najčešće vodonik) u električnu preko elektrohemijske reakcije vodonika i kiseonika, bez procesa sagorevanja. (Jeong, Oh, 2002) Posmatrajući *Tank-to-wheel* analizu, vozila na vodonične ćelije mogu se klasifikovati kao nulti zagađivači životne sredine, s obzirom da je produkt opisane hemijske reakcije isključivo voda i toplota.

Na osnovu prethodno navedenog, može se doneti nagli, površan i često pogrešan zaključak da su sva vozila sa alternativnim pogonom, pogotovo ona koja spadaju u tzv. vozila sa nultom emisijom, automatski i ekološki prihvatljivija od konvencionalnih vozila. Zabluda može nastati posmatranjem isključivo količine emisije štetnih gasova u već pominjanim *Tank-to-Wheel* analizama.

Ove analize uzimaju u obzir eksploatacione aktivnosti vozila, odnosno vrše ispitivanje energije i emisije štetnih gasova vezanih za upotrebu goriva tokom eksploatacije vozila. Analize obuhvataju brojne aktivnosti energetskog toka, od goriva u rezervoaru do pogonske sile na točkovima. Različite vrste pogonskih sistema imaju drugačiji energetski tok a samim tim i specifične efikasnosti svakog sistema. Međutim, pored *Tank-to-Wheel*, postoje i *Well-to-Tank* analize. Ovo je podjednako bitan deo koji obuhvata analize procesa vezanih za preradu sirovina i goriva. *Well-to-Tank* proces bavi se ocenjivanjem energetske efikasnosti i emisije, od vađenja i prerade sirovina do dostave goriva u rezervoar automobila.

Ova dva procesa zajedno spadaju u *Well-to-Wheel* analize koje ispituju energetski i emisioni uticaj goriva tokom svog celokupnog životnog ciklusa. (Gupta et al. 2016) Kod električnih vozila postoje *Well-to-Power Plant* proces, koji podrazumeva emisiju od početka obrade sirovine za dobijanje struje i prenosa do elektrane i *Power Plant-to-Wheel*, koji obuhvata emisiju prilikom procesa prenosa struje do vozila i vožnju istog. Upravo je sprovođenje *Well-to-Wheel* analiza ključno za donošenje merodavnih zaključaka o izdavanju goriva odnosno tehnologije budućnosti (Woo i ostali, 2017).

Hibridna vozila (HEV i PHEV) su prisutna na tržištu već duži vremenski period (preko 20 godina u serijskoj proizvodnji). Prema brojnim istraživanjima, ovakva vozila predstavljaju dobro prelazno rešenje u redukciji ukupne globalne emisije štetnih gasova. Međutim, radi značajnijeg smanjenja štetnih gasova koje emituje drumski sektor, prisutno je značajno forsiranje vozila sa tzv. nultom emisijom izduvnih gasova (posmatrajući *Tank-to-Wheel* analize).

Analizirajući današnje tržišno prisustvo i najave budućih modela, jasno je da je fokus zasnovan dominantno na električnim vozilima na baterije (BEV). Tako je, recimo, VW grupacija (*CEO Herbert Diess*), pod pritiskom pomenute afere, nedavno najavila da će do 2023. godine investirati 44 milijardi evra u električna i autonomna vozila, kako bi u narednoj deceniji proizvela preko 22 miliona električnih vozila (Bloomberg, 2019). Rast prodaje električnih vozila je veliki: od 33.000 u celom svetu u 2011. godini, do preko 160.000 u 2014. godini (IEA, 2015). Uzimajući u obzir i Plug-in hibridna vozila, očekuje se rast prodaje od 40% u periodu od 2013. do 2020. godine, odnosno dostizanje 117 miliona ovakvih vozila (JD Power, 2013).

Međutim, jedino sprovođenjem *Well-to-Wheel* analize moguće je utvrditi stvarne efekte elektrifikacije voznog parka. Naime, samo posmatranjem emisije izduvnih gasova od početnog procesa proizvodnje struje, do konačne eksploatacije vozila, moguće je utvrditi da li bi nagli porast broja električnih vozila u saobraćajnom toku, odnosno zahteva za punjenjem električnom energijom, mogao značajno opteretiti postojeće sisteme i povećati ukupnu emisiju kod sistema koji se ne zasnivaju na obnovljivim izvorima energije.

U nastavku će detaljno biti analiziran uticaj povećanja udela električnih vozila (BEV) u ukupnom saobraćajnom toku. Pored ekološkog, ova analiza ima i ekonomski značaj jer omogućava osnov za buduće sprovođenje kvalitetnih cost/benefit analiza (Glavić et al, 2018).

2.2. Uticaj primene električnih vozila na životnu sredinu

U poslednjih nekoliko godina napravljen je značajan pomak u karakteristikama električnih vozila. Kao što je već pomenuto, pojedina električna vozila (BEV) na tržištu danas imaju autonomiju i do 500 km, sa baterijama koja imaju gustinu od približno 300 Wh/kg, uz značajno kraće vreme punjenja. Ključno pitanje kod ovakvih vozila, u pogledu analize ukupne emisije izduvnih gasova, odnosi se na proizvodnju baterija, kao ključnog dela pogonskog sistema i punjenje električnom energijom. Posmatrajući moguće izvore dobijanja električne energije, grubo se može izvršiti podela na 2 osnovna izvora:

- fosilna goriva (ugalj, prirodni gas i nafta) i
- obnovljivi izvori (voda, vetar, solarna energija, nuklearna energija, biomase itd.).

Sprovedeno je nekoliko različitih istraživanja koja su analizirala celokupna proces emisije električnih vozila, odnosno *Well-to-Wheel* analizu.

Ma i ostali (2012) izvršili su temeljno ispitivanje i poređenje uticaja na životnu sredinu električnih i vozila pogonjenih SUS motorima, sprovođenjem studije slučaja za Ujedinjeno Kraljevstvo i Kaliforniju. Zaključili su da bi upotreba električnih vozila mogla doprineti smanjenju emisije izduvnih gasova u poređenju sa vozilima opremljenim SUS motorima. Potrebno je istaći da je u Kaliforniji prisutan relativno visok udeo (preko 50%) obnovljivih izvora za dobijanje električne energije, što doprinosi povoljnim rezultatima električnih vozila. Jedan od bitnih rezultata koji se ističe kako u ovoj, tako i u ostalim studijama, jeste činjenica da su po pitanju redukcije emisije izduvnih gasova, električna vozila znajčajno superiornija u područjima sa visokom gustinom naseljenosti, odnosno urbanim zonama u kojima je pristuan veliki broj vozila na relativno maloj površini. Ovo se posebno odnosi na upotrebu putničkih automobila, koji u gradskim sredinama po pravilu imaju jako malu popunjenost, odnosno jako visoku emisiju štetnih gasova po prevezenom putniku. Ispitivanjem emisija proizvodnog i reciklažnog procesa vozila (početak i kraj životnog veka vozila) uočeno je da električna vozila emituju više vrednosti u odnosu na vozila pokretana SUS motorima, zbog procesa proizvodnje baterija.

Temeljnou analizom procesa proizvodnje struje i sposobnostima elektroenergetskog sistema da odgovori povećanim zahtevima prilikom procesa punjenja baterija većeg broja električnih vozila istovremeno, detektovano je da je preciznije posmatrati

vršni intenzitet mreže (tzv. *Marginal electricity*) u odnosu na prosečan intenzitet mreže, odnosno emisiju štetnih gasova prilikom graničnih slučajeva. Naime, elektroenergetski sistemi većine zemalja prilikom pojave uvećanih zahteva (što bi bio slučaj prilikom istovremenog priključivanja većeg broja BEV), reaguju proizvodnjom dodatne struje koja se uglavnom generiše iz fosilnih izvora (ugalj, prirodni gas itd.), čak i kod sistema koji su u velikom procentu zasnovani na obnovljivim izvorima energije. Zbog toga je i emisija štetnih gasova sistema u takvim uslovima veća od proseka. Zaključeno je da bi npr. u slučaju Ujedinjenog Kraljevstva, gde se u proseku 63% el. energije dobija iz obnovljivih izvora a u slučajevima pojave tzv. struje vršnog intenziteta (*Marginal electricity*) isključivo iz uglja i prirodnog gasa, električna vozila veće klase, koja se voze pod većim opterećenjem, imala veću emisiju izduvnih gasova u *Well-to-Wheel* analizi u poređenju sa sličnim vozilom opremljenim SUS motorom. U slučaju Kalifornije, čija električna mreža u proseku koristi veći udeo obnovljivih izvora od UK, a u slučajevima potrebe struje graničnog kapaciteta samo prirodni gas (koji uzrokuje niže emisije od uglja), istovetna analiza pokazuje da je prihvatljivije električno vozilo od vozila sa SUS motorom. To dovodi do ključnog zaključka ove studije (Ma i ostali, 2012): ukupna emisija štetnih izduvnih gasova u celokupnom životnom veku vozila i indirektnim efektima koje ono uzrokuje (*Well-to-Wheel* analiza), osciluje od zemlje do zemlje, pretežno zbog različitih sistema elektroenergetske mreže.

Zbog dominantnog uticaja različitih specifikacija sistema elektroenergetskih mreža na razliku ukupne emisije štetnih gasova električnih i konvencionalnih vozila, posebna pažnja ovim studijama biće posvećena u narednom poglavlju.

Zaključak o doprinosu smanjenja koncentracije štetnih gasova u urbanim područjima zbog elektrifikacije saobraćajnog toka u navedenoj studiji (Ma i ostali 2012), potvrdila su i istraživanja koja su u Madridu i Barseloni sprovedeli Soret i ostali (2014). Oni su analizirali efekte tri različita scenarija udela električnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku (13, 26 i 40%) na životnu sredinu primenom simulacionog WRF-ARW/HERMESv2/CMAQ modela. Sprovedenim analizama uočili su potencijal smanjenja NO_x i CO uvođenjem električnih vozila. Posmatrajući najambiciozniji scenario (40% el. vozila u toku), zabeležena su smanjenja emisije NO_x za 11% i 17% u Barseloni i Madridu, respektivno. Ova poboljšanja doprinose poboljšanju kvaliteta vazduha od 8% do 16% (30 – 35 µg m⁻³) u satima sa maksimalnim zagađenjem, u pomenutim gradovima. Nasuprot tome, zabeležen je ograničen uticaj na smanjenje emisije partikularnih čestica PM10 (3-4%) odnosno neznatno poboljšanje kvaliteta vazduha (2-5%). Ovako nisko smanjenje ogleđa se pre svega u visokom udelu emisije PM10 čestica, koje nisu rezultat sagorevanja goriva u SUS motorima već pre svega nastaju kao posledica konstatnog trošenja (abrazije) kočnica, oslanjanja,

pneumatika i puta. Naime, uprkos eliminaciji izduvних gasova kao značajnog izvora ових честика, електрична возила због своје веће масе доприносе и већој абразији па је редукција емисије ниска. У погледу PM2.5 честика, смањење емисије и побољшање квалитета ваздуха је нешто веће (3-7%). Штавише, забележен је благ пораст концентрације озона (O₃) од <4% у централним зонама оба града због редукције NO, који сузбија озон. Generalни закључци показују да електрификација саобраћајног тока представља потенцијал у побољшању квалитета ваздуха густо насељених урбаних центара. Међутим, повећањем удела електричних возила није постигнуто значајно побољшање квалитета ваздуха, посебно посматрајући ниво партикуларних честика (PM10 и PM2.5) који имају веома негативне ефекте по здравље људи. Neophodan је релативно висок проценат учеšћа електричних возила у току (више од 26% до 40%), како би се постигло нешто веће побољшање квалитета ваздуха, што обавезује све интересне групе да утичу на потпуну промену свести грађана и да реагују и у другим секторима који узрокују емисију (остали видови транспорта и привреде уопште). Prethodno наведено доводи до закључка да ће електрификација возног парка имати доста ограничene ефекте на животну средину у наредној деценији и да би посебан фокус требало посветити и смањењу емисије теških теретних возила и autobusa, који нпр. узрокују скоро 49% емисије NO_x у Madridу.

Uдео партикуларних честика (PM10 и PM2.5) у укупној емисији штетних gasova, предмет је бројних истраживања због великог негативног утицаја на здравље (смртност) људи због погоршања квалитета ваздуха, посебно у урбаним срединама. Mnoge земље и институције реšenje овог проблема виде у подстицању возила са алтернативним погоном. Међутим, само неколико студија бавило се целокупном анализом емисије ових штетних полутаната. Kao што је prethodna студија показала (Soret и остали, 2014), смањење емисије партикуларних честика увођењем електричних возила у саобраћајни ток може бити минимално. Zbog toga су Timmers и Achten (2016) испитивали емисију партикуларних честика електричних возила и на крају извршили поређење са емисијом еквивалентних возила погонjenih SUS агрегатима. Rezultati анализе свих izvora партикуларних честика показују да порекло 90% PM10 и 85% PM2.5 честика не настаје као продукт sagorevanja fosilnih goriva putničkih automobila и да ће се ovaj проценат dodatno smanjiti увођењем нових еколошких норми (нпр. EURO 6d-TEMP у Evropи itd.). Takoђе је pokazana значајна позитивна korelacija između масе возила и емисије дела партикуларних честика који не зависи од издувних gasova. Другим речима, dominantni izvori емисије партикуларних честика одnose се на потрошњу pneumatika, kočnica, kolovoznog zastora и putne prašine. S obzirom да је utvrđeno да електрична возила у proseku имају већу масу за 24% од еквивалентних возила погонjenih SUS мотором, закључено је да електрична возила у proseku производе istu količinu PM10 честика као и konvencionalna возила, dok је забележено neznatno smanjenje емисије PM2.5 (1-3%), uz mogućnost potpunog eliminisanja разлике због strožih еколошких норми за нова возила.

2.3 Well-to-Wheel analiza електричних возила заснована на испитивању електроенергетских мрежа различитих карактеристика

Kao што је већ pomenuto, najveći број студија издвојио је као dominantni faktor емисије електричних возила управо начин dobijanja електричне енергије потребне за dopunu батерија и omogućavanje kretanja ovakvih возила. Štetni gasovi који се emituju tokom procesa proizvodnje struje zavise пре свега од izvora, odnosno да ли се struja dobija из obnovljivih или neobnovljivih izvora енергије. Dodatnu problematiku представља и činjenica да се у случају pojave већих zahteva за електричном енергијом односно struje вршног intenziteta, коју би izazvalo масовније prisustvo електричних возила у саобраћајном toku, dodatna struja у većini sistema производи из "prljavih" izvora.

Jednu од најposežnijih студија са ovom tematikom sprovedli су Woo и остали (2017). Oni су извршили uporednu Well-to-Wheel анализу електричних и konvencionalnih возила, испитујући карактеристике електроенергетских sistema 70 zemalja из većine региона: Amerike (severne, centralne и južne), Afrike, Srednjeg istoka, Azije, Pacifika и Evrope. U Tabeli 1 prikazano је učešće различитих obnovljivih и neobnovljivih izvora за dobijanje електричне енергије у 20 najvećih zemalja.

U proračun су uključili електрична и возила са SUS мотором из 4 najzastupljenije klase возила, од gradskih (B klase) до SUV modela, односно njihove карактеристике potrošnje, vrste pogonskog agregata itd.

Proračunom Well-to-Wheel емисије automobila погонjenih SUS мотором и електричних automobila, на osnovu podataka о prosečnom procentualnom učešću izvora struje електроенергетског sistema и емисије CO₂ коју emituje svaki од navedenih izvora посебно, dobijena је ukupna emisija CO₂ svake zemlje и региона посебно.

Rezultati показују да је у većini zemalja, ukupna emisija коју ostvaruju електрична возила нижа од konvencionalnih возила (gde ukupno gledano возила на dizel gorivo ostvaruju нижу емисију). Међутим, uočeno је значајно variranje količine емисије у zavisnosti од učešća различитих izvora за dobijanje енергије. Tako recimo Norveška, у којој се čak 98% struje dobija из obnovljivih izvora (dominantno енергијом vode) има najveći потенцијал у smanjenju емисије у poređenju са konvencionalnim vozilima. Ovaj закључак такође је potpomognut činjenicom да електрична возила čине преко 10% ukupne prodaje нових возила. U Norveškoј, као и Kanadi и Francuskoј, потенцијална emisija штетних gasova би се znatno smanjila електрификацијом саобраћајног тока (2,2 – 3,5 gCO₂/km). Са друге стране, Južna Afrika са 98% učešća neobnovljivih izvora у dobijanju електричне енергије има najveću емисију штетних gasova електричних возила (102 – 149,5 gCO₂/km). Slični rezultati забележени су и код Australije (88% neobnovljivih izvora), Indije (81%) и Kine (74%).

Generalni je zaključak i da se opravdanost uvođenja električnih vozila povećava sa rastom klase vozila (najveće uštede zabeležene kod SUV klase) zbog veće potrošnje vozila sa SUS motorom te klase i da je kod najmanje klase (B klasa) zabeleženo najviše slučajeva niže emisije kod konvencionalnih vozila. Na globalnom

nivou, koji su u obzir uzeli i elektroenergetski sistem Srbije, zabeleženi su slični rezultati: potencijalna ostvarena ušteda pri prelasku na električna vozila je velika, s tim što je za najmanju klasu vozila u dosta slučajeva zabeležen izostanak opravdanosti elektrifikacije toka (Woo i ostali, 2017).

Tabela 1. Izvori dobijanja električne energije u elektroenergetskim sistemima pojedinačnih zemalja

Zemlja	Ukupna proizvodnja el. energije (bilion KW h)	Ugalj (%)	Prirodni gas (%)	Nafta (%)	Nuklearna en. (%)	Hidro (%)	Vetar (%)	Biomasa (%)	Solarna en. (%)
Kina	4768	72	2	0	3	20	1	3	0
SAD	4048	38	30	1	19	6	4	2	0
Indija	1052	72	8	1	3	12	3	0	1
Rusija	1012	14	49	3	17	17	0	0	0
Japan	966	30	43	12	0	8	1	4	2
Nemačka	585	45	10	2	16	3	10	8	6
J. Koreja	500	42	23	4	29	1	0	0	0
Iran	239	0	65	27	2	6	0	0	0
S. Arabija	255	0	62	38	0	0	0	0	0
Kanada	616	12	10	1	16	58	2	1	0
Brazil	538	3	9	4	3	69	1	11	0
U.K.	336	32	30	1	19	2	8	7	1
J. Afrika	239	92	0	1	6	0	0	0	0
Indonezija	185	49	20	23	0	7	0	0	0
Meksiko	279	11	49	19	3	14	2	1	0
Australija	235	67	20	1	0	6	4	1	1
Francuska	533	3	3	1	76	11	3	1	1
Ukrajina	187	35	10	0	51	4	0	0	0
Egipat	155	0	73	17	0	9	1	0	0
Norveška	145	0	2	0	0	94	2	1	1

Izvor: (Woo i ostali, 2017)

2.4. Preliminarna analiza efekata primene električnih vozila u Republici Srbiji

Nakon perioda krize (1991-1995 i 1999. godina), došlo je do oporavka odnosno stabilnog rasta saobraćajnih zahteva do svetske ekonomske krize koja je nastala 2009. godine. Nakon oporavka ekonomske situacije ponovo je uspostavljen trend rasta, za koji se očekuje da će biti još veći završetkom koridora X u punom profilu autoputa (Maletin i Tubić, 2013). Zbog navedenog rasta saobraćajnih tokova i primetnog trenda porasta učešća električnih vozila u toku, neophodno je ispitati ekološku podobnost elektrifikacije saobraćajnog toka na primeru Srbije. Prethodno navedena i opisana studija (Woo i ostali, 2017), uključila je i rezultate ispitivanja potencijala elektrifikacije saobraćajnog toka u Srbiji, na osnovu ispitivanja karakteristika elektroenergetskog sistema. Međutim, rezultati su uključeni u globalnu ocenu, odnosno nisu prikazani posebno za našu zemlju. Zbog toga je u ovom delu rada, na osnovu metodologije pomenutog istraživanja (Woo i ostali, 2017), uz blage modifikacije izvršeno ispitivanje potencijalnog povećanja udela električnih vozila u saobraćajnom toku, odnosno ekološki uticaj tog procesa na životnu sredinu. Proračun ukupnog ekološkog uticaja (*Well-to-Wheel*) po vozilu, odnosno poređenje automobila sa motorom na unutrašnje sagorevanje i električnim pogonom, izvršeno je na osnovu obrasca 1. (Woo i ostali, 2017) za konvencionalna vozila i obrasca 2. za električna vozila:

$$EIGkv_{wtw,i,j} = (EIG_{wtT} + EIG_{Ttw}) * PG \quad (1)$$

gde su:

$EIGkv_{wtw}$ – emisija izduvnih gasova konvencionalnih vozila (sa SUS motorom) prilikom *Well-to-Wheel* analize za vozila različitih klasa i i različitog pogonskog agregata (benzin ili dizel) j u gCO_2/km ;

EIG_{wtT} – emisija izduvnih gasova prilikom *Well-to-Tank* procesa;

EIG_{Ttw} – emisija izduvnih gasova prilikom *Tank-to-Wheel* procesa;

PG – potrošnja goriva (l/km).

$$EIGev_{wtw,i} = \left\{ \sum_e P_e * (EIG_{wtP,e} + EIG_{PtW,e}) \right\} * VE \quad (2)$$

gde su:

$EIGev_{wtw,i}$ – emisija izduvnih gasova električnih vozila prilikom *Well-to-Wheel* analize za vozila različitih klasa i ;

P_e – procentualna zastupljenost različitih izvora električne energije e u gCO_2/km ;

EIG_{wtP} – emisija izduvnih gasova prilikom procesa *Well-to-Power Plant* za izvor električne energije e ;

EIG_{PtW} – emisija izduvnih gasova prilikom procesa *Power Plant-to-Wheel* za izvor električne energije e ;

VE – potrošnja struje električnih vozila (kWh/km).

Za vrednosti emisije izduvnih gasova konvencionalnih vozila, uzete su sledeće vrednosti koji su u uključene i u navedenu studiju: kod procesa *Well-to-Tank* iznose 2676,9 za dizel i 2314,4 gCO₂/l za benzinske motore, dok kod procesa *Tank-to-Wheel* iznose 564,4 gCO₂/l i 463,8 gCO₂/l.

Za proračun konkretnih vrednosti ukupne emisije po vozilu, pre svega je neophodno izdvojiti merodavna vozila iz različitih klasa, koja najbolje reprezentuju saobraćajni tok. Za razliku od originalne studije po čijoj metodologiji se vrši navedeni proračun u slučaju Srbije, izvršena je modifikacija merodavnih konvencionalnih vozila zbog drugačijeg prisustva u saobraćajnom toku.

Navedena reprezentativna vozila različitih klasa za tok u Srbiji, zajedno sa njihovom prosečnom potrošnjom goriva, navedene su u Tabeli 2, gde su prikazana i ekvivalentna električna vozila.

Tabela 2. Prikaz reprezentativnih vozila i potrošnje energije

Konvencionalna vozila (SUS motori)			Električna vozila	
Klasa vozila	vrsta motora	potrošnja (l/100 km)	Klasa vozila	potrošnja (km/kWh)
B (Škoda Fabia)	1.4 benzin	6,5	B (Nissan Leaf)	6,6
	1.4 dizel	4,6		
C (Ford Focus)	1.6 benzin	6,7	C (VW Golf e)	7,89
	1.6 dizel	5,2		
D (VW Passat)	2.0 benzin	8,2	D (Tesla S)	5,31
	2.0 dizel	5,9		
J (Audi Q7)	3.0 benzin	10,7	J (Tesla X)	4,64
	3.0 dizel	9,1		

Za proračun ukupne emisije štetnih gasova koju proizvode električna vozila, neophodno je uzeti u obzir vrednosti koje generiše svaka od sirovina za dobijanje električne energije. S obzirom da se u Srbiji električna energija dominantno dobija iz uglja i hidro energije, uz minimalno učešće prirodnog gasa, u Tabeli 3 prikazana je količina emisije izduvnih gasova prilikom *Well-to-Wheel* analize za spomenute izvore. Prikazane vrednosti navedene su u metodologiji posmatrane studije, a izvorno su dobijene kao rezultat pregleda 167 studija na sličnu temu (Turconi i ostali, 2013).

Tabela 3. Emisija štetnih gasova (gCO₂/kWh) svake sirovine za dobijanje struje u *Well-to-Wheel* analizi

Sirovine za dobijanje el. energije	Medijana	Maksimum
Ugalj (R. Srbija: 69%)	960	1370
Hidro energija (R. Srbija: 30%)	4,9	20
Prirodni gas (R. Srbija: 1%)	490	1000

Izvor: (Turconi i ostali, 2013)

Za svaku sirovinu za dobijanje električne energije date su vrednosti medijane i maksimalnih količina CO₂. Na osnovu ovih vrednosti i prethodno navedenih parametara za proračun ukupne emisije vozila sa SUS motorom, proračunate su ukupne emisije izduvnih gasova za reprezentativna vozila (sa SUS i električnim motorom) u Republici Srbiji, a rezultati su prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4. Emisija štetnih gasova (gCO₂/km) *Well-to-Wheel* analize konvencionalnih i električnih vozila

Klasa vozila	Konvencionalna vozila (SUS motor) [gCO ₂ /km]		Električna vozila [gCO ₂ /km]	
	benzin	dizel	medijana	maksimum
B	180,58	149,10	101,33	145,65
C	186,14	168,55	84,76	121,84
D	227,81	191,24	125,95	181,04
I (SUV)	297,27	294,96	144,13	207,18

Posmatranjem rezultata, ističe se nekoliko zaključaka. Posmatrajući isključivo *Well-to-Wheel* analizu vozila sa SUS motorom, uočava se da je ukupna emisija CO₂ manja za dizel agregate u odnosu na benzinske, uprkos većoj inicijalnoj emisiji kod dizel motora. Razlog se može pronaći u manjoj potrošnji goriva dizel motora, koja je u slučaju ispitivanih vozila niža u proseku za oko 24%.

Poređenjem rezultata ukupne emisije CO₂ električnih i konvencionalnih vozila na primeru elektroenergetskog sistema Republike Srbije, može se uočiti da su u svim slučajevima električna vozila ekološki prihvatljivija, odnosno da ostvaruju niže rezultate u poređenju sa ekvivalentnim vozilima pogonjenim SUS motorima. Posmatrajući pojedinačno po klasama vozila i uzimajući medijanu ukupne emisije pri dobijanju električne energije, uočava se da se ta razlika kreće od 32% kod vozila B klase, do skoro 51% kod SUV klase, uzimajući u proračun motore sa manjom emisijom (dizel) kod konvencionalnih vozila. U poređenju električnih i vozila sa benzinskim motorom, razlika je još veća (43-54%).

Niža ukupna emisija izduvnih gasova kod električnih vozila zabeležene je i u slučaju poređenja maksimalnih vrednosti emisije pri dobijanju električne energije, odnosno u maksimalno nepovoljnom slučaju ekološkog otiska električnih vozila.

3. Zaključak

Transportni sektor, usled konstantnog rasta mobilnosti stanovništva i transportnog rada, doprinosi emisiji štetnih gasova staklene bašte, što uzrokuje sve veće negativne efekte po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Drumski transport, kao dominantan vid transporta, odgovoran je za 21% ukupne emisije CO₂, rekordnih 39% NO_x, 10% partikularnih čestica (PM10, PM2.5) itd. Prethodno navedeni podaci uzrokovali su brojna istraživanja koja su pokazala uzročnu posledičnu vezu ovih emisija i više hiljada prerano umrlih lica na godišnjem nivou.

Utvrđeno je da bi isključivo posmatrajući smanjenje emisije NO_x za samo 3 μg/m³, dovelo do pada rizika smrtnosti uzrokovanih bolestima respiratornih organa za 10-18%. Tako je EU 2010. godine usvojila strategiju smanjenja emisije CO₂ za čak 80% do 2050. godine.

Pored iskazanih rezultata, nekoliko krupnih afera koje su pogodile drumski transportni sektor, ubrzalo je iznalaženje alternativnih rešenja za smanjenje emisije. Jedna od najvećih odnosila se na VW-ov „Dieselgate“ skandal koji je pogodio više od 11 miliona prodatih vozila opremljenih softverom za lažiranje emisije izduvnih gasova, što je uzrokovao povećanje emisije NO_x u realnoj vožnji od 15 do 35, od američkih EPA standarda, odnosno četiri puta veće od evropskih standarda. Procene su da je ovoliko veća realna emisija samo u Nemačkoj uzrokovala oko 13.000 izgubljenih godina života uz troškove od 1,9 milijardi evra.

Svi prethodno navedeni rezultati istraživanja, uz izrazito negativne prognoze budućnosti i sve strožim ekološkim standardima, doprineli su snažnom trendu razvoja vozila na alternativni pogon, od kojih se poseban akcenat odnosi na vozila sa tzv. nultom emisijom, kakva su pre svega vozila na električni pogon.

Međutim, s obzirom da bi nagli porast takvih vozila doprineo većoj proizvodnji struje i opterećenju elektroenergetskih sistema različitih zemalja, koje struju dobijaju iz različitih obnovljivih ili neobnovljivih resursa, postavlja se pitanje da li bi tako uzrokovana emisija u pojedinim zemljama mogla da ima i štetnije efekte od upotrebe konvencionalnih vozila.

Rezultati brojnih istraživanja na ovu temu pokazuju da bi se na globalnom nivou zabeležilo smanjenje većine jedinjenja, sa najvećim efektom u urbanim područjima. Naime, osnovna prednost elektrifikacije saobraćajnog toka ogleda se u pomeranju emisije sa saobraćajnica na elektrane, odnosno na određene tačke u kojima je emisiju štetnih gasova moguće lakše kontrolisati.

Time bi se ostvarila poboljšanja u pogledu kvaliteta vazduha i smanjenja uticaja na zdravstveno stanje velikog broja stanovnika gusto naseljenih urbanih zona, uz nešto manje pogoršanje u neposrednoj okolini elektrana. U pogledu emisije pojedinih jedinjenja, zabeležena je redukcija emisije CO₂, NO_x, uz neznatno smanjenje PM_{2.5} i nedostatak bitnije promene PM₁₀. Neznatno smanjenje partikularnih čestica, pre svega PM₁₀, uprkos elektrifikaciji saobraćajnog toka, posledica je povećanja emisije koje nije rezultat sagorevanja goriva u SUS motorima već trošenja (abrazije) kočnica, pneumatika i puta. Naime, uočeno je da električna vozila imaju veću masu u proseku za 24%, što povećava emisiju nastalu eksploatacijom samog vozila i time kompenzuje eliminisanje emisije nastale sagorevanjem fosilnih goriva.

Zaključci većine sličnih studija pokazuju da nivo redukcije emisije polutanata zavisi od vrste električnih vozila i pojedinačnih elektroenergetskih sistema zemalja. Logično, najveći potencijal smanjenja emisije štetnih gasova zabeležen je kod zemalja sa visokim udelom obnovljivih izvora energije, kao u slučaju Norveške, koja 98% električne energije dobija iz obnovljivih izvora (dominantno iz hidro energije).

Nasuprto tome, u Južnoafričkoj Republici koja 98% električne energije dobija iz neobnovljivih izvora (pretežno ugalj) rezultuje emisiju CO₂ električnog vozila od čak 102 – 149,5 gCO₂/km, u zavisnosti od klase.

Slična analiza izvršena je i za Republiku Srbiju, u kojoj se 70% električne energije dobija iz neobnovljivih, a 30% iz obnovljivih izvora energije. Uporedna *Well-to-Wheel* analiza konvencionalnih i električnih vozila različitih klasa pokazuju da je moguće ostvariti uštedu emisije CO₂ od 32% do skoro 51% po vozilu, u zavisnosti od veličine vozila.

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. Potrebni su značajniji pomaci i u elektrifikaciji teretnih vozila kako bi se nivo emisije polutanata značajnije smanjio. Naravno, neophodne su i dodatne subvencije za uvođenje ostalih tipova vozila na alternativni pogon, koje predstavljaju dobro prelazno (hibridna i plug-in hibridna vozila) ili trajno rešenje (vozila na gorivne ćelije), kao i neprekidno istraživanje i usavršavanje postojećih tehnologija SUS motora radi što bržeg smanjenja emisija štetnih gasova drumskog transportnog sektora. Samo koordinisanim merama u borbi protiv uvećane emisije može doći do stvarnog poboljšanja kvaliteta životne sredine i zdravlja ljudi.

Zahvalnost

Ovaj rad je podržan projektom (TR 36027) Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Analysis of ecological benefits of traffic flow electrification

Nemanja Stepanović, M.Sc. TE

Vladan Tubić PhD. TE

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

Abstract: Road transport is responsible for 22% of the total CO₂ emissions, 39% of NO_x emission and 10% share of particulate matters (PM₁₀, PM_{2.5}) emission. The use of passenger cars, as an extremely dominant category of vehicles, is at constant growth, which causes an increase or insufficient reduction of Greenhouse Gas emission, despite the technological improvements of exhaust emission devices. Due to the growing harmful effects on the environment and human health, as well as the recent scandals associated with internal combustion engine technology („Dieselgate scandal“), development of new technology is fast forward toward electric vehicles. The biggest automotive corporations plan dominant fleet electrification in the next 10 years. However, sudden share increase of the electric vehicles in the traffic flow can lead to the capacity overcoming of the electricity grid network, or the issue of the "ecological footprint" of

such a trend. In this paper, the overall environmental impact (so-called Well-to-Wheel analysis) of the increasing number of electric vehicles was analysed. Comparison analysis of vehicles equipped with internal combustion engines and electric vehicles showed the absence of Greenhouse Gas emission reduction in countries with low percentage of electricity gained from renewable energy sources. Well-to-Wheel analysis was also conducted for several scenarios of electric vehicles participation in traffic flow in Republic of Serbia i.e their influence on electricity grid network and its emission.

Key words: Greenhouse gas emissions, electric vehicles, renewable energy.

Literatura

- [1] Bloomberg (2019). VW Increases Electric Vehicle Target by 50%, (on-line) available at (21.5.2019): <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-12/vw-s-audi-porsche-margins-sag-in-costly-shift-to-electric-era>
- [2] César, A. C., Carvalho, J. A., Jr, & Nascimento, L. F. (2015). Association between NO_x exposure and deaths caused by respiratory diseases in a medium-sized Brazilian city. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 48(12), 1130–1135. doi:10.1590/1414-431X20154396
- [3] Chossière, G., Malina, R., Ashok, A., Dedoussi, I., Eastham, S., Speth, R., Barrett, S. (2017). Public health impacts of excess NO_x emissions from Volkswagen diesel passenger vehicles in Germany, *Environmental Research Letters* (12-3), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5987>
- [4] Cleantechica (2019). Tesla Model 3 Battery Pack & Battery Cell Teardown Highlights Performance Improvements, (on-line) available at: <https://cleantechica.com/2019/01/28/tesla-model-3-battery-pack-cell-teardown-highlights-performance-improvements>
- [5] Glavic, D., Milenkovic, M., & Pavlović, M. (2018). Cost benefit analysis of bicycle infrastructure. *Put I Saobraćaj*, 64(3), 65-68. <https://doi.org/10.31075/PIS.64.03.08>
- [6] European Environment Agency (2018). Air pollutant emissions data viewer (LRTAP Convention), (on-line) available at (17.5.2019): <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emission-inventory-report-1990-2016>
- [7] European Commission, 2011b, Communication From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions "A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050". COM(2011) 112 Final.
- [8] European Council, 2010. Conclusions of the European Council. EUCO 7/10. CO EUR 4. CONCL 1 (March)
- [9] Gupta, S., Patil, V., Himabindu, M., Ravikrishna, R.V. (2016). Life-cycle analysis of energy and greenhouse gas emissions of automotive fuels in India: Part 1 – Tank-to-Wheel analysis, *Energy* (96), 684–698. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.031>
- [10] IEA, 2015. Electricity Information. International Energy Agency (IEA), Paris, France.
- [11] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press.
- [12] JD Power, 2013. *The Changing Landscape of the Global Automotive Industry*. McGraw Hill Financial, Westlake Village, California, USA.
- [13] Jeong, K. S., Oh, B. S. (2002). Fuel economy and life-cycle cost analysis of a fuel cell hybrid vehicle, *Journal of Power Sources* (105), 58 – 65. DOI: 10.1016/S0378-7753(01)00965-X
- [14] Jonson, J.E, Borken-Kleefeld, J, Simpson, D, Nyíri, A, Posch, M, Heyes, C (2017). Impact of excess NO_x emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe, *Environmental Research Letters*, 12, 094017 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8850>
- [15] Ma, H., Balthasar, F., Tait, N., Riera-Palou, X., Harrison, A. (2012). A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles, *Energy Policy* (44), 160–173 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.034>.
- [16] Maletin, M., Tubić, V. (2013). Basic characteristics of traffic on primary rural roads in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 3(4). [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2013.3\(4\).06](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2013.3(4).06)
- [17] Pasaoglu, G., Honselaar, M., Thiel, C. (2012). Potential vehicle fleet CO₂ reduction and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe, *Energy Policy* 40, 404 – 421. doi:10.1016/j.enpol.2011.10.025
- [18] Soret, A., Guevara, M., Baldasano, J.M. (2014). The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain), *Atmospheric Environment* (99), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.048>
- [19] Stepanović, N., Tubić, V. (2017). Alternativni pogon kao tehnologija smanjenja negativnog uticaja saobraćaja na životnu sredinu, 5. naučno-stručni skup "Put i životna sredina", ISBN 978-86-88541-08-4, Vršac, Srbija, 28 – 29. septembar, Zbornik radova, str. 230-240.
- [20] Timmers, V., Achten, P. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles, *Atmospheric Environment*(134), 10–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
- [21] Tadic, K., & Glavic, D. (2019). The analysis of fuel consumption models: A review and assessment. *Put I Saobraćaj*, 65(1), 19-23. <https://doi.org/10.31075/PIS.65.01.03>
- [22] Turconi, R., Boldrin, A., Astrup, T. (2013). Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(28), 555–565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013>
- [23] Thomas, S. (2012). How green are electric vehicles, *International journal of hydrogen energy* (37), 6053–6062. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.12.118>
- [24] Thompson G J, Carder D K, Besch M C, Thiruvengadam A and Kappanna H K 2014 In-use emissions testing of light-duty diesel vehicles in the United States (www.theicct.org/sites/default/files/publications/WVU_LDDV_in-use_ICCT_Report_Final_may2014.pdf)
- [25] Van Mierlo, J., Magetto, G. (2007). Fuel Cell or Battery: Electric Cars are the Future, *Fuel Cells* (07), No:2, 165–173. <https://doi.org/10.1002/fuce.200600052>
- [26] Woo, J., Choi, H., Ahn, J. (2017). The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain), *Atmospheric Environment* (99), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.048>