

# Utjecaj elektomobilnosti na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama

---

Orlović, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:027500>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Diplomski rad br. 053/OMIL/2020**

**Utjecaj elektromobilnosti na smanjenje eksternih troškova  
prometa u urbanim sredinama**

**Kristijan Orlović, 1060/336D**

Koprivnica, rujan 2020. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za logistiku i održivu mobilnost

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Održiva mobilnost i logistika

PRISTUPNIK Kristijan Orlović

MATIČNI BROJ 1060/336D

DATUM

KOLEGIJ

Inteligentna mobilnost

NASLOV RADA

Utjecaj elektromobilnosti na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama

NASLOV RADA NA  
ENGL. JEZIKU

The impact of electromobility on the reduction of external transport costs in urban areas

MENTOR

dr.sc. Predrag Brlek

ZVANJE

docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Ljudevit Krpan, predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. Predrag Brlek, mentor
3. doc.dr.sc. Robert Maršanić, član
4. izv.prof.dr.sc. Krešimir Buntak, član
- 5.

VŽKC

MMI

## Zadatak diplomskog rada

BROJ

053/OMIL/2020

OPIS

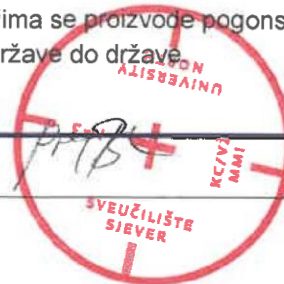
Električna vozila se u suvremeno doba smatraju tehnologijom koja će u buduće vrijeme bitno utjecati na smanjenje ukupnih eksternih troškova cestovnog prometa. Stoga se temeljne komponente (sastavnice) eksternih troškova koji nastaju upotrebom električnih vozila stalno kompariraju s onima koje stvaraju vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem (benzin, dizel, prirodni plin). Među komponente eksternih troškova pripadaju: prometne nesreće, zagađenje zraka, klimatske promjene, zagađenje zvukom i prometna zagušenja. Iste se procjenjuju tijekom čitavog životnog vijeka određenog vozila i, prema potrebi, diferenciraju prema veličini vozila i vrsti goriva, kao i mjestu i vremenu emisije. Sve prednosti navedene diferencijacije su međutim kompenzirane s velikom dozom nesigurnosti prilikom postupaka procjene rezultata ukupnih eksternih troškova. U globalu, danas se eksterni troškovi koje stvaraju električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem značajno ne razlikuju. Pri tome se prednosti kod električnih vozila mogu zabilježiti u području klimatskih promjena, zagađenju zraka u zagušenim urbanim središtima i uzrokovanju manje količine buke. Za ostvarivanje navedenih prednosti izrazito su bitne vrste elektrana u kojima se proizvode pogonska goriva, kao i odabrana strategija punjenja vozila, a isto je različito od države do države.

ZADATAK URUČEN

17.9.2020

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER





# Sveučilište Sjever

Održiva mobilnost i logistika

Diplomski rad br. 053/OMIL/2020

## Utjecaj elektromobilnosti na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama

**Student**

Kristijan Orlović, 1060/336D

**Mentor**

doc. dr. sc. Predrag Brlek, dipl. ing.

Koprivnica, rujan 2020. godine

# Predgovor

Ovaj završni rad je u cijelosti izrađen na temelju moga znanja, vještina i svih ostalih relevantnih informacija i podataka prikupljenih tijekom školovanja u prostorijama Sveučilišta Sjever u gradu Koprivnici.

Prvotno, želim se zahvaliti svome mentoru, doc. dr. sc. Predragu Brleku, dipl. ing., koji mi je zadao zanimljivu i poučnu temu, te me tijekom izrade završnog rada pravilno usmjeravao i davao korisne naputke i savjete za ispunjenje moga konačnog cilja, odnosno diplomiranja na Diplomskom sveučilišnom studiju Održiva mobilnost i logistika.

Također, želim se zahvaliti mojoj obitelji i svim prijateljima, koji su me čitavo ovo vrijeme tijekom studiranja podržavali u svakom mogućem smislu, te mi omogućili da dođem do dana kada ću diplomirati, te steći jedno novo zvanje i okončati još jedno izrazito uspješno poglavlje u svom životu.

Zahvaljujem se svima!

## Sažetak

Električna vozila se u suvremeno doba smatraju tehnologijom koja će u buduće vrijeme bitno utjecati na smanjenje ukupnih eksternih troškova cestovnog prometa. Stoga se temeljne komponente (sastavnice) eksternih troškova koji nastaju upotrebom električnih vozila stalno kompariraju s onima koje stvaraju vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem (benzin, dizel, prirodni plin). Među komponente eksternih troškova pripadaju: prometne nesreće, zagađenje zraka, klimatske promjene, zagađenje zvukom i prometna zagušenja. Iste se procjenjuju tijekom čitavog životnog vijeka određenog vozila i, prema potrebi, diferenciraju prema veličini vozila i vrsti goriva, kao i mjestu i vremenu emisije. Sve prednosti navedene diferencijacije su međutim kompenzirane s velikom dozom nesigurnosti prilikom postupaka procjene rezultata ukupnih eksternih troškova. U globalu, danas se eksterni troškovi koje stvaraju električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem značajno ne razlikuju. Pri tome se prednosti kod električnih vozila mogu zabilježiti u području klimatskih promjena, zagađenju zraka u zagušenim urbanim središtima i uzrokovanju manje količine buke. Za ostvarivanje navedenih prednosti izrazito su bitne vrste elektrana u kojima se proizvode pogonska goriva, kao i odabrana strategija punjenja vozila, a isto je različito od države do države.

**Ključne riječi:** električna vozila, tehnologija budućnosti, eksterni troškovi prometa

## **Abstract**

In modern times, electric vehicles are considered a technology that will significantly reduce the total external costs of road traffic in the future. Therefore, the basic components (elements) of external costs arising from the use of electric vehicles are constantly compared with those generated by vehicles with internal combustion engines (petrol, diesel, natural gas). External cost components are included in: road accidents, air pollution, climate change, sound pollution and traffic congestion. They are assessed over the lifetime of a particular vehicle and, where appropriate, differentiated according to vehicle size and fuel type, as well as the place and time of emission. All the advantages of this differentiation are, however, offset by a high dose of uncertainty in the procedures for estimating the results of total external costs. Globally, today the external costs generated by electric vehicles and vehicles with internal combustion engines do not differ significantly. The advantages of electric vehicles can be seen in the areas of climate change, air pollution in congested urban centers and causing less noise. To achieve these benefits, the types of power plants in which motor fuels are produced are extremely important, as well as the chosen strategy of refueling vehicles, and the same varies from country to country.

**Keywords:** electric vehicles, technology of the future, external traffic costs

## Popis korištenih kratica

<b>BDP</b>	bruto domaći proizvod
<b>BCG</b>	Boston Consulting Group, konzultantsko poduzeće
<b>BEV</b>	akumulatorsko električno vozilo
<b>CAM</b>	Centar za upravljanje automobilizmom
<b>CVH</b>	Centar za vozila Hrvatske
<b>CO<sub>2</sub></b>	ugljik dioksid
<b>DC-DC</b>	istosmjerna struja, pretvarač
<b>GFA</b>	Njemačko savezno udruženje za eMobilnost
<b>GPS</b>	globalni položajni sustav
<b>HEV</b>	električno vozilo
<b>ICEV</b>	vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem
<b>IPCC</b>	Međunarodni odbor za klimatske promjene
<b>IT</b>	informacijska tehnologija
<b>NO<sub>x</sub></b>	dušik oksid
<b>REEV</b>	električno vozilo s većim dosegom



# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
1.1. Predmet i problem istraživanja .....	1
1.2. Izvori podataka .....	2
1.3. Metode istraživanja.....	2
1.4. Struktura rada .....	2
<b>2. Općenito o pojmu elektromobilnosti</b> .....	<b>4</b>
2.1. Važnost elektromobilnosti u sadašnjosti i budućnosti.....	5
2.2. Način rada električnih vozila .....	6
2.2.1. Dizajn električnih vozila.....	6
2.2.2. Punjenje električnih vozila .....	7
2.2.3. Potrošnja električnih vozila .....	8
2.3. Specifičnosti i zanimljivosti povezane s elektromobilnošću .....	9
2.3.1. Prvo električno vozilo u svijetu .....	10
2.3.2. Brzine današnjih električnih vozila .....	10
2.3.3. Doseg putovanja električnih vozila .....	11
2.3.4. Stanje današnje upotrebe električnih vozila .....	12
2.4. Prednosti elektromobilnosti .....	12
<b>3. Eksterni troškovi u realizaciji cestovnog prometa</b> .....	<b>14</b>
3.1. Eksterni troškovi prometnih nesreća .....	15
3.2. Eksterni troškovi klimatskih promjena.....	16
3.3. Eksterni troškovi zagađenja zraka .....	17
3.4. Eksterni troškovi zagađenja zvukom.....	18
3.5. Eksterni troškovi zagušenja .....	19
<b>4. Utjecaj elektromobilnosti na eksterne troškove prometa</b> .....	<b>20</b>
4.1. Elektromobilnost i eksterni troškovi prometnih nesreća i zagušenja .....	20
4.2. Elektromobilnost i eksterni troškovi zagađenja zraka .....	20
4.3. Elektromobilnost i eksterni troškovi klimatskih promjena.....	23
4.4. Elektromobilnost i eksterni troškovi zagađenja zvukom.....	25
4.5. Sažetak procjene eksternih troškova za električna vozila .....	26

4.6. Ekstrapolacija eksternih troškova električnih vozila do 2030. godine .....	27
4.7. Komparacija eksternih troškova električnih i konvencionalnih vozila .....	29
4.8. Ishodi primjene električnih vozila na eksterne troškove u budućnosti.....	32
<b>5. Elektromobilnost i eksterni troškovi prometa u EU i RH .....</b>	<b>34</b>
5.1. Ukupni eksterni troškovi prometa u EU s osvrtom na RH.....	34
5.2. Elektromobilnost u Republici Hrvatskoj .....	38
5.3. Proizvodnja električnih vozila u Republici Hrvatskoj.....	39
<b>6. Zaključak.....</b>	<b>41</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>43</b>
<b>Popis slika.....</b>	<b>45</b>
<b>Popis tablica .....</b>	<b>46</b>
<b>Popis grafikona .....</b>	<b>47</b>

# 1. Uvod

U suvremeno doba kada se u čitavome svijetu pridaje velika pozornost, odnosno pažnja očuvanju i zaštiti okoliša (utjecaji globalnog zatopljenja, klimatskih promjena, drastičnog smanjenja zaliha fosilnih goriva, zagađenja zraka i dr.), na što sami promet ima veliki utjecaj, elektromobilnost se ističe kao specifičan pojam čija je budućnost upotrebe zasigurno svijetla. Navedenu tehnologiju (energiju) i prijevozna sredstva koja se istom služe (automobili, kamioni, bicikli, autobusi itd.) opisuju tri svojstva, a to su ekološka prihvatljivost, tišina i učinkovitost. Iako postoje još brojne prepreke koje je potrebno savladati kako bi se iskoristile sve prednosti elektromobilnosti, proboj takvih vozila na tržištu je sve veći, te je pitanje vremena kada će preuzeti primat u razvoju i korištenju od strane šire javnosti. Kao glavna misao vodilja ili neka ideja u razvoju elektromobilnosti ističe se fraza koja glasi da: „Mobilnost u budućnost mora pod svaku cijenu postati neutralna po pitanju CO<sub>2</sub>“. Električna i hibridna vozila emitiraju dosta manje ispušnih plinova u zrak nego li vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Stoga je elektromobilnost jedan od načina da se ta misao/ideja sprovede u stvarnost, jer se energija koja pokreće električna vozila dobiva u cijelosti iz obnovljivih izvora. Boston Consulting Group (BCG), američko konzultantsko poduzeće za upravljanje, predviđa da će električna vozila do 2030. godine imati tržišni udio od najmanje 50%. No, što će zapravo značiti taj prelazak na potpuno novi oblik energije i kakav će utjecaj imati na sva područja ljudskog djelovanja, s posebnim osvrtom na promet u urbanim sredinama, biti će opsežno, odnosno detaljno razrađeno i analizirano kroz obradu u ovome radu.

## 1.1. Predmet i problem istraživanja

Kao osnovni predmeti istraživanja u obradi zadane tematike u ovome diplomskom radu ističu se pojmovi elektromobilnosti i eksterni troškovi prometa u urbanim sredinama, odnosno na koje sve načine elektromobilnost utječe na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama diljem čitavog svijeta.

Eksterni troškovi prometa u prijevoznom procesu se ističu kao vrlo bitan pojam kojega čine nekoliko različitih vrsta troškova. Njih same je izrazito teško kvantificirati i donijeti im konačnu novčanu vrijednost, pa je ujedno zbog toga teško i prikupiti pravovaljane informacije koje bi točno mogle odrediti utjecaj eksternih troškova.

## 1.2. Izvori podataka

U izradi ovog diplomskog rada i obradi zadane tematike, autor je upotrebljavao različitu elektroničku i tiskanu literaturu. Korišteni izvori detaljno su obrađeni, proučeni i analizirani, te predstavljaju osnovu za lakše razumijevanje obrađivane tematike, a u rad su prenesene većinom autorskim riječima, dok je manji dio citiran i prenesen doslovno, što je i uredno prema pravilima naznačeno u samome tekstu.

## 1.3. Metode istraživanja

Prilikom pisanja ovog diplomskog rada korištene su različite metode istraživanja, a navode se prema sljedećem redu:

- obrada podataka,
- integriranje podataka,
- sinteza,
- analiza,
- komparacija,
- statistička obrada.

## 1.4. Struktura rada

U poglavlju *Uvod* je napravljen kratak uvod u tematiku koja će se obrađivati kroz ovaj rad, a ujedno su navedeni predmet i problem istraživanja, izvori podataka, metode istraživanja i sama struktura rada po poglavljima.

Drugo poglavlje nosi naziv *Općenito o pojmu elektromobilnosti*, u kojemu se objašnjava sve relevantno uz pojam elektromobilnosti – važnost tehnologije, način rada električnih vozila, specifičnosti i zanimljivosti, te prednosti.

Treće poglavlje u ovom radu krije se iza naziva *Eksterni troškovi u realizaciji cestovnog prometa*, a u njemu se isti redom navode (eksterni troškovi prometnih nesreća, eksterni troškovi klimatskih promjena, eksterni troškovi zagađenja zraka, eksterni troškovi zagađenja zvukom, eksterni troškovi zagušenja) i detaljno objašnjavaju.

Četvrto poglavlje pod nazivom *Utjecaj elektromobilnosti na eksterne troškove prometa* objašnjava moguće utjecaje sve veće primjene električnih vozila na prometnicama u kontekstu djelovanja na eksterne troškove cestovnog prometa.

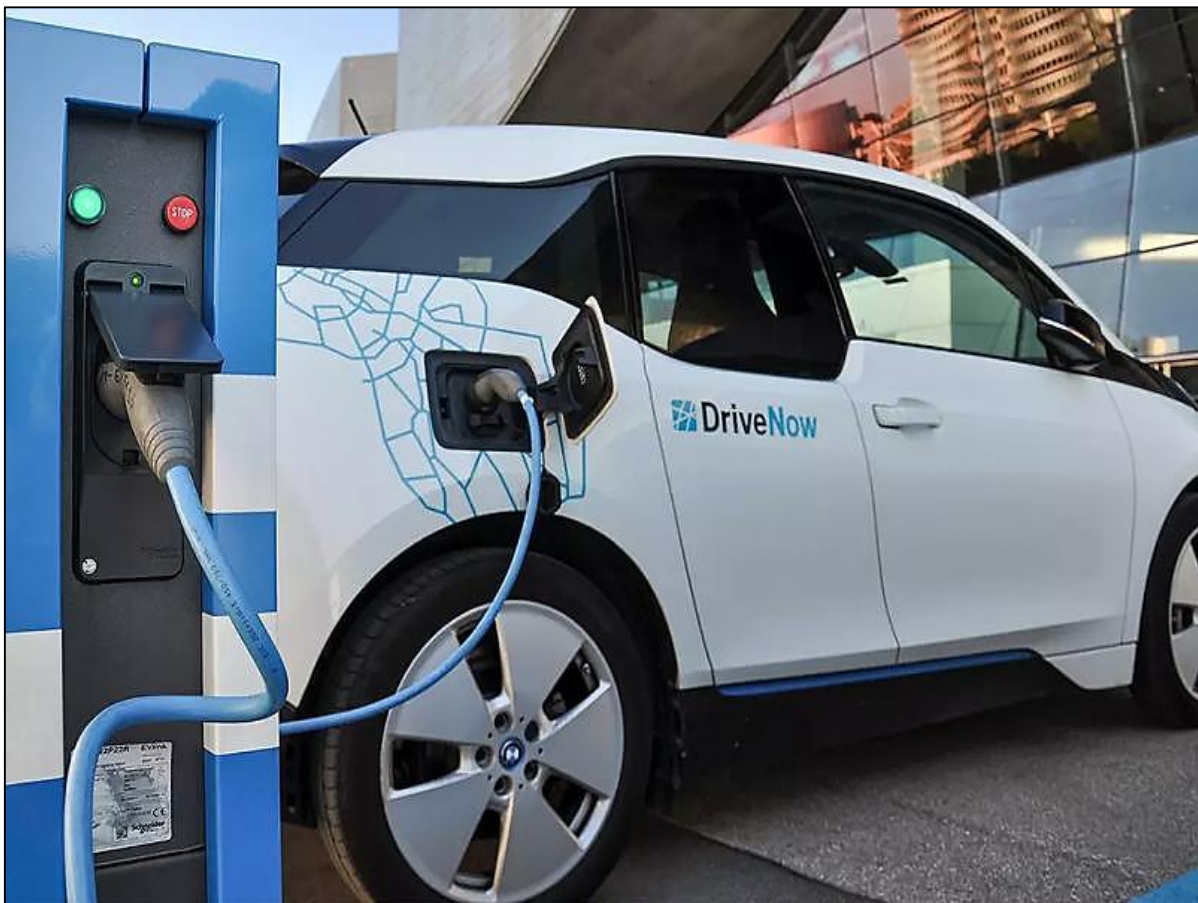
Peto poglavlje nosi naziv *Elektromobilnost i eksterni troškovi prometa u EU i RH*, a u njemu se navode statistički podaci povezani s eksternim troškovima na području EU, gdje se jedan poseban naglasak stavlja na Republiku Hrvatsku, kao i na trenutno stanje s upotrebom i proizvodnjom električnih vozila na području iste.

U šestom poglavlju pod nazivom *Zaključak* je ukratko sistematizirano sve ranije rečeno, opisano, obrađeno, analizirano i navedeno u ovome radu.

## 2. Općenito o pojmu elektromobilnosti

Elektromobilnost ili skraćeno e-mobilnost je upotreba različitih električnih vozila (Slika 1.) poput automobila, kamiona, bicikala, autobusa i dr. za potrebe prijevoza na prometnicama diljem svijeta. Zajedničke karakteristike, odnosno svojstva svih njih je da se u potpunosti ili djelomično voze uz upotrebu električnog pogona, imaju prostor za pohranu električne energije, gdje istu dobivaju uglavnom posredstvom elektroenergetske mreže. Električna vozila su vrlo tiha, učinkovita i ekološki prihvatljivija, a u urbanim sredinama se već, osim u privatne svrhe, koriste i za potrebe usluga dostave, prijevoza, taxija i dr. [1]

Slika 1. Električno vozilo i način punjenja

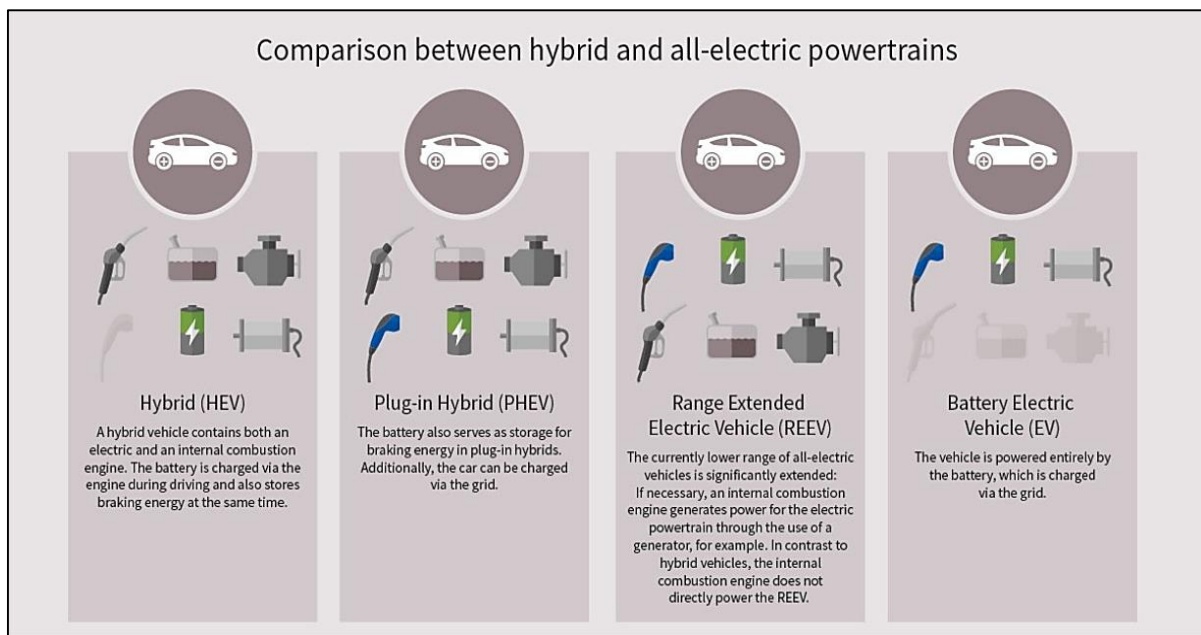


Izvor: Električni automobili u BiH. HIP Portal. Bosna i Hercegovina. 2018. < raspoloživo na: <https://hip.ba/2018/08/13/elektricni-automobili-u-bih-nema-zakona-ni-povlastica/> > [04.08.2020.]

Uz potpuno električna vozila, u kategoriju elektromobilnosti možemo ubrojiti i hibridna vozila, koja za pogon koriste, odnosno kombiniraju dvije tehnologije. Pri tome za nešto kraće udaljenosti uglavnom koriste električni pogon, dok se za kilometražom duža putovanja brine motor s unutarnjim izgaranjem. Hibridna vozila električnu energiju mogu prikupljati tijekom

kočenja, ali se poglavito napajaju na način koji koriste i potpuno električna vozila, tj. na raznim električnim punionicama, kao što je i prikazano iznad na Slici 1. Hibridna vozila se u svijetu tehnologije tretiraju kao prijelazna, odnosno tranzitna, do trenutka kada se u budućem vremenu svi automobili, kamioni, bicikli, autobusi i ostala prijevozna sredstva budu mogla u potpunosti napajati električnom energijom, neovisno o bilo kakvim uvjetima. Sama komparacija između električnog i hibridnog pogona prikazana je niže na Slici 2.

Slika 2. Komparacija električnog i hibridnog pogona



Izvor: What you need to know about electromobility. Infineon. München. 2018. < raspoloživo na: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electromobility/> > [04.08.2020.]

## 2.1. Važnost elektromobilnosti u sadašnjosti i budućnosti

U današnje vrijeme emisije štetnih plinova imaju ogroman negativan utjecaj na klimu i naš okoliš. Iz dana u dan, sve više i više CO<sub>2</sub> ulazi u atmosferu, što rezultira time da Zemlja postaje sve toplija i toplija. Prema istraživanjima provedenim od strane Međunarodnog odbora za klimatske promjene (IPCC), promet i njegovi štetni utjecaji su odgovorni za čak 23% svih emisija CO<sub>2</sub> u svijetu. Kako je i već ranije navedeno, glavna prednost vozila koja se koriste tehnologijama elektromobilnosti je u tome što emitiraju mnogo manje ili uopće ne emitiraju CO<sub>2</sub> u zrak tijekom rada, odnosno vožnje. Ona vozila koja uopće ne emitiraju CO<sub>2</sub>, koriste se električnom energijom dobivenom iz obnovljivih izvora, a upravo to je ono što bi svakako trebalo preuzeti primat na tržištu u skorijoj budućnosti. Što se više na nekom području nalazi vozila koja emitiraju mali postotak CO<sub>2</sub> u zrak, on postaje kvalitetniji i čišći za život i zdravlje

svih u tom okruženju, što je posebno bitno za urbane sredine, gdje obitava veliki broj ljudi. Prema procjenama, broj ljudi koji žive u urbanim sredinama (gradovima) će nastaviti sve više i više rasti, gdje će do 2050. godine živjeti oko 70% od ukupnog broja svjetskog stanovništva. Motori s unutarnjim izgaranjem polako se približavaju kraju svoga životnog vijeka, zbog toga jer su fosilna goriva poput nafte (iz koje se dobivaju benzin i dizel) ograničeni resursi. Koliko će vremenski još potrajati trenutne zalihe, pitanje je koje se sve češće provlači u svijetu prometa i automobilizma. Prema studiji provedenoj prije tri godina pod nazivom „Statistički pregled svjetske energije 2017“, trenutno poznate svjetske zalihe potrajati će još oko 50-ak godina s obzirom na aktualnu razinu potrošnje. Kako bi se omogućila lakša dostupnost različitih vozila s alternativnim pogonima za širu javnost, mnoge zemlje nude poticaje u određenim postotcima za kupnju e-automobila, gdje se najviše od svih ističe Norveška, ali i ostale razvijenije zemlje svijeta kao što su primjerice: Kina, SAD, Njemačka, Velika Britanija, Francuska, Nizozemska, Švedska, Danska, Finska itd. [1]

## **2.2. Način rada električnih vozila**

U ovom dijelu rada biti će opisano i analizirano sljedeće:

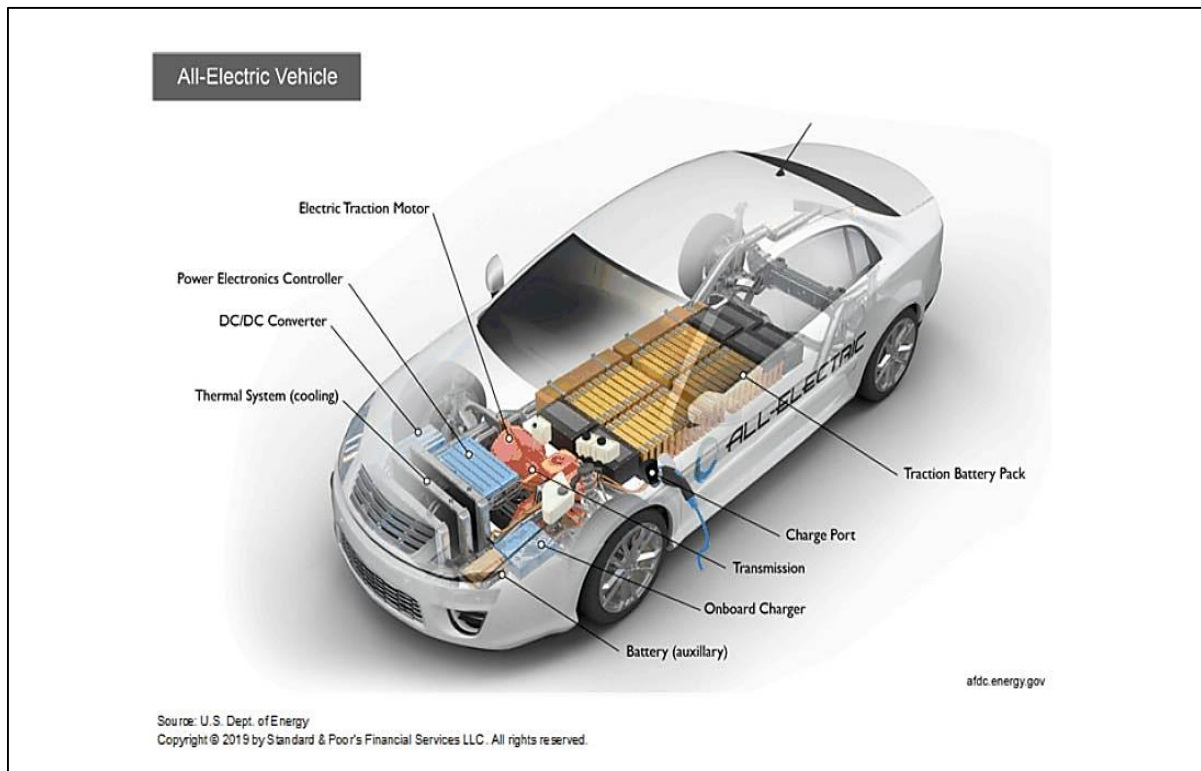
- dizajn električnih vozila,
- punjenje električnih vozila,
- potrošnja električnih vozila.

### **2.2.1. Dizajn električnih vozila**

Električna energija se u dizajniranju električnih vozila pohranjuje u punjivu bateriju. Za samo pokretanje vozila izrazito su bitni tzv. pretvarači, koji istosmjernu struju iz akumulatora pretvaraju u izmjeničnu struju za pogon elektromotora. Što je konverzija energije učinkovitija, to i samo vozilo može preći veću udaljenost s potpuno napunjenom baterijom. Nakon toga, električni motor dobivenu električnu energiju pretvara u mehaničku (prilikom čega se stvaraju magnetska polja). Njihove privlačne i odbijajuće sile proizvode tzv. rotacijsko gibanje, koje u konačnici i pokreće samo vozilo, odnosno njegov mehanizam. Bitan element električnih vozila je i DC-DC pretvarač, koji visoki napon akumulatora (100-400 volta i više) učinkovito pretvara u daleko niži napon (12 ili 48 volti) za elektroničke komponente. Detaljan dizajn električnog vozila sa svim bitnim dijelovima prikazan je niže na Slici 3. [1]



Slika 3. Dizajn i dijelovi električnog vozila



Izvor: Schmidt, B.: Some traditional auto companies won't survive EV transition. The Driven. Australia. 2019.  
< raspoloživo na: <https://bit.ly/3ayQKwL> > [05.08.2020.]

## 2.2.2. Punjenje električnih vozila

Električna vozila se, kako je već i ranije u poglavlju navedeno, pune preko utičnice u punionici, tj. postaji za punjenje. No, zanimljiva informacija je da ih, prema istraživanju koja su provedena u Njemačkoj (od strane German Federal Association for eMobility - GFA), čak 80% vlasnika puni preko vlastite kućne utičnice. Prosječna dužina punjenja do punog kapaciteta baterije traje oko 8 sati, ovisno o vrsti vozila i akumulatora. Punjenje baterije vozila na javnim postajama s izmjeničnom strujom traje jednako dugo, dok je na postajama za brzo punjenje s istosmjernom strujom za isto potreban samo jedan sat. Razlog – baterija u električnom vozilu mora se napuniti istosmjernom strujom, dok je električna energija iz javne mreže izmjenična, te ju zbog toga pretvarač u vozilu mora prvotno pretvoriti. Ranije spomenute postaje za brzo punjenje vozila s istosmjernom strujom omogućuju visoke performanse punjenja, ali se rjeđe postavljaju zbog toga što su dosta skuplje. Za punjenje električnih vozila na oba tipa stanica koristi se posebna vrsta kabela. U tijeku je razvoj tehnologije koja uključuje primjenu super-brzih punjača s ultra snagom (Slika 4.) i baterija izrazito visokih performansi, a omogućiti će potpuno punjenje za 20 minuta ili manje. [1]

Slika 4. Postaje s punjačima ultra snage



Izvor: Els, P.: Electric Vehicle Charging, Automotive IQ. Berlin. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3kVQcWn> > [05.08.2020.]

### 2.2.3. Potrošnja električnih vozila

Ukupna potrošnja električnih vozila mjeri se u kilovat-satima (kWh) na 100 prijeđenih kilometara. Sama potrošnja uvelike ovisi o veličini i težini vozila. Tako ona vrlo malena i lagana mogu imati potrošnju manju i od 7 kWh na 100 prijeđenih kilometara, što predstavlja izrazito visoku razinu učinkovitosti vozila. Najkorišteniji su kompaktni električni automobili, čija potrošnja varira između 11-13 kWh na 100 prijeđenih kilometara. Na drugu stranu, električna vozila više klase mogu imati potrošnju od 18 ili više kWh na 100 prijeđenih kilometara. No, takva vozila (premium klasa) posjeduju i izrazito kvalitetne baterije s visokim performansama, koje im omogućuju prelazak od čak 600 kilometara s jednim potpunim punjenjem. Potrošnja nekih od najpoznatijih modela električnih automobila je prikazan u niže navedenoj Tablici 1., gdje su obuhvaćeni oni s najoptimalnijom potrošnjom od svakog zasebnog proizvođača. Tu svakako kao najoptimalnijeg potrošača treba istaknuti Toyotin Prius, koji na 100 prijeđenih kilometara potroši tek 7,2 kWh. [1]

Tablica 1. Potrošnja energije raznih električnih vozila

RB	Model električnog automobila	Potrošnja na 100 km (u kWh)
1.	Audi A3 Sportback e-tron	11,4
2.	BMW 330e Limousine	11,9
3.	<b>Chevrolet Volt</b>	<b>22,4</b>
4.	Citroën Berlingo Electric	17,7
5.	e.GO Life 20	11,9
6.	Fisker Karma	20,6
7.	Ford Focus Electric	15,4
8.	Hyundai IONIQ Elektro	11,5
9.	Jaguar I-PACE	21,2
10.	Kia e-Niro	13,9
11.	Mercedes-Benz S 500 e	13,5
12.	Mitsubishi i-MiEV	12,5
13.	Nissan Leaf	15,0
14.	Opel Ampera-e	14,5
15.	Peugeot iOn	14,5
16.	Porsche Panamera 4 E-Hybrid	15,9
17.	Renault Twizy 45	8,4
18.	Smart EQ Forfour Electric Drive	13,1
19.	Tesla Model 3	14,1
20.	<b>Toyota Prius Plug-In Hybrid</b>	<b>7,2</b>
21.	Volkswagen e-up!	11,7
22.	Volvo C30 Electric	17,5

Izvor: Charging Time Summary for EVs. The Mobility House. München. 2020. < raspoloživo na: [https://www.mobilityhouse.com/int\\_en/knowledge-center/charging-time-summary](https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-time-summary) > [07.08.2020.]

### 2.3. Specifičnosti i zanimljivosti povezane s elektromobilnošću

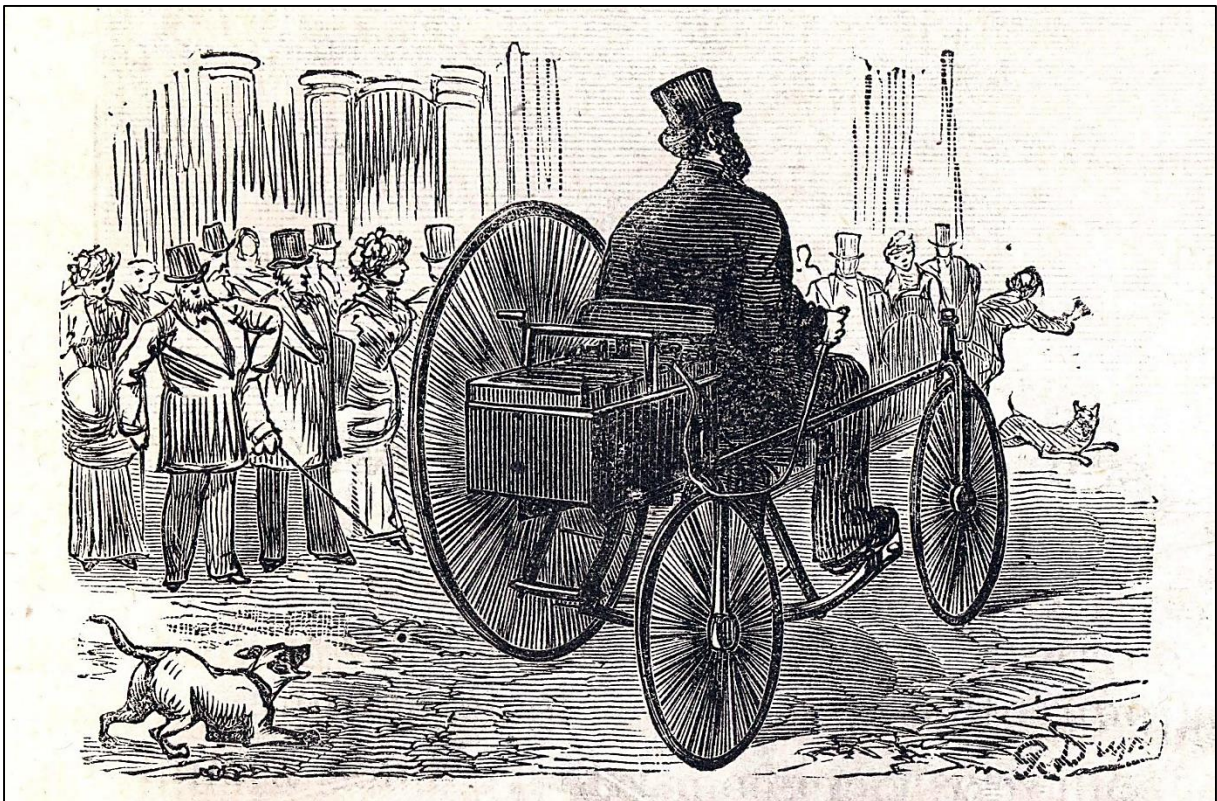
U ovom dijelu rada navesti će se neke zanimljive specifičnosti i zanimljivosti koje su povezane s dosadašnjim razvojem električnih vozila, kao i neke općenite činjenice i informacije o istima. Navedeno uključuje definiranje prvog električnog vozila u svijetu, kao i raznorazne druge podatke koje su bitne za definiranje njegovog pojma.



### 2.3.1. Prvo električno vozilo u svijetu

Prvi oblik električnog vozila u svijetu, ali i općenito nekog vozila na motorni pogon, predstavio je 1881. godine francuski inženjer Gustave Trouvé. Bio je to tricikl s električnim motorom i baterijom (prikazan na Slici 5.), a mogao je postići brzinu od 10 km/h, što se u to vrijeme smatralo nevjerojatno brzim. Usporedbe radi, prvi Benzov automobil s motorom s unutarnjim izgaranjem predstavljen je 1886. godine. [1]

Slika 5. Prvo električno vozilo



Izvor: Smith, J.: Introducing the French inventor of the electric car. The Connexion. Monaco. 2017. < raspoloživo na: <https://bit.ly/32hcJon> > [08.08.2020.]

### 2.3.2. Brzine današnjih električnih vozila

Električna vozila nemaju transmisiju, pa zbog toga lakše ubrzavaju i postižu određene brzine od vozila koje pokreće benzinski ili dizelski motor. No, koje su najveće brzine koje ista mogu postići? Manji električni automobili dostižu brzine od oko 120 km/h, dok sportska verzije istih mogu dosegnuti brzine i od 200 km/h ili više. Zanimljivo, trenutno se kao najbrži električni automobil na svijetu ističe onaj hrvatske proizvodnje. Proizveden je od strane autokompanije

„Rimac Automobili“, a krije se iza naziva „Rimac C\_Two“. Ovaj sportski električni automobil visoke klase (Slika 6.) prožet je s najsuvremenijom tehnologijom i tehnološkim rješenjima, a u punom zamahu dostiže maksimalnu brzinu od 412 km/h, što je nevjerovatno za jedno električno vozilo koje pokreće elektropogon. [1]

Slika 6. Električni automobil „Rimac C\_Two“



Izvor: Rimac C\_Two. Rimac Automobili. Sveta Nedjelja. 2020. < raspoloživo na: [https://www.rimac-automobili.com/en/hypercars/c\\_two/](https://www.rimac-automobili.com/en/hypercars/c_two/) > [08.08.2020.]

### 2.3.3. Doseg putovanja električnih vozila

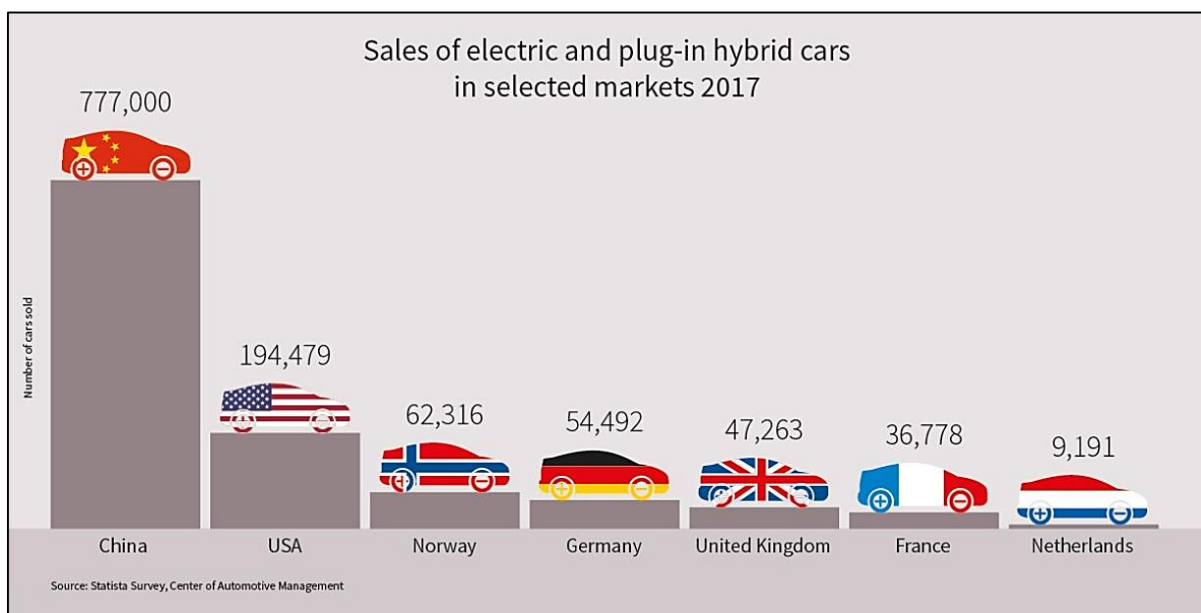
Većina današnjih električnih vozila može preći udaljenosti između 150 i 350 kilometara s jednim punjenjem, ovisno o vrsti, modelu i tipu. No, upravo to ih čini idealnim za vožnju po gradovima, odnosno urbanim sredinama. Naravno, električni automobili više klase mogu preći i veće udaljenosti, od 500 km ili više s jednim punjenjem, no oni su dostupni samo za one koji imaju dublji džep. Ukupni doseg električnih vozila u kilometrima uvelike ovisi o nekoliko različitih čimbenika, a tu pripadaju [1]:

- izrazito niske ili visoke temperature, koje djeluju na povećanje potrošnje baterije;
- upotreba raznih sustava tijekom vožnje, kao npr. radija, klimatizacije i dr.;
- stalna ubrzanja i kočenja, koja također djeluju na povećanje potrošnje baterije;
- ostalo.

### 2.3.4. Stanje današnje upotrebe električnih vozila

Elektromobilnost postiže iz dana u dan sve veći i veći napredak diljem čitavog svijeta. Statistički gledano, 54.000 e-automobila i priključnih hibrida prodano je u Njemačkoj 2017. godine (istraživanje provedeno od strane Centra za upravljanje automobilizmom – CAM). To čini Nijemce četvrtom zemljom u svijetu po prodaji električnih automobila. U istome naravno prednjači Kina, gdje je tijekom 2017. godine prodano ukupno 777.000 električnih automobila i priključnih hibrida. Drugu i treću poziciju zauzimaju SAD i Norveška, s prodanih 194.479, odnosno 62.316 vozila. Međutim, Norveška ima najbolji omjer prodaje od svih navedenih zemalja u odnosu na ukupan broj stanovnika. Detaljan prikaz prodaje u svim ostalim zemljama može se vidjeti na niže predočenom Grafikonu 1.

Grafikon 1. Prodaja e-automobila na različitim tržištima



Izvor: What you need to know about electromobility. Infineon. München. 2018. < raspoloživo na: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electromobility/> > [04.08.2020.]

### 2.4. Prednosti elektromobilnosti

Može se reći da e-vozila mijenjaju način na koji se krećemo, i to ne samo zato što su ekološki prihvatljiviji. Električni automobil košta više od usporedivih benzinskih i dizelskih vozila – uglavnom zbog velikih troškova proizvodnje baterije, iako su se isti nešto i snizili kroz zadnjih par godina. Međutim, električna energija je dosta jeftinija od fosilnih goriva, a vozila koja se pokreću elektromotorom zahtijevaju rjeđa održavanja i popravke od onih pokretanih s

benzinskim ili dizelskim motorom. E-vozila ne zahtijevaju promjenu ulja i raznih filtera, te na njima ne postoji ispušni sustav, remeni i klinasti pojasevi. Motor s unutarnjim izgaranjem ima oko 2.500 komponenti koje je potrebno proizvesti i sastaviti, dok elektromotor ima tek oko 250 njih. Električni automobili se brzo servisiraju pomoću softverskih ažuriranja (poput mobitela, računala, tableta, pametnih satova i dr.). Za isto je potrebno stabilna i brza internetska veza, što može predstavljati problem u ruralnijim područjima.

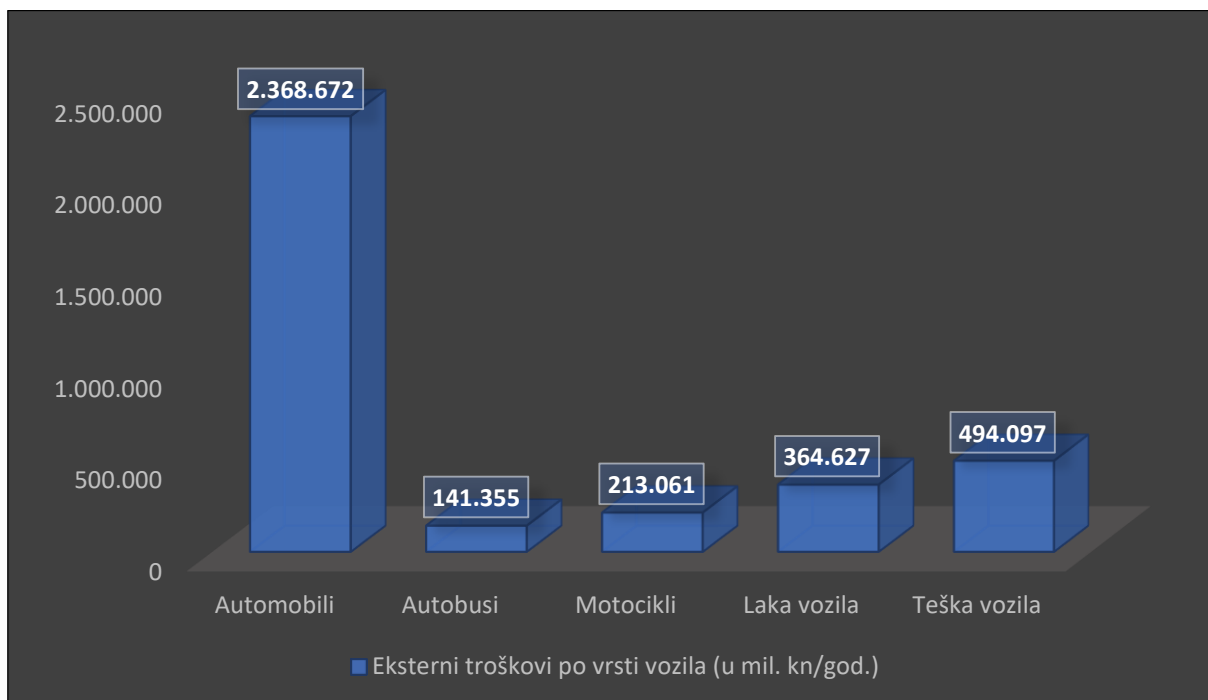
Litij-ionske baterije koje se koriste u e-vozilima imaju dugi životni vijek, visoku gustoću energije i mogu se stalno iznova nadopunjavati. Baterije gube određeni dio svog kapaciteta nakon 8 do 10 godina, no to ne znači da su oštećene, već jednostavno pohranjuju nešto manje energije. Većina električnih automobila danas posjeduje baterije kapaciteta od 20 do 60 kWh. Baterije će se u budućnosti u e-automobilima koristiti za koncepciju i stabilizaciju tzv. pametnih mreža. Ako primjerice Sunce i vjetar osiguravaju većinu kapaciteta opskrbe energijom, javiti će se problem – ponuda i potražnja za će varirati, ovisno o vremenskim prilikama i neprilikama. Stoga bi se inteligentna tehnologija, koja će se u budućnosti ugrađivati u e-automobile, trebala koristiti za apsorpiranje i skladištenje viška energije, npr. kada ima mnogo sunčanih dana ili je vrijeme izrazito vjetrovito. Na drugu stranu, s inteligentnom tehnologijom bi se mogao prebaciti višak energije iz e-automobila natrag u pametnu mrežu. Instaliranjem fotonaponskog sustava na krov svoje kuće, vlasnici e-automobila mogu uvelike smanjiti ovisnost o vanjskim izvorima energije. Također, pomoću implementacije zidne kutije mogu se eliminirati nepotrebne vožnje s električnim automobilom do servisne postaje. [1]



### 3. Eksterni troškovi u realizaciji cestovnog prometa

Eksterni troškovi u cestovnom prometu predstavljaju najveći udio od svih ostalih oblika i grana prometa (željeznički, zračni itd.), ako promatramo ukupnu količinu putnika i robe koja se svakodnevno preveze s istim. Prema provedenim istraživanjima, ukupni eksterni troškovi za putnički prijevoz iznose oko 490 kn po 1.000 pkm (putničkih kilometara), dok na drugu stranu prosječni eksterni trošak za teretni prijevoz iznosi 377 kn po 1.000 tkm (teretni kilometar). U sami izračun prosjeka uključeni su eksterni troškovi za laka vozila s 1.100 kn po 1.000 tkm, kao i oni za teška vozila s 256 kn po 1.000 tkm. Ukupni eksterni troškovi cestovnog prometa po vrsti vozila prikazani su niže na Grafikonu 2.

Grafikon 2. Ukupni eksterni troškovi prometa po vrsti vozila



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

Prema nekoj generalnoj, odnosno općenitoj podjeli (sistematizaciji), eksterni troškovi cestovnog prometa sastoje se od:

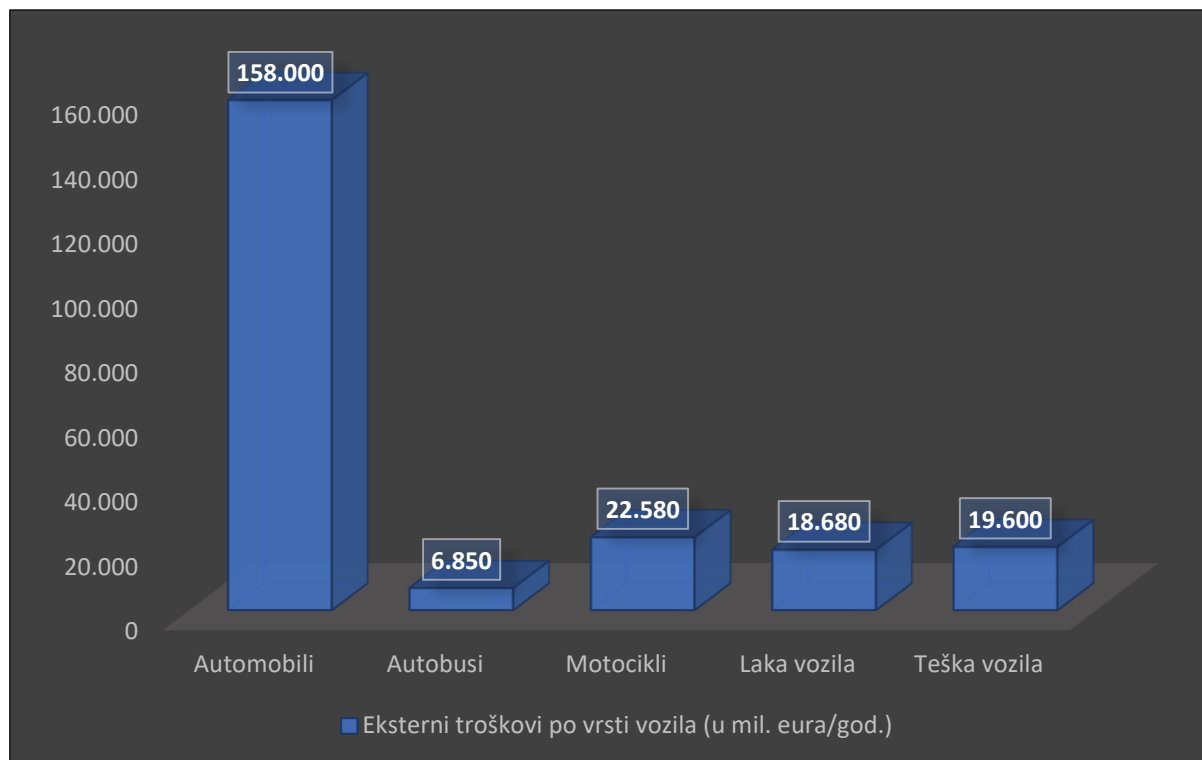
- eksternih troškova prometnih nesreća,
- eksternih troškova klimatskih promjena,
- eksternih troškova zagađenja zraka,
- eksternih troškova zagađenja zvukom,
- eksternih troškova zagušenja.



### 3.1. Eksterni troškovi prometnih nesreća

Najveća komponenta eksternih troškova u cestovnom prometu je dakako ona koja se veže uz pojam prometnih nesreća, a u prosjeku iznose oko 190.000 mil. eura na godinu dana. Najveći udio otpada na osobna vozila, s iznosom od 158.000 mil. eura na godinu. Usporedno s time, eksterni troškovi prometnih nesreća za teretna vozila iznose približno 38.000 mil. eura na godinu dana, što je za oko četiri puta manje od onih koji se vežu uz osobna vozila. Eksterni troškovi prometnih nesreća u putničkom cestovnom prijevozu obuhvaćeni su s 33,6 eura po 1.000 pkm, dok su isti u teretnom cestovnom prijevozu čak duplo manji, s iznosom od 17 eura po 1.000 tkm. Razlog toga se donekle nameće sam po sebi, zbog toga što osobnim vozilima upravljaju osobe koje nemaju profesionalno iskustvo u vožnji. Pri tome se ta ista vožnja odvija u raznoraznim stanjima, koja uključuju pijanstvo, iritiranost, umor, razdražljivost i sva druga moguća stanja koja mogu drastično utjecati na pribranost osobe i smanjiti njezinu koncentraciju prilikom upravljanja vozilom. Na drugu stranu, teretnim vozilima upravljaju profesionalni vozači, koji su kvalificirani za vožnju, te svjesni svojih ponašanja i djelovanja na cesti, a ujedno imaju i određenu vrstu odgovornosti prema poslu kojega obavljaju. Ukupni eksterni troškovi prometnih nesreća po vrsti vozila prikazani su niže na Grafikonu 3. [2]

Grafikon 3. Ukupni eksterni troškovi prometnih nesreća po vrsti vozila

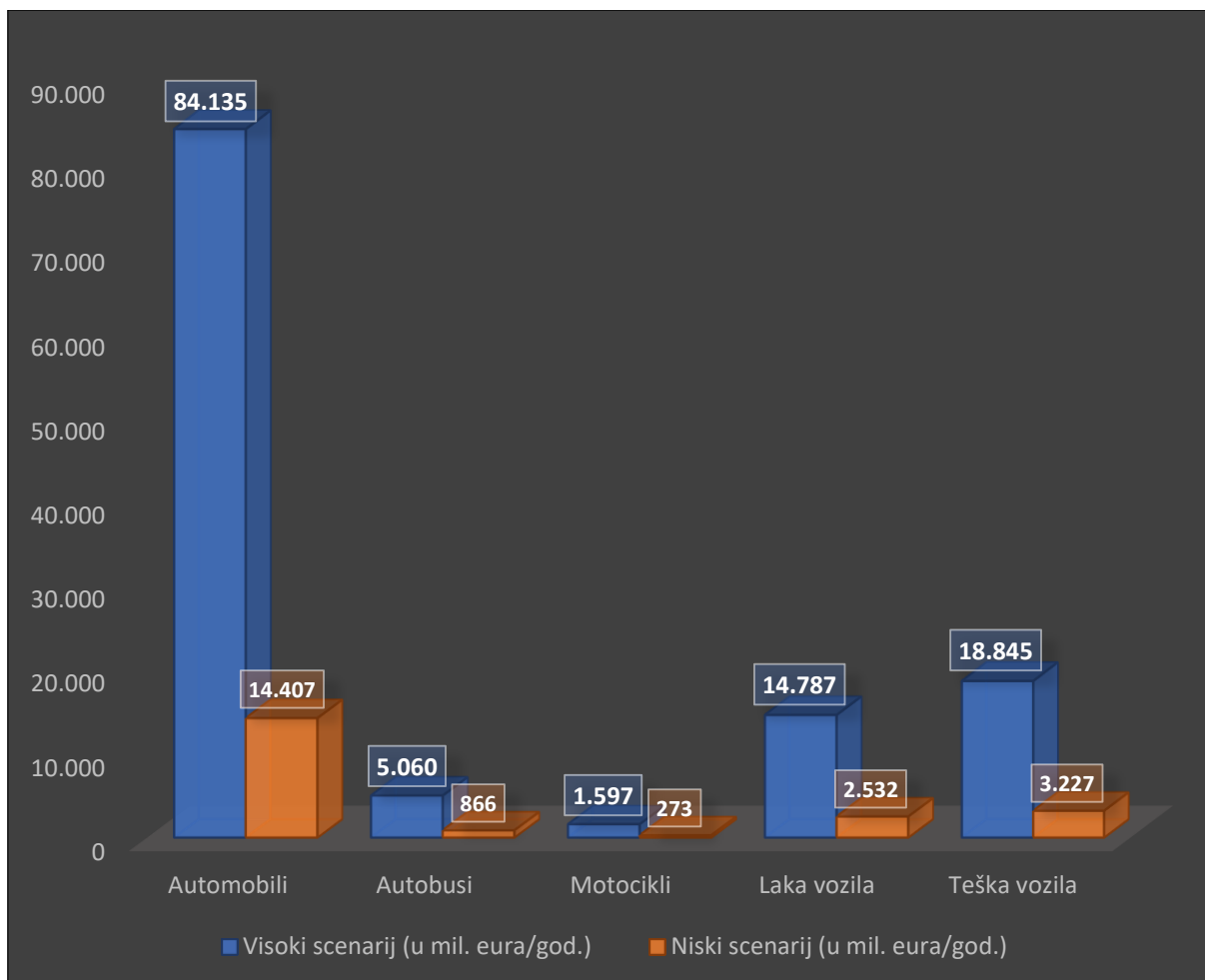


Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

### 3.2. Eksterni troškovi klimatskih promjena

Druga vrsta eksternih troškova u cestovnom prometu su ona koja se odnose na klimatske promjene (globalno zatopljenje, zagađenje zraka itd.). Razlog tomu je što na prometnicama diljem svijeta trenutno prevladavaju vozila koja se pokreću s motorima s unutarnjim izgaranjem (emitiranje CO<sub>2</sub> u zrak i zagađenje okoliša), a tek jedan manji dio čine hibridna i električna vozila, koja su ekološki prihvatljivija i sva buduća nastojanja biti će usmjerena prema njima, kako bi u što kraćem roku preuzeli primat na tržištu vozila. Prema provedenim istraživanjima, sektor prometa (prijevoza) odgovoran je za udio od 19,5% ukupnih emisija stakleničkih plinova, dok je sami eksterni trošak u području klimatskih promjena za visoki scenarij u cestovnom prometu iznosio 50.600 mil. eura u godinu dana. Na niže predloženom Grafikonu 4. prikazani su eksterni troškovi klimatskih promjena u cestovnom prometu za niski scenarij (25 eura/t CO<sub>2</sub>) i visoki scenarij (146 eura/t CO<sub>2</sub>). [2]

Grafikon 4. Ukupni eksterni troškovi klimatskih promjena po vrsti vozila



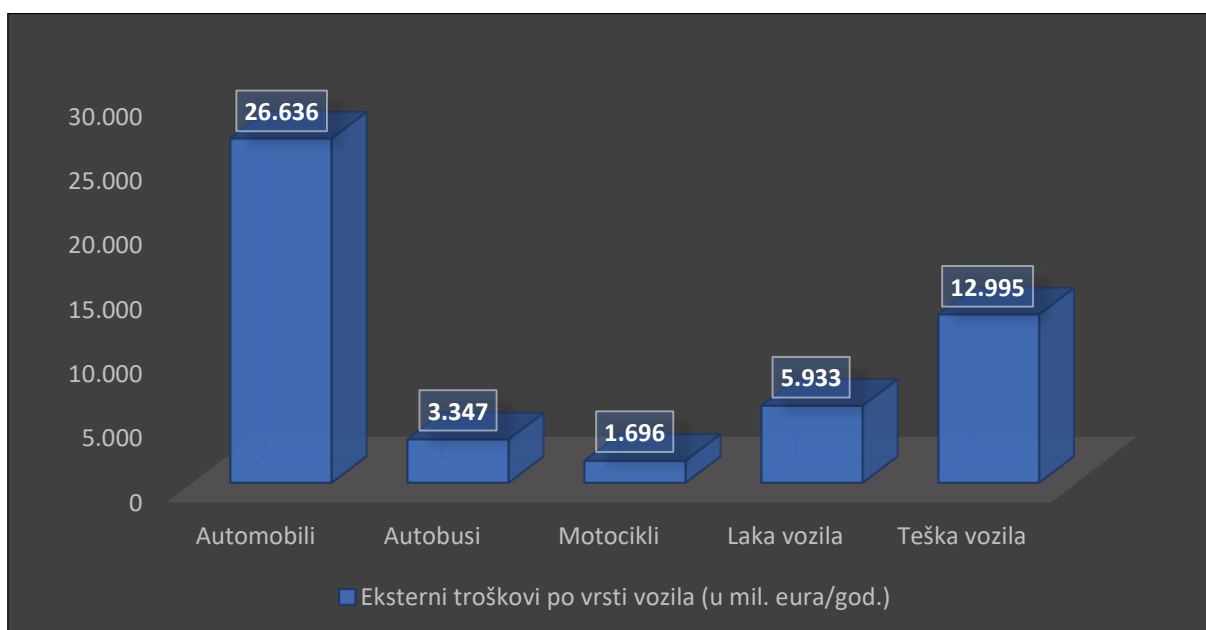
Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

### 3.3. Eksterni troškovi zagađenja zraka

Ova vrsta eksternih troškova odnosi se na zagađenje zraka štetnim ispušnim plinovima (CO<sub>2</sub>). U putničkom cestovnom prijevozu iznose 31.678 mil. eura u godinu dana, dok je podatak za teretni prijevoz prikazan u iznosu od 18.928 mil. eura za isto razdoblje. Detaljan prikaz udjela vrijednosti eksternih troškova zagađenja zraka po vrsti vozila prikazan je niže na Grafikonu 5. Prosječni trošak zagađenja zraka u putničkom cestovnom prijevozu iznosi 5,7 eura po 1.000 pkm, dok je isti podatak za teretni prijevoz 8,4 eura po 1.000 tkm. Ukupni troškovi za zagađenje zraka iznose oko 53 mil. eura, a sami cestovni promet zaslužan je za čak 95% istih. Pri tome se kao najveći zagađivači ističu osobni automobili, kojima se pripisuje 50% eksternih troškova zagađenja zraka cestovnog prometa. Navedeni problem zagađenja zraka u cestovnom prometu nastoji se riješiti s implementacijom novih i modernih tehnologija. Najbolji primjeri takvih visokonaprednih tehnologija su sljedeći [2]:

1. **EURO 6 norma** – bazira se na povratku ispušnih plinova unutar motora, kako bi se efikasno iskoristio jedan dio smjese goriva i zraka koja nije u potpunosti izgorjela, radi prebogatosti iste.
2. **Hibridna i električna vozila** – sve veća nastojanja i tendencije u svijetu za kupnju i korištenje navedenih vozila, jer drastično manje zagađuju zrak, tj. emitiraju izrazito manju količinu (ili uopće ne emitiraju) ispušnih plinova.

Grafikon 5. Ukupni eksterni troškovi zagađenja zraka po vrsti vozila



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

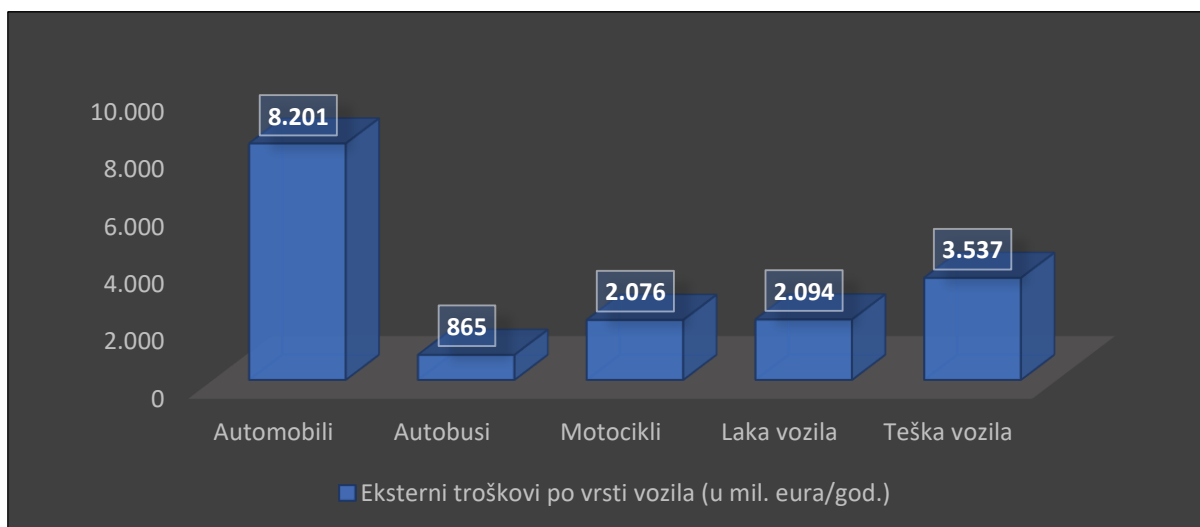
Ukupna količina štetnih ispušnih plinova koju cestovna vozila svakodnevno emitiraju u zrak ovisi o raznim čimbenicima, a tu pripadaju:

- način vožnje,
- napredna tehnologija u motoru,
- vrsta goriva,
- veličina i masa vozila/tereta,
- nadmorska visina ceste,
- aerodinamičnost vozila.

### 3.4. Eksterni troškovi zagađenja zvukom

Eksterni troškovi zagađenja zvukom u cestovnom prometu se pojavljuju posredstvom utjecaja nekoliko različitih faktora, a tu možemo ubrojiti vrstu i stanje: motora, guma, brzine i kolnika. No, najveći izvor buke dolazi od buke motora (ovisno o brzini kojom se vozilo kreće) i zvuka prianjanja pneumatika (guma) na cestu. Zbog toga se, na brzim cestama i autocestama koje se nalaze u blizini ili prolaze naseljenim mjestom, postavljaju zvučobrani za smanjenje štetnih učinaka zvuka prometa. Ovaj problem u potpunosti je otklonjen ako se za prometovanje koristimo električnim vozilom, jer je rad elektromotora gotovo nečujan. Eksterni troškovi zvuka za putnička cestovna vozila iznose 11.143 mil. eura u godinu dana, dok je u teretnom prijevozu ta brojka duplo manja, tj. 5.631 mil. eura u godinu dana. Eksterni troškovi zagađenja zvukom po vrsti vozila predloženi su niže na Grafikonu 6. [2]

Grafikon 6. Ukupni eksterni troškovi zagađenja zvukom po vrsti vozila



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

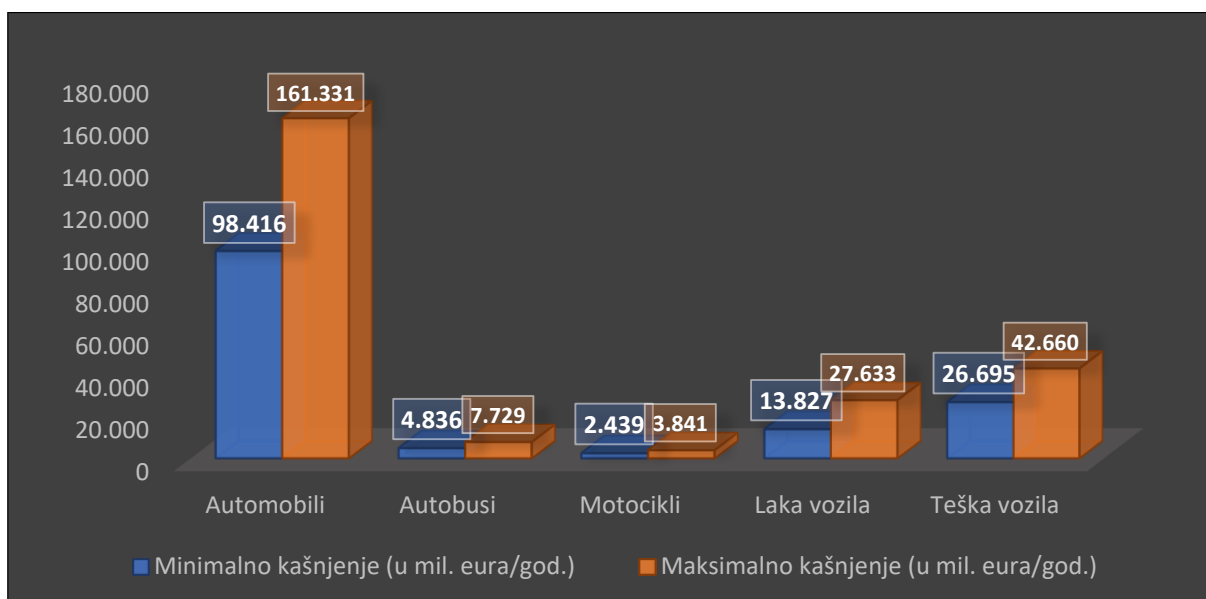
Prosječni eksterni troškovi zagađenja zvukom u putničkom cestovnom prijevozu iznose 17,7 eura po 1.000 pkm, dok je ta brojka za teretni cestovni prijevoz 8,1 eura po 1.000 tkm. Ako se promatraju eksterni troškovi zagađenja zvukom za cestovni promet kao cjelinu, putnički prijevoz broji 35,1 eura po 1.000 vkm (vkm = kilometara po vozilu), a teretni prijevoz (laka i teška cestovna vozila) 22,9 eura po 1.000 vkm.

### 3.5. Eksterni troškovi zagušenja

Eksterni trošak zagušenja u cestovnom prometu je diskutabilan, a ujedno ga je i vrlo teško odrediti. Međutim, u raznim istraživanjima kao eksterni trošak zagušenja se upotrebljava trošak minimalnog i maksimalnog vremena zakašnjenja. Eksterni trošak zagušenja računa se samo za cestovni promet, jer svaka osoba samostalno bira kada i kojom će rutom prometovati, te tako utječe na sve dr. sudionike u prometu. Samo kašnjenje u cestovnom prometu se nikome ne nadoknađuje, dok se u ostalim prometnim granama isto obznanjuje i nadoknađuje šteta. Prema podacima INFRAS-a, eksterni trošak zagušenja na godinu iznosi: putnički prijevoz – minimalni = 105.691 mil. eura, maksimalni = 172.901 mil. eura; teretni prijevoz – minimalni = 40.522 mil. eura, maksimalni = 70.293 mil. eura. [2]

Na niže predočenom Grafikonu 7. prikazani su ukupni eksterni troškovi zagušenja po vrsti vozila uz minimalno i maksimalno vrijeme kašnjenja.

Grafikon 7. Ukupni eksterni troškovi zagušenja po vrsti vozila



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti sa internet stranice: < <https://www.infras.ch/en/> > (10.08.2020.)

## **4. Utjecaj elektromobilnosti na eksterne troškove prometa**

U prethodnom poglavlju navedeno je ukupno pet različitih eksternih troškova koji se događaju u cestovnom prometu, a vežu se uz prometne nesreće, klimatske promjene, zagađenje zraka, zagađenje zvukom i zagušenja. Međutim, ako pogledamo na te iste eksterne troškove iz perspektive elektromobilnosti, odnosno primjene raznih vrsta električnih vozila, ista možemo povezati s direktnim utjecajem na eksterne troškove klimatskih promjena, zagađenja zraka i zagađenja zvukom, dok na prometne nesreće i zagušenja ne bi trebala imati neki primjećeniji utjecaj. Stoga ćemo kroz obradu u ovome dijelu rada, na temelju svega ranije zaključenog i iznesenog, napraviti detaljnu analizu utjecaja elektromobilnosti na eksterne troškove cestovnog prometa, uz direktnu komparaciju s konvencionalnim vozilima.

### **4.1. Elektromobilnost i eksterni troškovi prometnih nesreća i zagušenja**

Eksterni troškovi prometnih nesreća i zagušenja za koje su odgovorna električna vozila ne razlikuju se značajnije od onih povezanih s vozilima koja se pogone s motorima s unutarnjim izgaranjem. No, određeni broj stručnjaka tvrdi da bi se s primjenom električnih vozila i mogao povećati broj prometnih nesreća pri nižim brzinama (ispod 25 km/h). Kao razlogu tomu naveli su izrazito tihi rad elektromotora, ali i općenito kompletnog električnog vozila – iako se čini da je navedeni problem u trenutnoj situaciji tek marginalan. Na drugu stranu, maksimalne brzine električnih vozila mogle bi biti nešto niže u odnosu na današnja konvencionalna vozila (ili bi vozači izbjegavali veće brzine zbog konačne učinkovitosti samog vozila), što bi na kraju moglo pozitivno utjecati na smanjenje broj prometnih nesreća koje s događaju pri većim brzinama. U konačnici, možemo reći kako su pitanja u pogledu sigurnosti u prometu za električna vozila usporediva s istima za konvencionalne tipove vozila, stoga prema tome zaključujemo kako bi i eksterni troškovi prometnih nesreća i zagušenja bili na približnoj istoj razini, odnosno ne bi se stvorio neki bitniji utjecaj koji bi smanjio iste. [3]

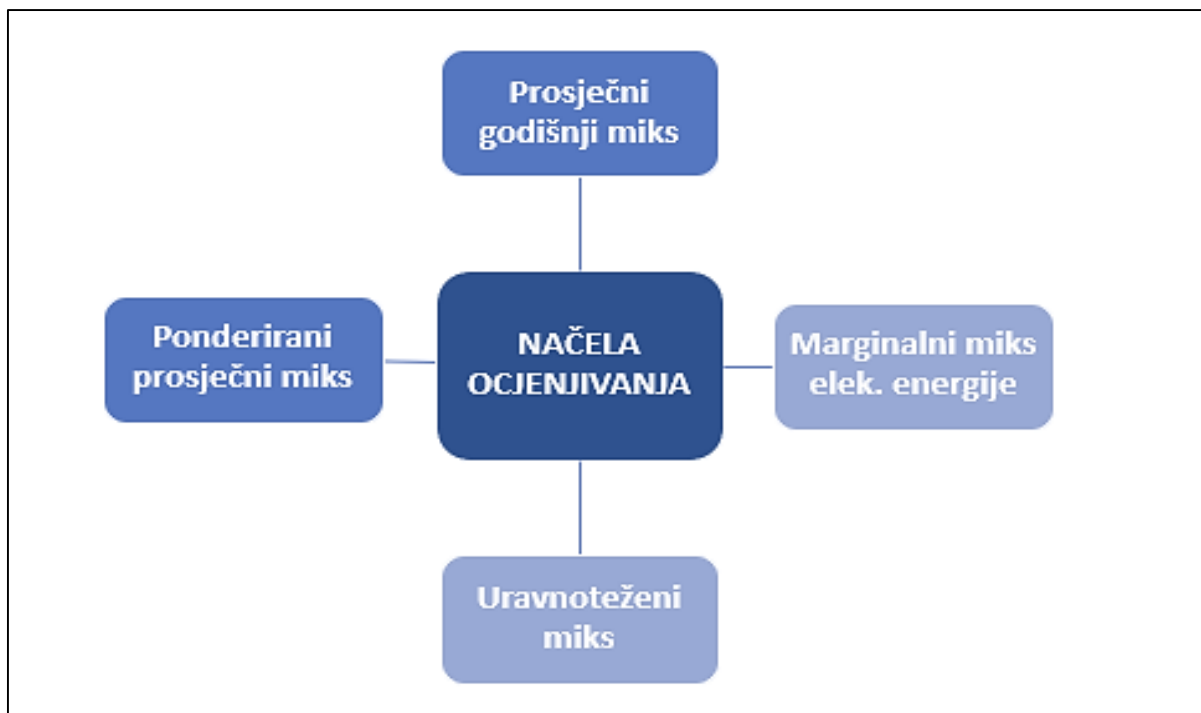
### **4.2. Elektromobilnost i eksterni troškovi zagađenja zraka**

Eksterni troškovi zagađenja zraka za koje su odgovorna električnih vozila iniciraju se tijekom proizvodnje (generiranja) električne energije, a uključuju nekoliko onečišćujućih tvari koje se pri tome emitiraju u zrak. Pri samoj vožnji električnih vozila, zagađenja poglavito dolaze

iz abrazije (potrošnje) guma i kočnica, i to u vrlo malim količinama (smanjuju se u procesima oporavka), dok su emisije onečišćujućih tvari iz procesa WTT<sup>1</sup> (eng. Well-to-Tank) i TTW<sup>2</sup> (eng. Tank-to-Wheel) neznatne. Pri tome se emisije iz WTT procesa razlikuju ovisno o funkciji vremena i lokacije analiziranog postupka punjenja. Navedeno se za električna vozila definira kao prednost, jer se emisije onečišćujućih tvari u zrak događaju kada su ljudi kod kuće i u nešto manje naseljenim područjima, što ima ogroman učinak na stvaranje manje količine eksternih troškova, budući da su ispušne emisije poglavito lokalnog karaktera. Što se tiče sekundarnih onečišćujućih tvari (primjerice čestice nitrata i sulfata aerosola), učinak je pomalo ograničen, jer njihovo stvaranje traje nešto duže vrijeme i odvija se na prijednim udaljenostima u rasponu od par desetaka do stotine kilometara. [3]

Za detaljni izračun dodatnih emisija onečišćujućih tvari koje stvaraju eksterne troškove zagađenja zraka kroz povećanu potražnju za različitim tipovima električnih vozila, razlikuju se četiri načela ocjenjivanja, a grafički su predloženi niže na Slici 7.

Slika 7. Načela ocjenjivanja u stvaranju eksternih troškova zagađenja zraka



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

<sup>1</sup> WTT (eng. Well-to-Tank) – proces koji se brine za opskrbu vozila gorivom, od proizvodnje izvora energije do konačne opskrbe gorivom (prijenos do mjesta punjenja ili pumpe za gorivo).

<sup>2</sup> TTW (eng. Tank-to-Wheel) – proces koji se odnosi na dio energetskog lanca vozila, a proteže se od točke u kojoj se energija apsorbira (točka punjenja, pumpa goriva) do njezinog pražnjenja (u pokretu).

Svako od ranije navedenih četiriju načela ocjenjivanja zasebno je za sebe i posjeduje određena jedinstvena svojstva (obilježja), gdje je [3]:

- 1. Prosječni godišnji miks** – izravno načelo prema kojemu se umnaža prosječna godišnja emisija onečišćujućih tvari po energetskej jedinici (npr. gram NO<sub>x</sub> po kWh) s ukupnom potrošnjom električne energije u e-vozilima (u kWh).
- 2. Ponderirani prosječni miks** – načelo koje zagovara činjenicu da bi se energetski miks mogao mijenjati tokom dana, stoga bi bilo razumno integrirati ponder istoga u skladu s potrošnjom električne energije u e-vozilima.
- 3. Marginalni miks električne energije** – navedeno načelo zagovara činjenicu da dodatna potreba za proizvodnjom, tj. generiranjem električne energije u e-vozilima dovodi do povećanja zagađenja zraka na lokacijama lokalnog karaktera. Sama činjenica se zasniva na velikom broju različitih tipova elektrana sa specifičnim varijacijama u faktorima za zagađenje zraka.
- 4. Uravnoteženi miks** – načelo kojim se pretpostavlja da je osigurana dostatna količina električne energije potrebna za rad i funkcioniranje e-vozila na temelju čiste energetske proizvodnje (npr. iz obnovljivih izvora energije). U današnje vrijeme kada su sustavi za pohranu električne energije još uvijek malo preskupi za prosječnog čovjeka, čini se da je navedeno moguće samo u hipotetičkom načinu uravnoteživanja iste.

Navedene emisije onečišćujućih tvari mogu se znatno razlikovati, isto kako se i razlikuju emisije iz temeljnih tehnologija, kao i udaljenost od njihovog mjesta proizvodnje do područja naseljenosti s ljudima. Nadalje, faktori relevantni za izračun emisija također se razlikuju, i to s obzirom na gustoću naseljenosti, nacionalne specifičnosti, vrijeme itd. Primjerice, u Njemačkoj emisije onečišćujućih tvari uvelike ovise o vremenu potrebnom za punjenje baterije e-vozila. Uz navedeno, veliki utjecaj na isto ima i udio električne energije koji se kroz godinu proizvede iz obnovljivih izvora energije. Da bi se u određenoj mjeri regulirale emisije, punjenja e-vozila trebala bi se obavljati u noćnim satima. Tada je većina ljudi u kućama i vozila su parkirana ispred istih ili u garažama, a uobičajena potražnja za električnom energijom u kućanstvu se već nalazi na visokoj razini. Time bi se povećao udio proizvodnje energije s brojem elektrana pod visokim opterećenjem. Sama odgoda punjenja baterije za noćne sate od strane svih korisnika e-vozila dovela bi do određenog smanjenja emisija onečišćujućih tvari, a i u većoj mjeri ako bi se za isto koristila električna energija dobivena iz različitih obnovljivih izvora – Sunce, vjetar, vodene snage, biomasa i dr. oblici.



Kada se pomnože količine generacije električne energije tijekom svih procesa punjenja s pripadajućom potrošnjom električne energije u e-vozilima i vrijednostima eksternih troškova specifičnih za pogonska goriva, dobiju se odgovarajući eksterni učinci tijekom faze korištenja vozila. Ipak, dobiveni rezultati mogu biti u velikoj mjeri varijabilni, jer ovise o tipu primijenjene metodologije za izračun i razlikama u lokalnim ili regionalnim troškovima. Stoga se ukupni eksterni troškovi zagađenja zraka za prosječno električno vozilo u Njemačkoj mogu procijeniti na temelju pretpostavljene očekivane potrošnje električne energije od oko 40 MWh (200.000 km x 0,2 kWh/km) tijekom njegovog životnog vijeka i množenjem istoga s procjenom eksternih troškova za onečišćivače zraka prosječnog njemačkog električnog generacijskog miksa od oko 5 eura po kWh (dobivenih iz srednjih vrijednosti emisija za tehnologije proizvodnje električne energije). Konačni rezultat pokazuje potrošnju od 1.836 eura po električnom vozilu. Shodno tome, u Njemačkoj eksterni trošak po pojedinačnom kilometru iznosi 8 eura na 1.000 vkm, ne računajući emisije stakleničkih plinova. Kako je energetska učinkovitost električnih vozila na području Njemačke veća u urbanim, nego u ruralnim područjima, pretpostavlja se da su eksterni troškovi zagađenja zraka od istih 7,2 eura po 1.000 vkm u urbanim i 9,9 eura po 1.000 vkm u ruralnim područjima. U drugim zemljama diljem čitavoga svijeta, posebice u onima s nešto manjim udjelom elektrana za proizvodnju fosilnih oblika goriva (benzin, dizel, prirodni plin) za pokretanje vozila, navedeni troškovi su i znatno niži – primjerice u zemljama Skandinavije (Norveška, Finska, Švedska i Danska). [3]

### **4.3. Elektromobilnost i eksterni troškovi klimatskih promjena**

Slično kao i kod emisije onečišćujućih tvari u zrak, zagađenje posredstvom djelovanja stakleničkih plinova uvelike ovisi o trenutnom miks električne energije. Navedeno varira od pojedinačne države do države. Primjerice, u Europi se prosjeci specifične emisije CO<sub>2</sub> kreću od 0,03 (Švedska) do 0,78 kg po kWh (prikazano u Tablici 2.). Navedeni podaci odgovaraju specifičnoj emisiji CO<sub>2</sub> od 6 do 156 g po vkm. Marginalni (granični) eksterni troškovi za CO<sub>2</sub> od 120 eura po toni kreću se između 1 i 19 eura po 1.000 vkm. Njemačka se po tom rangiranju nalazi negdje u sredini i bilježi eksterne troškove od oko 11 eura po 1.000 vkm. S učinkovitijom upotrebom električnih vozila u urbanim područjima, pretpostavlja se da eksterni troškovi u istima iznose 9,8 eura, dok su u ruralnim područjima 14,8 eura po 1.000 vkm. Detaljan pregled prosjeka specifičnih emisija CO<sub>2</sub> u zemljama koje su dio europskog kontinenta prikazan je na niže predloženoj Tablici 2. [3]

Tablica 2. Specifične emisije CO<sub>2</sub> u zemljama Europe

RB	Zemlja	kg CO <sub>2</sub> / kWh	g CO <sub>2</sub> / km
1.	Austrija	0,19	38
2.	Belgija	0,22	44
3.	Danska	0,36	72
4.	Finska	0,23	46
5.	Francuska	0,08	16
6.	Njemačka	0,46	92
7.	Grčka	0,72	144
8.	Irska	0,46	92
9.	Italija	0,41	82
10.	Nizozemska	0,42	84
11.	Poljska	0,78	156
12.	Portugal	0,26	52
13.	Španjolska	0,24	48
14.	Švedska	0,03	6
15.	Velika Britanija	0,46	92
16.	Europska unija	0,43	86

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

Prilikom izračuna podataka iz Tablice 2., pretpostavljeno je da potrošnja električnog vozila u prosjeku iznosi 0,2 kWh po prijeđenom kilometru. Prema trenutnoj regulaciji Europske unije, dopuštena emisija CO<sub>2</sub> može maksimalno iznositi 130 g po prijeđenom kilometru i toga se moraju pridržavati svi proizvođači vozila u dizajniranju novih vozila. Zbog toga su Grčka i Poljska označene crvenom bojom, jer prelaze navedenu vrijednost, a razlog tomu je veliki broj zastarjelih automobila koji se nalaze na prometnicama (utjecaji lošijeg ekonomskog stanja građana, kao i cjelokupne zemlje). No, od početka 2021. godine Europska unija planira još malo pooštriti navedeno, gdje će se novom regulacijom zahtijevati da sva novoproducirana vozila ne prelaze vrijednost emisije od 95 g CO<sub>2</sub>/km. Prema Tablici 2., vidimo da pretpostavljeni novi zahtjev ispunjavaju i dalje sve zemlje osim Grčke i Poljske, a izdvojiti svakako treba Švedsku (6 g CO<sub>2</sub>/km) i Francusku (16 g CO<sub>2</sub>/km).

Emisije stakleničkih plinova razlikuju se kod električnih vozila i vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. Postoje čak i nagađanja kako su iste veće kod proizvodnje električnih vozila, no to nije potvrđeno u svim studijama, tako da i nije potpuno vjerodostojno. Nadalje, bitnu ulogu u proizvodnji električnih vozila igra energija koja se dobiva iz obnovljivih izvora, jer se na taj način znatno smanjuju emisije CO<sub>2</sub> u zrak, što se ističe kao bitna prednost u odnosu na konvencionalna vozila. Prema trenutno dostupnim podacima, za proizvodnju svake zasebne vrste vozila emisije CO<sub>2</sub> su prikazane u Tablici 3. [3]

Tablica 3. Emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje vozila

RB	Vrsta vozila	emisija u t/CO <sub>2</sub>
1.	Vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem (ICEV)	6 t
2.	Električna vozila (HEV i PHEV)	7 t
3.	Električna vozila s većim dosegima (REEV)	8-9 t
4.	Akumulatorska električna vozila (BEV)	9-11 t

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

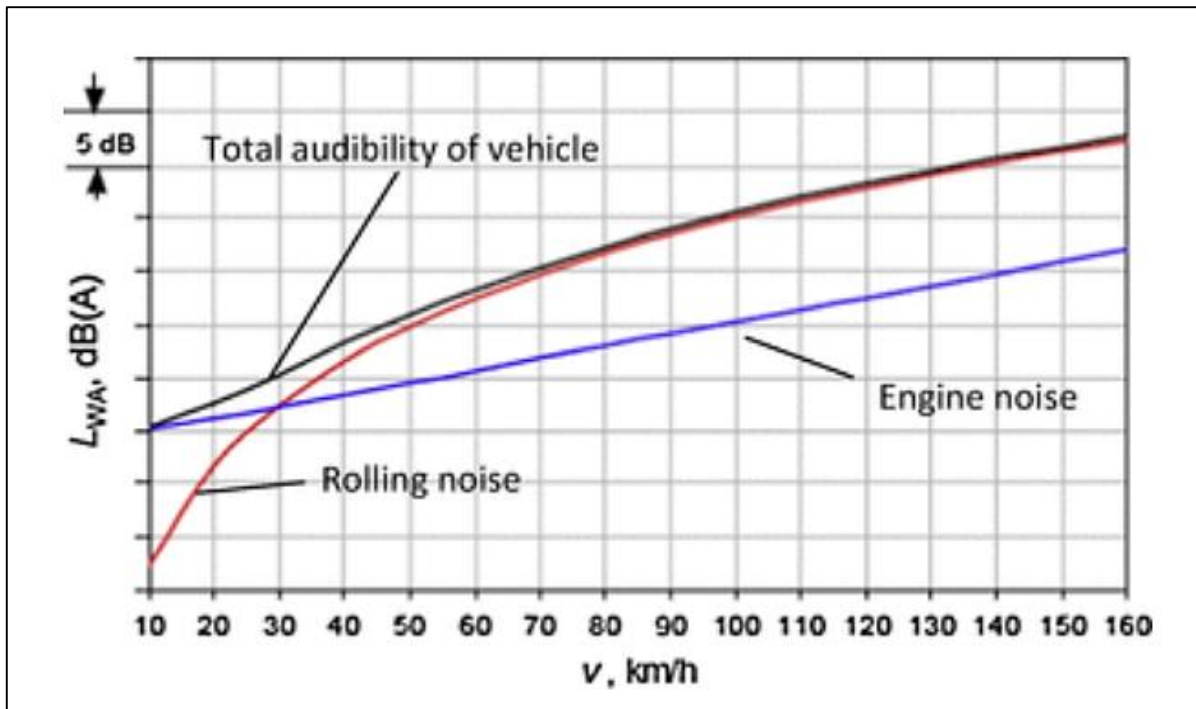
Navedene vrijednosti povećaju se prosječno do 20 t/CO<sub>2</sub> tijekom životnog vijeka vozila, ali se u tehnološkom svijetu nastoji postići tendencija opadanja do 2030. godine., s naglaskom na upotrebu električnih vozila. Uzimajući u obzir marginalne troškove od 120 eura po t/CO<sub>2</sub> i koristeći prosječnu kilometražu vozila od 200.000 km, granični eksterni troškovi za klimatske promjene povećavaju se s 3,6 eura po 1.000 vkm za vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem na 6,6 eura za električna vozila (veći troškovi proizvodnje).

#### 4.4. Elektromobilnost i eksterni troškovi zagađenja zvukom

Eksterni troškovi cestovnog prometa koji dolaze od njegove buke uvelike ovise o razini buke koje stvaraju ostala vozila koja sudjeluju zajedno s nama u prometu (tj. razini buke koja se događa u pozadini), kao i o njegovoj gustoći. Pri tome se udio buke koju stvaraju pogonski motori vozila u prometu tretira kao varijabilan, ako brzina vozila prelazi brojku od 40 km/h i dominiraju zvukovi koje stvaraju gume i aerodinamički oblik, tj. dizajn vozila (prikazano niže na Grafikonu 8.). Sama ta činjenica dovodi do zaključka da električna vozila stvaraju jednaku razinu buke kao i vozila pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem, osim ako se kreću

izrazito malim brzinama tijekom noćnih vožnji u urbanim sredinama. U takvim situacijama (noćni uvjeti, male brzine) percepcija buke kod ljudi se nalazi na daleko višoj razini, što se izražava s 10 dB nižom ciljnom razinom buke u odnosu na zvučne uvjete koji prevladavaju tijekom svjetlijeg dijela dana. Navedeni pozitivan učinak mogao bi biti i još značajniji, ako se promatra vožnja e-vozila s motorom veće snage (ekstremni uvjeti). [3]

Grafikon 8. Buka vozila u prometu u odnosu na buku koju stvara brzina



Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

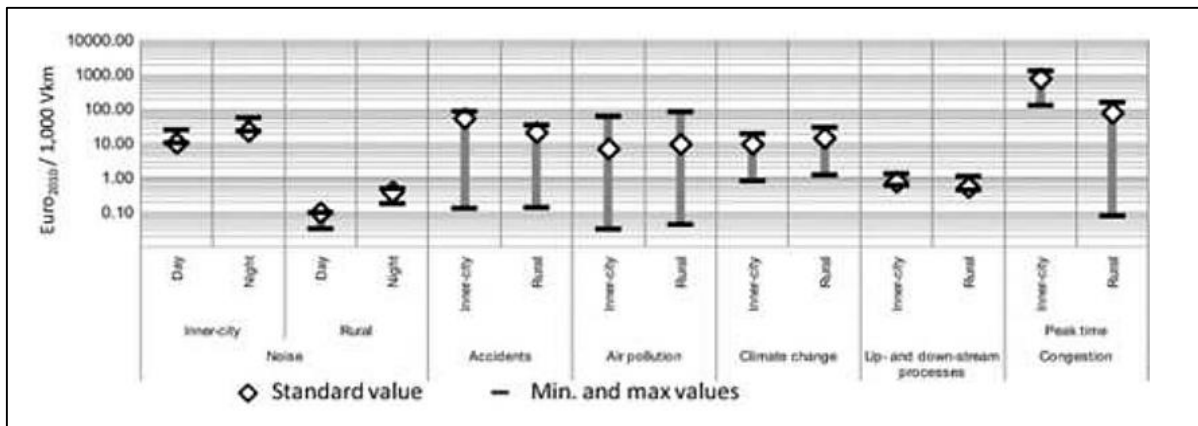
Pretpostavka je da će se kod ove vrste eksternih troškova prednosti ostvarivati tijekom noćnih vožnje u urbanim sredinama (manje brzine vožnje i manji broj vozila u prometu), što bi iste moglo i prepoloviti, kao i to da će oni koji žive i prometuju u ruralnim područjima stvarati također manje troškove – 0,1 eura po 1.000 vkm.

#### 4.5. Sažetak procjene eksternih troškova za električna vozila

Eksterni troškovi za koje su odgovorna električna vozila razlikuju se od onih za vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem poglavito u dva područja – zagađenju zraka i klimatskim promjenama. Ove dvije vrste eksternih troškova uvelike ovise o načinu procjene, osnovnom portfelju elektrana na određenom području i vremenu punjenja električnih vozila. Svaki od

navedenih segmenata povećava razinu nesigurnosti u konačnu procjenu troškova. Još jedna razlika je u stvaranju buke tijekom noći, posebice za promet u urbanim sredinama. Grafikonom 9. predočen je detaljan pregled za sve komponente eksternih troškova električnih vozila prema skaliranju na logaritamskoj ljestvici. [3]

Grafikon 9. Maksimalni, minimalni i standardni eksterni troškovi e-vozila



Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

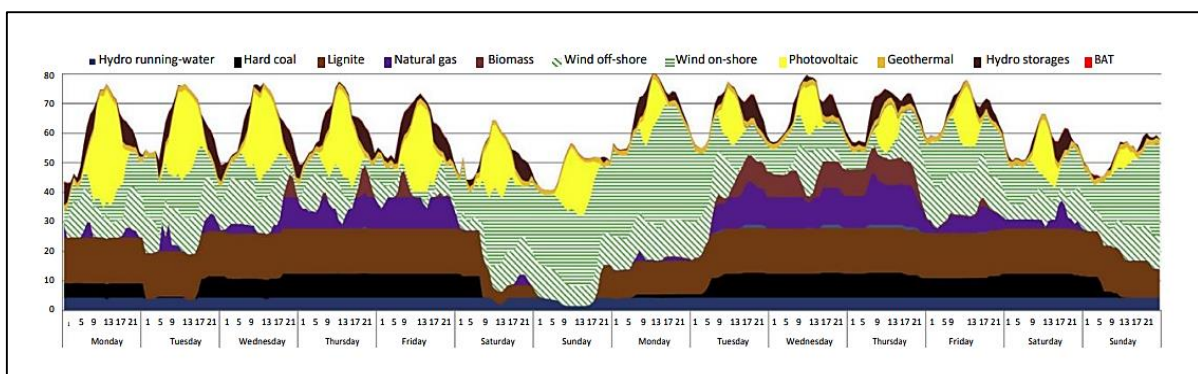
#### 4.6. Ekstrapolacija eksternih troškova električnih vozila do 2030. godine

Zbog potreba komparacije, pretpostavlja se da će daljnji razvoj komponenata koji utječu na eksterne troškove električnih vozila biti usporediv s onima koje stvaraju vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Isto se odnosi na eksterne troškove komponenata koje su povezane sa sigurnosti u prometu, bukom, proizvodnjom vozila i prometnim zagušenjima. Nadalje, smatra se kako će tijekom sve masovnije primjene električnih vozila doći do smanjenja udjela vožnji (putovanja) u urbanim sredinama (gradovima) s 0,26 na 0,20 i smanjenja troškova za uzlazne i silazne procese za 10%. Troškove komponente koje se temelje na razvoju osnovnog portfelja elektrana povezane su s zagađenjem zraka i klimatskim promjenama. Prema ranijim navodima zaključili smo kako u većini europskih zemalja intenzitet korištenja ugljika, odnosno njegovih spojeva u autoindustriji opada, pa tako i u području povezanom s proizvodnjom i korištenjem električne energije za iste svrhe. Primjerice, u Njemačkoj je glavni cilj za budući energetska sustav izrazito ambiciozan, gdje su sva nastojanja usmjerena prema proizvodnji i korištenju električne energije u svim područjima ljudskog djelovanja (u stručnim krugovima je navedena ideologija poznata pod nazivom „German Energy Transition“). S istim je cilj za cjelokupnu proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora postavljen na minimalno 50% (80%) bruto

potrošnje iste do 2030. (2050.) godine. Zajedno s već pretpostavljenim povećanjem dobivanja električne energije iz prirodnog plina i drastičnim smanjenjem udjela lignita i tvrdog ugljena u automobilskoj industriji, prosječno smanjenje specifične emisije CO<sub>2</sub> iznosilo bi oko 30% do kraja 2030. godine. Pošto su troškovi emisija CO<sub>2</sub> općenito vrlo visoki, smatra se da će eksterni troškovi klimatskih promjena i dalje biti konstantni što se tiče električnih vozila. Međutim, što se tiče zagađenja zraka, eksterni troškovi će se u određenoj mjeri smanjiti, zbog promjena koje će se dogoditi u proizvodnji (generaciji) električne energije. Iako se direktivama Europske unije nastoje smanjiti specifične emisije onečišćujućih tvari u zrak za elektrane koje proizvode fosilna goriva, zanemariti ćemo tu činjenicu, jer se vrlo teško može predvidjeti točna razina poboljšanja portfelja heterogenih elektrana. Prema iznesenim pretpostavkama, sve ranije navedeno dovesti će do smanjenja eksternih troškova za oko 32% do 2030. godine, što je postotna brojka koja je izrazito bitna za cestovni promet i njegove troškove. [3]

Promatrajući pretpostavke o razini miksa električne energije na području Njemačke do konca 2030. godine, još uvijek se zagovara činjenica kojom se ističe značajan udio proizvodnje električne energije posredstvom upotrebe tvrdog ugljena i lignita, što pogoduje specifičnim emisijama CO<sub>2</sub>, odnosno povećanju eksternih troškova (pogledati niže Grafikon 10.). Međutim, zbog određenog povećanja kapaciteta vjetrojača, promjenjiva proizvodnja električne energije u vjetroelektranama (ovisnost o vremenskim uvjetima) ima značajan utjecaj na specifičnu emisiju CO<sub>2</sub> – tijekom sati s velikim udjelom u proizvodnji električne energije od vjetra, emisije su gotovo zanemarive, dok su iste i dalje na visokoj razini tijekom noćnih sati i nešto mirnijih vremenskih uvjeta. U ovom slučaju izrazito je bitno vrijeme kada se električna vozila napajaju, radi utjecaja na smanjenje eksternih troškova.

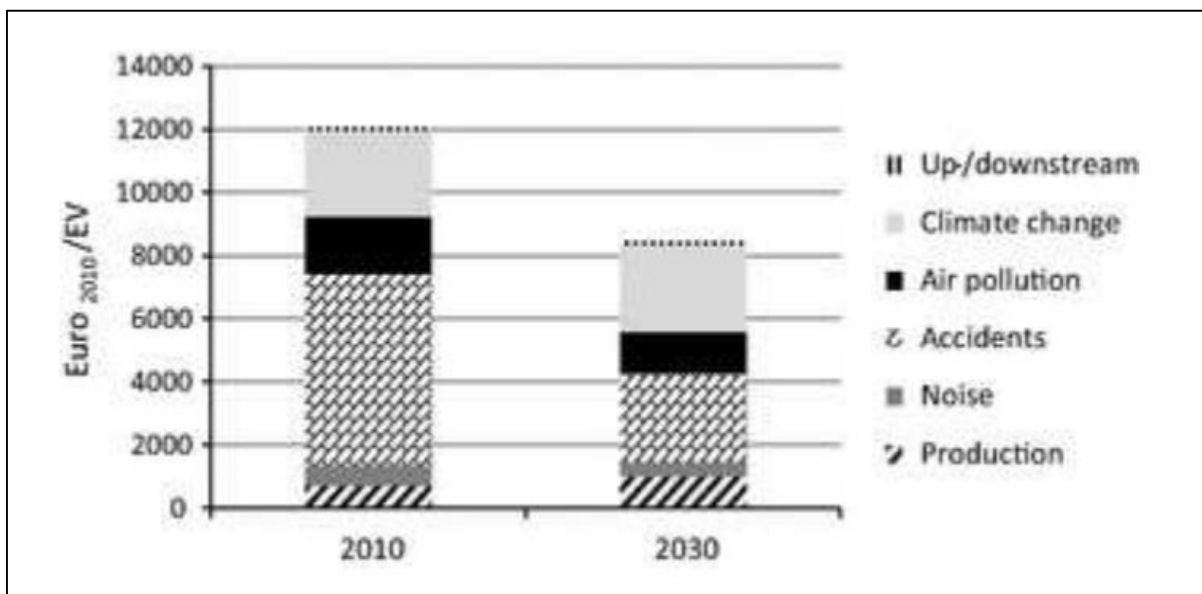
Grafikon 10. Primjer miksa električne energije tijekom dva tjedna u 2030. godini



Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

Sličnosti s komponentama uključenim u identificiranje troškova, dovode do strukture eksternih troškova e-vozila koja je nalik onoj kod vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Pri tome se pomaci vide u strukturi eksternih troškova zagašenja i prometnih nesreća (za oko 3.000 eura), što pridonosi smanjenju istih u cestovnom prometu putnika. Svi drugi pomaci su relativno granični, kao što je i prikazano niže na Grafikonu 11. Ukupni eksterni troškovi kod električnih vozila smanjuju se slično kao i kod vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Ako se izrazimo brojčano, s oko 65.000 (12.000) na 57.000 (8.400) eura po vozilu, ne uključujući eksterne troškove zagašenja prometa. [3]

Grafikon 11. Eksterni troškovi u Njemačkoj po e-vozilu u 2010. i 2030. godini



Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

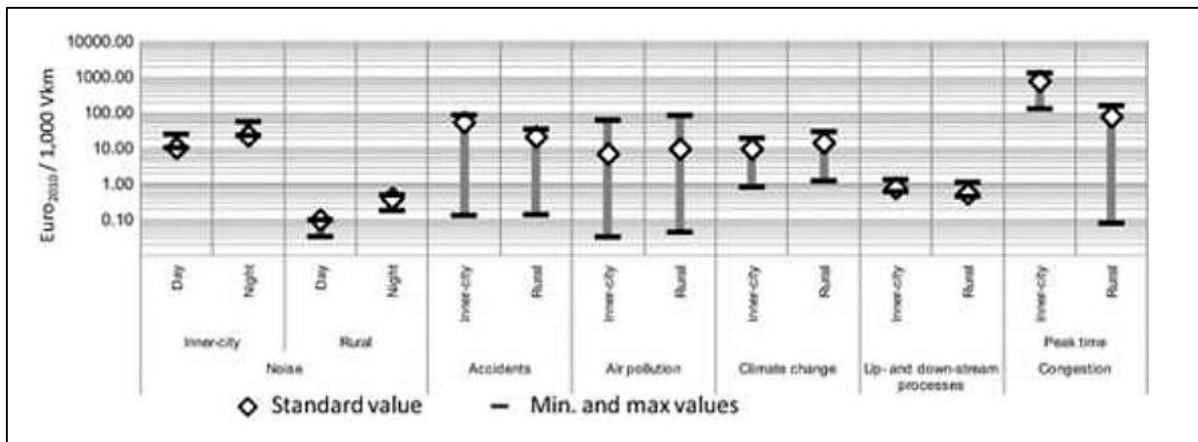
#### 4.7. Komparacija eksternih troškova električnih i konvencionalnih vozila

Ako kompariramo sve komponente eksternih troškova za područje Njemačke, glavne razlike između onih kod električnih vozila i kod vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem su sadržane su u eksternim troškovima klimatskih promjena, zagađenja zraka i zagađenja zvukom (pogledati niže u Grafikonu 12.). Iako se primjećuju određene prednosti kod električnih vozila u pogledu eksternih troškova klimatskih promjena (posebno u urbanim područjima) i eksternih troškova zagađenja zvukom (posebno tijekom noćnih sati), eksterni troškovi zagađenja zraka trenutno su još uvijek nešto viši nego kod vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Ukupno gledano, eksterni troškovi zagašenja još uvijek zauzimaju najveći udio od svih promatranih –



81,4% kod električnih vozila, a 82,0% kod vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem u 2010. godini. Posljedicom toga, masovnija upotreba od strane ljudi i povećanje prodaje električnih vozila na svjetskom tržištu neće donijeti nekakvo značajnije olakšanje/poboljšanje za trenutnu razinu eksternih troškova u cestovnom prometu. [3]

Grafikon 12. Razlike u eksternim troškovima kod EV i ICEV u 2010. godini



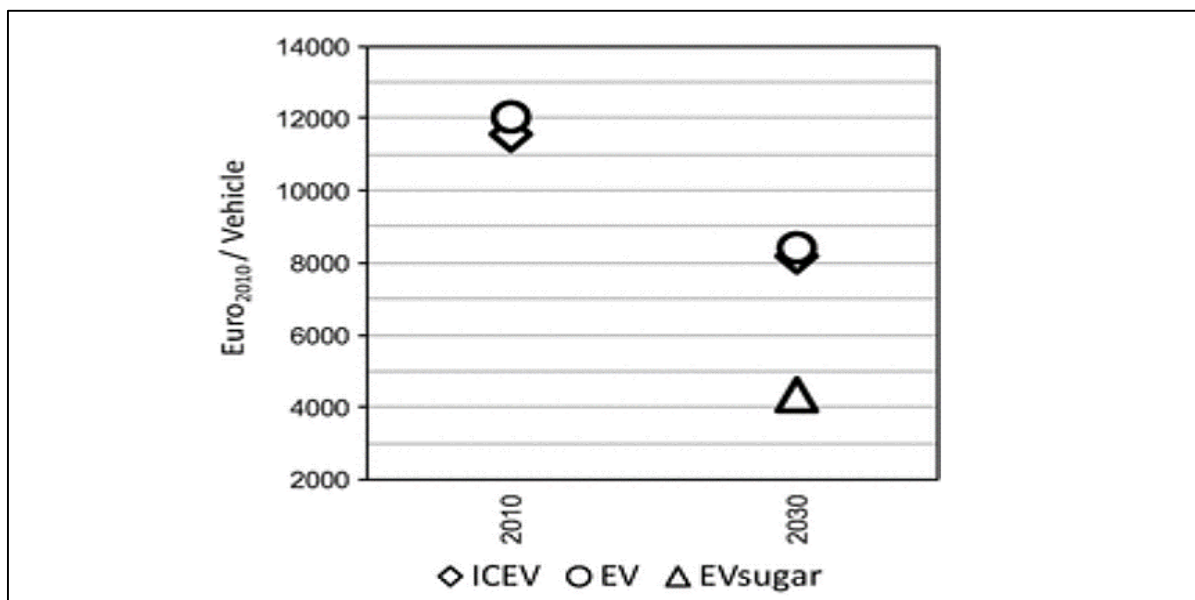
Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

Navedeni rezultati potvrđeni su kroz nekoliko različitih studija koje su napravljene na području Njemačke. Međutim, očekuje se kako će električna vozila još više smanjiti negativne učinke na zagađenje zraka, kao i to da će se veliki dio emisija premjestiti u ruralna područja, iako u studijama isto nije potvrđeno. U drugim zemljama (ovisno o količini proizvodnje fosilnih goriva) se navedene vrijednosti eksternih troškova mogu bitno razlikovati od onih izmjenjenih za područje Njemačke. Nadalje, s primjenom sve optimiziranijih strategija punjenja e-vozila (gdje je cilj da se integrira što veći broj fotonaponskih načina proizvodnje električne energije), navedene brojke mogu se još značajnije smanjiti, ali i postići bolja kvaliteta zraka u zagašenim dijelovima urbanih sredina. Zbog konzervativnih pretpostavki za eksterne troškove zagađenja zraka od rada elektrana, procijenjeni rezultati za električna vozila do 2030. godine su nešto lošiji od istih za vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem. Ukupni iznosi i strukture eksternih troškova vrlo su slični kod oba tipa vozila. Međutim, ukoliko se u procjenu uključe i eksterni troškovi zagašenja, učinak na ukupan iznos istih je ograničen, jer je udio eksternih troškova klimatskih promjena i zagađenja zraka sadržan u tek 7,4% (pogledati u Tablicu 4.). Pripadajuća ušteda od 4.500 eura rezultira s ukupnim eksternim troškovima u iznosu od 53.000 eura po vozilu. Zato se mjere kojima je cilj smanjenje ukupnog broja vozila na cestama čine prikladnije za smanjenje eksternih troškova u putničkom prijevozu.



Na niže predočenom Grafikonu 13. prikazane su različitosti u eksternim troškovima za električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem tijekom njihovog životnog vijeka za vremensko razdoblje u 2030. godini.

Grafikon 13. Razlike u eksternim troškovima kod EV i ICEV u 2030. godini



Izvor: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

Nadalje, u Tablici 4. predočeni su udjeli eksternih troškova za električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem za 2010. i 2030. godinu.

Tablica 4. Udjeli eksternih troškova za EV i ICEV u 2010. i 2030. godini (u %)

Eksterni troškovi	EV		ICEV	
	2010.	2030.	2010.	2030.
Proizvodnja vozila (%)	1,1	1,7	1,1	1,8
Buka (%)	0,9	0,8	1,1	0,9
Prometne nesreće (%)	9,3	4,9	9,4	5,0
Zagađenje zraka (%)	2,8	2,6	1,2	1,2
Klimatske promjene (%)	4,3	4,8	5,0	5,4
Uzlazni/silazni procesi (%)	0,2	0,2	0,2	0,2
Prometna zagušenja (%)	81,4	85,0	82,0	85,5

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

## 4.8. Ishodi primjene električnih vozila na eksterne troškove u budućnosti

U području koje obuhvaća prijevoz ljudi različitim vrstama motornih vozila ne očekuju se neke bitnije inovacije prije početka 2030. godine, a to se poglavito odnosi na: cikluse vožnje, dizajn vozila, gustoću stanovništva, mogućnosti plaćanja itd. Pri tome će se određene promjene kod ukupnih eksternih troškova prometa po pojedinačnom vozilu odvijati na temelju sljedeće navedenih pretpostavki (uz sve masovniju primjenu električnu vozila, odnosno nastojanjima da ista zamijene sadašnja konvencionalna vozila) [3]:

- 1. Sigurnost u prometu** – na ovo područje nastoji se utjecati sa sve učestalijom upotrebom naprednih tehnologija u vozilima i načelima Europske sigurnosne vizije za nula smrtnih slučajeva u transportu do 2050. godine. Zbog toga se pretpostavlja da će do 2030. godine biti oko 50% manje smrtnih slučajeva u prometu, što će direktno utjecati i na smanjenje eksternih troškova prometnih nesreća u identičnom iznosu.
- 2. Zagađenje zraka** – pošto se u ovom području eksterni troškovi već sada nalaze na jako niskoj razini (2,8% udjela od ukupnih eksternih troškova u 2010. godini), a tehnološki napredak se nalazi u zoni ograničenosti, odnosno na vrhuncu, s masovnijom upotrebom električnih vozila očekuje se tek marginalno smanjenje eksternih troškova od oko 10% do početka 2030. godine.
- 3. Klimatske promjene** – iako se tehnološki predviđaju daljnja poboljšanja na vozilima u pogledu efikasnosti potrošnje goriva za oko 40% (utjecaj novih zakona), na drugu stranu se očekuje povećanje ukupnih jediničnih troškova po toni CO<sub>2</sub> s 120 na 200 eura, što će se u konačnici identificirati kao uravnoteženi učinak. Međutim, na promjenu vrijednosti eksternih troškova u ovom području bi drastičnije mogao utjecati potencijalni proboj biogoriva na tržište autoindustrije.
- 4. Zagađenje zvukom** – pretpostavlja se da će daljnji razvoj u pogledu tehnologije motora i guma rezultirati još „tišim“ vozilima, što će se pozitivno odraziti na smanjenje buke koju stvara promet, kao i na eksterne troškove u tome području, gdje će očekuje pad od oko 10% do početka 2030. godine.
- 5. Proizvodnja vozila** – pretpostavke su da će se i dalje nastaviti s tendencijom smanjenja emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje vozila (uglavnom zbog smanjenja specifičnih emisija za proizvodnju električne energije). Računski, brojka bi se trebala smanjiti s 6 na 5 tona po e-vozilu do početka 2030. godine. Međutim, ranije spomenuto povećanje jediničnih troškova CO<sub>2</sub> na 200 eura, odraziti će se u porastu eksternih troškova od čak 1.000 eura

po svakome pojedinačnom vozilu, što bi moglo ozbiljno zabrinuti sve u autoindustriji, uključujući u kupce (korisnike) vozila.

- 6. Prometna zagušenja** – eksterni troškovi u ovome području drugačije će se mijenjati u urbanim i ruralnim područjima. Tako će se u gradovima smanjiti za oko 10% do 2030. godine zbog tehnološkog napretka i raznih inovacija na sustavima javnog gradskog prijevoza, alternativnim oblicima transporta i IT sustavima, kao i restriktivnijih propisa za vozila koja se pogone s motorima s unutarnjim izgaranjem (benzin, dizel). Na drugu stranu, pretpostavka je da će se eksterni troškovi u ruralnim područjima povećati za identičan iznos, odnosno za 10%.
- 7. Urbana Vs. ruralna područja** – na prometnicama između urbanih i ruralnih područja očekuje se smanjenje udjela ukupnih putovanja (broja ukupnih vožnji) s 0,26 na 0,20, kao i unutar područja gradova, što se u konačnici može odraziti i na smanjenje eksternih troškova prometa.
- 8. Uzlazni i silazni procesi** – u ovom području očekuje se smanjenje eksternih troškova za oko 10%, poglavito zbog sve veće svjesnosti o pripadajućim problemima, koji su se dosada ignorirali.

Tablica 5. Primjena e-vozila i očekivano smanjenje eksternih troškova

RB	Eksterni troškovi	Smanjenje do 2030.
1.	Sigurnost u prometu	-50%
2.	Zagađenje zraka	-10%
3.	Klimatske promjene	0%
	- efikasnost potrošnje goriva	-40%
	- povećanje jediničnih troškova CO <sub>2</sub> po toni	+40%
4.	Zagađenje zvukom	-10%
5.	Proizvodnja vozila	+25%
	- smanjenje emisije CO <sub>2</sub> u proizvodnji	-15%
	- povećanje jediničnih troškova CO <sub>2</sub> po toni	+40%
6.	Prometna zagušenja	≈ -10%
	- urbana područja	- 10%
	- ruralna područja	+10%
7.	Urbana Vs. ruralna područja	-6%
8.	Uzlazni i silazni procesi	-10%

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]

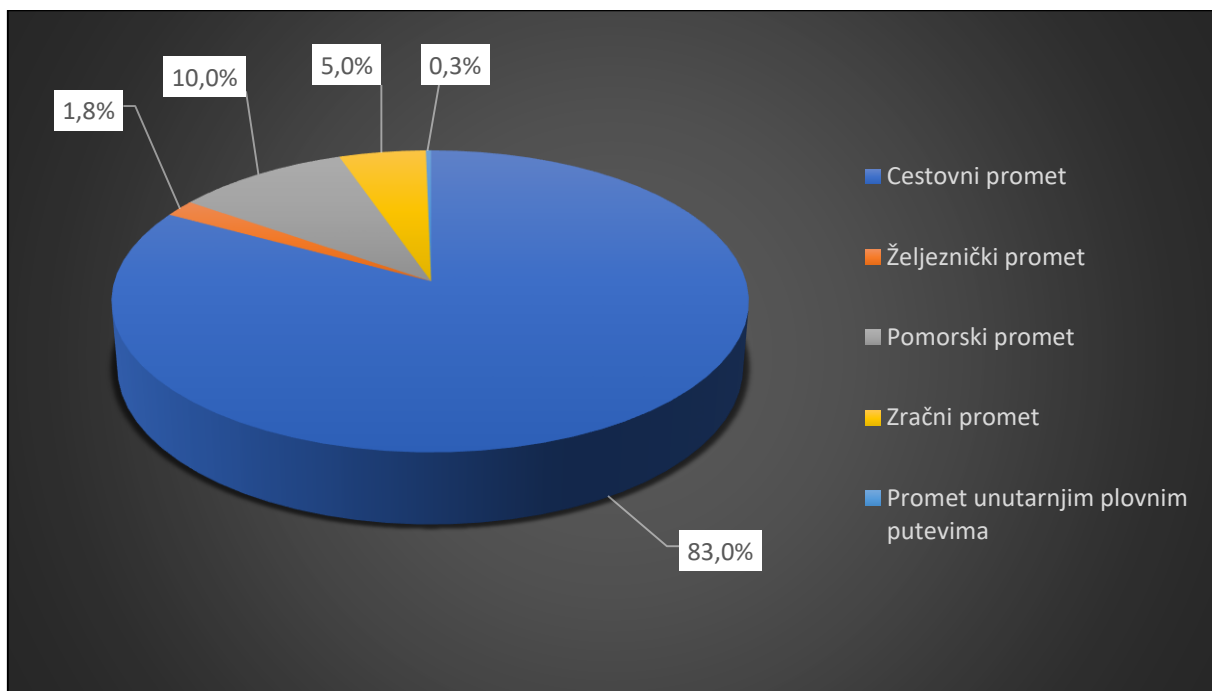
## 5. Elektromobilnost i eksterni troškovi prometa u EU i RH

U ovome poglavlju će se na temelju „Priručnika o eksternim troškovima prometa u EU“ i Tablice 5. iz prethodnog poglavlja predočiti statistički podaci povezani s eksternim troškovima prometa u EU i RH, te predviđeni utjecaj na njihovo smanjenje sa sve masovnijom primjenom električnih vozila do početka 2030. godine.

### 5.1. Ukupni eksterni troškovi prometa u EU s osvrtom na RH

Prema dostupnim statističkim podacima za 2016. godinu iz ranije navedenog priručnika, ukupni troškovi prometa po zasebnim granama raspoređeni su cestovni, željeznički, pomorski, zračni i promet unutarnjim plovnim putevima. Udio za svaku od pet navedenih grana prometa prikazan je niže na Grafikonu 14. [4]

Grafikon 14. Ukupni eksterni troškovi po granama prometa za 2016. godinu



Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Handbook on the external costs of transport – Version 2019. European Commission. Brussels. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/35pFJ0i> > [04.09.2020.]

Na drugu stranu, ako govorimo u valutnim iznosima, ukupni eksterni troškovi u ovim granama prometa iznose 987 milijardi eura, gdje 820,4 milijarde otpada na cestovni, 17,87 na željeznički, 98,70 na pomorski, 49,35 na zračni i 2,90 na promet unutarnjim plovnim putevima.

820,4 milijarde eura koje otpadaju na eksterne troškove u cestovnom prometu raspoređene su različito za određenu zemlju u Europi. Stoga su u niže predočenoj Tablici 6. navedene novčane vrijednosti za svaku pojedinačno (uključujući i RH). [4]

Tablica 6. Ukupni eksterni troškovi u cestovnom prometu u zemljama Europe

<b>RB</b>	<b>Zemlja</b>	<b>Iznosi u milijardama eura</b>
#	Europska unija	820,4
1.	Njemačka	165,7
2.	Italija	115,0
3.	Francuska	109,1
4.	Velika Britanija	99,4
5.	Španjolska	64,3
6.	Poljska	40,2
7.	Nizozemska	29,6
8.	Belgija	26,4
9.	Rumunjska	21,2
10.	Austrija	18,3
11.	Portugal	16,8
12.	Švedska	15,3
13.	Švicarska	15,3
14.	Irska	14,3
15.	Češka	13,6
16.	Grčka	12,8
17.	Mađarska	11,1
18.	Danska	8,2
19.	Finska	7,4
20.	Norveška	7,4
21.	Bugarska	6,5
22.	Slovačka	5,4
<b>23.</b>	<b>Hrvatska</b>	<b>5,0</b>
24.	Litva	3,9
25.	Luksemburg	3,2
26.	Slovenija	2,7
27.	Latvija	2,3

28.	Estonija	1,5
29.	Cipar	1,1
30.	Malta	0,4

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Handbook on the external costs of transport – Version 2019. European Commission. Brussels. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/35pFJ0i> > [04.09.2020.]

Nadalje, od ukupnih 820,4 milijarde eura koje se odnose na eksterne troškove prometa, 625,2 milijarde otpada na putnički promet, a 195,1 na teretni promet. Eksterni troškovi prometa odgovorni su za oko 5,7% BDP-a u zemljama Europske unije – 4,3% putnički promet i 1,4% teretni promet. Za Republiku Hrvatsku je ta brojka i još nešto malo veća, a iznosi 6,9%, odnosno za 1,2% više od prosjeka EU. Podaci vezani uz BDP za ostale zemlje na europskom kontinentu dostupni su niže u Tablici 7. [4]

Tablica 7. Udio eksternih troškova prometa u BDP-u u zemljama Europe

RB	Zemlja	Udio u BDP-u (%)
#	Europska unija	5,7
1.	Luksemburg	7,5
2.	Portugal	7,2
3.	Belgija	7,0
4.	Hrvatska	6,9
5.	Italija	6,8
6.	Latvija	6,7
7.	Rumunjska	6,5
8.	Bugarska	6,5
9.	Litva	6,3
10.	Grčka	6,0
11.	Mađarska	6,0
12.	Austrija	5,9
13.	Njemačka	5,8
14.	Irska	5,7
15.	Francuska	5,5
16.	Poljska	5,5
17.	Slovenija	5,5
18.	Estonija	5,3

19.	Španjolska	5,2
20.	Češka	5,2
21.	Cipar	5,1
22.	Velika Britanija	4,9
23.	Nizozemska	4,9
24.	Slovačka	4,7
25.	Švedska	4,5
26.	Finska	4,4
27.	Švicarska	4,1
28.	Danska	4,1
29.	Malta	3,6
30.	Norveška	3,4

Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Handbook on the external costs of transport – Version 2019. European Commission. Brussels. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/35pFJ0i> > [04.09.2020.]

Raspodjela zasebnih eksternih troškova u određenim granama prometa, kao i sveukupni obuhvat u putničkom i teretnom prometu, predloženi su niže u Tablici 8.

Tablica 8. Eksterni troškovi prometa u putničkom i teretnom prometu

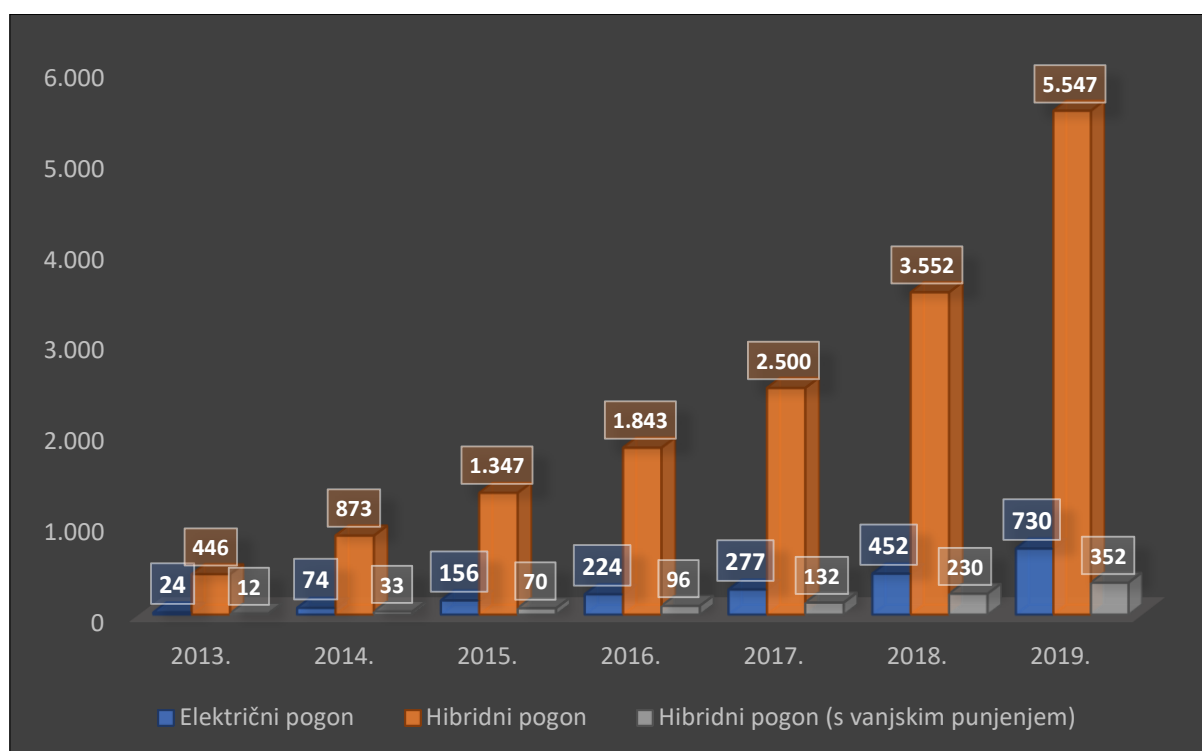
Cost category	Passenger Transport									
	Road						Rail			
	Pass car - petrol bn €/a	Pass car - diesel bn €/a	Pass car - total bn €/a	Bus bn €/a	Coach bn €/a	MC bn €/a	High-speed Train bn €/a	Electric pax convent (non high speed) bn €/a	Diesel tot pax bn €/a	
Accidents	210.2			5.3			21.0	0.06		
Air Pollution	8.6	24.8	33.4	1.4	2.7	1.8	0.002	0.03	0.52	
Climate	32.0	23.5	55.6	0.8	1.6	1.5	0.00	0.00	0.22	
Noise	13.8	12.4	26.2	0.8	0.9	14.8	0.4	2.6	0.9	
Congestion *	196.1			4.5						
Well-to-Tank	10.4	7.7	18.1	0.3	0.5	0.8	0.3	2.7	0.1	
Habitat damage	14.1	11.8	25.9	0.2	0.4	0.5	0.7	1.4	0.5	
<b>Total</b>			<b>565.4</b>		<b>19.3</b>	<b>40.5</b>	<b>1.4</b>	<b>11.0</b>		
<b>Total per mode</b>	<b>625.2</b>						<b>12.5</b>			
<b>Total as % of EU28 GDP</b>	<b>4.2%</b>						<b>0.1%</b>			
<b>Total passenger transport</b>	<b>637.7</b>									
Cost category	Freight Transport									
	Road				Rail		IWT			
	LCV-petrol bn €/a	LCV-diesel bn €/a	LCV-total bn €/a	HGV - total bn €/a	Electric freight bn €/a	Diesel freight bn €/a	Inland vessel bn €/a			
Accidents	19.8			23.0		0.3		0.1		
Air Pollution	0.3	15.2	15.5	13.9	0.01	0.7	1.9			
Climate	0.7	12.5	13.2	9.6	0.00	0.2	0.4			
Noise	5.4			9.1		2.1		0.4		
Congestion*	55.5			14.6						
Well-to-Tank	0.2	3.6	3.8	3.7	0.5	0.1	0.2			
Habitat damage	0.2	4.2	4.4	3.6	0.8	0.2	0.3			
<b>Total</b>			<b>117.6</b>	<b>77.5</b>	<b>5.4</b>		<b>2.9</b>			
<b>Total per mode</b>	<b>195.1</b>				<b>5.4</b>		<b>2.9</b>			
<b>Total as % of EU28 GDP</b>	<b>1.31%</b>				<b>0.04%</b>		<b>0.02%</b>			
<b>Total freight transport</b>	<b>203.4</b>									

Izvor: Handbook on the external costs of transport – Version 2019. European Commission. Brussels. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/35pFJ0i> > [04.09.2020.]

## 5.2. Elektromobilnost u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj je, prema podacima dostupnim na službenoj stranici Centra za vozila Hrvatske (CVH), u 2019. bilo registrirano ukupno 6.629 hibridnih i električnih osobnih vozila. Od ukupnog broja na potpuno električna osobna vozila otpada 730 njih. Kad se te brojke usporede s ukupnim brojem registriranih osobnih vozila, kojih je u 2019. godini bilo 1.728.911, dolazi se do udjela hibridnih i električnih vozila od 0,38%. Na drugu stranu, ako gledamo samo električna vozila, udjel istih u ukupnom broju osobnih vozila iznosi 0,042%. Detaljan statistički pregled za ukupan broj električnih i hibridnih vozila registriranih na području RH, krenuvši s 2013. godinom, prikazan je niže na Grafikonu 15. [5]

Grafikon 15. Vozila kategorija M1 s električnim i hibridnim pogonom u RH



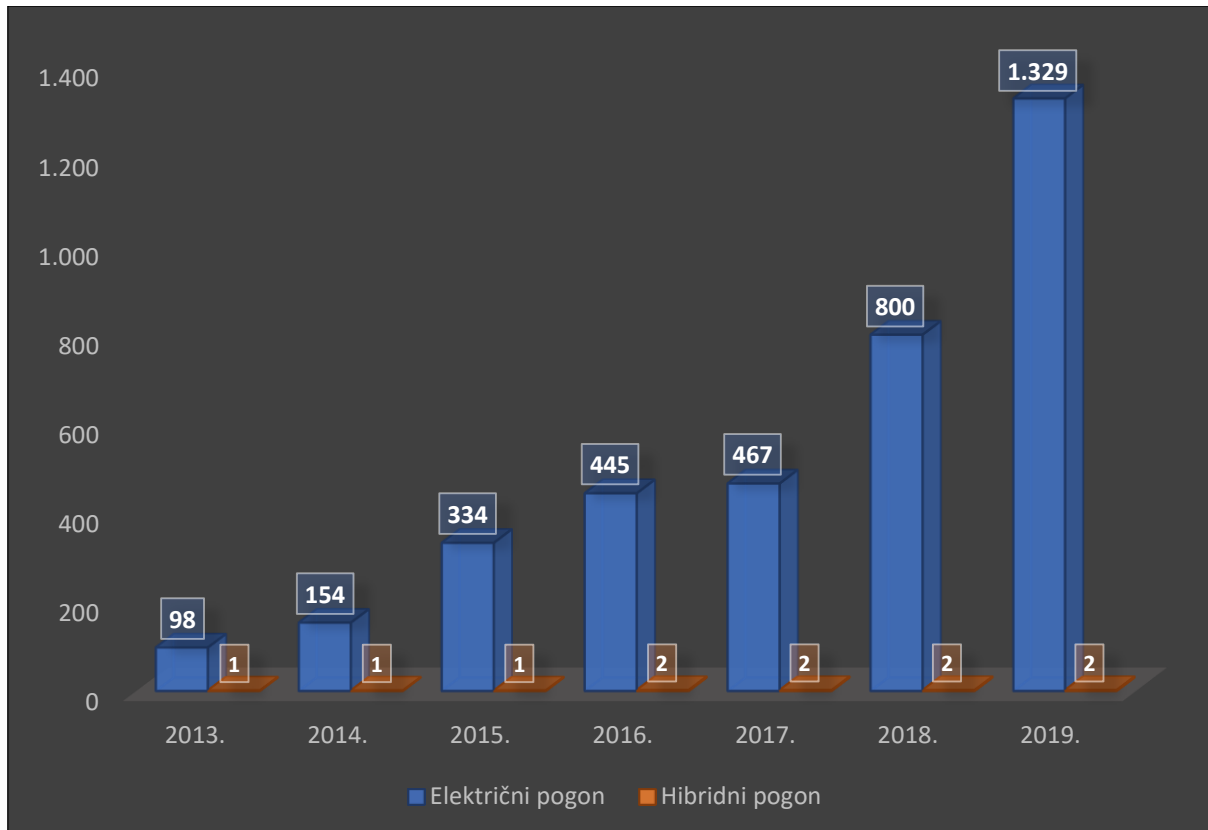
Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom. Centar za vozila Hrvatske. Statistički pregled. Zagreb. 2020. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ijBO8D> > [06.09.2020.]

Prema predloženom Grafikonu 15., možemo zaključiti kako je 2019. godine ukupan broj registriranih hibridnih i potpuno električnih vozila, u odnosu na 2018. godinu, porastao za 56%, što je u skladu s trendom porasta registriranih vozila i drugdje u svijetu. Na temelju toga, iz prikazanih statistika s različitih izvora, može se u konačnici zaključiti da Republika Hrvatska prati trend značajnog rasta broja registriranih hibridnih i električnih vozila svake godine, kako je to u Europi, a i na svjetskom tržištu. [5]



Nadalje, u kategoriji L (mopedi, motocikli, četverocikli, bicikl s pomoćnim motorom i sl. vozila) je u 2019. godini registrirana ukupna brojka od 1.331 električnih i hibridnih vozila. U usporedbi s 2018. godinom, gdje je ukupan broj vozila u istoj kategoriji bio 802, zabilježen je porast od 37,78%. Statistički pregled s ukupnim brojem registriranih vozila u L kategoriji od 2013. godine predočen je niže u Grafikonu 16. [6]

Grafikon 16. Vozila kategorija L s električnim i hibridnim pogonom u RH



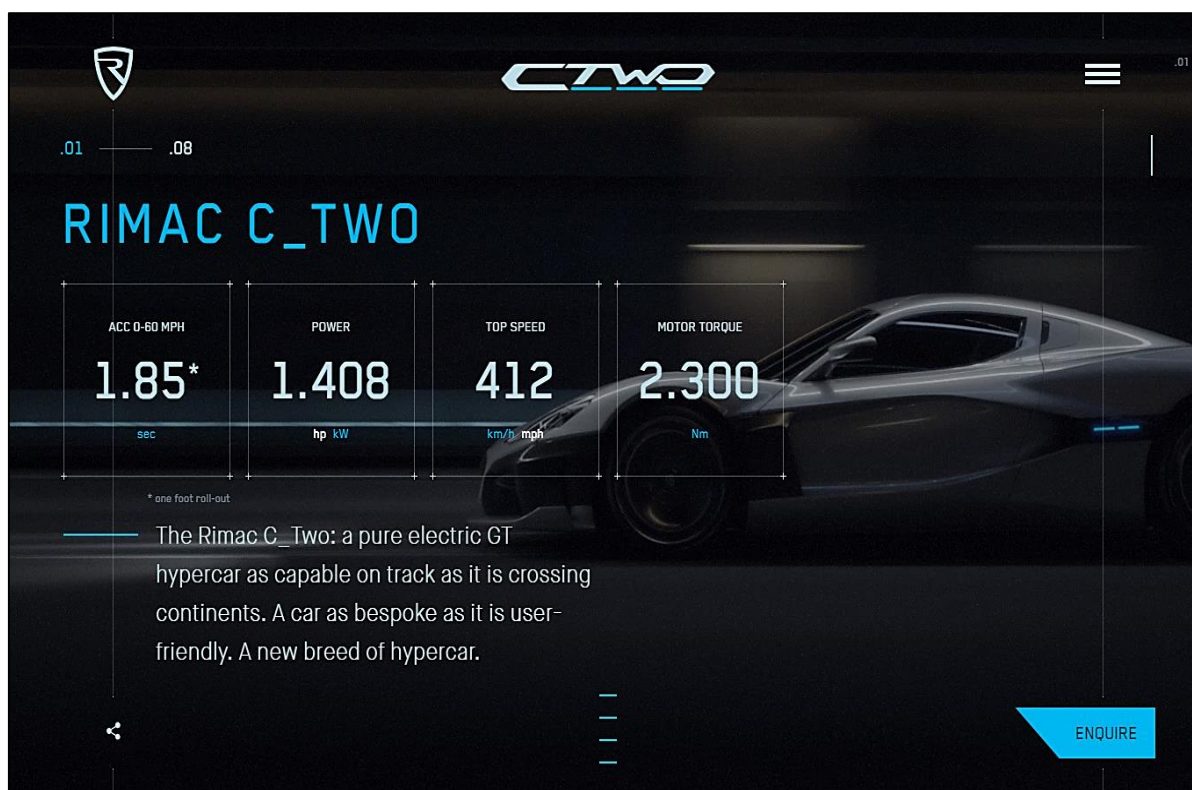
Izvor: Izrada studenta, podaci preuzeti iz: Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom. Centar za vozila Hrvatske. Statistički pregled. Zagreb, 2020. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ijBO8D> > [06.09.2020.]

### 5.3. Proizvodnja električnih vozila u Republici Hrvatskoj

Rimac Automobili d.o.o. jedina je hrvatska tvrtka za proizvodnju automobila. Osnovana je 2009. godine sa sjedištem u Svetoj Nedelji pokraj Zagreba, a osnivač i današnji direktor tvrtke je Mate Rimac. Poslovanje tvrtke bazira se na proizvodnji i razvoju supermodernih električnih automobila, a do danas su proizveli i predstavili javnosti osam različitih modela. Svoj prvi model pod nazivom „Rimac Concept One“ predstavili su 2011. godine na najvećoj svjetskoj izložbi automobila „Internationale Automobil-Ausstellung“ u Frankfurtu. Tvrtka danas broji preko 250 zaposlenika, te je vrlo cijenjena u čitavom svijetu kao renomirani

proizvođač suvremenih modela električnih automobila. Što se tiče autonomnih automobila, tvrtka Rimac Automobili d.o.o. je u srpnju 2017. godine krenule s testiranjem istih na ulicama grada Zagreba. Jedan od takvih testiranih modela bio je modificirani „Renault Scenic“, bez Renaultovih obilježja, opremljen s 8 kamera, 6 radara, 12 ultrazvučnih senzora, jedinicom za inercijsko mjerenje i GPS sustavom. Vozilo je kontrolirao Rimčev sustav umjetne inteligencije pod nazivom „C\_Two“, tzv. Driving Coach, a sami cilj testiranja je bio ubrzati njegov razvoj za implementaciju u buduću modele tvrtke. Sami sustav mogao je prikupiti 6 terabajta podataka za svaki sat vremena vožnje. Najnapredniji i najsofisticiraniji model električnog automobila poduzeća Rimac Automobili d.o.o. nalazi se iza naziva „Rimac C\_Two“, a njegove detaljne specifikacije predočene su niže na Slici 8. [7]

Slika 8. Specifikacije električnog automobila „Rimac C\_Two“



Izvor: Rimac C\_Two. Rimac Automobili. Sveta Nedjelja. 2020. < raspoloživo na: [https://www.rimac-automobili.com/en/hypercars/c\\_two/](https://www.rimac-automobili.com/en/hypercars/c_two/) > [08.09.2020.]

## 6. Zaključak

Električna vozila zasigurno se prema trenutnoj situaciji u tehničko-tehnološkom razvoju ističu kao obećavajuća tehnologija za suočavanje s budućim izazovima u cestovnom prometu, ali i ujedno za smanjenje ukupnih eksternih troškova u istoj grani prometa. U tu svrhu je u radu napravljena diferencijacija za električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem, i to s ekonomskog i ekološkog aspekta, te napravljena analiza eksternih troškova za obje strane. Iako smo svjesni da postoje velike nesigurnosti pri procjeni eksternih troškova prema trenutnoj situaciji, diferencijacija je izrađena na temelju vrste pogonskog goriva, veličine vozila, mjesta emisije, te doba dana. Prema dobivenim rezultatima iz izračuna, kao glavne prednosti primjene električnih vozila u pogledu smanjenja eksternih troškova u urbanim sredinama mogu navesti: manje izraženiji utjecaj na klimatske promjene, znatno niža emisija onečišćujućih tvari u zrak i uzrokovanje manje količine buke (noćni sati).

Međutim, u konačnici možemo zaključiti kako se u trenutnoj situaciji eksterni troškovi prometa koje stvaraju električna vozila i vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem (benzin, dizel, prirodni plin) značajnije ne razlikuju. No, uz sve navedene sitne prednosti za električna vozila, kao temeljni problem za vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem može se istaknuti iscrpljivanje trenutačnih zaliha fosilnih goriva na Zemlji, koje bi prema sadašnjim procjenama trebale potrajati do 2050. godine. Također, sami eksterni troškovi prometa uvelike ovise i o portfelju elektrana za proizvodnju pogonskih goriva (različito od države do države), kao i o odabranoj strategiji korisnika za punjenje električnih vozila. Prema svemu navedenom, može se reći kako s implementacijom i sve masovnijom primjenom e-vozila na prometnicama nisu još uvijek riješeni temeljni izazovi motoriziranog prometa, dok u samim eksternim troškovima s najvećim udjelom i dalje dominiraju prometna zagušenja (81,4%). Stoga ćemo kao glavni alat za smanjenje istih morati još uvijek koristiti smanjenje stope motorizacije, odnosno zamjenu putovanja vozilima s nekim oblikom aktivne mobilnosti (pješačenje, vožnja bicikla, korištenje sredstava javnog gradskog prijevoza i dr.), te na taj način utjecati na poboljšanje životnih uvjeta u urbanim sredinama (gradovima).



Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER


IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, **Kristijan Orlović**, pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom *Utjecaj elektromobilnosti na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Kristijan Orlović

  
\_\_\_\_\_


(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, **Kristijan Orlović**, neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom *Utjecaj elektromobilnosti na smanjenje eksternih troškova prometa u urbanim sredinama* čiji sam autor.

Student:

Kristijan Orlović

  
\_\_\_\_\_

(vlastoručni potpis)

## Literatura

- [1] What you need to know about electromobility. Infineon. München. 2018. < raspoloživo na: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electromobility/> > [04.08.2020.]
- [2] Javni, Z.: Utjecaj intermodalnog prijevoznog sustava u funkciji smanjenja eksternih troškova prijevoza. Fakultet prometnih znanosti. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb. 2017. < raspoloživo na: <https://bit.ly/2RbfKRZ> > [10.08.2020.]
- [3] Jochem, P.; Doll, C.; Fichnter, W.: External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment (Volume 42). MPRA. Karlsruhe. 2016. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ikTZe8> > [14.08.2020.]
- [4] Handbook on the external costs of transport – Version 2019. European Commission. Brussels. 2019. < raspoloživo na: <https://bit.ly/35pFJ0i> > [04.09.2020.]
- [5] Bohutinski, J.: Hrvatska ima 730, a Norveška čak 215.000 električnih automobila. Večernji list. Zagreb. 2020. < raspoloživo na: <https://bit.ly/32gktrK> > [06.09.2020.]
- [6] Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom. Centar za vozila Hrvatske. Statistički pregled. Zagreb. 2020. < raspoloživo na: <https://bit.ly/3ijBO8D> > [06.09.2020.]
- [7] Arežina, B.: Rimac u Zagrebu testira vozila s autonomnom tehnologijom. Večernji list. Zagreb. 2018. < raspoloživo na: <https://bit.ly/32ezSss> > [08.09.2020.]
- [8] Z.Shahan (2015) Electric Car Evolution, <https://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/>, dostupno [23.6.2020.]
- [9] C. Hampel (2019) Number of plug-in cars climbs to 5.6 M worldwide <https://www.electrive.com/2019/02/11/the-number-of-evs-climbs-to-5-6-million-worldwide/>, dostupno [10.7.2020.]
- [10] Centar za vozila Hrvatske (2018), <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika>, dostupno [10.7.2020.]
- [11] European Commision. White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Brussels. [15.7.2020.]
- [12] National Research Council. Overcoming Barriers to Deployment of Plug-in Electric Vehicles. The National Academies Press. 2015. doi: <https://doi.org/10.17226/21725> [15.7.2020.]
- [13] Nemry, F., Brons, M. Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Market penetration scenarios of electric drive vehicles, JRC Tehnical Notes. 2010 [31.7.2020.]

- [14] Pod Point. Cost of Charging an electric car. Available on: <https://pod-point.com/guides/driver/cost-of-charging-electric-car> [5.8.2020.]
- [15] Compare The Market. Globaly Charged. Available from: <https://www.comparethemarket.com/car-insurance/content/cost-of-charging-an-electric-car-globally/> [20.7.2020.]
- [16] European Environment Agency. Electric vehicles as a proportion of the total fleet. Available on: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/proportion-of-vehicle-fleet-meeting-4/assessment-4> [28.8.2020.]
- [17] NEXT-E. About. Available on: <https://next-e.eu/> [28.8.2020.]
- [18] National Research Council. Overcoming Barriers to Deployment of Plug-in Electric Vehicles. The National Academies Press. 2015. doi: <https://doi.org/10.17226/21725> [1.9.2020.]
- [19] Auvinen H, Järvi T, Kloetzke M, Kugler U, Bühne J, Heintz F, Kurte J, Esser K. Electromobility Scenarios: Research Findings to Inform Policy. Transportation Research Arena. 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.346> [2.9.2020.]
- [20] Ayeridis, G. Creating the cleaning Energy Economy; Analysis of the Electric Vehicle Industry. International Economic development Council [Internet]. 2013 Available on: [https://www.iedconline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC\\_Electric\\_Vehicle\\_Industry.pdf](https://www.iedconline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC_Electric_Vehicle_Industry.pdf) [2.9.2020.]
- [21] Chalmers. System perspectives on Electromobility. Göteborg: Chalmers University of Technology; 2014. [2.9.2020.]

## Popis slika

Slika 1. Električno vozilo i način punjenja, str. 3

Slika 2. Komparacija električnog i hibridnog pogona, str. 4

Slika 3. Dizajn i dijelovi električnog vozila, str. 6

Slika 4. Postaje s punjačima ultra snage, str. 7

Slika 5. Prvo električno vozilo, str. 9

Slika 6. Električni automobil „Rimac C\_Two“, str. 10

Slika 7. Načela ocjenjivanja u stvaranju eksternih troškova zagađenja zraka, str. 20

Slika 8. Specifikacije električnog automobila „Rimac C\_Two“, str. 39

## **Popis tablica**

Tablica 1. Potrošnja energije raznih električnih vozila, str. 8

Tablica 2. Specifične emisije CO<sub>2</sub> u zemljama Europe, str. 23

Tablica 3. Emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje vozila, str. 24

Tablica 4. Udjeli eksternih troškova za EV i ICEV u 2010. i 2030. godini (u %), str. 30

Tablica 5. Primjena e-vozila i očekivano smanjenje eksternih troškova, str. 32

Tablica 6. Ukupni eksterni troškovi u cestovnom prometu u zemljama Europe, str. 34

Tablica 7. Udio eksternih troškova prometa u BDP-u u zemljama Europe, str. 35

Tablica 8. Eksterni troškovi prometa u putničkom i teretnom prometu, str. 36



## Popis grafikona

- Grafikon 1. Prodaja e-automobila na različitim tržištima, str. 11
- Grafikon 2. Ukupni eksterni troškovi prometa po vrsti vozila, str. 13
- Grafikon 3. Ukupni eksterni troškovi prometnih nesreća po vrsti vozila, str. 14
- Grafikon 4. Ukupni eksterni troškovi klimatskih promjena po vrsti vozila, str. 15
- Grafikon 5. Ukupni eksterni troškovi zagađenja zraka po vrsti vozila, str. 16
- Grafikon 6. Ukupni eksterni troškovi zagađenja zvukom po vrsti vozila, str. 17
- Grafikon 7. Ukupni eksterni troškovi zagušenja po vrsti vozila, str. 18
- Grafikon 8. Buka vozila u prometu u odnosu na buku koju stvara brzina, str. 25
- Grafikon 9. Maksimalni, minimalni i standardni eksterni troškovi e-vozila, str. 26
- Grafikon 10. Primjer miksa električne energije tijekom dva tjedna u 2030. godini, str. 27
- Grafikon 11. Eksterni troškovi u Njemačkoj po e-vozilu u 2010. i 2030. godini, str. 28
- Grafikon 12. Razlike u eksternim troškovima kod EV i ICEV u 2010. godini, str. 29
- Grafikon 13. Razlike u eksternim troškovima kod EV i ICEV u 2030. godini, str. 30
- Grafikon 14. Ukupni eksterni troškovi po granama prometa za 2016. godinu, str. 33
- Grafikon 15. Vozila kategorija M1 s električnim i hibridnim pogonom u RH, str. 37
- Grafikon 16. Vozila kategorija L s električnim i hibridnim pogonom u RH, str. 38