

# Izrada modela za izračun dekarbonizacije voznog parka

---

**Gojmerac, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:781870>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Petar Gojmerac**

Zagreb, 2023. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Momir Sjerić

Student:

Petar Gojmerac

Zagreb, 2023. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Momiru Sjeriću što mi je omogućio izradu završnog rada, te korisnim savjetima i stručnom pomoći olakšao njegovu izradu.

Također, zahvaljujem se svojim najbližima što su mi omogućili studiranje i pružali podršku i razumijevanje tijekom ovog dijela studija.

Petar Gojmerac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petar Gojmerac** JMBAG: 0035219329

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izrada modela za izračun dekarbonizacije voznog parka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of model for the calculation of vehicle fleet decarbonization**

Opis zadatka:

Dekarbonizacija transportnog sektora ima ključnu ulogu u postizanju klimatski neutralne budućnosti. Postoji nekoliko načina kojima se to može ostvariti. Jedan od njih je primjena alternativnih goriva u postojećim motorima s unutarnjim izgaranjem, a drugi je uporaba električnih cestovnih vozila. Električna vozila u tzv. „well-to-wheel“ analizama nisu CO<sub>2</sub> neutralna jer je električna energija koju zahtjeva proizvodnja baterija i pogonski elektromotor djelomično proizvedena procesom izgaranja u termoelektranama.

U radu je potrebno:

- definirati pregled kategorija cestovnih vozila koja će predstavljati vozni park i za koje na tržištu postoje električne izvedbe,
- za svaku kategoriju vozila razraditi izračun potrošnje energije za slučaj konvencionalnog pogona motorom s unutarnjim izgaranjem i električnim motorom izražen po jediničnom prevaljenom putu,
  - izračunati CO<sub>2</sub> emisije za konvencionalni i električni pogon vozila razmatrajući životni ciklus vozila (tzv. Life Cycle Analysis),
  - izraditi nekoliko slučajeva dekarbonizacije voznog parka za područje EU i SAD-a, a izračunate rezultate prikazati na godišnjoj razini CO<sub>2</sub> emisija,
  - iznijeti zaključke o izrađenom modelu i ostvarenim rezultatima.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

*M. Sjerić*  
Doc. dr. sc. Momir Sjerić

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

*V. Soldo*  
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	2
POPIS TABLICA.....	3
POPIS OZNAKA .....	4
1. UVOD.....	7
2. DEKARBONIZACIJA .....	8
3. ELEKTRIFIKACIJA .....	10
3.1. Proces elektrifikacije voznog parka .....	10
4. PREGLED KATEGORIJA CESTOVNIH VOZILA .....	12
4.1. Vozni park.....	12
4.2. Kategorizacija voznog parka.....	14
5. IZRAČUN POTROŠNJE ENERGIJE KOD KONVENCIONALNOG POGONA.....	17
6. IZRAČUN POTROŠNJE ENERGIJE KOD ELEKTRIČNOG POGONA .....	19
7. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE POTROŠNJE ENERGIJE KOD KONVENCIONALNOG POGONA .....	21
8. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE POTROŠNJE ENERGIJE KOD ELEKTRIČNOG POGONA.....	24
9. ŽIVOTNI CIKLUS VOZILA.....	27
10. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE CO <sub>2</sub> EMISIJA KOD KONVENCIONALNOG POGONA.....	30
11. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE CO <sub>2</sub> EMISIJA KOD ELEKTRIČNOG POGONA ....	33
12. PREGLED PREDSTAVNIKA SVAKE KATEGORIJE VOZNOG PARKA ZA SLUČAJ KONVENCIONALNOG I ELEKTRIČNOG POGONA VOZILA.....	35
13. PRORAČUN ZA KONVENCIONALNI POGON VOZILA .....	43
14. PRORAČUN ZA ELEKTRIČNI POGON VOZILA .....	45
15. PRIMJERI DEKARBONIZACIJE VOZNOG PARKA .....	47
16. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA.....	50

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Vozni park.....	12
Slika 2.	Audi A3.....	31
Slika 3.	Porsche 911 GT3.....	31
Slika 4.	BMW X5 M50d.....	32
Slika 5.	Iveco daily.....	32
Slika 6.	Autobus marke Mercedes-Benz .....	33
Slika 7.	Kamion marke Volvo.....	33
Slika 8.	Yamaha XSR 125.....	34
Slika 9.	Peugeot e308.....	34
Slika 10.	Porsche Taycan Turbo S.....	35
Slika 11.	Mercedes-Benz EQS.....	35
Slika 12.	Mercedes-Benz eSprinter.....	36
Slika 13.	MAN Lion's City E.....	36
Slika 14.	Volvo FL Electric.....	37
Slika 15.	Zero S.....	37

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnički podatci i rezultati za konvencionalni pogon.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>	6
Tablica 2. Tehnički podatci i rezultati za električni pogon.....		38
Tablica 3. Izračunati podatci za kompaniju Autotrans.....		40
Tablica 4. Izračunati podatci za kompaniju Disney Transport.....		41

**Nisu pronađeni unosi u tablici slika.**



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
CG	L	Potrošnja goriva
s	km	Prijeđeni put
$\Delta E$	kWh	Gubitak energije
$E_1$	kW/kWh	Ulazna energija
$E_2$	kW/kWh	Izlazna energija
C	kWh	Kapacitet
U	V	Napon
$\eta$	-	Korisnost

## **SAŽETAK**

U kontekstu globalnih klimatskih promjena i potrebe za smanjenjem emisija stakleničkih plinova, dekarbonizacija voznog parka postaje neophodna. Ovaj završni rad usmjeren je na razvijanje modela za dekarbonizaciju voznog parka, što podrazumijeva tranziciju prema vozilima s niskim ili nultim emisijama CO<sub>2</sub>. Model uzima u obzir trenutno stanje voznog parka, predviđa buduće potrebe i analizira različite tehnologije pogona. Dodatno u radu su navedene različite kategorije voznog parka te je model primijenjen na svaku od njih. Uz to princip korištenja modela za dekarbonizaciju voznog parka prikazan je na nekoliko konkretnih primjera. Cilj je pružiti sveobuhvatnu strategiju dekarbonizacije, koja će omogućiti prelazak na održiviji transportni sektor.

Ključne riječi: dekarbonizacija, elektrifikacija, vozni park, konvencionalni pogon, električni pogon, potrošnja energije, CO<sub>2</sub> emisije, životni ciklus.

## **SUMMARY**

In the context of global climate change and the need to reduce greenhouse gas emissions, the decarbonization of the vehicle fleet becomes essential. This thesis focuses on developing a model for the decarbonization of the vehicle fleet, implying a transition towards low or zero CO<sub>2</sub> emission vehicles. The model considers the current state of the vehicle fleet, predicts future needs, and analyzes various propulsion technologies. Additionally, different categories of the vehicle fleet are listed, and the model is applied to each of them. The principle of using the model for the decarbonization of the vehicle fleet is demonstrated through several specific examples. The goal is to provide a comprehensive decarbonization strategy that will enable a transition to a more sustainable transport sector.

Keywords: decarbonization, electrification, vehicle fleet, conventional propulsion, electric propulsion, energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, life cycle.

## **1. UVOD**

U ovom radu razmatrat će se postupak izrade modela za izračun dekarbonizacije voznog parka i koji sve faktori na to utječu.

Izrada modela za izračun dekarbonizacije voznog parka predstavlja ključni korak u procesu smanjenja emisija stakleničkih plinova u sektoru prometa. Takav model omogućava precizno praćenje emisija, identificiranje najvećih izvora emisija i planiranje uvođenja održivijih vozila u vozni park. U ovom kontekstu, cilj izrade modela nije samo smanjenje negativnog utjecaja na okoliš, već i ostvarivanje financijskih ušteda, povećanje efikasnosti i razvoj inovativnih pristupa u upravljanju voznim parkom.

Kako bi se postigao cilj dekarbonizacije voznog parka, potrebno je usvojiti strategiju koja uključuje analizu postojećeg stanja, planiranje uvođenja održivijih vozila, praćenje i evaluaciju, kao i kontinuirano praćenje tehnoloških inovacija i novih trendova u sektoru prometa. Izrada modela za izračun dekarbonizacije voznog parka može biti ključni korak u postizanju tih ciljeva.

Isto tako, važno je napomenuti da cijene energenata u ovome trenutku rastu iz dana u dan, što zbog političkih što zbog ekonomskih razloga. To ne znači da će ljudi prestati kupovati gorivo, već da financijska situacija u zemljama nije najbolja. Iz tog razloga ljudi si pokušavaju na bilo koji način poboljšati vlastitu financijsku i ekonomsku situaciju te traže najbolje načine uštede.

## 2. DEKARBONIZACIJA

Dekarbonizacija je proces kojim se nastoji smanjiti količina emisija ugljika u atmosferi, a ponajviše ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>). Dekarbonizacija se temelji na čistim alternativnim energijama koje emitiraju samo energiju koju zemlja može apsorbirati.

Cilj dekarbonizacije je postići globalno gospodarstvo s niskim emisijama i postići energetske tranziciju putem klimatske neutralnosti [1].

Najveći izazov današnjice predstavljaju klimatske promjene kojima se iz godine u godinu posvećuje sve više pažnje. U Parizu 2015. godine, EU i sve njezine tadašnje države članice, potpisale su i ratificirale „Pariški sporazum“. Pariški sporazum je plan djelovanja za ograničavanje globalnog zagrijavanja. U skladu s tim sporazumom, zemlje Europske Unije su se dogovorile da će EU usmjeriti prema cilju postanka klimatski neutralnog gospodarstva i društva do kraja 2050 [2].

U vidu razvoja gospodarstva praćenog procesom spaljivanja fosilnih goriva, čovječanstvo je povećalo emisiju ugljičnog dioksida. Cijeli taj proces jedan je od glavnih razloga pojave efekta staklenika, a samim time i jedan od glavnih razloga globalnog zatopljenja i klimatskih promjena.

Kako bi proces dekarbonizacije imao smisla on mora biti učinkovit. Učinkovita dekarbonizacija je način pokušaja postizanja neutralnosti ugljika uz najniže moguće cijene tako da svaka posljednja uporaba energije može smanjiti emisije upotrebljavajući najkonkurentnije alternative.

Električna energija je prijenosnik energije koji omogućuje veću integraciju obnovljivih izvora energije te je zbog toga i najučinkovitija opcija za dekarbonizaciju drugih gospodarskih sektora po najnižoj cijeni. Osim toga električna energija je jedina alternativa za poboljšanje energetske učinkovitosti, što je osnovni princip dekarbonizacije. Međutim, za neke krajnje uporabe energije, elektrifikacija je nemoguća ili konkurentna. U tim okolnostima smanjenje emisija zahtijeva uporabu dekarboniziranih goriva koja su u početnom stanju tehnologije i još uvijek su skupa [1]. Stoga treba biti oprezan i detaljno razraditi plan kako, gdje i na koji način provoditi dekarbonizaciju.

Sama dekarbonizacija gospodarstva ima pozitivan utjecaj na društvo i iz drugog aspekta. Dekarbonizacija je dobra prilika za bogaćenje, za poboljšanje kvalitete zraka te otvaranje novih radnih mjesta. Što se tiče razvoja efikasnih nosača energije i krajnje uporabe svakako je ključno regulatorno okruženje. Na taj način je moguće promicanje učinkovite dekarbonizacije te postizanje niže cijene cjelokupnog procesa.

### 3. ELEKTRIFIKACIJA

Prema podacima različitih zavoda za statistiku može se utvrditi sve značajnija prodaja električnih automobila. U autoindustriji svaka tvrtka razvija ili već određeno vrijeme provodi elektrifikaciju, odnosno provodi proces kojim se nastoje vozila s unutarnjim izgaranjem ( vozila pogonjena benzinskim i dizelskim gorivom) potpuno zamijeniti s vozilima koji su pogonjeni električnom energijom.

U zadnje vrijeme sve se češće mogu, na ulicama gradova, primijetiti automobili na električni pogon. Osim automobila, jednakom jačinom i sveobuhvatnošću, elektrifikacija je zahvatila i ostale skupine vozila kao što su motocikli, autobusi, kamioni i dr.

U zadnje vrijeme sve je više prodanih vozila na električni pogon u vidu smanjenja emisija i poboljšanja kvalitete života te je za očekivati da će se taj trend nastaviti i u narednim mjesecima pa i godinama. Posljedica spomenutog je pad proizvodnje, a time i prodaje vozila koja imaju motore s unutarnjim izgaranjem. Sve navedeno vodi u samo jednom smjeru, a to je potpuno uklanjanje pa čak i donošenje zakona koji zabranjuju proizvodnju vozila koja su pogonjena motorima s unutarnjim izgaranjem [3].

#### 3.1. Proces elektrifikacije voznog parka

Elektrifikacija voznog parka omogućuje veliki potencijal za različite tvrtke zato što dugoročno može rezultirati velikim uštedama u održavanju. Iako tehnologija konstantno napreduje, što rezultira smanjenjem cijena baterija i općenito električnih vozila, postoji nekoliko izazova kada je riječ o procjeni kako će električna vozila utjecati na globalnu električnu mrežu i ukupnu potrošnju struje.

Vozni park može biti organiziran prema različitim kriterijima. Prije svega može se prilagođavati prema specifičnim potrebama određene regije ili prema posebnim zahtjevima poslovnog sektora. Posebni zahtjevi poslovnog sektora odnose se na javni prijevoz ili interni transport.

Tehničke karakteristike vozila, kao što su dimenzije, težina i ekonomičnost, imaju važnu ulogu u određivanju količine i sastava voznog parka. Postoje dvije vrste voznih parkova: homogeni i heterogeni. Homogeni vozni parkovi se sastoje od vozila iste marke, dok se heterogeni vozni parkovi sastoje od različitih marki i modela vozila.

Elektrifikacija ima i prednosti i nedostataka. Prednosti elektrifikacije su: niži operativni troškovi, bolja ekološka održivost, manje pokretnih dijelova koji zahtijevaju održavanje te potencijalno bolji tretman na parkiralištima i drugim urbanim zonama. Uz to, vožnja električnih vozila je tiša i omogućuje bolje performanse u gradskim uvjetima zahvaljujući brzom odzivu električnih motora.

Iako elektrifikacija ima brojne prednosti, također ima i puno nedostataka o kojima treba voditi računa. Domet, koji omogućuje jedno punjenje, je često manje nego kod vozila s konvencionalnim pogonom, a i punjenje električnog vozila traje duže nego onog s konvencionalnim pogonom. Iako danas postoje brze punionice koje mogu napuniti veliku većinu baterije za manje od sat vremena, punjenje kod kuće može potrajati i cijelu noć. Osim toga, veći početni trošak, smanjeni kapacitet prtljažnika i pad vrijednosti baterija s vremenom neki su od većih problema za koje još nema konkretnih rješenja.

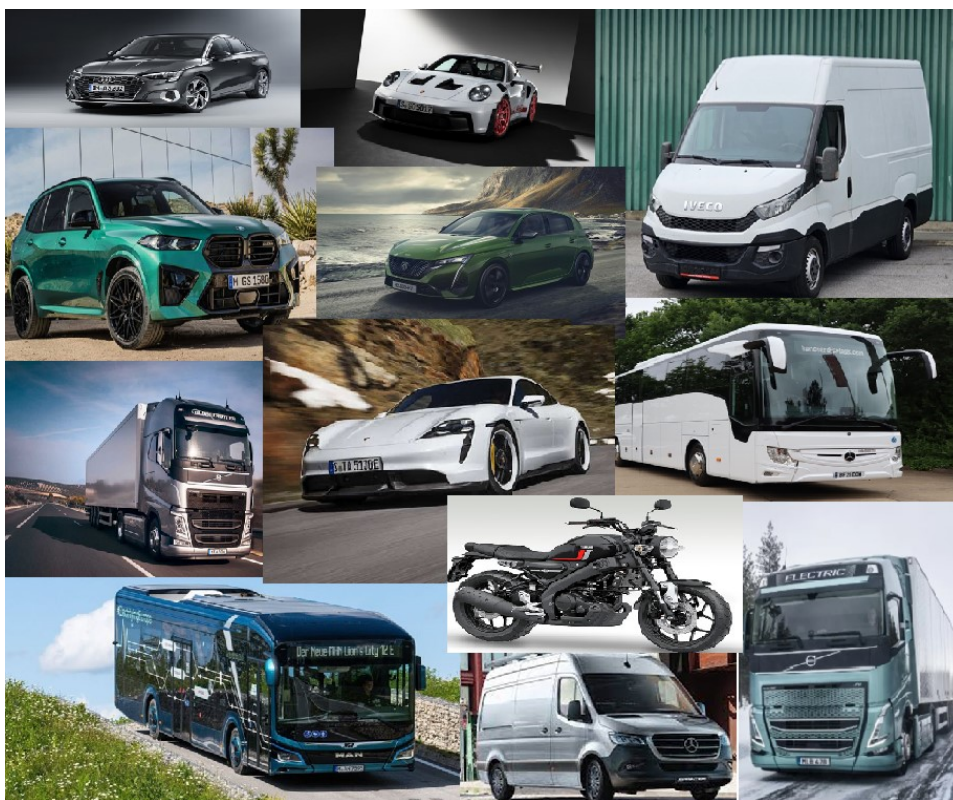
Trenutno je uporaba električnih vozila u Republici Hrvatskoj još uvijek na niskoj razini. No u zadnje vrijeme njihova upotreba postaje sve češća te sve više tvrtki prepoznaje prednosti elektrifikacije i razmatra opciju prelaska na održivije opcije prijevoza [4].



## 4. PREGLED KATEGORIJA CESTOVNIH VOZILA

### 4.1. Vozni park

Vozni park definiramo kao skup svih vozila koju jedna tvrtka, organizacija, institucija ili pojedinci upotrebljavaju ili posjeduju. Vozni park može uključivati jako širok raspon vozila različitih vrsta, namjena i dimenzija. On može biti sastavljen od osobnih vozila, kamiona, autobusa, teretnih vozila, radnih strojeva i drugih vozila. Uz to što vozni park može biti sastavljen od različitih vrsta vozila on s druge strane obuhvaća neke druge aspekte. Aspekti koji su vezani uz vozni park vozila su: vlasništvo vozila, održavanje vozila, upravljanje vozila, ekološki aspekti vozila te pregled i kontrola vozila [4].



Slika 1. Vozni park

Sva vozila nekog voznog parka mogu biti u vlasništvu organizacije, tvrtke ili pojedinca i to na način da su ili kupljena ili unajmljena. Vlasništvo omogućava potpunu kontrolu nad vozilima i omogućava fleksibilnost u njihovom korištenju. Skup svih vozila čini flotu vozila koja se upotrebljava u komercijalne svrhe, kao što su dostava, prijevoz putnika, teretni prijevoz ili

usluge najma vozila. Flota može biti interna u slučaju kada se vozila koriste za potreba tvrtke ili organizacije, a može biti i dostupna drugim korisnicima u slučaju da se radi o uslugama najma vozila.

Posjedovanje voznog parka zahtijeva veliku odgovornost u vidu redovitog održavanja i upravljanja istom. Održavanjem se produžuje životni vijek vozila, a uz to se i osigurava njegova sigurnost. Upravljanje i održavanje flote često uključuje i velike troškove zbog mnogobrojnih servisa, popravaka, zamjene dijelova te osiguravanja dovoljnih količina goriva potrebnih za rad.

Prateći današnje trendove autoindustrije sve se veća pozornost posvećuje upravo zaštiti okoliša s ciljem što većeg smanjenja štetnih emisija. Zbog toga mnoge tvrtke uvjetuju da im vozni park bude što je više moguće ekološki prihvatljiv. To uključuje postupno uvođenje od hibridnih vozila pa sve do potpuno električnih vozila.

U današnje vrijeme vozila često upotrebljavaju softverska rješenja za pregled i kontrolu vozila. Neki od najvažnijih softverskih rješenja su: praćenje lokacije, kilometraže, potrošnje goriva, troškova i drugih podataka. Svi ti softverski alati pomažu u optimizaciji voznog parka, smanjenju troškova i poboljšanju učinkovitosti.

Upravljanje cjelokupnim voznim parkom ima vrlo važnu ulogu u sigurnosti, ekonomičnosti i efikasnosti organizacije. Ključni faktori u upravljanju voznim parkom prvenstveno obuhvaćaju praćenje troškova, optimizaciju korištenja vozila te briga o održavanju. Također svakodnevni tehnološki napredak, uključujući automatizirane sustave, senzore i pametne analitičke alate, sve se više upotrebljavaju za unaprjeđenje upravljanja i efikasnosti voznih parkova [4].

## 4.2. Kategorizacija voznog parka

Kategorizacija voznog parka može se izraditi na više različitih načina ovisno o faktorima o kojima je riječ [4]. U ovom radu kategorizacija voznog parka biti će napravljena ovisno o veličini i namjeni te o postojanosti električnih izvedbi na tržištu.

Vozni park za koji ćemo izraditi model za izračun dekarbonizacije podijelit ćemo u sedam zasebnih kategorija. Kategorije vozila za koje ćemo izraditi model su: osobna vozila, sportska vozila, terenska vozila, kombiji, autobusi, kamioni te motocikli i skuteri.

Najčešći oblik vozila današnjice su svakako osobna vozila koja se u principu koriste za prijevoz manjeg broja osoba. Ova kategorija uključuje različite vrste vozila poput karavana, limuzina, "hatchback"-ova, kabrioleta i dr. Električne izvedbe vozila ove kategorije su sve popularnije zbog svoje energetske učinkovitosti i smanjenih emisija štetnih plinova. No, tu treba biti oprezan jer još uvijek postoje veliki problemi vezani uz njih.

Kategorija sportskih vozila je vrlo slična kategoriji osobnih vozila. Razlog zbog kojeg su ona stavljena u zasebnu kategoriju je upravo taj što su sportska vozila konstruirana za brzu vožnju i visoke performanse. To zahtijeva puno uloženog znanja i tehnologija kako bi ta vozila imala aerodinamičan dizajn, snažne motore te napredne sustave upravljanja. Električne izvedbe sportskih vozila upotrebljavaju snažne električne motore koji omogućuju vrlo velika ubrzanja, odnosno moment, te konačnu brzinu.

Još jedna kategorija slična prvoj je kategorija terenskih vozila. Terenska vozila, poznata kao SUV ( Sports Utility Vehicle) često su većih dimenzija s povišenim podvozjem te pogonom na sve kotače. Ova vozila su najčešće konstruirana za vožnju izvan ceste ili u lošim uvjetima na

cesti. Električne izvedbe ove kategorije vozila također su sve popularnije zato što smanjuju emisiju i omogućavaju tišu vožnju.

Kombiji su vozila koja se koriste za prijevoz tereta ili više putnika. Teretni kombiji imaju prostranu unutrašnjost i najčešće se koriste u komercijalne svrhe dok putnički kombiji imaju veći broj sjedala i nešto manji teretni prostor. Električni kombiji postaju sve popularniji za dostavne usluge i poslovne flote zato što nude niže operativne troškove i kao prije spomenuti, smanjuju emisije štetnih plinova.

Autobusi su vozila koja se koriste za prijevoz većeg broja putnika na veće udaljenosti. Električni autobusi također sve više zamjenjuju autobuse pogonjene motorima s unutarnjim izgaranjem pogotovo u gradskim područjima. Električni pogonski sustavi u autobusima smanjuju emisije štetnih plinova, buku i vibracije omogućujući pritom udobniju vožnju.

Kamioni su teška teretna vozila koja se upotrebljavaju za prijevoz tereta na veće udaljenosti. Električni kamioni nisu još toliko izraženi na tržištu kao ostale navedene kategorije vozila. Električni kamioni imaju potencijal za smanjenje onečišćenja zraka i smanjenja buke u sektoru teretnog prijevoza. Trenutno se razvijaju električne izvedbe kamiona koje mogu zadovoljiti potrebe teretnog prijevoza u gradskim područjima.

Posljednja kategorija vozila su motocikli i skuteri. Motocikli i skuteri su vozila na najčešće dva kotača koja se koriste za prijevoz jedne ili dvije osobe. Električni motocikli i skuteri postaju sve popularniji pogotovo u gradskim područjima. Osim što su praktični i jednostavni omogućuju smanjenje emisija štetnih plinova te smanjuju buku.

Sa sve većim porastom interesa za održivost te smanjenje emisija, električne izvedbe vozila postaju sve popularnije u svim kategorijama u svakoj svojoj brzini. Električna vozila predstavljaju ekološki prihvatljivu alternativu smanjujući emisije štetnih plinova i buku. Razvoj

baterija i infrastrukture punjenja doprinosi širenju električnih vozila na različite kategorije cestovnih vozila, s ciljem ostvarivanja čistijeg i održivijeg prometa [4].

## 5. IZRAČUN POTROŠNJE ENERGIJE KOD KONVENCIONALNOG POGONA

Motori s unutarnjim izgaranjem mogu biti pokretani benzinskim ili dizelskim gorivom. Potrošnja energije kod motora s unutarnjim izgaranjem je ključna, ako ne i najvažnija mjera učinkovitosti i održivosti vozila. S obzirom da se sve više pažnje posvećuje upravo ekološkim pitanjima i potrebi za što većim smanjenjem stakleničkih plinova, razvoj modela za precizno izračunavanje potrošnje energije, za slučaj konvencionalnog pogona motora s unutarnjim izgaranjem, postaje izuzetno važan.

Izrada takvog modela može pružiti vrlo važne informacije za proizvođače vozila te korisnike. Precizno predviđanje potrošnje energije omogućuje bolje planiranje i optimizaciju vozila te direktno potiče razvoj ekološki prihvatljivih alternativa.

Pri izradi modela za izračunavanje potrošnje energije motora s unutarnjim izgaranjem uzet ćemo u obzir više faktora poput vrste goriva koje pokreće motor, karakteristike motora, voznih uvjeta te ostalih potrebnih parametara. Dobivenim modelom dobit ćemo korisne informacije o potrošnji energije i potrošnji energije po jediničnom putu. Na temelju dobivenih podataka moći ćemo napraviti usporedbu učinkovitosti različitih vozila.

Za izradu modela upotrebljavat ćemo i analizirati dostupne podatke za svaku kategoriju vozila. Analizirati ćemo potrošnju goriva različitih vozila te informacije o njihovim specifikacijama i performansama. Nadalje, dobiveni podatci pomoći će nam u izradi matematičkih modela i algoritama koji će u konačnici omogućiti predviđanje potrošnje energije u različitim uvjetima vožnje.

Uzimajući u obzir sve navedeno, izrada modela za izračun potrošnje energije za slučaj konvencionalnog pogona motora s unutarnjim izgaranjem predstavlja važnu fazu u planiranju i održavanju energetski održivog razvoja.

## 6. IZRAČUN POTROŠNJE ENERGIJE KOD ELEKTRIČNOG POGONA

Prateći trendove zadnjih godina te sve većom elektrifikacijom vozila, izrada modela za izračunavanje potrošnje energije kod vozila pogonjenih električnim motorom dobiva na sve većoj važnosti. S eksponencijalnim razvojem tehnologije električnih vozila, potrošnja energije postaje ključna mjera učinkovitosti i performansi vozila.

Isto kao i kod vozila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem, izrada ovog modela može pružiti vrlo važne informacije za proizvođače vozila te korisnike. Precizna pretpostavka potrošnje energije omogućuje optimizaciju performansi električnih vozila, planiranje putovanja i razvoj inovativnih tehnologija za povećanje učinkovitosti.

Kod izrade ovog modela cilj je uzeti u obzir različite faktore poput kapaciteta baterije, voznih uvjeta, brzine i drugih parametara kako bi mogli izračunati potrošnju energije po jediničnom prevaljenom putu. Za izradu modela upotrebljavat ćemo i analizirati dostupne podatke za svaku kategoriju vozila.

U postupku izrade i analize navedenog modela te pomoću matematičkih formula i algoritama doći ćemo do konačnih formula koje će nam omogućiti predviđanje potrošnje električne energije za različite uvjete vožnje. Konačne formule će također omogućiti vozačima vrlo važne informacije o očekivanoj potrošnji energije na temelju udaljenosti, brzine i drugih promjenjivih faktora.

U današnjem društvu koje sve više pažnje posvećuje očuvanju okoliša, smanjenju emisija štetnih plinova te održivom razvoju, izrada modela za izračun potrošnje energije kod motora pogonjenih električnom energijom predstavlja neizostavan dio procesa. Uz to, ovaj i njemu



slični modeli, otvaraju put prema potpunoj zamjeni konvencionalnih goriva električnom energijom.

## 7. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE POTROŠNJE ENERGIJE KOD KONVENCIONALNOG POGONA

Za što detaljniju izradu modela za izračunavanje potrošnje energije, za slučaj motora s unutarnjim izgaranjem, potrebno je prikupiti određene informacije i podatke za svaku pojedinu kategoriju vozila. U ovom modelu bit će uzeti u obzir podatci o vozilu, potrošnja goriva, udaljenost koju vozilo prijeđe, učinkovitost motora te utjecaji vožnje u različitim uvjetima. Za sve navedene faktore upotrebljavat ćemo dostupne provjerene statističke podatke za svaku pojedinu kategoriju vozila.

Po završetku prikupljanja podataka izračunati ćemo, pomoću određenih matematičkih formula i algoritama, potrošnju goriva po jediničnom prevaljenom putu. Također kombiniranjem podataka vezanih uz potrošnju goriva, voznih uvjeta, tehničkih karakteristika vozila i učinkovitosti motora možemo izračunati i dobiti informacije o očekivanoj potrošnji goriva na određenom putu.

Uz sve navedeno važno je napomenuti da bi model mogao biti još precizniji ukoliko bi se temeljio na trenutnim stvarnim podacima s testiranja vozila u različitim uvjetima vožnje. Isto tako model je osjetljiv na promjene u karakteristikama vozila i uvjetima vožnje te će za njegovu vjerodostojnost biti potrebno redovito ažuriranje podataka.

Za izračunavanje potrošnje energije, za slučaj konvencionalnog pogona motora s unutarnjim izgaranjem, poslužit ćemo se matematičkim formulama i algoritmima. Potrošnja energije ovisi o vrsti goriva, motoru i njegovoj učinkovitosti te uvjetima rada.

Formula kojom ćemo opisati potrošnju energije nalaže da je potrošnja energije jednaka umnošku potrošnje goriva po jediničnom prevaljenom putu i gubitka energije zbog učinkovitosti motora. Za potrošnju energije ćemo upotrebljavati oznaku „PE“, gdje je „E“

oznaka za energiju, a „PE“ oznaka za potrošnju energije. Za potrošnju goriva po jediničnom prevaljenom putu upotrebljavat ćemo oznaku „CG<sub>s</sub>“. Nadalje formula za izračunavanje potrošnje energije glasi:

$$PE = CG_s \cdot \Delta E \quad (1)$$

Potrošnju goriva po jediničnom prevaljenom putu izračunat ćemo na temelju prosječne potrošnje goriva te udaljenosti koju vozilo za to vrijeme prolazi. Stoga je potrošnja goriva po jediničnom prevaljenom putu jednaka kvocijentu potrošnje goriva i prijeđenog puta. Formula za izračunavanje potrošnje goriva iznosi:

$$CG_s = (CG / s) \cdot 100 \quad (2)$$

Oznaka „CG“ označuje potrošnju goriva izraženu u litrama, a oznaka „s“ prijeđeni put u kilometrima. Ono što nam je ostalo izračunati je gubitak energije. Za izračun gubitka energije važno nam je prikupiti vjerodostojne podatke vezane uz učinkovitost motora te znati koliko je energije uloženo u sustav. Formula za izračunavanje gubitka energije glasi:

$$\Delta E = (1 - \eta) \cdot E_1 \quad (3)$$

U navedenoj formuli oznaka „ $\eta$ “ označava učinkovitost motora, a oznaka „E<sub>1</sub>“ uloženu energiju u džulima. Što se gubitka energije tiče još je važno nadodati da postoji više faktora koji mogu utjecati na njenu vrijednost. Neki od faktora koji imaju velik utjecaj su: trenje, otpor zraka, prijenos gubitaka i drugih izvora energetske gubitaka u sustavu.

Još nam je samo preostalo odrediti koja nam je to ulazna energija koja se unosi u motor. Najtočniji način za izračunavanje ulazne energije bio bi kroz mjerenja i testiranja pomoću uređaja za mjerenje. S obzirom da nemamo tu mogućnost, podatke za ulaznu energiju dobit

ćemo iz tehničkih specifikacija motora. Najčešće je ta vrijednost navedena u kilovatima (kW), a nerijetko i u džulima (J).

## 8. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE POTROŠNJE ENERGIJE KOD ELEKTRIČNOG POGONA

Kao i prethodno objašnjen model, model za izračunavanje potrošnje energije kod električnog motora ima istu svrhu, a to je prikaz potrošnje energije izražen po jediničnom prevaljenom putu.

Ovakav model može biti vrlo koristan u vidu predviđanja potrošnje energije iz baterije za što bolji način ostvarivanja performansi vozila te poboljšanja učinkovitosti vozila. U ovom modelu ćemo također uzeti u obzir više faktora. Ključni faktori koje ćemo uzeti u obzir za izradu ovog modela bit će: kapacitet baterije, udaljenost koju će vozilo prijeći, potrošnju energije iz baterije po jediničnom prevaljenom putu, gubitak energije zbog efikasnosti motora i utjecaj različitih uvjeta vožnje na ponašanje vozila.

Isto kao i kod izrade prethodnog modela, za izradu ovog poslužit ćemo se matematičkim formulama i izrazima kako bi model bio što je moguće precizniji.

Potrošnja energije u slučaju električnog motora ovisi o kapacitetu baterije, električnoj učinkovitosti motora te o uvjetima vožnje. Stoga je potrošnja energije za električni motor jednaka umnošku potrošnje baterije po jediničnom prevaljenom putu i gubitka energije zbog efikasnosti motora. Osnovna formula pomoću koje ćemo izračunati potrošnju energije glasi:

$$PE = CG_{se} \cdot \Delta E \quad (4)$$

Oznake „PE“ i „ $\Delta E$ “ imaju isto značenje kao i u prethodnom modelu. U ovom izrazu pojavljuje se jedna nova oznaka „ $CG_{se}$ “ koja označava potrošnju energije baterije po jediničnom prevaljenom putu. U praksi se koriste dvije mjerne jedinice za opisivanje te vrijednosti. Prva mjerna jedinica je izražena u vatima-sat po kilometru, a prikazuje koja se količina energije utrošila po jediničnoj udaljenosti koju je vozilo prošlo. Za potrošnju energije baterije po

jediničnom prevaljenom putu postoji još jedna mjerna jedinica, a to je „kWh/100km“. Prikazana mjerna jedinica izražava potrošnju energije baterije u kilovat-satima na 100 kilometara vožnje. Zbog svoje praktičnosti oznaka „kWh/100km“ je često upotrebljavana zato što omogućuje lakšu usporedbu potrošnje energije između različitih vozila.

Nadalje, preostaje nam izraditi izraze za potrošnju baterije po jediničnom putu i gubitak energije zbog efikasnosti motora. Izraz za izračunavanje potrošnje baterije po jediničnom prevaljenom putu jednak je kvocijentu kapaciteta baterije izraženog u kilovat-satima i udaljenosti koju vozilo prijeđe izraženu u kilometrima.

Osnovna formula za izračunavanje potrošnje baterije po jediničnom prevaljenom putu glasi:

$$CG_{se} = C / s \quad (5)$$

Oznaka „C“ označava kapacitet baterije izraženog u kilovat-satima „kWh“ zbog što jednostavnije usporedbe kapaciteta različitih baterija. Kapacitet baterije izražava količinu električne energije koju baterija može pohraniti i koju istovremeno baterija može crpiti za vrijeme vožnje. Oznaka „s“ predstavlja prijeđeni put u kilometrima.

Kapacitet baterije izračunat ćemo kao umnožak naponskog potencijala baterije izraženog u voltima s kapacitetom baterije izraženim u amper-satima. Izraz za izračunavanje kapaciteta baterije glasi:

$$C = U \cdot Q \quad (6)$$

Također je bitno naznačiti da kapacitet baterije jedan je od ključnih faktora koji određuje koju udaljenost može prijeći električno vozilo bez punjenja. Veći kapacitet omogućuje veću udaljenost i obrnuto. Osim o kapacitetu baterije, stvarna udaljenost koju može prijeći električno

vozilo ovisi i o drugim čimbenicima kao što su način i vozni uvjeti vožnje te efikasnost električnog motora.

Vrijednosti za naponski potencijal baterije i kapaciteta baterije propisuje proizvođač baterija ili proizvođač električnih vozila stoga će ti podatci biti uzeti iz službenih podataka o vozilu.

Za izračunavanje gubitka energije, u modelu za izračunavanje potrošnje energije kod električnog motora, važno je uzeti u obzir više faktora. Prije svega, gubitak energije se može javiti pri pretvorbi električne energije iz baterije u mehaničku energiju kretanja vozila. Gubitak energije može se ostvariti i zbog otpora zraka te zbog sustava hlađenja i grijanja. Osim toga, gubitak energije javlja se i kod regenerativnog kočenja prilikom kojeg se električna energija vraća nazad u bateriju. No taj proces nije 100% efikasan te se javljaju gubitci. Gubitak energije izračunat ćemo na vrlo jednostavan način i to kao razliku ulazne i izlazne energije. Osnovni izraz za izračunavanje gubitaka glasi:

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (7)$$

Ulazna energija „ $E_1$ “ je energija koja se iz baterije predaje električnom motoru, a izlazna energija „ $E_2$ “ je energija koja predstavlja mehaničku energiju koja se upotrebljava za pokretanje vozila.

Uz to, za točnu vrijednost gubitaka energije koji se javljaju potrebno je uzeti u obzir i puno drugih faktora i te iste odrediti pomoću testiranja, mjerenja i simulacija.

## 9. ŽIVOTNI CIKLUS VOZILA

Životni ciklus vozila ("Life Cycle Analysis") su faze kroz koje vozilo prolazi od same ideje do kraja životnog vijeka. Bitno je napomenuti da se životni ciklus vozila može promatrati iz dvije perspektive koje su međusobno povezane uz jasnu granicu. Tako postoji životni ciklus vozila promatran iz perspektive protoka novca te životni ciklus vozila iz perspektive samog vozila (ideja, proizvodnja, upotreba i otpis). Faze kroz koje vozilo prolazi mogu varirati i ovisiti o različitim faktorima. Za potrebe razrade našeg modela životni ciklus vozila podijelit ćemo u nekoliko kategorija:

1. Ideja i istraživanje tržišta
2. Razvoj te proizvodnja proizvoda
3. Plasiranje proizvoda na tržište
4. Upotreba proizvoda - faza rasta i zrelosti
5. Opadanje i otpis proizvoda (reciklaža)

U prvoj fazi dolazi do istraživanja tržišta te pronalaska točno određenih potreba kupaca za koje će proizvod biti namijenjen. Istraživanje tržišta provodi se metodama intervjua i anketa budućih korisnika koje će dati odgovor kakav bi proizvod trebao biti. Uz navedeno, ova faza uključuje *brainstorming*, skice i stvaranje prototipa novog modela vozila. Nakon prikupljenih podataka istraživanja, ulazi se u sljedeću fazu životnog ciklusa vozila.

Sljedeća faza životnog ciklusa vozila je konceptualizacija i izrada prototipa. Na prototipu se zatim provode testiranja te ukoliko je potrebno, prototip se korigira uz sitne izmjene. Nakon što su sve povratne informacije očekivano pozitivne, odjel zadužen za kontrolu kvalitete potvrđuje konačni proizvodni proces te se izrađuju alati za proizvodnju. U finalnoj fazi prije uvođenja



vozila na tržište odvija se proizvodnja. Prije puštanja vozila na tržište provode se detaljna i sveobuhvatna testiranja kako bi se utvrdilo zadovoljava li vozilo sve potrebne standarde.

Za vrijeme proizvodnje, prije samog plasiranja na tržište, odjel marketinga svakako bi trebao što kvalitetnije oglasiti i najaviti novo vozilo na tržištu. Bitno je da reklama bude što autentičnija. Na taj će način privući više znatiželjnih kupaca što predstavlja i cilj. Nakon što je tvrtka proizvela dovoljne količine vozila slijedi plasman vozila na tržište. U trenutku plasiranja vozila na tržište počela je i njegova uporaba. Korisnici ga aktivno koriste i ukoliko je prepoznat i dobro prihvaćen, proizvodnja se povećava što umanjuje specifičnu cijenu proizvoda po komadu – prodaja i profit za tvrtku rastu.

Cilj je poduzeti sve mjere da ova faza što duže traje. Proizvod koriste velike grupe ljudi koji primjećuju njegove dobre i loše strane. Povratne informacije za tvrtku su bitne jer pomoću njih inženjeri mogu usmjeriti pažnju otklanjanja poteškoća u sljedećim proizvedenim jedinicama. U fazi zrelosti vozila prodaja polako počinje opadati.

Ova faza traje najduže u životnom ciklusu vozila. Promjene koje na vozilu nastaju su minorne u odnosu na potpuno novi model, a mogu dovesti dodatne kupce i osvježiti fazu zrelosti vozila te odgoditi konačnu fazu.

Vozilo je, uz određena poboljšanja i razne varijante i podvarijante, nekoliko godina provelo na tržištu. Kako se u moderno doba tehnologija razvija eksponencijalno, brzo zastarjela vozila gube svoj udio na tržištu. Konkurencija nudi nova tehnička rješenja. Kada vozilo postane previše staro ili preskupo za održavanje, može se prodati, otpisati ili reciklirati. U procesu recikliranja dolazi do demontaže vozila, a korisni materijali se dalje koriste.

U današnje vrijeme dolazi do izražaja još jedan bitan aspekt životnog vijeka vozila, a to je ekološki aspekt. Proizvođači su sve više usmjereni na smanjenje štetnih emisija te povećanje energetske učinkovitosti i razvoja održivih tehnologija kao što su električna i hibridna vozila.

Analiza životnog ciklusa vozila se u današnje vrijeme često koristi u automobilske industriji kako bi se utvrdio cjelokupni utjecaj vozila na okoliš [5].

## 10. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE CO<sub>2</sub> EMISIJA KOD KONVENCIONALNOG POGONA

Pri izradi modela za izračunavanje štetnih emisija CO<sub>2</sub>, za slučaj konvencionalnog pogona vozila bit će potrebno razmatrati više ključnih faktora. Ti faktori su:

1. Emisije proizvedene tijekom proizvodnje vozila
2. Emisije proizvedene tijekom upotrebe vozila
3. Emisije proizvedene tijekom održavanja vozila
4. Emisije proizvedene tijekom zbrinjavanja vozila

Zbog kompliciranosti te nedostupnosti određenih podataka pri izradi ovog modela, razmatrat će se samo emisije proizvedene tijekom uporabe vozila. No, za početak treba nešto više reći o tim istim emisijama.

Emisije proizvedene tijekom uporabe vozila odnose se na količinu stakleničkih plinova, najviše ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), koje vozilo ispušta u atmosferu prilikom njegove uporabe. Utjecaj ovih emisija izrazito je važan te igra veliku ulogu u vidu klimatskih promjena. Količina emisija koje se proizvedu ovisi o više faktora. Jedan od faktora je i vrsta goriva. Vrsta goriva ima velik utjecaj na količinu štetnih emisija. Kao što znamo dizelska goriva obično imaju veću gustoću od benzinskih goriva, ali isto tako mogu proizvesti veću količinu štetnih CO<sub>2</sub> emisija nego benzinska goriva po prijeđenom kilometru. Također na količinu štetnih emisija utječu i uvjeti vožnje u kojima se vozilo nalazi. Gradska vožnja sa puno stajanja i pokretanja ima za posljedicu veću potrošnju goriva, a onda i veće štetne emisije u usporedbi s vožnjom vozila na autoputu. Prateći ekološke trendove i propise motori novijih vozila postaju sve učinkovitiji i proizvode sve manju količinu štetnih emisija po prijeđenom kilometru u usporedbi sa starijim modelima.

Upravo se iz tog razloga u mnogim zemljama današnjice sve više regulira i ograničava upotreba starijih vozila. Faktor koji izravno utječe na rad motora, a time i na količinu štetnih emisija je način i kvaliteta održavanja motora. Redovito servisiranje i održavanje motora ima veliku ulogu u produženju životnog vijeka motora, a uz to i smanjivanju štetnih CO<sub>2</sub> emisija.

Za izračunavanje CO<sub>2</sub> emisija u slučaju konvencionalnog pogona vozila upotrijebit ćemo formulu:

$$\text{Ukupne CO}_2 \text{ emisije} = \text{Potrošnja goriva} \cdot \text{Emisija CO}_2 \text{ po litri} \cdot \text{Godišnja kilometraža} \cdot \text{Životni vijek} \quad (8)$$

Podatak za potrošnju goriva daje proizvođač te će podatci za svaku pojedinu skupinu vozila biti uzeti od proizvođača. Godišnja kilometraža za svaku skupinu vozila bit će uzeta na temelju statističkih podataka. Za izračunavanje emisija CO<sub>2</sub> po litri goriva bit će nam potrebno poznavati količinu ugljika koja se nalazi u gorivu. Postotak ugljika u benzinu kreće se od 84% do 87%. Za potrebe izrade modela uzet ćemo srednju vrijednost od 85,5%. To znači da jedan kilogram benzina sadrži 0,855 kilograma ugljika. Atomska težina ugljika iznosi 12,01, a atomska težina kisika iznosi 16. Kombiniranjem tih dviju atomskih težina dobivamo da svaka molekula CO<sub>2</sub> ima molekulsku težinu koja iznosi 44,01. Za stvaranje ugljikovog dioksida potrebna je kemijska reakcija ugljika i kisika u određenom omjeru. U našem slučaju to znači da ćemo od jednog kilograma ugljika dobiti 3,67 kilograma CO<sub>2</sub>. Poznajući ovaj podatak možemo izračunati štetne emisije benzina. U kemijskoj reakciji jednog kilograma benzina nastaje  $0,855 \times 3,67 = 3,14$  kilograma ugljikovog dioksida prilikom izgaranja. Prema tehničkim podacima gustoća benzina iznosi 0,74 kg/L. Za izračunavanje emisija ugljikovog dioksida po litri samo nam je preostalo pomnožiti gustoću benzina sa količinom ugljikovog dioksida prilikom izgaranja. Množenjem ta dva broja dobivamo da količina emisija ugljikovog dioksida po litri iznosi 2,32 kg/L benzina.

Sličan princip proračuna vrijedi i za dizelsko gorivo. Postotak ugljika u dizelu kreće se od 86% do 90%. Za potrebe izrade modela uzet ćemo srednju vrijednost od 88%. To znači da jedan kilogram dizelskog goriva sadrži 0,88 kilograma ugljika. Proračun se dalje provodi na isti način kao i za benzin. Prema tehničkim podacima gustoća dizela je nešto veća od gustoće benzina i iznosi približno 0,83 kg/L. Kao konačan rezultat dobiva se da količina emisija ugljikovog dioksida po litri za dizelsko gorivo iznosi 2,68 kg/L [6].

Bitno je navesti i činjenicu da su ovo samo približne vrijednosti. Stvarne vrijednosti mogu se razlikovati ovisno o više faktora.

Preostalo nam je odrediti životni vijek vozila. Taj podatak je složen i ovisi o više različitih faktora. Stoga ćemo podatke o životnom vijeku vozila za svaku pojedinu kategoriju uzeti također od strane proizvođača.

## 11. MODEL ZA IZRAČUNAVANJE CO<sub>2</sub> EMISIJA KOD ELEKTRIČNOG POGONA

Pri izradi modela za izračunavanje štetnih emisija CO<sub>2</sub> za slučaj električnog pogona vozila također će biti potrebno razmatrati više ključnih faktora. Prvi faktor o kojem treba voditi računa je izvor energije. Potrebno je poznavati energiju kojom se naše vozilo puni. Vozilo može biti punjeno različitim vrstama energije pa čak i energijom koja dolazi iz fosilnih goriva. Svaka vrsta energije ima različitu emisiju ugljikovog dioksida. Najučinkovitije punjenje električnog vozila bilo bi obnovljivim izvorima energije. No, to je jako teško izvedivo i u praksi se koristi u rijetkim slučajevima. Nadalje, za kvalitetan proračun štetnih emisija treba uzeti u obzir način na koji se puni baterija te efikasnost same baterije i pogona.

Potrošnja energije vozila predstavlja količinu energije koju vozilo upotrebljava za prelazak određenog puta. Najčešće je izražena u mjernoj jedinici kilovat-sat na prijeđenih 100 kilometara (kWh/100km). Postoji više načina za određivanje potrošnje energije vozila. S obzirom da nemamo potrebne mjerne uređaje, podatak o potrošnji energije vozila uzet ćemo od proizvođača za svaku pojedinu kategoriju vozila za koju ćemo provoditi proračun. Kao što znamo, cjelokupni životni vijek vozila sastoji se od više faza. Za svaku fazu moramo odrediti količinu emisija ugljičnog dioksida.

Formula po kojoj ćemo provesti proračun glasi:

$$\text{Ukupne emisije CO}_2 = \text{Emisije prilikom proizvodnje} + (\text{Faktor emisija električne mreže} \cdot \text{količina utrošene energije tokom životnog vijeka}) + \text{Emisije od održavanja} + \text{Emisije od recikliranja} \quad (9)$$

Emisije od proizvodnje, održavanja i recikliranja ćemo procijeniti na temelju dostupnih podataka vezanih za industriju svake kategorije vozila za koju ćemo provoditi proračun.

Količinu utrošene električne energije tijekom životnog vijeka izračunat ćemo kao umnožak prosječne potrošnje energije vozila i ukupne kilometraža tokom životnog vijeka.

Faktor emisija električne mreže predstavlja količinu stakleničkih plinova, najčešće mjerenu u gramima ugljikovog dioksida, koja se emitira za svaku proizvedenu kilovat-sat električne energije. Prema službenim podacima Eurostat-a iz 2021. godine faktor emisija električne mreže za EU je iznosio 300 gCO<sub>2</sub>/kWh, a za SAD 425 gCO<sub>2</sub>/kWh [6].

Navedena formula predstavlja pojednostavljeni izraz za računanje emisija ugljičnog dioksida. Za detaljniji proračun bilo bi potrebno imati pristup određenim bazama podataka i poznavati određene specifikacije vozila za koje bi se provodio proračun.

## 12. PREGLED PREDSTAVNIKA SVAKE KATEGORIJE VOZNOG PARKA ZA SLUČAJ KONVENCIONALNOG I ELEKTRIČNOG POGONA VOZILA

Za svaku kategoriju voznog parka, koje smo već ranije u radu naveli da ćemo razmatrati, prikazat ćemo predstavnika za kojeg ćemo provesti proračun. Podatci koji su vezani za svaku kategoriju općenito, bit će kasnije detaljnije objašnjeni. Za sedam kategorija imamo ukupno sedam predstavnika za konvencionalni pogon te sedam predstavnika za električni pogon. Svaki predstavnik uzet je kao nekakva sredina svoje kategorije po svim aspektima. Za početak ćemo prikazati predstavnike svake kategorije vozila za slučaj konvencionalnog pogona.



Slika 2. Audi A3

Za predstavnika kategorije osobnih vozila uzet ćemo Audi A3 kao što je prikazano na slici 2 [7].





**Slika 3. Porsche 911 GT3**

Za predstavnika kategorije sportskih vozila uzet ćemo Porsche 911 GT3 kao što je prikazano na slici 3 [8].

**Slika 4. BMW X5 M50d**

Za predstavnika kategorije SUV vozila uzet ćemo BMW X5 M50d kao što je prikazano na slici 4 [9].

**Slika 5. Iveco daily**

Za predstavnika kategorije kombija uzet ćemo Iveco daily kao što je prikazano na slici 5 [10].



**Slika 6. Autobus marke Mercedes-Benz**

Za predstavnika kategorije autobusa uzet ćemo autobus marke Mercedes - Benz kao što je prikazano na slici 6 [11].



**Slika 7. Kamion marke Volvo**

Za predstavnika kategorije kamiona uzet ćemo kamion marke Volvo kao što je prikazano na slici 7 [12].



**Slika 8. Yamaha XSR 125**

Za predstavnika kategorije motocikala uzet ćemo Yamahu XSR 125 kao što je prikazano na slici 8 [13].

Za slučaj električnog pogona vozila također imamo sedam predstavnika koji će biti prikazani u daljnjem tekstu, svaki za svoju kategoriju koju predstavlja.



**Slika 9. Peugeot e308**

Za predstavnika kategorije osobnih vozila uzet ćemo Peugeot e308 kao što je prikazano na slici 9 [14].



**Slika 10. Porsche Taycan Turbo S**

Za predstavnika kategorije sportskih vozila uzet ćemo Porsche Taycan Turbo S kao što je prikazano na slici 10 [15].



**Slika 11. Mercedes-Benz EQS**

Za predstavnika kategorije SUV vozila uzet ćemo Mercedes-Benz EQS kao što je prikazano na slici 11 [16].



**Slika 12. Mercedes-Benz eSprinter**

Za predstavnika kategorije kombija uzet ćemo Mercedes-Benz eSprinter kao što je prikazano na slici 12 [17].



**Slika 13. MAN Lion's City E**

Za predstavnika kategorije autobusa uzet ćemo MAN Lion's City E kao što je prikazano na slici 13 [18].



**Slika 14. Volvo FL Electric**

Za predstavnika kategorije kamiona uzet ćemo Volvo FL Electric kao što je prikazano na slici 14 [19].



**Slika 15. Zero S**

Za predstavnika kategorije motocikala uzet ćemo Zero S kao što je prikazano na slici 15 [20].



### 13. PRORAČUN ZA KONVENCIONALNI POGON VOZILA

Za predstavnike svake kategorije bit će dani u tablici 1. osnovni tehnički podatci koji će nam poslužiti za računanje emisija CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini. Računanje će se provoditi po formulama objašnjenim u prethodnim poglavljima te će u tablici 1. biti prikazani samo konačni rezultati. Važno je napomenuti da su prosječna godišnja kilometraža te životni vijek vozila preuzeti iz službenih tehničkih podataka proizvođača. Stranice sa kojih su podatci preuzeti navedene su u dijelu rada pod nazivom „Literatura“. Isto tako je bitno napomenuti da ćemo za korisnost benzinskog motora uzimati srednju vrijednost u iznosu 25%, a za korisnost dizelovog motora srednju vrijednost u iznosu 35%. Podatci o prosječnim emisijama ugljikovog dioksida preuzeti su sa službenih stranica WLTP-a [21]. Uz to u tablici 1. će istovremeno biti prikazana i usporedba prosječne kilometraže za područje Europske Unije [22] te za područje SAD-a [23]. Rezultati će također biti prikazani za oba područja.

**Tablica 1. Tehnički podatci i rezultati za konvencionalni pogon [7-13]**

Tip vozila	Audi A3	Porsche 911 GT3	BMW X5 M50d	Iveco daily	Mercedes – Benz autobus	Volvo kamion D13 460	Yamaha XSR 125
Gorivo	Benzin	Benzin	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
Potrošnja goriva u litrama na 100 km	5,6	11,5	7,9	11	32,5	30	2,1
CO <sub>2</sub> emisije (g/km)	127	293	185	225	1000	804	47
Ulazna energija (E <sub>1</sub> u kW)	81	375	294	125	260	345	11



Prosječna kilometraža EU (km)	12500	7500	12500	20000	95000	100000	7500
Prosječna kilometraža SAD (km)	21700	7500	21700	40000	128000	221000	6400
Životni vijek (godina)	12,5	10	15	12,5	15	25	13,5
$\Delta E$ (kW)	60,8	281,3	191,1	81,3	169	224,3	8,3
Emisije CO <sub>2</sub> u EU (tona/godišnje)	2	2	3,9	7,4	124,1	201	0,5
Emisije CO <sub>2</sub> u SAD (tona/godišnje)	3,5	2	6,9	14,7	167,2	444,2	0,4

## 14. PRORAČUN ZA ELEKTRIČNI POGON VOZILA

Za predstavnike svake kategorije bit će dani u tablici 2. osnovni tehnički podatci koji će nam poslužiti za računanje emisija CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini. Računanje će se provoditi po formulama objašnjenim u prethodnim poglavljima te će u tablici 2. biti prikazani samo konačni rezultati. Podatci o emisijama proizvedenim tijekom proizvodnje vozila, njegovog održavanja i recikliranja preuzeti su sa službenih stranica Eurostat-a [24]. Također podatci o prosječnoj ukupnoj kilometraži vozila svake kategorije preuzeti su sa službenih stranica ACEA-e [21] za EU [22] te EPA-e za SAD [23]. Svi ostali podatci svakog vozila za koje će biti proveden proračun dobiveni su iz njihovih tehničkih specifikacija. Isto kao i u prethodnoj, u tablici 2. bit će istovremeno prikazana i usporedba ukupne kilometraže za područje Europske Unije te za područje SAD-a. Rezultati će također biti prikazani za oba područja.

**Tablica 2. Tehnički podatci i rezultati za električni pogon [14-20]**

Tip vozila	Peugeot e308	Porsche Taycan Turbo S	Mercedes-Benz EQS	Mercedes-Benz eSprinter	MAN Lion's City E	Volvo FL Electric	Zero S
P <sub>1</sub> (kW)	115	566	268	86	200	185	34
E <sub>1</sub> (kWh)	54	93,4	120	55	360	200	14,4
E <sub>2</sub> (kWh)	51	83,7	108,4	47	215	185	12,5
U (V)	375	800	396	365	635	600	108
ΔE (kWh)	3	9,7	11,6	8	145	15	1,9
PE (kWh/100km)	15	25	22	34,8	200	200	10
Proizvodnja (kg CO <sub>2</sub> / vozilu)	10	17,5	27,5	37,5	80	60	3,5
Održavanje (kg CO <sub>2</sub> / vozilu)	1	1	1,1	2	3,5	4,5	0,4
Recikliranje (kg CO <sub>2</sub> / vozilu)	1,3	6	7,5	9	22,5	15	1
Ukupna kilometraža EU (km)	210000	225000	210000	325000	750000	1000000	60000

Ukupna kilometraža SAD (km)	280000	280000	280000	400000	966000	1287000	72000
Životni vijek (god)	12,5	10	15	12,5	15	25	13,5
Emisije CO <sub>2</sub> u EU (tona/godišnje)	1,74	1,69	0,93	2,72	30	24	0,13
Emisije CO <sub>2</sub> u SAD (tona/godišnje)	2,4	2,98	1,75	4,74	54,75	43,76	0,23

## 15. PRIMJERI DEKARBONIZACIJE VOZNOG PARKA

U prethodna dva poglavlja izračunato je kolike su CO<sub>2</sub> emisije na godišnjoj razini za svaku pojedinu skupinu voznog parka. Proračun je proveden za slučaj konvencionalnog pogona vozila te za slučaj električnog pogona vozila. Podatci koje smo dobili kao rezultat predstavljaju prosječnu količinu CO<sub>2</sub> emisija na godišnjoj razini. Nadalje, u ovom poglavlju bit će prikazano, na primjeru dviju velikih kompanija, kako optimizirati vozni park te u konačnici smanjiti CO<sub>2</sub> emisije na godišnjoj razini. Podatci i proračun bit će izrađeni prema WTW ciklusu. WTW ciklus se odnosi na procjenu ukupnih emisija tijekom cijelog životnog ciklusa vozila. Proračun ćemo provesti za jednu kompaniju u EU i jednu kompaniju u SAD-u. Za EU uzet ćemo kompaniju Autotrans [25], a za SAD ćemo uzeti kompaniju Disney Transport [26]. Prema zadnjim podacima kompanija Autotrans broji 282 vozila. Od toga su: 93 osobna vozila, 176 autobusa te 13 kamiona [25]. Kompanija Disney Transport, prema podacima iz 2021. godine broji 505 vozila. Flotu od 505 vozila čine 325 autobusa, 150 osobnih vozila te 30 kamiona [26]. Ukupne CO<sub>2</sub> emisije za flotu dobit ćemo kao umnožak broja vozila i količine CO<sub>2</sub> emisije u tonama godišnje. Pritom je potrebno voditi računa o broju vozila pojedine kategorije i podatku o CO<sub>2</sub> emisijama iste te kategorije te o vrsti pogona zato što se ti podatci bitno razlikuju.

**Tablica 3. Izračunati podatci za kompaniju Autotrans [25]**

Broj osobnih vozila	Broj autobusa	Broj kamiona	Broj električnih osobnih vozila	Broj električnih autobusa	Broj električnih kamiona	Ukupne emisije CO <sub>2</sub> (t/godišnje)	Postotak smanjenja emisija CO <sub>2</sub> (%)
93	176	13	0	0	0	24622,6	-
50	138	5	43	38	8	19637,62	20
35	88	4	58	88	9	14751,72	40
15	40	2	78	136	11	9849,04	60
0	0	0	93	176	13	5753,8	77

U tablici 3. prikazane su vrijednosti CO<sub>2</sub> emisija na godišnjoj razini u EU. Izračunati su podatci za slučaj smanjenja emisija od 20%, 40%, 60% te maksimalno mogućeg smanjenja emisija od 77%. Maksimalno smanjenje moguće je postići ukoliko se cijela flota, čija su vozila pogonjena motorima s unutarnjim izgaranjem, zamijeni vozilima s električnim pogonom. Također, u tablici su vidljivi i podatci o CO<sub>2</sub> emisijama te broj vozila pojedinih skupina za slučaj kada je samo dio flote zamijenjen vozilima s električnim pogonom.

**Tablica 4. Izračunati podatci za kompaniju Disney Transport [26]**

Broj osobnih vozila	Broj autobusa	Broj kamiona	Broj električnih osobnih vozila	Broj električnih autobusa	Broj električnih kamiona	Ukupne emisije CO <sub>2</sub> (t/godišnje)	Postotak smanjenja emisija CO <sub>2</sub> (%)
150	325	30	0	0	0	68191	-
130	245	19	20	80	11	54768,16	20
80	134	15	70	191	15	40629,45	40
30	50	5	120	275	25	27124,25	60
0	0	0	150	325	30	19466,55	71

U tablici 4. prikazane su vrijednosti CO<sub>2</sub> emisija na godišnjoj razini u SAD-u. Usporedbom podataka obje tablice jasno je vidljivo kako je količina CO<sub>2</sub> emisija na godišnjoj razini u SAD-u znatno veća nego ona u EU. To je posljedica dvaju faktora. Prvi faktor vezan je uz količinu vozila koje posjeduju obje kompanije. Kompanija Disney Transport posjeduje pedesetak posto više vozila te je stoga i količina emisija veća. Drugi faktor odnosi se na činjenicu koja je pokazana i u prethodna dva poglavlja, a to je da vozila u SAD-u imaju veću godišnju kilometražu od onih u EU. To je također razlog ovako velikoj razlici u količini emisija na godišnjoj razini. Također, u tablici 4. izračunate su količine emisija na godišnjoj razini za slučaj postupnog prelaska flote na potpuno električnu. Isto kao i u prethodnoj tablici, jasno je vidljiv pad emisija na godišnjoj razini u slučaju povećanja broja vozila s električnim pogonom. Maksimalno smanjenje emisija za navedenu kompaniju iznosi 71%.

Imajući uvid u podatke koji su dani u obje tablice možemo zaključiti da postupnom zamjenom vozila s konvencionalnim pogonom vozilima s električnim pogonom znatno smanjujemo CO<sub>2</sub> emisije na godišnjoj razini.

## 16. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme modeli za dekarbonizaciju voznog parka postali su ključni faktor u cilju smanjenja efekta klimatskih promjena. Transportni sektor im sve veći utjecaj u globalnoj infrastrukturi te je potreba za brzom i učinkovitom transformacijom voznog parka postala prioritet. Električna vozila predstavljaju jedan od glavnih načina za postizanje smanjenja emisija u sektoru cestovnog prometa. Da bi to bilo moguće, modeli za dekarbonizaciju trebali bi uzeti u obzir što je moguće više faktora. Modeli koji su objašnjeni u ovom radu predstavljaju pojednostavljenu verziju pravih modela te je dobar dio faktora, koji utječu na emisije ugljikovog dioksida, izostavljen zbog nemogućnosti njihovog određivanja.

Usporedbom dobivenih rezultata emisija CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini u tablici 1. i tablici 2. vidljivo je smanjenje emisija kod vozila s električnim pogonom. Najveće smanjenje emisija postiže se kod kamiona i autobusa.

Velika prednost ovih modela je njihova sveobuhvatnost, prilagodljivost i usmjerenost prema ostvarivim ciljevima.

Iako dekarbonizacija voznog parka daje vidljive rezultate u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> i borbe protiv klimatskih promjena, ona također donosi i niz potencijalno negativnih posljedica o kojima bi trebalo voditi računa. Negativne posljedice uz koje se veže dekarbonizacija odnose se na gubitak radnih mjesta, stvaranje problema u stabilnosti opskrbe energijom, gubitka resursa za izradu baterija te problemi s otpadom. Električna vozila koja su ključna komponenta ovog procesa zasad još uvijek ovise o električnoj mreži.

Stoga, u procesu ostvarivanja zacrtanog cilja treba biti jako oprezan kako se ne bi doveli do ekološke katastrofe.

## LITERATURA

- [1] <https://www.renovablesverdes.com/hr/descarbonizacion/>
- [2] <https://operando.hr/dekarbonizacija/>
- [3] <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/paris-agreement/>
- [4] <https://www.edusinfo.hr/aktualno/u-sredistu/elektrifikacija-voznog-parka-u-hrvatskoj-trendovi-i-subvencije-drzave-za-laksu-tranziciju-1-50253>
- [5] <https://www.hak.hr/vozacki-ispiti/kategorije-vozila/>
- [6] <https://www.edukacije.hr/blog/upravljanje-i-administracija/vozni-park-ucinkovito-upravljanje-i-optimizacija-troskova/>
- [7] <https://www.adac.de/>
- [8] <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-a3-sedan-14>
- [9] <https://www.auto-data.net/en/porsche-911-992-gt3-4.0-510hp-42481>
- [10] <https://www.auto-data.net/en/bmw-x5-g05-m50d-400hp-steptronic-33267>
- [11] [https://www.iveco.com/croatia/collections/technical\\_sheets/Documents/VAN/Daily\\_Van/50C\\_15\\_17\\_21.pdf](https://www.iveco.com/croatia/collections/technical_sheets/Documents/VAN/Daily_Van/50C_15_17_21.pdf)
- [12] [https://www.mercedes-benz-bus.com/en\\_AM/models/tourismo/facts/technical-data.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/en_AM/models/tourismo/facts/technical-data.html)
- [13] <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/trucks/volvoh/specifications/powertrain.html>
- [14] <https://www.yamaha-motor.eu/al/sq/products/motorcycles/sport-heritage/xsr125-2023/techspecs/>
- [15] <https://ev-database.org/car/1744/Peugeot-e-308>
- [16] <https://www.iea.org/>
- [17] <https://theicct.org/>
- [18] <https://www.epa.gov/>
- [19] <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [20] <https://www.auto-data.net/en/porsche-taycan-y1a-turbo-s-93.4-kwh-761hp-37546>
- [21] <https://www.auto-data.net/en/mercedes-benz-eqs-suv-eqs-450-120-kwh-360hp-4matic-45688>
- [22] [https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion\\_s-city/diesel-drive/man-lion\\_s-city.html](https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion_s-city/diesel-drive/man-lion_s-city.html)
- [23] <https://www.auto-data.net/en/mercedes-benz-esprinter-panel-van-w907-w910-55-kwh-116hp-43664>

- [24] <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>
- [25] <https://zeromotorcycles.com/model/zero-s>
- [26] <https://www.acea.auto/>
- [27] <https://www.tportal.hr/autozona/clanak/foto-video-novi-audi-a3-limousine-dolazi-na-trziste-digitalan-je-i-potpuno-povezan-foto-20200422>
- [28] <https://www.auto-data.net/en/porsche-911-992-gt3-rs-4.0-525hp-pdk-46354>
- [29] <https://www.motor1.com/news/653617/bmw-x5-m-x6-m-competition-debut/>
- [30] <https://www.route-one.net/test-drives/test-drive-mercedes-benz-tourismo-access-12-3m/>
- [31] <https://www.iveco.com/croatia/proizvodi/pages/novi-daily-furgon.aspx>
- [32] <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/news/press-releases/2019/mar/pressrelease-190307.html>
- [33] <https://www.tourenfahrer.de/nachrichten/artikel/die-neue-yamaha-xsr-125/>
- [34] <https://www.autonet.hr/aktualno/vijesti/peugeot-predstavio-novi-308-duzi-nizi-i-s-plug-in-hibridnim-pogonom/>
- [35] <https://economictimes.indiatimes.com/magazines/panache/2020-porsche-taycan-turbo-s-a-stunning-e-car-with-best-ever-regenerative-brakes-at-185000/articleshow/72381233.cms?from=mdr>
- [36] <https://www.caranddriver.com/reviews/a41411166/2023-mercedes-benz-eqs-suv-drive/>
- [37] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.mercedes-benz.com>
- [38] <https://bs.rayhaber.com/2022/09/nagrada-za-autobus-godine-Man-Lions-Cityju-kazandi/>
- [39] <https://epda.ie/news-info/volvo-trucks-new-unique-safety-feature-for-volvos-electric-trucks/>
- [40] <https://www.webbikeworld.com/2021-zero-s/>
- [41] <https://autobusi.org/forum/index.php?topic=123.0>
- [42] <https://www.disneyworld.eu/guest-services/resort-transportation/>