

# Analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca - osvrt na cestovni promet

---

**Matić, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:439794>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Dominik Matić**

**ANALIZA TROŠKOVA I KORISTI ORGANIZACIJE ZELENIH TRANSPORTNIH  
LANACA – OSVRT NA CESTOVNI PROMET**

**COST BENEFIT ANALYSIS OF GREEN TRANSPORT CHAINS – A ROAD  
TRANSPORT OVERVIEW**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2021.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

Diplomski rad

Analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca –  
osvrt na cestovni promet

Cost Benefit Analysis of Green Transport Chains – a Road Transport  
Overview

Mentor: prof. dr. sc. Darko Babić

Student: Dominik Matic

JMBAG: 0035198611

Zagreb, lipanj 2021.

Zagreb, 6. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Upravljanje transportnim lancima**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6189

Pristupnik: **Dominik Matić (0035198611)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

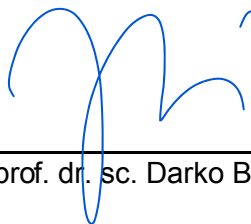
Zadatak: **Analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca - osvrt na cestovni promet**

### Opis zadatka:

Analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca osvrt na cestovni promet, usmjerena je na jedan od važnijih modernih problema koji nastaju kao posljedica transporta u svim prometnim granama, a to je štetnost za okoliš. Prema nekim procjenama, do 2050. godine prijevozna aktivnost će se učtverostručiti. Prilikom takvog povećanja poslovanja naglasak se neizbježno stavlja na financijsku korist bez uzimanja u obzir dugotrajnih posljedica. Nove tehnologije koje se iz godine u godinu još više razvijaju i rasprostranjuju postaju sve pristupačnije i postoji mogućnost motivirati prijevoznike za prelazak na njih i radi vlastite financijske koristi.

Cilj rada je istražiti mogućnosti primjene zelenih tehnologija poput pogona na električnu energiju u organizaciji tzv. zelenih transportnih lanaca koji imaju manje negativne posljedice na okoliš, ali i troškove i isplativost takvih transportnih lanaca.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Darko Babić

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

## SAŽETAK

Cestovni prijevozni mod najzastupljeniji je u teretnom prijevozu u Europi. Najveći troškovi u cestovnom prijevozu su troškovi goriva. Korištenje fosilnih goriva uzrokuje negativne posljedice na okoliš kao i zdravlje i dobrobit ljudi, životinja i biljaka. Zelene tehnologije u prometu nastoje umanjiti te posljedice, a u teretnom prijevozu fokusiraju se na LDC-e i na vozila. S obzirom da su fosilna goriva istovremeno izvor najvećeg dijela troškova i najvećeg dijela zagađenja u cestovnom prometu, ona su idealno mjesto fokusa za zelene transportne lance. Postoje mnoga alternativna pogonska rješenja, a najzastupljenija su biogoriva, prirodni plin, električna energija i vodik. U Republici Hrvatskoj godišnji su eksterni troškovi teretnog cestovnog prijevoza veći od 500 milijuna € gledajući samo zagađenje zraka, zagađenje bukom i utjecaj na klimatske promjene. Korištenjem alternativnih pogonskih rješenja, ovisno o spremnosti na početna ulaganja i vremenskom periodu kroz koji se želi ostvariti povrat na ta ulaganja – kratkom, srednjem ili dugom vremenskom periodu – može se ostvariti višestruka dobit za društvo i za samu ekonomiju.

**Ključne riječi:** *analiza, cestovni prijevoz, okoliš, gorivo*

## **SUMMARY**

Road transport is the most represented mode in European freight transport. The highest cost in road transport is the fuel. Using fossil fuels causes negative effects on the environment as well as the health and well-being of people, animal life and plant life. Green transport technologies aim to reduce those effects, and in freight transport they focus on LDCs and on vehicles. Considering that fossil fuels are the source of most of the costs and most of the pollution in road transport at the same time, they are an ideal focus point for green transport chains. There are many alternative propulsion solutions, and the most represented ones are biofuels, natural gas, battery electric and hydrogen fuel cell electric. In the Republic of Croatia annual external costs of road freight transport are in excess of 500 million € taking into account only air pollution, climate change and noise pollution. Using alternative propulsion solutions, depending on the readiness for initial investment and the time period after which return on investment is expected – short, medium or long time period – it is possible to achieve multifold benefits for the society as well as for the economy itself.

**Keywords:** *analysis, road transport, environment, fuel*

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	OPĆI POJMOVI ORGANIZACIJE TRANSPORTNIH LANACA.....	3
2.1	Prijevozni modovi.....	4
2.1.1	Cestovni prijevoz .....	4
2.1.2	Željeznički prijevoz .....	5
2.1.3	Zračni prijevoz.....	6
2.1.4	Vodni prijevoz .....	7
2.1.5	Cjevovodni prijevoz.....	8
2.2	Raspodjela prijevoza po modovima .....	8
3.	TRANSPORTNI LANCI U CESTOVNOM PROMETU.....	12
3.1	Cestovna teretna prijevozna sredstva .....	12
3.2	Ceste .....	14
3.3	Troškovi u cestovnom transportu .....	15
4.	UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA OKOLIŠ .....	18
4.1	Onečišćenje zraka.....	18
4.2	Zagađenje bukom.....	21
5.	ZELENE TEHNOLOGIJE U PROMETU .....	23
5.1	Prakse zelene logistike .....	23
5.2	Alternativna pogonska rješenja.....	25
5.2.1	Biogoriva .....	26
5.2.2	Prirodni plin.....	28
5.2.3	Električna energija.....	29
5.2.4	Vodik .....	32
6.	ANALIZA TROŠKOVA I KORISTI ORGANIZACIJE ZELENIH TRANSPORTNIH LANACA U CESTOVNOM PROMETU.....	34

6.1	Analiza troškova i koristi iz perspektive logističkih poduzeća.....	35
6.2	Analiza troškova i koristi iz perspektive društva.....	39
7.	ZAKLJUČAK.....	45
	LITERATURA.....	47
	Popis slika.....	50
	Popis grafova.....	51
	Popis tablica.....	52



# 1. UVOD

Danas je moguće susresti se s porukama o zelenijem načinu života, o ekološkoj osviještenosti, na svakom koraku. Tvrtke promoviraju karbonsku neutralnost, a države zabranjuju korištenje plastičnih slamki. Svijet polako postaje svjestan kako postoji samo jedan planet na kojem je život, za sada, moguć. Svakako tehnologija za međuplanetarna, a naročito međuzvezdana putovanja napreduje puno sporije od stope kojom stradava ekosustav planeta.

Jedan od mnogih faktora koji pridonose svakodnevnom pogoršanju stanja je sam promet, ali je i neophodan za život i razvoj. Iz tog razloga sve je više ljudi i poduzeća u potrazi za rješenjem koje ostavlja njihovu slobodu kretanja ili njihov profit netaknutima, a u isto vrijeme što manje šteti okolišu. Nekad su razlog tome sve veće takse na zagađenja, a nekada briga o budućnosti ljudske vrste. Logistički stručnjaci prilikom organizacije transportnih lanaca trude se učiniti što mogu kako bi se pomaknuli barem korak u smjeru zelenijih lanaca, s krajnjim ciljem organizacije potpuno efikasnih, a potpuno zelenih transportnih lanaca.

U ovom radu cilj je napraviti analizu troškova koji bi nastali i koristi koje bi se ostvarile prilikom organizacije potpuno, ili bar dobrim dijelom zelenih transportnih lanaca. Kako bi se izradila kvalitetna analiza potrebno je prvo odrediti njezinu svrhu.

Prvi dio stoga će se fokusirati na opravdavanje izbora cestovnog prometa za analizu, na način da se sagleda udio pojedinih modova prometa u teretnom prijevozu unutar Europe i prema tome prikaže kako je cestovni prijevoz najzastupljeniji.

U drugom dijelu klasificiraju se teretna vozila po tipu za kasniju analizu. Također će se pronaći udio pojedinih troškova u cestovnom teretnom prometu. Prema tome odredit će se postoji li trošak koji je zastupljeniji, a ima potencijalnu zelenu alternativu na koju se može fokusirati i koja bi eventualno mogla i otkloniti dio tog troška.

Idući je dio opis samih utjecaja koje cestovni promet ima na okoliš i putem kojih stvara eksterne troškove društvu. Ti utjecaji u cestovnom prometu prilikom prijevoza uglavnom proizlaze iz emisija ispušnih plinova prilikom izgaranja fosilnih goriva, kao i nastankom štetne razine buke korištenjem motora s unutarnjim izgaranjem, ali i zbog ostalih elemenata vozila i

prometnica. Osim prilikom prijevoza, u teretnom prometu štetni utjecaji mogu nastati i u logističko distributivnim centrima i skladištima.

Prije same analize obradit će se zelene tehnologije primjenjive za smanjenje utjecaja cestovnog prometa na okoliš i odabrati one na koje najviše treba obratiti pozornost. Primjeri zelenih tehnologija su one koje se odnose na smanjenje utrošene energije, optimizaciju ruta u cilju smanjenja korištenja energije, kao i alternativni izvori energije. U kasnijoj analizi primijenit će se koristi odabranih tehnologija i njihovi povezani troškovi.

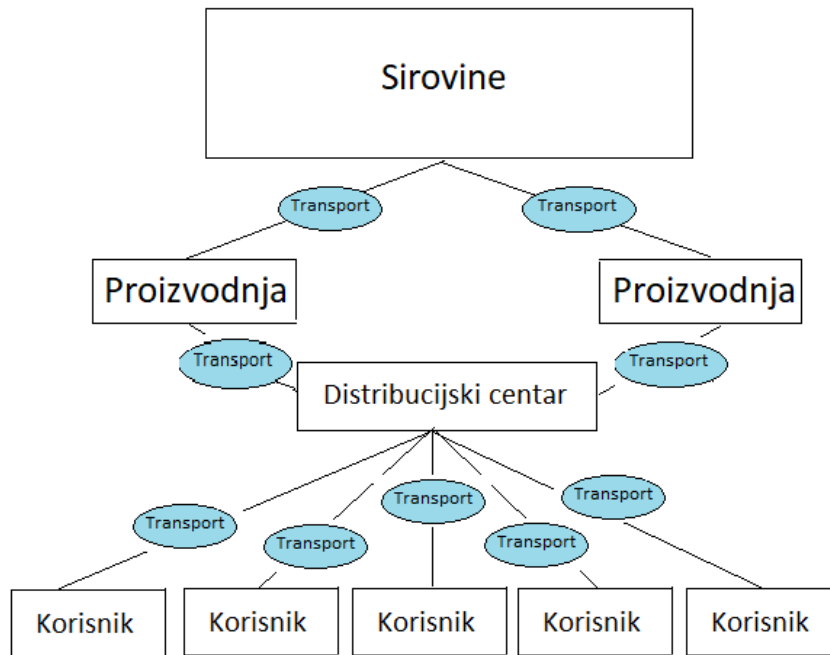
Posljednji dio rada je sama analiza. U tom dijelu prvo će se objasniti analiza troškova i koristi. Nakon toga postaviti će se ciljevi i metodologija analize u dva dijela. U prvom dijelu analiza će se provesti iz perspektive poduzeća kako bi se utvrdilo opravdavaju li koristi koje bi poduzeće imalo troškove investicija u odabrane zelene tehnologije, ako da u kojoj mjeri i kroz koje vrijeme, a ako ne zašto ne i što bi se trebalo promijeniti kako bi ulaganja i troškovi bili opravdani. U idućem dijelu analize cilj će biti sagledati društvene koristi iznošenjem ekološke štete kroz nastale eksterne troškove i uspoređivanjem ušteda na tom polju koje se potencijalno mogu postići korištenjem odabranih tehnologija s ulaganjima potrebnima za ostvarivanje istih ušteda.

## 2. OPĆI POJMOVI ORGANIZACIJE TRANSPORTNIH LANACA

Transportni lanac pojam je koji se često pojavljuje u logistici i ima više definicija ovisno o autoru. U stranoj literaturi tako je moguće pronaći različite primjere definicija prijevoza kao i transportnog lanca.

R. Ballou kaže kako se prijevoz odnosi na različite metode premještanja proizvoda. Kamion, vlak i avion samo su neki od popularnih izbora. Menadžment transportnih aktivnosti obično uključuje donošenje odluke ovisno o metodama prijevoza, rutiranja i korištenja kapaciteta vozila. Za mnoga poduzeća i kompanije prijevoz je najznačajnija logistička aktivnost jednostavno zato što iziskuje, u prosjeku, otprilike od 1/3 do 2/3 logističkih troškova. On je bitan zato što nijedna moderna kompanija ne može funkcionirati bez sigurnosti pokretanja svojih sirovina i gotovih proizvoda u nekom smjeru. Prijevoz je ključna aktivnost u logistici zato jer se njome premješta proizvod kroz različite proizvodne faze do kupca, krajnjeg korisnika. Prijevoz je pojedinačno najveći element u logističkim troškovima. [1]

Širok opseg prijevoznih alternativa danas omogućuje da se podrže opskrbni lanci logistike. Na primjer, logistički menadžeri moraju integrirati vlastiti sa iznajmljenim prijevozom da bi smanjili ukupne logističke troškove. Mnogi iznajmljeni prijevoznici nude široku različitost dodatnih servisa i usluga, kao što su sortiranje proizvoda, sekvencioniranje i podešavanje prijevozne isporuke i prikaza. Tehnologija omogućava vidljivost u stvarnom vremenu lokacije prijevoza kroz opskrbni lanac kao i dodatne informacije. Preciznija isporuka proizvoda smanjuje potrebu za inventurom, skladištenjem i manipulacijom tereta. Kao rezultat, vrijednost prijevoza postaje veća nego sami prijevoz proizvoda od jedne lokacije do druge. [2]



Slika 1: Tok robe u opskrbnom lancu

Izvor: [3]

Transportni lanac dio je opskrbnog lanca u kojem se odvija radnja prijevoza – sirovina do proizvođača, proizvoda do distribucijskih centara te do krajnjih korisnika, itd. (Slika 1) – kao i popratne radnje. Trošak samog prijevoza čini veliki, često i najveći udio u trošku samog transportnog lanca. [1]

## 2.1 Prijevozni modovi

Prijevozni modovi ili tipovi prijevoza odnose se na kombinaciju mreže, infrastrukture, vozila i operacija. Uključuju hodanje, cestovni sustav, željeznički sustav, prijevoz brodovima i modernu avijaciju. Različiti modovi prijevoza pojavili su se kroz vrijeme, ali generalno postoji pet osnovnih modova. [4]

### 2.1.1 Cestovni prijevoz

Cestovni prijevoz postoji u svim dijelovima svijeta. Uključuje korištenje motornih vozila kao što su automobili, kamioni, autobusi, motocikli i drugi. U usporedbi s ostalim modovima, cestovni prijevoz je fleksibilniji, a relativno je i brži. Ima velik kapacitet prijenosa robe na manjim udaljenostima. [4]

Prijevoz tereta cestom mora udovoljiti zahtjevima prijevozne potražnje u kvantitativnom i kvalitativnom smislu, aktivnosti moraju biti prilagođene obilježjima predmeta prijevoza i raspoloživim resursima te uvjetima što ih određuje okruženje. Čimbenici koji mogu utjecati na cestovni teretni promet su gospodarski, ekonomski i demografski. [5]

Prednosti cestovnog prijevoza su:

- niže cijene na kraćim i srednjim relacijama
- specijalne vrste vozila za prijevoz pojedinih vrsta robe
- uštede u pakiranju
- brža isporuka zbog rasprostranjene prometne mreže
- nema potrebe za prekrcavanjem robe u druga prijevozna sredstva

Nedostatci cestovnog prijevoza su:

- relativno veća potrošnja goriva po jedinici prevezenog tereta
- ovisi o vremenskim i drugim uvjetima u prijevozu
- veće cijene prijevoza na većim udaljenostima
- više zagađuje okoliš

[5]

### 2.1.2 Željeznički prijevoz

Željeznica je razvijena za vrijeme industrijske revolucije u devetnaestom stoljeću. U mnogim državama željeznička je infrastruktura izgrađena posebno kako bi pomogla u doseganju izoliranih regija i na taj način ujedinila zemlju ili regiju, kako politički tako i ekonomski. Velika prednost željeznice je što pruža pouzdanu uslugu, a može prevoziti teške i glomazne terete. Jeftina je i sigurna, a putnike može prevoziti udobno na većim udaljenostima. [4]

Željeznički promet je uz promet na unutarnjim plovnim putovima jedan od ekonomski i ekološki najprihvatljivijih oblik prijevoza te je održiv na dugi rok. Kako bi se pratili novi zahtjevi društva i gospodarstva povećava se usmjerenost europskih država pa tako i Hrvatske na reorganizaciju željezničkog sustava, a podrazumijeva modernizaciju istog. [5]

Glavne prednosti željezničkog prijevoza su:

- velika prijevozna moć - omogućava masovan prijevoz putnika i tereta
- brzina - obavlja se modernizacija postojećih pruga za brzine od 160 do 200 km/h, a grade nove pruge za brzine od 250 do 300 km/h
- ekonomičnost - željeznica je relativno jeftino prijevozno sredstvo
- udobnost - udobnost koju pruža željeznica na dugim relacijama ne može se usporediti s ostalim vidovima prometa
- relativno niža cijena prijevoza, posebice kod velikih pošiljki za koje brzina nije bitna, te srednjih i velikih udaljenosti (ugljen, žitarice i sl.)
- pogodnije za prijevoz pojedinih vrsta roba zbog specijalno konstruiranih vagona
- ekološki prihvatljiva grana prometa

Nedostatci željezničkog prijevoza:

- češće potrebe za pretovarom robe nego kod cestovnog i veliki gubici radnog vremena
- sporiji prijevoz nego zračni i cestovni zbog čestog stajanja na postajama
- češće krađe nego kod drugih vrsta prijevoza
- prilikom skretanja vlakova na kolosijeke moguće oštećenje robe i potrebno bolje pakiranje što uzrokuje dodatan trošak

[5]

### 2.1.3 Zračni prijevoz

Zračni prijevoz je najnoviji oblik prijevoza robe. Prvi puta se pojavljuje početkom 20. stoljeća no razvija se u potpuno sredstvo prijevoza robe i putnika tokom 1930-ih godina. [4]

Zračni promet obuhvaća prijevoz robe i putnika zrakoplovima po zrakoplovnim rutama te obuhvaća sve operacije i komunikacije u zračnom prometu. Povećanjem zahtjeva za prijevozom robe zračnim prometom povećavaju se i zahtjevi za investicijska ulaganja. [5]

Prednosti zračnog prijevoza:

- velika brzina
- prostorno-vremenska konvergencija
- izravnost u povezivanju
- mogućnost pristupa teško dostupnim područjima

Nedostaci zračnog prijevoza:

- najskuplji oblik prometa
- ograničeni kapacitet
- visoke cijene uređenja aerodroma

[5]

#### 2.1.4 Vodni prijevoz

Vodni prijevoz veoma je bitan zbog iznimne sposobnosti jeftinog prijevoza velike količine robe na velikim udaljenostima. Postoje dva glavna tipa vodnog prijevoza ili brodarstva, a to su unutarnje brodarstvo koje se odvija putem unutarnjih plovnih puteva kao što su rijeke, jezera i kanali; te pomorski prijevoz kojim se odvija veliki dio ukupnog svjetskog prijevoza, naročito u međunarodnoj trgovini. [4]

Ova grana prometa može se definirati kao gospodarska djelatnost čiji je primarni cilj prijevoz ljudi i tereta različitim vrstama plovnih sredstava. Sredstva pomorskog transporta odlikuju se velikim kapacitetom i snagom, velikom sigurnošću, ali malim brzinama transporta. Za njihovu nabavu potreban je veliki kapital. [5]

Prednosti vodnog prijevoza:

- niže cijene
- veći kapaciteti i fleksibilnost transportnih sredstava za više vrsta tereta
- manje zagađivanje okoliša

Nedostatci vodnog prijevoza:

- sporost

- visoka cijena transportnih sredstava

[5]

### 2.1.5 Cjevovodni prijevoz

Ovaj sustav prijevoza uključuje korištenje cijevi za prijevoz vode, sirove nafte ili plina. Cjevovodni prijevoz pruža veću razinu sigurnosti u prijevozu tih tekućina od tankera ili cisterni.

[4]

Cjevovodima se transportiraju voda, nafta, naftni derivati i plin, a mogu se transportirati i kruti materijali koji se miješaju s vodom, kao što su drvena građa, ugljen, pšenica, šećerna trska, voće itd. [5]

Prednosti cjevovodnog prijevoza:

- najsigurniji i najekonomičniji transport nafte i plina, jer su troškovi transporta naftovodom u odnosu na troškove transporta željeznicom pet puta niži za naftu

Nedostaci cjevovodnog prijevoza:

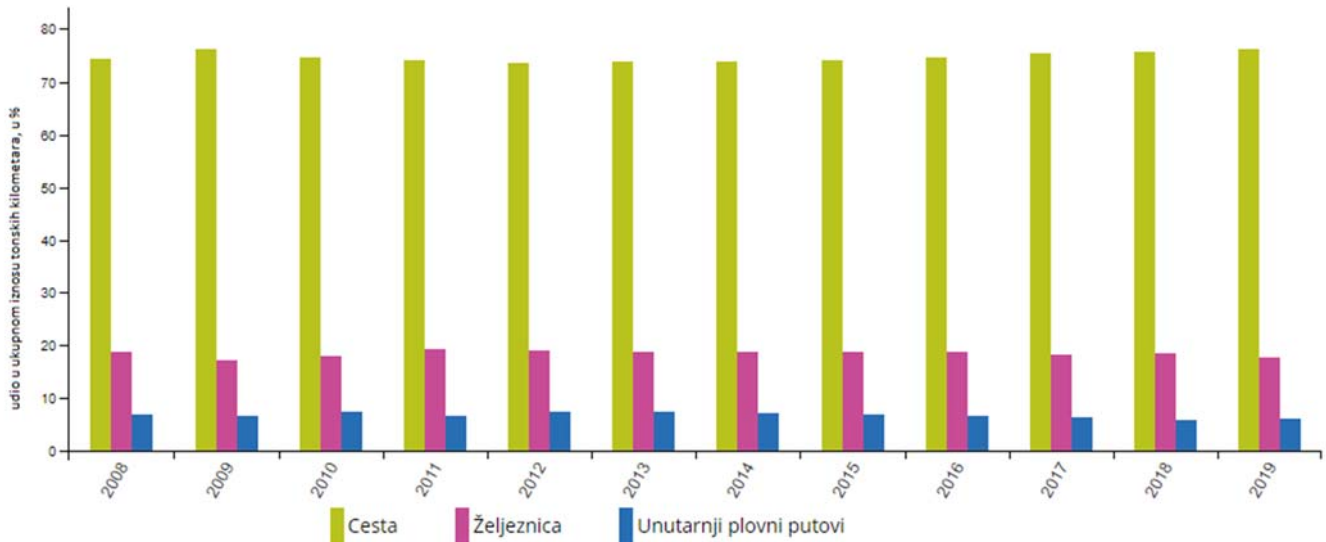
- vrlo visoka kapitalna ulaganja
- sporost - tekućina protječe brzinom oko 8 km/h

[5]

## 2.2 Raspodjela prijevoza po modovima

Kako bi bilo moguće odrediti koji prometni mod ima najviše ekonomskih ili ekoloških utjecaja u određenoj regiji, potrebno je promotriti udio pojedinih modova u ukupnom prijevozu.





**Graf 1: Modalna podjela unutarnjeg teretnog prometa, EU, 2008.-2019.**

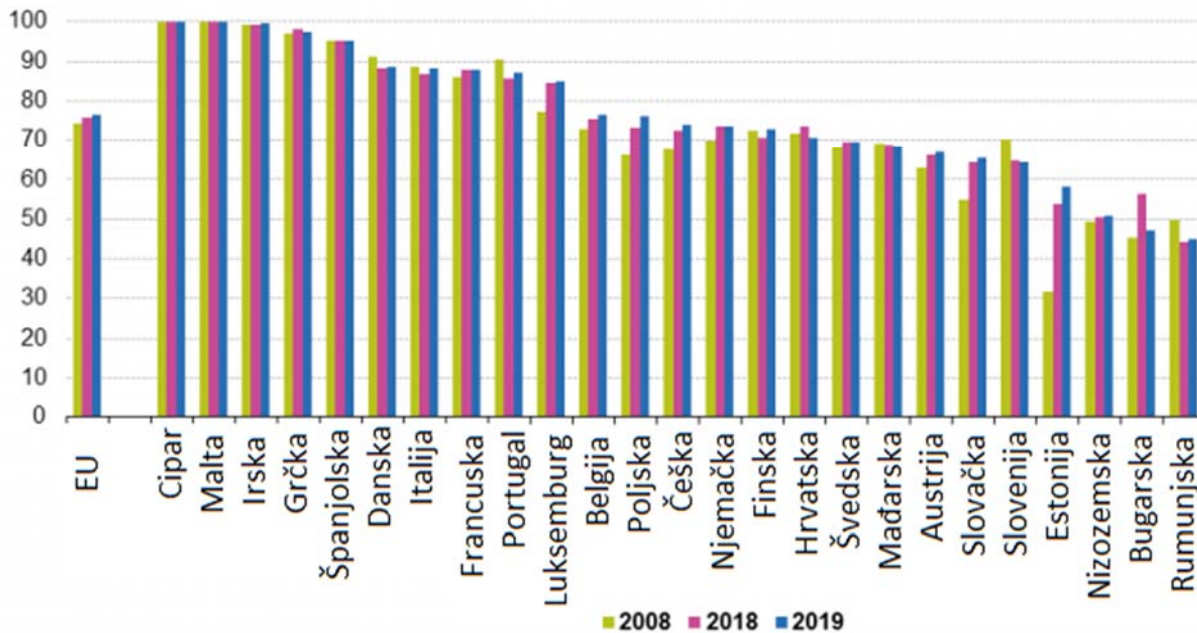
Izvor: [6]

Na grafu 1 vidljivo je kako je u članicama EU u unutarnjem prometu cestovni prijevoz zauzeo veliku većinu prostora, odnosno oko  $\frac{3}{4}$ . Iako su manje razlike iz godine u godinu prisutne, cestovni prijevoz i dalje ima najveći udio u izvedbi teretnog prijevoza u EU-u među tri načina unutarnjeg prijevoza. Graf 1 pokazuje da je cestovni prijevoz u 2019. godini dosegao novi maksimum od 2008. godine, čineći više od tri četvrtine (76,3%) ukupnog unutarnjeg teretnog prijevoza. Najniži udio zabilježen je 2012. godine, sa 73,5%, od kada se neprestano povećava, a u 2019. godini je za 2,8% viši nego u 2012. godini. [6]

Između 2008. i 2011. udio željeznice u izvedbi unutarnjeg prometa varirao je tijekom godina. Najniži udio zabilježen je 2009. godine (17,3%) nakon pada od 1,4 posto u odnosu na 2008. Neposredni oporavak zabilježen je 2010. godine, uz porast od 1,2 posto u odnosu na 2009. godinu i ostao je stabilan u 2012. godini (19,1%). Između 2013. i 2016. godine udio željeznice ostao je relativno stabilan (između 18,7% i 18,8%). U 2019. željeznički promet činio je 17,6%. [6]

Udio unutarnjih plovnih putova u izvedbi unutarnjeg teretnog prometa blago se povećao u 2019. godini (6,1%) u odnosu na 2018. godinu (+0,2%), kada je dosegnuta najniža točka nakon konstantnog pada od 2014. U 2010., 2012. i 2013. godini dosegnut je vrhunac udjela od 7,4%. [6]

**Udio ceste u ukupnom unutarnjem teretnom prijevozu, 2008., 2018. i 2019.**  
(% u tonskim kilometrima)



Graf 2: Udio ceste u ukupnom unutarnjem teretnom prijevozu, 2008., 2018. i 2019. (% u tonskim kilometrima)

Izvor: [6]

U grafu 2 vidljiv je prikaz udjela cestovnog prijevoza u ukupnom teretnom prijevozu unutar država članica EU. Promatrajući dvije posljednje referentne godine, Bugarska je pokazala najznačajniji pad udjela cesta s -9,1 % od 2018. do 2019., a slijedi Hrvatska (-2,9 %). Samo su još četiri zemlje zabilježile pad u istom razdoblju (manje od 1 %). Suprotno tome, udio cesta najviše se povećao u Estoniji (+4,2 %), a slijede Poljska (+2,9 %), Latvija (+2,2 %) i Finska (+2,1 %).

Na razini cijele Europske Unije udio cestovnog prijevoza u ukupnom teretnom prijevozu unutar zemalja članica u porastu je, kao i u većini članica zasebno. Od prikazanih 27 zemalja, samo je u njih šest, uključujući i Republiku Hrvatsku, zabilježen pad u udjelu cestovnog prijevoza u ukupnom teretnom prijevozu.

Iz podataka vidljivih u grafovima 1 i 2 vidljivo je kako je cestovni prijevoz odgovoran za najveći dio teretnog prijevoza unutar država članica EU, s udjelom od preko ¾ ukupnog teretnog prijevoza, izraženog u tonskim kilometrima. Također je vidljivo kako je taj udio i dalje u porastu u odnosu na druge modove transporta. Uzevši u obzir navedeno, jasno je kako bi se

promjene u smjeru zelenih transportnih lanaca, što se tiče teretnog prijevoza, trebale fokusirati na cestovni prijevoz.

### 3. TRANSPORTNI LANCI U CESTOVNOM PROMETU

Cestovni prijevoz tereta je fizički proces cestovnog prijevoza tereta motornim vozilima. U ovom slučaju, cesta je trak/ruta između polazne i odredišne točke.

U usporedbi s drugim vrstama prometnog sustava, poput mora i zraka, troškovi održavanja cestovnih lanaca su jeftiniji. Cestovni prijevoz tereta u određenim slučajevima može biti jedini način prijevoza, na primjer u ruralna područja gdje drugi način prijevoza nije dostupan.

Transport je jedna od ključnih funkcija logističkog lanca. U cestovnom transportnom lancu postoje tri primarna elementa bitna za ovu analizu: vozilo, cesta kojom se vozilo kreće te mjesta utovara i istovara.

#### 3.1 Cestovna teretna prijevozna sredstva

Cestovna teretna prijevozna sredstva su motorna vozila namijenjena prijevozu tereta, odnosno dobara. U stručnoj literaturi se nazivaju teretnim, gospodarskim ili komercijalnim vozilima. U javnosti se često govori o kamionima, a hrvatsko zakonodavstvo, definirajući tehničku kategoriju N, navodi teretni automobil kao „motorno vozilo za prijevoz tereta s najmanje četiri kotača“. Skupinu cestovnih teretnih prijevoznih sredstava čine:

- klasična teretna vozila
- kombinirana vozila
- skup vozila

Konstrukcija teretnog vozila se sastoji od podvozja, pogonskog sklopa, vozačke kabine i nadvozja predviđenog za smještaj tereta. Teretna vozila se dijele prema raznim kriterijima poput: ukupne mase, nosivosti, dimenzijama, konstrukcijskim značajkama, vrsti pogonskog goriva, namjeni (relacija prijevoza; vrsta tereta) i dr.

Opća podjela teretnih automobila prema ukupnoj masi (mala, srednja i velika) u skladu je s osnovnom tehničkom podjelom na kategorije:

- N1 - motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase do 3.500 kg

- N2 - motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase veće od 3.500 kg do 12.000 kg

- N3 - motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase veće od 12.000 kg

U skupinu malih teretnih automobila, najveće dopuštene mase do 3.500 kg, spadaju i kamioneti, kombi vozila, pa i manja dostavna vozila, koja se po tehničkim značajkama neznatno razlikuju od usporedivih osobnih automobila.

Dostavna vozila se proizvode s benzinskim, dizelskim te motorima na ukapljeni naftni plin, a u posljednje vrijeme su sve prisutniji hibridni, pa i elektro pogon. Uobičajeno se koriste na lokalnoj razini s kratkim relacijama prijevoza.

Posebnost kombi vozila proizlazi iz činjenice da pored tereta mogu smjestiti i osobe, primjerice servisno vozilo s rezervnim dijelovima, alatom i serviserom ili vozilo s posebnom mjernom opremom i stručnim osobljem koje provodi mjerenje. Međutim, u najvećem broju slučajeva, kombi vozilo ispunjava uobičajenu zadaću prijevoza tereta.

Srednja i velika teretna vozila se, osim po kapacitetu, dijele prema konstrukciji samog vozila. Najizraženije razlike u konstrukcijskim značajkama teretnih vozila ovih kategorija proizlaze iz oblika smještajnog prostora. Oblici nadgradnje su dizajnirani prema obilježjima tereta, odnosno sukladno potrebama operativnih radnji tijekom procesa ukrcaja-iskrcaja tereta. Među uobičajene inačice konstrukcijskih izvedbi nadgradnji za smještaj tereta spadaju:

- otvoreni teretni sanduk s bočnim stranicama
- otvoreni teretni sanduk s bočnim stranicama i hidrauličkim nagibnim mehanizmom, tzv. kiper, za jednostavniji iskrcaj tereta
- teretni sanduk s bočnim stranicama i ceradom
- zatvoreni teretni sanduk sa stražnjim i/ili bočnim vratima
- zatvoreni, toplinski izolirani teretni sanduk sa stražnjim i bočnim vratima te uređajem za hlađenje, tzv. Hladnjača, za prijevoz temperaturno osjetljivog tereta
- zatvoreni „sanduk“ – spremnik za prijevoz tekućih tereta u rinfuzi s gornjim otvorom za punjenje i bočnim ili donjim ispustom za pražnjenje, tzv. cisterna

- zatvoreni „sanduk“ – spremnik za prijevoz praškastih, zrnatih ili granuliranih tereta u rinfuzi s gornjim gravitacijskim otvorom za punjenje i donjim ispustom za gravitacijsko, odnosno kompresorsko pražnjenje, tzv. silo

[7]

### 3.2 Ceste

Javnom cestom smatra se cesta od općeg značenja za javni promet koja zadovoljava sve uvjete što ih utvrđuju Osnovni zakon o cestama i ostali propisi.

Uz razvoj motornih vozila i građenja cesta s vremenom su postale izrazite pojedinosti po kojima se ceste međusobno razlikuju.

Prema Zakonu o osnovama sigurnosti prometa na cestama, ceste se mogu podijeliti prema društveno-gospodarskom značenju i prema vrsti prometa kojemu su namijenjene.

Prema svojim osobinama, ceste se mogu podijeliti na razne vrsti, od kojih ćemo ovdje navesti podjelu prema svrsi i prometnom značenju, prema veličini motornog prometa i prema terenu kojim cesta prolazi.

Prema društveno-gospodarskom značenju ceste se dijele na magistralne, regionalne i lokalne.

Magistralne ceste su međunarodne i javne ceste koje povezuju veće gradove i važnija gospodarska područja Republike, odnosno važnija gospodarska područja u Republici. One se dovezuju na međunarodne ceste.

Regionalne ceste su javne ceste koje povezuju gospodarska područja u Republici ili područja koja su posebno važna za Republiku. One povezuju relativno bliska gospodarska područja i u isto vrijeme obavljaju distribuciju prometa i napajanje magistralnih cesta.

Lokalne ceste su javne ceste koje povezuju sela i naselja na području općine ili su važne za područje općine. Te ceste pripadaju užim regionalnim područjima i u kompetenciji su komunalnih zajednica.

Prema Zakonu o javnim cestama ceste se dijele na autoceste, državne ceste, županijske ceste i lokalne ceste.

Autoceste su ceste koje povezuju cjelokupni prostor Republike Hrvatske i integriraju ga u europsku mrežu cesta, a namijenjene su prometu na velikim daljinama, sa dva traka na svakoj strani odvojena ogradom, te zaustavnim trakom.

Mrežu državnih cesta čine ceste koje povezuju cjelokupni prostor Republike Hrvatske i integriraju ga u europsku mrežu cesta, a namijenjene su prometu na velikim daljinama.

Županijske ceste povezuju naselja i lokalitete unutar županije i integriraju cjelokupni prostor županije u mrežu cesta Republike Hrvatske.

Lokalne ceste povezuju naselja i lokalitete unutar općine i integriraju cjelokupni prostor općine u mrežu cesta Republike Hrvatske.

Prema veličini motornog prometa ceste se dijele na 5 razreda: autoceste (1. razred) koje imaju više od 12.000 motornih vozila tijekom 24h, 2. razred koji ima 7.000-12.000, 3. razred koji ima 3.000-7.000, 4. razred koji ima 1.000-3.000 i 5. razred koji ima manje od 1.000 vozila u 24h. [8]

### 3.3 Troškovi u cestovnom transportu

Troškovi se primarno dijele na fiksne i varijabilne troškove. Prijevoznačka tvrtka obično ima fiksne troškove čak i ako ne obavlja transportne radove. Fiksni troškovi predstavljaju troškove povezane s vozilom, a djelomično i troškove vozača.

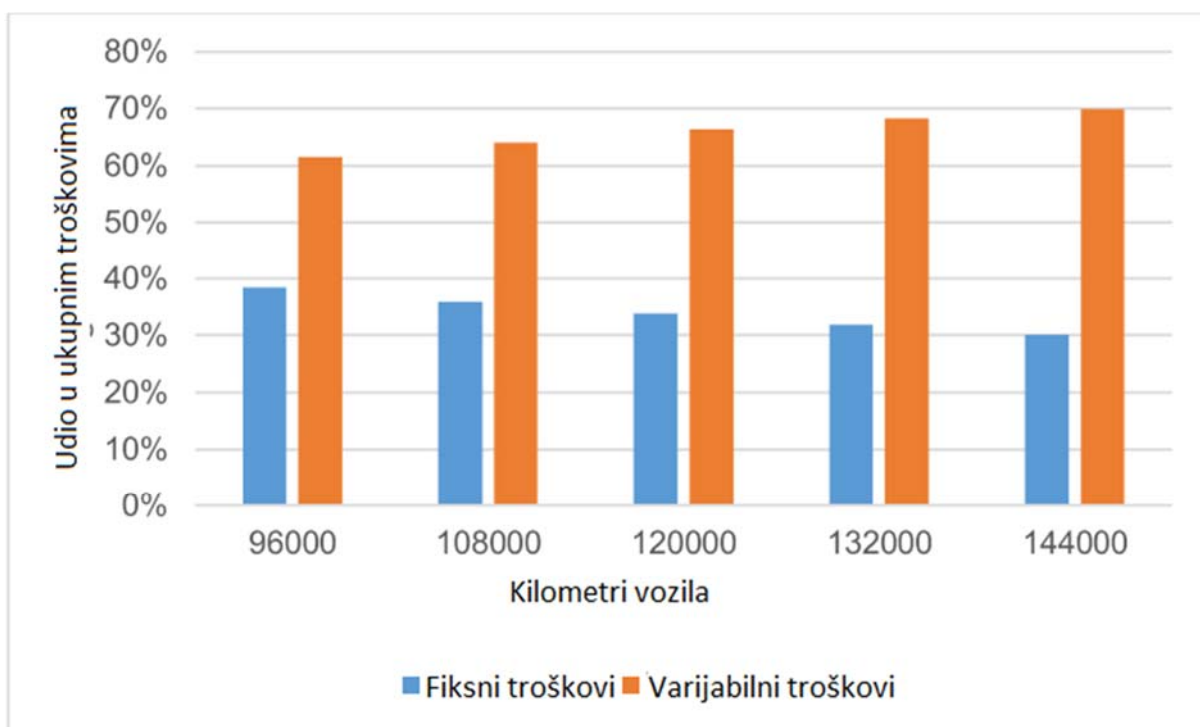
Varijabilni troškovi su troškovi koji rastu s povećanjem kilometraže, odnosno količine posla - prijevoza. U strukturi varijabilnih troškova, najvažniji su troškovi goriva, cestarine i troškovi rada vozača (npr. Dnevni dodatak, doplata za kilometražu itd.). Troškovi goriva ovise o vrsti vozila i cijeni litre goriva. Cijena cestarina razlikuje se među zemljama EU -a zbog različitih čimbenika koji mogu utjecati na određivanje cijene cestarina. Na primjer, cestarina u Njemačkoj uključuje troškove zagađenja zraka, buke i troškove infrastrukture. Cestarina se također razlikuje prema emisijskim razredima motora i dopuštenoj težini vozila, odnosno njegove klase.



Slika 2: Ukupni troškovi cestovnog teretnog prijevoza prema prijeđenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019.

Izvor: [9]

Ukupni troškovi teretnog prijevoza rastu s povećanjem udaljenosti. Slika 2 pokazuje povećanje ukupnih troškova u odnosu na prijeđenu kilometražu. U praksi moguće je odstupanje od ovog modela porasta troškova s obzirom na eventualni utjecaj vanjskih čimbenika.

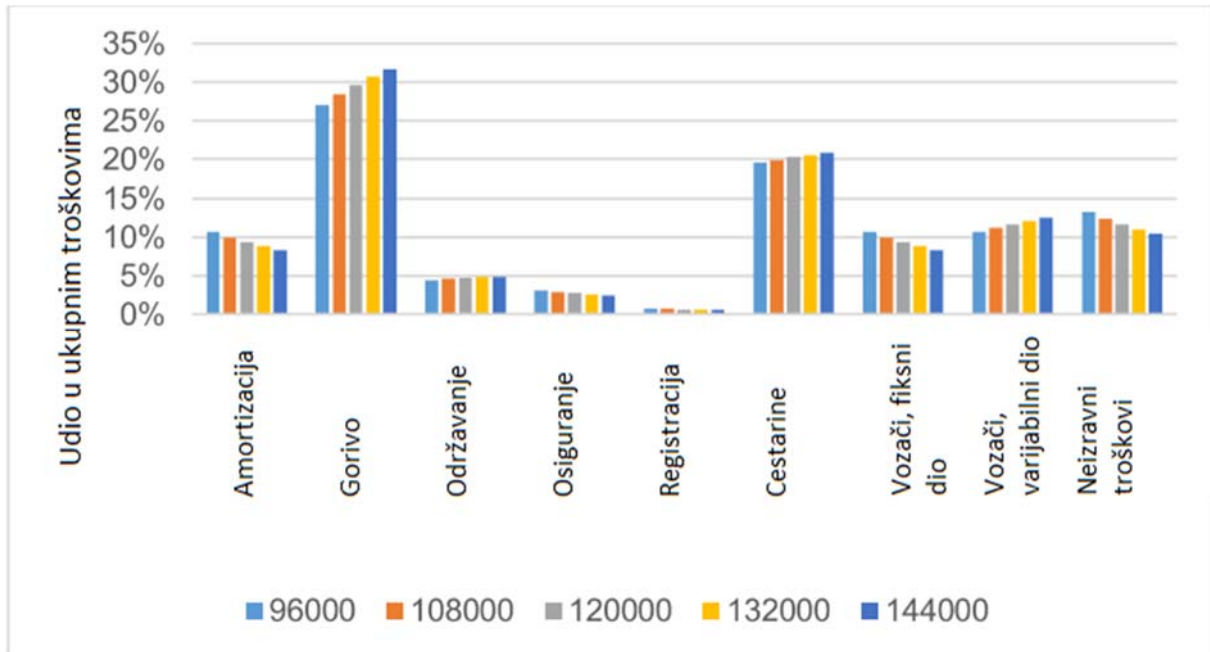


Slika 3: Udio fiksnih i varijabilnih troškova cestovnog teretnog prijevoza prema prijeđenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019

Izvor: [9]



Na 120.000 km udio fiksnih troškova iznosi 34%, a varijabilnih 66%. Na nižoj kilometraži, udio fiksnih troškova raste - na 96.000 km udio je 38%, a s većom kilometražom udio fiksnih troškova smanjuje se - na 30% na 144.000 km. Slika 3 prikazuje udjele fiksnih i varijabilnih troškova u ukupnim troškovima cestovnog teretnog prijevoza prema prijađenim kilometrima vozila u Sloveniji u 2019. godini.



Slika 4:Struktura troškova cestovnog teretnog prijevoza prema prijađenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019

Izvor: [9]

Slika 4 prikazuje promjene u strukturi troškova prema prijađenoj kilometraži. Najveći udio u strukturi troškova predstavljaju troškovi goriva. Uz godišnju kilometražu od 108.000 km, udio troškova goriva je 27% od ukupnog troška, a uz godišnju kilometražu od 144.000 km iznosi čak 32%.

Drugi najveći trošak su troškovi samih vozača, koji se dijele na fiksne i varijabilne, a ukupni udio troška vozača varira oko 22-21% kako se kilometraža povećava. Iako se izdatci za dnevne dodatke i udaljenost vozačima povećavaju, fiksni dio plaće ostaje isti te se relativno zapravo smanjuje što rezultira time da se udio troška vozača u ukupnim troškovima ne povećava s povećanjem kilometraže.

Treći najviši troškovi su troškovi samih cestarina, koji iznose oko 20% te rastu s povećanjem prijađene kilometraže. Najniži su troškovi registracije s udjelom od oko 1% ukupnih troškova.

## 4. UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA OKOLIŠ

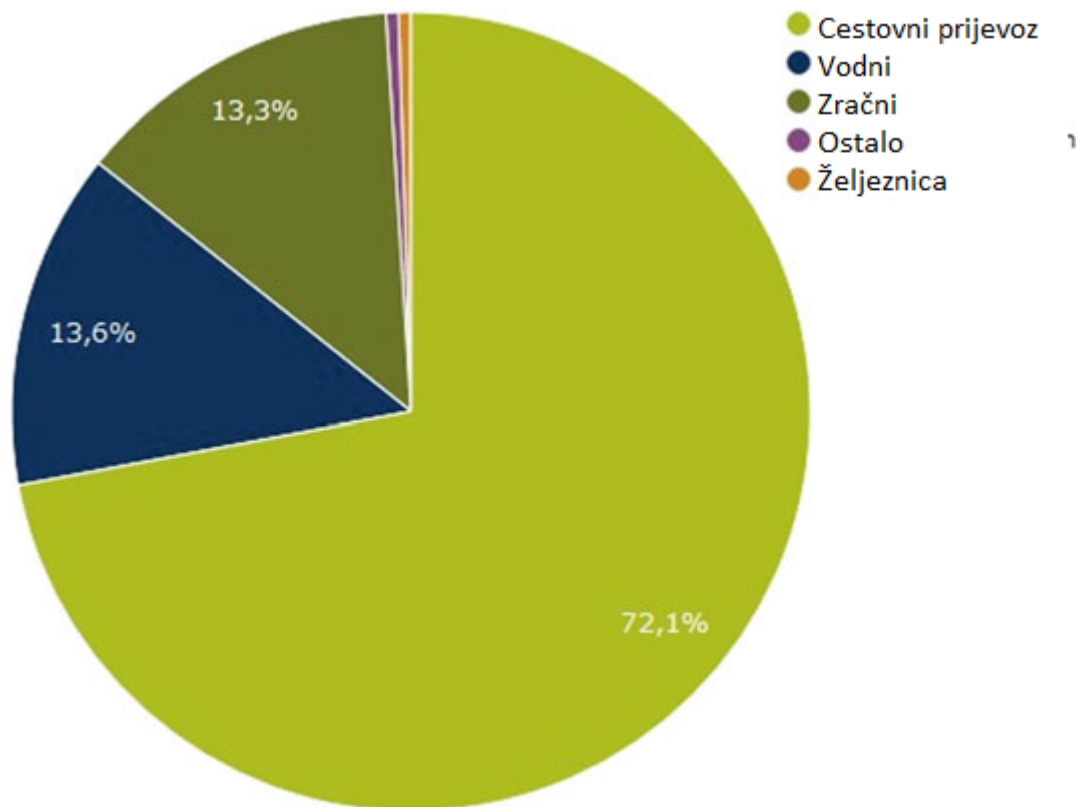
Logističke i transportne aktivnosti imaju različite utjecaje na okoliš koji mogu biti od lokalnih pa sve do globalnih. Neki od glavnih utjecaja su onečišćenje zraka, odnosno emisije zagađivača, zagađenje bukom i potrošnja energije. [10]

### 4.1 Onečišćenje zraka

Emisije teretnog prometa u velikoj mjeri ovise o vrsti goriva. Teretna vozila obično koriste dizel kao glavno gorivo, s malim količinama benzina. Zagađivači zraka poput ugljičnog monoksida, dušikovih oksida i ugljikovodika nastaju zbog nepotpunog izgaranja dizela i benzina. U većini država, željeznička i pogotovo cestovna vozila na električni pogon, koja ne onečišćuju zrak tijekom rada, relativno su rijetka. Čak i u slučajevima gdje se koristi električna energija za pogon takvih vozila treba uzeti u obzir onečišćenje nastalo prilikom proizvodnje same električne energije koju ta vozila troše. [10]

Staklenički plinovi su plinovi koji uzrokuju efekt staklenika. Oni uključuju ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), dušikov oksid (N<sub>2</sub>O) i fluorirane stakleničke plinove (F-plinovi) koji su podijeljeni u skupine koje sadrže djelomično fluorirane ugljikovodike (HFC - hidrofluorouglikovodici), potpuno fluorirani ugljikovodici (PFC - perfluorouglikovodici) i sumporov heksafluorid (SF<sub>6</sub>). To su emisije koje proizlaze iz prirodnih procesa kao i iz ljudske aktivnosti.

Najznačajniji prirodni staklenički plin u atmosferi je vodena para. Zbog ljudskih aktivnosti velike količine drugih stakleničkih plinova se ispuštaju u atmosferu što povećava njihovu koncentraciju u atmosferi. Staklenički plinovi mjere se u tzv. CO<sub>2</sub> ekvivalentima; to je vrijednost koja određuje utjecaj pojedinih stakleničkih plinova na globalno zatopljenje pomoću preračunavanja u volumen ili koncentraciju CO<sub>2</sub>, koja bi imala sličan utjecaj. Sve veće emisije stakleničkih plinova u atmosferu pojačavaju efekt staklenika koji izaziva klimatske promjene. Udio prijevoza u proizvodnji stakleničkih plinova u 2012. u Europskoj uniji dosegao je 20%. [11]



Slika 5: Udio pojedinih vrsta transporta u proizvodnji stakleničkih plinova

Izvor: [11]

Struktura emisija prema modovima transporta vidljiva je na slici 5 te najveći udio odlazi na cestovni prijevoz, oko 72,1%, dok vodni i zračni prijevoz proizvode oko 13,6%, odnosno 13,3% štetnih emisija stakleničkih plinova prema podacima EEA (European Environment Agency) iz 2015. godine.

Čvrsti zagađivači podijeljeni su u dvije skupine po veličini:

- PM10 su čestice promjera od 2,5 do 10  $\mu\text{m}$ , koje mogu lako prodrijeti u plućna tkiva i uzrokovati zdravstvene probleme u kardiovaskularnim i respiratornim sustavima; izvori čestica PM10 je prašina s cesta, proizvodna postrojenja, izgaranje krutih tvari ili ispušni plinovi iz motornih vozila

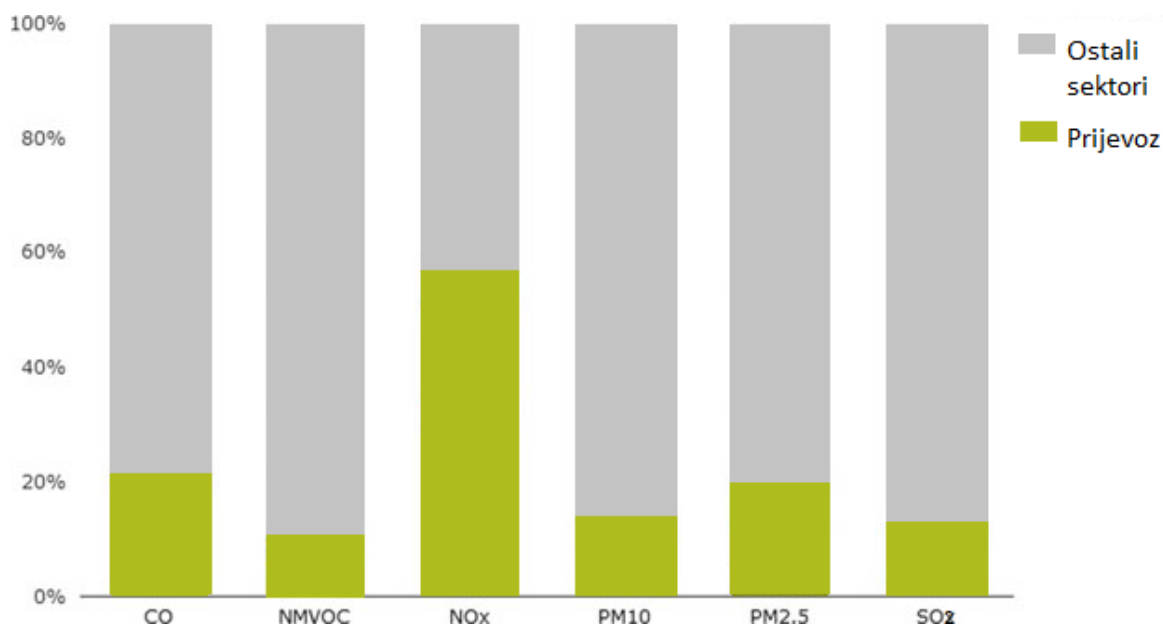
- PM2.5 su čestice promjera manjeg od 2.5  $\mu\text{m}$  i slično PM10 imaju negativan učinak na zdravlje ljudi, osobito na dišne putove; njihovi izvori su sve vrste procesa izgaranja, uključujući sagorijevanje drva u stanovima, šumski požari, elektrane, poljoprivredni procesi, automobilski promet itd.

Sumporni dioksid (SO<sub>2</sub>) je plin koji iritira sluznicu dišnih putova. Javlja se u ispušnim plinovima motora s unutarnjim izgaranjem. Proizvodi se tijekom izgaranja fosilnih goriva ili tijekom prerade ruda koje sadrže sumpor.

Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) potječu iz tehničkih objekata gdje se sagorijevanje odvija na visokim temperaturama, a također su i dio ispušnih plinova. Mogu uzrokovati umjeren do teški bronhitis ili upalu pluća, a također doprinose oštećenju Zemljinog ozonskog omotača, do kiselih kiša i stvaranja smoga.

Ugljični monoksid (CO) produkt je izgaranja iz industrijskih peći, kotlova i drugih tehnoloških uređaja koji sagorijevaju plin, tekuća i kruta goriva, a to je najopasniji sastojak ispušnih plinova. Glavni negativni učinak CO leži u blokiranju opskrbe tkiva kisikom. Tipični simptomi trovanja CO uključuju glavobolje i vrtoglavicu, srčane probleme i malaksalost.

Nemetanski organski spojevi (NMVOC) uključuju sve organske antropogene spojeve osim metana koji u reakciji s dušikovim oksidima proizvode fotokemijske oksidante s ozonom kao najvažnijim članom. Ozon je posebno otrovna tvar koja negativno utječe na zdravlje ljudi i vegetaciju čak i u vrlo malim koncentracijama. Glavni izvori nemetanskih organskih spojeva uključuju korištenje boja i ljepila, kemijsko čišćenje i odmašćivanje, preradu nafte i derivata i transport. [11]



Slika 6: Udio pojedinih vrsta transporta u proizvodnji osnovnih zagađivača

Izvor: [12] (EEA)

Vidljivo je iz slike 5 kako je sektor prijevoza jedan od najvećih zagađivača, a proizvodi oko 20% ugljičnog monoksida i preko 50% dušikovih oksida.

## 4.2 Zagađenje bukom

Zagađenje bukom u prijevozu nastaje od zračnog prometa, cestovnim prometom i bukom na željeznici. Na istoj razini zvučnog tlaka odnosno jačine zvuka u dB, buka zrakoplova ljudima smeta više nego cestovni promet i buka na željeznici, a cestovni promet može biti neugodniji od buke na željeznici. Izloženost kroničnoj buci može ozbiljno utjecati na bolesti kardiovaskularnog sustava, uključujući rizik od hipertenzije. Identificiran je povećan rizik od pojave hipertenzije pri stanovanju na mjestima gdje je veća izloženost buci. To su faktori u okolini koji mogu utjecati na ljudsko zdravlje. Određene studije također su pokazale kako buka može negativno utjecati na floru i faunu. [10]

Izvešće EEA [13] pokazuje da je buka iz okoliša, a posebno buka cestovnog prometa, i dalje glavni problem u području okoliša koji utječe na zdravlje i dobrobit milijuna ljudi u Europi. Dvadeset posto europskog stanovništva dugotrajno je izloženo razinama buke štetnima za zdravlje. To je više od 100 milijuna ljudi u Europi. Podatci upućuju i na to da nisu postignuti ciljevi politika o buci iz okoliša. Prema predviđanjima, malo je vjerojatno da će se broj ljudi izloženih buci značajno smanjiti u budućnosti zbog urbanizacije i povećane potražnje za mobilnošću. [14]

Dugotrajna izloženost buci može uzrokovati niz učinaka na zdravlje, među kojima smetanje, poremećaj sna, negativne učinke na kardiovaskularni i metabolički sustav, kao i kognitivna oštećenja kod djece. Prema trenutačnim podacima procjenjuje se da je buka iz okoliša jedan od uzroka pojave 48 000 novih slučajeva ishemijskih bolesti srca godišnje, kao i pojave 12 000 slučajeva prerane smrti. Osim toga, procjenjuje se i da je 22 milijuna ljudi izloženo visokom stupnju kroničnog smetanja, dok 6,5 milijuna ljudi pati od visokog stupnja kroničnog poremećaja sna. Procjenjuje se da 12 500 djece školskog uzrasta pati od poremećaja u čitanju zbog buke zrakoplova.

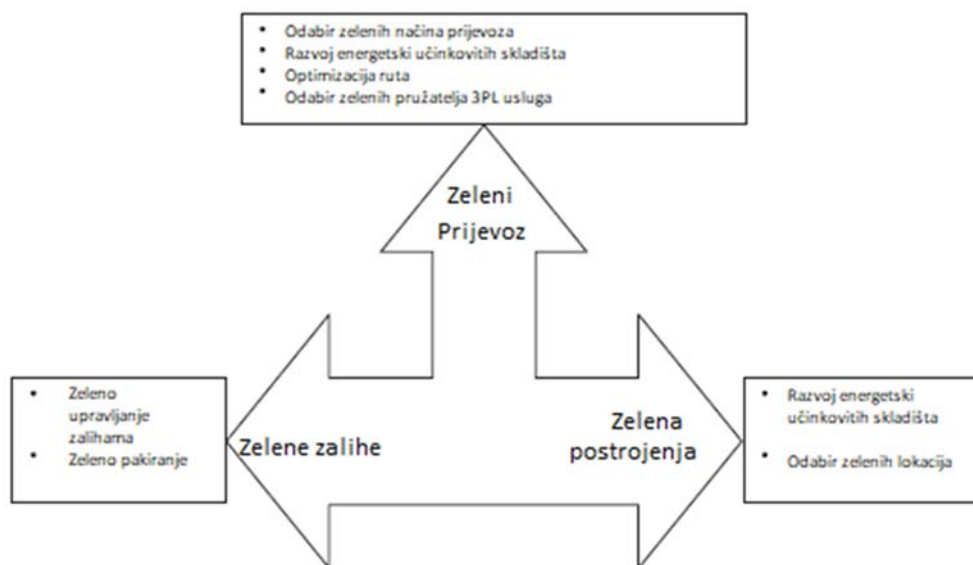
Mnogi ljudi ne shvaćaju da je onečišćenje bukom značajan problem koji utječe na ljudsko zdravlje, pa i na njihovo vlastito. Naravno, mnogo je više preranih smrti povezano s onečišćenjem zraka nego s onečišćenjem bukom. Međutim, čini se da buka ima veći utjecaj na pokazatelje kvalitete života i duševnog zdravlja. Štoviše, prema nekim saznanjima Svjetske zdravstvene organizacije (SZO), buka je drugi najveći uzročnik zdravstvenih problema povezanih s okolišem, odmah nakon učinka onečišćenja zraka (lebdećih čestica). [14]

## 5. ZELENE TEHNOLOGIJE U PROMETU

Zelena logistika praksa je minimizacije utjecaja logističkih procesa na okoliš. Može uključivati, između ostalog, smanjenje ugljičnog otiska (eng. *Carbon footprint*) opskrbnog lanca, transportnog lanca ili njihovog dijela, rješavanje problema odlaganja otpada, poboljšavanje utjecaja na okoliš prilikom pakiranja, reciklažu kao i optimizaciju energetske učinkovitosti ili samo smanjenje potrošnje energije.

### 5.1 Prakse zelene logistike

Kako bi se ublažili i smanjili negativni utjecaji logistike i prijevoza na okoliš, tvrtke mogu usvojiti brojne prakse zelene logistike. Ove prakse mogu se klasificirati u tri skupine: zeleni prijevoz, zeleno upravljanje zalihama i zelena postrojenja. Tri grupe nadalje uključuju specifične zelene prakse, koje su prikazane u slici 7.



Slika 7: Zelene prijevozne i logistične prakse

Izvor: [10]

Cilj optimizacije ruta je smanjiti udaljenost putovanja robe, a pritom zadovoljiti zahtjeve isporuke kupaca. Prednosti optimizacije ruta su smanjenje nepotrebne udaljenosti boljim projektiranjem ruta, što može rezultirati manjom potrošnjom energije i smanjenjem emisije onečišćujućih tvari. Često se heurističke metode koriste za pronalaženje boljih rješenja; na primjer, jedan aspekt oblikovanja gradskih ruta dopušta samo skretanje na desnu

stranu tijekom vožnje u urbanom prometu. U stvarnosti, mnogi komercijalni softverski paketi, uglavnom usredotočeni na smanjenje troškova kroz pronalaženje optimalnih rješenja, dostupni su i mogu dati rješenje za problem optimizacije ruta. Sve više ti isti softverski paketi posvećuju pozornost i utjecaju na okoliš različitih ruta.

U procesu optimizacije ruta zagušenje prometa igra vrlo važnu ulogu, posebno za gradsku logistiku. Zagušenje može uzrokovati odstupanje vozila od optimalne brzine i time uzrokovati i nepovoljniji utjecaj na okoliš. Novije tehnologije se mogu koristiti za ublažavanje zagušenja. Na primjer, GPS uređaji i popratna tehnologija može pomoći u praćenju lokacije i brzine vozila. S poboljšanim kapacitetima mobilnog interneta i mobilnih komunikacijskih usluga, vozači kamiona mogu lakše dobiti informacije u stvarnom vremenu o prometu i vremenu putovanja od točke do terminala.

Najveće operativno opterećenje skladišta u smislu okoliša dolazi od osvjjetljenja, grijanja i hlađenja. Prirodni plin i lož ulje su značajni izvori energije za sustave grijanja skladišta, a izvor energije za rashladne sustave je električna energija. Količina energije koja se troši ovisi o potrebnoj temperaturi za skladištenje dobara kao i o temperaturi potrebnoj radnicima u skladištu. Obično veće zgrade troše manje energije po kvadratnom metru. Smanjenje unutarnje temperature pomaže uštedi energije, gdje smanjenje od oko 1°C donosi približno 10% uštede energije.

Sve skladišne zgrade trebaju ventilacijske sustave. Visoka stopa izmjene zraka je povezana s velikom potrošnjom energije. Za veća područja gdje je potrebna velika brzina izmjene zraka, kanalizirani sustavi grijanja zraka često su učinkovitiji. Za manja područja, lokalni sustavi grijanja su dovoljni, a mogu uključivati ovješene grijače toplog zraka ili infracrvene grijače.

Neke metode uštede energije mogu uključivati:

- odvojena otpremna ili usisna područja od drugih područja aktivnosti
- otvaranje vrata samo po potrebi (npr. kada vozila ulaze i izlaze)
- integrirajuće barijere na vratima koja često koriste viljuškari
- usvajaju termostata s vremenskom kontrolom



Rasvjeta je značajan izvor potrošnje energije u skladištima. Učinkovite svjetiljke i rasvjeta, poput natrijevih visokotlačnih svjetiljki (SON) i linearni fluorescentni SuperT8 poželjni su. U automatiziranim skladištima dizala i oprema za rukovanje materijalima mogu imati značajne energetske zahtjeve. Automatsko skladištenje s minimalnim ručnim ljudskim uključanjem mogu uštedjeti s obzirom da ne zahtijevaju osvjetljenje, ali zbog potpuno automatiziranog premještanja robe povećava se potrošnja energije. [10]

Upravljanje zalihama jedna je od najvažnijih operativnih aktivnosti za bilo koje proizvodno poduzeće, a posebno je važno za upravljanje opskrbnim lancem. Određivanje veličine serije (ekonomska količina narudžbe [EOQ] ili ekonomska količina proizvodnje [EPQ]) osnovno je pitanje upravljanja zalihama. Integracija ekoloških problema u sustav upravljanja zalihama - zeleno upravljanje zalihama – polako privlači pozornost. Razmatranje kontrole emisija stakleničkih plinova jedno je od ključnih pitanja u zelenom upravljanju zalihama.

Uzmimo kao primjer emisije ugljika u upravljanju zalihama. Tri različita načina usvojena su za integriranje odluka kontrole emisije ugljika u upravljanje zalihama:

- Emisije ugljika se mijenjaju u novčani trošak, a zatim se trošak razmatra u funkciji cilja
- Emisije ugljika se smatraju drugim ciljem u pristupu optimizacije s više kriterija
- Emisije ugljika smatraju se ograničenjem u okviru modela optimizacije zaliha

Emisije ugljika iz zaliha mogu se pratiti do upravljanja njihovim kretanjem i skladištenjem, koje su važne logističke aktivnosti. Dakle, same zalihe mogu i ne stvarati emisije ugljika (ovisno o vrsti zaliha). Skladištu i objektima za skladištenje zaliha potreban je prostor i energija. Učestalost prijevoza može se mijenjati ovisno o razini zaliha. Ti se aspekti mogu integrirati u modele i planiranje. [10]

## 5.2 Alternativna pogonska rješenja

Alternativni pogoni su pogoni koji koriste nestandardna goriva kao izvor energije za vozila. To mogu biti goriva koja se implementiraju u postojeći sustav motora s unutarnjim izgaranjem uz manje ili veće izmjene, kao što su biogoriva i prirodni plin, ili ona kod kojih je potrebno izmijeniti cijeli pogonski sustav do te mjere da se uglavnom više isplati dizajnirati novo vozilo čiji se dizajn temelji na tom sustavu, kao što je električna energija.

Razlog korištenja alternativnih goriva je najčešće njihov manji negativni učinak na okoliš, ali danas se uz adekvatnu primjenu može postići i smanjenje varijabilnih troškova. U nekim su slučajevima dostupni razni poticaji i benefiti koje vlade pružaju tvrtkama, tako da je u određenim slučajevima moguće postići i smanjenje fiksnih troškova.

Alternativna goriva prema svojoj prirodi odnosno porijeklu mogu biti obnovljiva, npr. biogoriva ili etanol dobiveni iz biomase, ili neobnovljiva, kao npr. prirodni plin. Električna energija također se može proizvesti iz obnovljivih ili neobnovljivih izvora. Iako postoje ustaljene prakse korištenja neobnovljivih alternativnih izvora energije - u primjeru prirodnog plina kao pogonskog sredstva u automobilima odluka za izdvajanje određenog početnog fiksnog iznosa češće je temeljena na povratu uloženog i smanjenju ukupnih troškova na dulje staze nego na ekološkoj savjesti – danas je fokus sve više na obnovljivim izvorima koji su uglavnom bolji za okoliš, ali i održivi na dulje staze.

### 5.2.1 Biogoriva

Bioenergija je oblik obnovljive energije jer je energija sadržana u biomasi energija Sunca spremljena prirodnim procesima fotosinteze. Sve dok je količina iskorištene biomase jednaka ili manja od količine koja se može ponovno uzgojiti, potencijalno ju je moguće neograničeno obnovljati. Oblici bioenergije uključuju struju, toplinu, ali i kruta, tekuća i plinska goriva.

Postoje tri glavne vrste materijala od biomase od kojih se proizvodi bioenergetska sirovina: lipidi, šećeri/škrobovi i celuloza/lignoceluloza. Lipidi su molekule bogate energijom, netopive u vodi, poput masti, ulja i voskova. Lipidi su dobiveni od nedrvenih biljaka i algi. Šećeri i škrobovi su ugljikohidrati koji se obično nalaze u jestivim dijelovima prehrambenih usjeva, poput zrna kukuruza, koji su izvori za biogoriva prve generacije. Celulozna/lignocelulozna biomasa sastavljena je od složenih ugljikohidrata i molekule neugljikohidrata koje se obično nalaze u lišću i stabljikama biljaka. Celuloza/lignoceluloza ima malu ili nikakvu prehrambenu vrijednost za ljude. Stoga napredna biogoriva nude priliku za uzimanje ovih materijala relativno niske vrijednosti i njihovu upotrebu u proizvodnji energetskih proizvoda visoke vrijednosti.

Kao sirovina za biogoriva, alge pružaju vrlo atraktivnu alternativnu opciju. Procjenjuje se da je proizvodnja goriva iz algi 100 puta učinkovitija u odnosu na proizvedenu količinu

naspram nekih izvora biogoriva. Svojstva alginog goriva na niskim temperaturama i gustoća energije goriva iz algi čine ga pogodnim za mlazno gorivo, lož-ulje za domaćinstvo i općenito gorivo za transport u hladnijim regijama. Osim toga, osigurava kontinuiranu opskrbu, a može i „uhvatiti“ otpadni CO<sub>2</sub> za stvaranje još biomase. Proizvodnja goriva iz algi dokazano je moguća, ali još nije uspješno osmišljen ekonomski isplativ postupak.

Prema studiji koju je proveo Lovelace Respiratory Research Institute ispušni plinovi proizvedeni prilikom izgaranja biodizela imaju 50% niži potencijal za stvaranje smoga, emisije CO također su 50% niže, količina čestica je 30% niža, količina ugljikovodika je 95% niža, a popratne količine sumporovih oksida i sulfata u potpunosti su eliminirane. [15]

Vrsta emisija	Biodizel % u odnosu na konvencionalni dizel
Ukupni ugljikovodici	-67
Ugljikov monoksid	-48
Čestice	-47
Dušikovi oksidi (Nox)	+10
Sulfati	-100
Nemetanski organski spojevi (NMVOC)	-50

Tablica 1: Prosječne emisije biodizela u usporedbi s konvencionalnim dizelskim gorivom, prema podatcima Agencija za zaštitu okoliša SAD-a

Izvor: [15]

U tablici 1 vidljivi su podaci o razlici u količini emisija biodizela naspram konvencionalnog dizela. Vidljivo je kako su gotovi svi elementi upola niži, dok su sulfati u potpunosti eliminirani, a jedino je kod dušikovih oksida vidljivo povećanje i to od 10%.

Kako bi se proizveo biodizel, u SAD-u se u 60% slučajeva koristi soja, a drugi izvori su biljno ulje, suncokretovo ulje i repičino ulje. Kod soje je prednost ta što se dio koji sadrži bjelančevine i koristi za prehrambenu industriju i za stočnu hranu može odvojiti od ulja koje se zatim može koristiti kao sirovina za biodizel. [15]

Biodizel, iako čišći u odnosu na konvencionalni dizel, ima nekoliko negativnih aspekata. Potrošnja goriva nešto je veća, a maksimalna snaga koju motor uspije postići može biti 4-5% niža, ovisno o sirovini koja se koristi kao izvor za izradu biodizela. [16]

Sama cijena biodizela jako varira, a ovisi o dostupnosti sirovina za izradu, dakle o uzgoju soje, te o cijeni uzgoja soje na nekom području za tu sezonu. Nema nekakav definiran trošak, te može biti i jeftinija i skuplja od cijene dizela u danom trenutku. Razlika je što i kada je cijena proizvodnje veća velik dio tog troška, oko 50%, može se pokriti prodajom dijela soje koji se ne koristi za izradu biodizela prehrambenoj ili stočnoj industriji.

### 5.2.2 Prirodni plin

Prirodni plin je gorivo čistog sagorijevanja koje karakterizira izgaranje bez čađe kada se koristi u motorima s unutarnjim izgaranjem. Visoko oktanska svojstva prirodnog plina utječu na njegovu uporabu u motorima sa svjećicama, a ne dizelskim motorima. Zbog velike otpornosti na samozapaljenje, prirodni plin u kompresijskim motorima zahtijeva uporabu sustava sagorijevanja s dva goriva s predubrizgavanjem dizela za pokretanje izgaranja.

Performanse prirodnog plina u vozilima težih kategorija najčešće se uspoređuju s dizelskim gorivom, koje je primarni izvor energije koji koristi taj transportni sektor. Opće mišljenje unutar transportne industrije je da vozila na prirodni plin ne zadovoljavaju standard pouzdanosti njihovih pandana na dizelski pogon u smislu dometa vozila i ukupne trajnosti i izdržljivosti. Stroži propisi o regulaciji emisija ispušnih plinova mogli bi potaknuti korištenje prirodnog plina barem za gospodarska vozila unutar naselja, kao što su vozila komunalija, autobusi i dostavna vozila.

Zahtjevi za pogonske sustave transportne industrije su visoki okretni moment i snaga. Dizelski motori nemaju konkurenciju u tom aspektu, ispunjavajući ove ključne zahtjeve transporta teških tereta. Razvoj kompresijskih motora s dva goriva koji koriste predubrizgavanje dizela kako bi pokrenuli zapaljenje u ciklusu klipa, a zatim prirodni plin, u kojima se koristi otprilike 95% prirodnog plina i 5% dizela, ciljao je na konkuriranje dizelskim motorima u smislu ključnih performansi. Novije tehnologije poput HDPI (eng. *High-pressure direct injection*, visokotlačno izravno ubrizgavanje) koju je razvila tvrtka „Westport Inovations“ omogućavaju slične performanse kao tradicionalni dizelski motori u vidu okretnog momenta i smanjenu razliku u dometu. [17]

Emisije štetnih plinova motora pogonjenih prirodnim plinom, kada se koriste kao zamjena za dizelske motore i u usporedbi s njima, zapravo se nije pokazala značajno nižom. Prilikom sagorijevanja plina u motoru sa stehiometrijskim izgaranjem količine dušikovih oksida

(Nox) niže su za oko 60%, ali su količine ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) 22% više, a u slučaju da je mješavina siromašna i poveća se udio zraka, postiže se otprilike podjednaka emisija Nox i CO<sub>2</sub> kao u dizelskim motorima. U oba slučaja prednost plina je što ima oko 25% manje emisije CO<sub>2</sub> kada se uzme u obzir potpuni lanac od izvora plina, prerade, dostave i na kraju izgaranja u motoru. [18]

Relativno visoki fiksni troškovi primjene sustava plinskih motora s dva goriva, koji bi zadovoljili potrebne performanse u teretnom transportu, pokazuju kako bi se tehnologija morala dodatno razviti ili tržište dovoljno proširiti kako bi cijene mogle pasti. Ušteda se svakako javlja na varijabilnim troškovima goriva, gdje je samo 5% potrebnog goriva dizel, a ostatak prirodni plin, čija je cijena u prosjeku oko 50% niža. Svakako bi bila potrebna i dodatna ulaganja u infrastrukturu kako bi prirodni plin kao gorivo postao pristupačniji i kako bi se povećao broj lokacija za punjenje.

### 5.2.3 Električna energija

Električna vozila doživjela su dosad neviđen razvoj i porast u popularnosti proteklo desetljeće, sa sve boljim karakteristikama i performansama. Osnova funkcioniranja električnog vozila relativno je jednostavna – umjesto motora s unutarnjim izgaranjem koristi se elektromotor, a umjesto spremnika za gorivo koriste se baterije. U stvarnosti razlike su iznimne, kako u izvedbi tako i u performansama.

Električna vozila pokreću elektromotori kojima je sav okretni moment dostupan gotovo odmah prilikom kretanja. Iz tog razloga uglavnom imaju izvanredne performanse ubrzavanja. Elektromotori su gotovo potpuno tihi u usporedbi s motorima s unutarnjim izgaranjem, tako da gotovo u potpunosti eliminiraju zagađenje bukom. Također ne ispuštaju nikakve ispušne plinove niti nusprodukte.

Neki od glavnih negativnih aspekata proizlaze iz baterija u kojima spremaju električnu energiju za kasniju uporabu. Kako bi se baterije napunile, potrebno je nekoliko puta više vremena nego za punjenje spremnika tekućim gorivima poput dizela ili biodizela. Sama energetska gustoća baterijskih ćelija višestruko je niža za istu jedinicu volumena gledajući neke od boljih danas dostupnih baterija i to gledajući samo baterijsku ćeliju bez njezinog kućišta. [19]

Zbog niske energetske gustoće baterijskih ćelija domet električnih vozila na jednom punjenju osjetno je manji, a znatno ga je teže produžiti. Energetska gustoća Li-Ion baterija u najboljem je slučaju danas oko 650Wh/l, dok je kod dizelskog goriva taj iznos 9.7kWh/l. To znači da bi za dodavanje 100km dometa dizelskom vozilu koje troši kombiniranu vrijednost od 8l/100km trebali dodati 8 litara na postojeći kapacitet spremnika, dok bi za dodavanje iste količine energije električnom vozilu bilo potrebno dodavanje volumena baterije ekvivalentnom 120 litara, ne računajući dodatni volumen kućišta dodatnih ćelija te dodatnu potrošnju uzrokovanu dodatnom težinom.

Emisije ispušnih plinova električnih vozila prilikom same vožnje ne postoje, nije ju potrebno fizički dostavljati na lokaciju punjenja, a u cijelom procesu proizvodnje postoje samo u samim elektranama ovisno o tipu goriva koje one koriste. Koristeći obnovljive izvore, cijeli sustav opskrbe električnih automobila električnom energijom mogao bi ne imati ikakve emisije. Problem se pojavljuje kod baterija, koje je potrebno prikladno odložiti i reciklirati na kraju njihovog životnog vijeka, ali trenutno se reciklira samo oko 5% baterija iz električnih vozila. [20]

Električni kamioni imaju veće početne troškove od konvencionalnih, a oni ovise o trošku proizvodnje baterija koji se izražava u iznosu u nekoj valuti po kWh zapremine energije. Trenutno je u svijetu taj trošak oko 135USD/kWh (115€/kWh), što znači da je prosječan električni kamion s 50% manjim dometom oko 75% skuplji, ali i da zbog težine i mjesta koje zauzima sama baterija ima i manje logističke performanse. [21]

Cijena instalacije brzog punjača za baterijska električna vozila iznosi 2.000-3.000€ po jedinici. Noviji punjači imaju mogućnost punjenja preko 200kW/h, što predstavlja veoma kratko vrijeme punjenja od manje od 30 minuta za električne automobile i najvećih kapaciteta, ali za prosječan električni kamion kapaciteta 500kW to i dalje predstavlja 2 sata i 30 minuta punjenja. Kako bi se takva brzina punjenja uopće mogla podržati, pogotovo na nekoliko stanica, u nekim je slučajevima potrebno i promijeniti ili nadograditi dio postojeće infrastrukture.



Slika 8: Električni kamion sa solarnim ćelijama

Izvor: [22]

Jedno od mogućih rješenja za navedene probleme su povećavanje dometa solarnim panelima (slika 8), iako se ne postiže značajno poboljšanje zbog male efikasnosti solarnih panela i promjenjivih uvjeta. Ukoliko bi se dodatno povećala efikasnost odnosno brzina punjenja punjača, vozači bi na pauzama koje su prema direktivi (EC) 561/2006 dužni imati svakih 4h i 30min mogli dopuniti spremnik, ali pojavljuje se problem ograničene infrastrukture. Zbog ograničenog dometa, ali osim toga velikih potencijala te uzimajući u obzir povrat energije regenerativnim kočenjem, danas se prije svega razmatra korištenje električnih kamiona u gradskim i prigradskim područjima. Takvi uvjeti vožnje izbjegavaju mali domet jer su relacije kraće, kamioni se uvijek vraćaju na početnu točku gdje se mogu puniti, a benefit regenerativnog kočenja postiže visoku stopu iskorištenosti.

Varijabilni troškovi električnih kamiona s baterijama znatno su niži od dizelskih - uz procijenjenu potrošnju od 1kW po km i trenutnu cijenu električne energije za poduzetništvo u Hrvatskoj od oko 0,10€/kWh, ovisno o kategoriji, iznos je oko 0,10€/km. Dizelski tegljači,

ovisno o teretu i uvjetima ceste, troše u rasponu od 25-35 litara dizela na 100km, dakle oko 0,3 litre po prijeđenom kilometru, što uz cijenu dizela od 1,35€ iznosi oko 0,40€/km, dakle 4 puta više. Uz određene državne poticaje i eventualno ulaganje tvrtki u infrastrukturu za vlastitu proizvodnju električne energije kroz obnovljive izvore, a uz predviđeni rast cijena fosilnih goriva u budućnosti, ta se razlika može samo povećavati. [23][24]

Kako bi se ušteda postignuta tom razlikom maksimalno iskoristila potrebno je njime preći što veću udaljenost u radnom vijeku. Ušteda na gorivu prelazi početna ulaganja, prema sadašnjim cijenama, tek nakon 325.000km u slučaju nabave novog tegljača.

#### 5.2.4 Vodik

Električna vozila s baterijama i električna vozila s vodikovim ćelijama su dvije vodeće tehnologije elektrifikacije kamiona. Kao i električni kamioni s baterijama, električni kamioni s vodikovim ćelijama (FCET, eng. *Fuel cell electric trucks*) ne proizvode emisije ispušnih plinova, a pokreću ih isključivo električni motori. Jedini nusprodukti FCET kamiona su voda i toplinska energija.



Slika 9: Vodikova ćelija

Izvor : [25]

Tehničke karakteristike FCET kamiona slične su onima električnih kamiona s baterijama, uz veći domet s obzirom da vodik ima veću energetska gustoću od baterijskih ćelija



koje upotrebljavaju ti kamioni. Štoviše, domet FCET kamiona može se usporediti s dometom kamiona s konvencionalnim motorima i pogonskim gorivima.

FCET kamioni kao gorivo mogu koristiti vodik u plinovitom stanju (G.H<sub>2</sub>, eng. *Gaseous hydrogen*) ili ukapljeni vodik odnosno vodik u tekućem stanju (L.H<sub>2</sub>, eng. *Liquified hydrogen*). U oba slučaja emisije štetnih plinova su jednake nuli prilikom same vožnje, stoga se kod analize vodika kao pogonskog goriva razmatra WTW (eng. *Well-to-wheel*, „od izvora do kotača“) aspekt utjecaja na okoliš. Proizvodnja i G.H<sub>2</sub> i L.H<sub>2</sub> zahtjeva potrošnju veće količine energije i resursa, od kojih je najzastupljeniji prirodni plin. Smanjenje ukupnih emisija (WTW) za G.H<sub>2</sub> ćelije iznosi, ovisno o težini i tipu vozila, 20-45% za stakleničke plinove, 49-77% za CO<sub>2</sub>, 62-83% za Nox i 19-44% za čestice (PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub>). Ovisno o načinu proizvodnje električne energije korištene u proizvodnji goriva u obliku vodika, emisije sumpornih oksida i sulfata u cjelokupnom lancu mogu biti i veće za vodik nego za dizel, kao što je još uvijek primjer u većini SAD-a.

Trošak vodika je trenutno u prosjeku oko 4,5 puta veći od troška električne energije po kWh na tržištu SAD-a . Velika prednost vodika nad baterijama je brzina punjenja, koja odgovara brzini punjenja spremnika konvencionalnim gorivima, a smatra se da bi se širenjem infrastrukture za pogon na vodikove ćelije cijena goriva po kWh mogla pasti i preko 50% u odnosu na sadašnju. [26]

## 6. ANALIZA TROŠKOVA I KORISTI ORGANIZACIJE ZELENIH TRANSPORTNIH LANACA U CESTOVNOM PROMETU

Osnovna ideja analize troškova i koristi (eng. *Cost-benefit analysis*, „CBA“) je usmjeravanje prilikom donošenja odluke u projektima metodom uspoređivanja predviđenih troškova uzrokovanih određenom odlukom i potencijalne koristi koje bi ta odluka ili promjena donijela. Prema D.W. Pearce, analiza troškova i koristi određuje vrijednost javnog ulaganja, jer se prednosti i mane određene promjene ili odluke definiraju u odnosu na društvene dobiti i gubitke, a dok se odluke privatnih kompanije ne temelje na utjecajima koje će imati na širu javnost, odnosno društvo. [27]

Moderan opis analize troškova i koristi je da je to sistematičan proces koji poduzeća koriste kako bi analizirale koje odluke donijeti, a koje ne. Analiza troškova i koristi sumira sve potencijalne prednosti koje se očekuju od neke situacije ili odluke, a zatim od toga oduzima trošak koji bi nastao poduzimanjem te odluke. Analitičari i konzultanti prilikom izračuna prednosti i troškova za poduzeća izrađuju i koriste modele koji pridaju određenu monetarnu vrijednost neopipljivim i nematerijalnim pojmovima, kako bi imali što čišću sliku razlike nakon dovršene analize troškova i koristi. [28]

U ovom radu analizira se organizacija zelenih transportnih lanaca, što je proces koji veže logistička poduzeća i društvenu korist. Poduzeća po svojoj prirodi za cilj imaju ostvarivati profit te bi korist koja bi njima proizašla iz organizacije zelenih transportnih lanaca mogla biti jedino povećanje prihoda, odnosno na kraju profita. To se kroz organizaciju zelenih transportnih lanaca može postići ili rješenjima koja su u konačnici sama po sebi jeftinija te na taj način mogu smanjiti troškove, povećanjem prihoda zbog pozitivnog utjecaja na klijente koji žele imati imidž ekološki osviještenog poduzeća, ili smanjenjem rashoda po pitanju cestarina ili državnih davanja putem olakšica.

Ova analiza fokusirat će se na cestovni promet, koji je daleko najzastupljeniji mod prijevoza kako je prikazano u poglavlju 2. Također kako je prikazano u radu najveće troškove u cestovnom transportu stvara pogonsko gorivo, iza kojeg slijede cestarine. Fosilna goriva i motori s unutarnjim izgaranjem izvor su najvećeg dijela onečišćenja zraka putem ispušnih plinova i zagađenja bukom zbog mehanike rada samih motora, a iz tih razloga zaključeno je

kako fokus prilikom ove analize treba biti na alternativnim pogonskim rješenjima. Prikazana su četiri alternativna pogonska rješenja – biodizel, prirodni plin, električna energija s baterijama, i električna energija s vodikovim ćelijama – i za sva četiri analizirat će se razlika u troškovima i eventualne prednosti. S obzirom na različite tehničke karakteristike teretnih vozila s obzirom na gorivo koje je namijenjeno koristiti u analizi će biti prikazana tri tipa teretnih vozila opisana u podpoglavlju 3.1, N1, N2 i N3.

Analiza će se izraditi u dva dijela. U prvom dijelu fokus će biti na modernoj verziji analize koja će u obzir uzeti troškove i potencijalne dobiti u novčanom obliku za poduzeća. U drugom dijelu sagledat će se društvena korist organizacije zelenih transportnih lanaca koristeći metodu evaluacije eksternih troškova nastalih korištenjem fosilnih goriva kao novčanu vrijednost, u usporedbi s troškovima odnosno ulaganjima koja bi bila potrebna od strane države ili drugog oblika javnog financiranja.

### 6.1 Analiza troškova i koristi iz perspektive logističkih poduzeća

Kao što je ranije navedeno u prvom dijelu prikazat će se analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca za sama logistička poduzeća u smislu novčane koristi koju mogu ostvariti – ili izgubiti – primjenom alternativnih pogonskih metoda, a pristup će se temeljiti na pretpostavci nula vanjskih ulaganja i na trenutnoj raspodjeli troškova.

Korištenje biodizela za logistička poduzeća ne pruža nikakvu dodatnu novčanu vrijednost s obzirom da se koriste ista dizelska vozila, cijena varira više nego cijena dizela te je nerijetko i viša, a infrastruktura je slabije razvijena. Korištenje biodizela u smjesi sa dizelom u udjelu od 20%, odnosno gorivo B20, također pruža 4-5% slabije performanse. Iz navedenih razloga iz perspektive logističkih poduzeća korištenje biodizela ima samo negativne aspekte, bez pozitivnih.

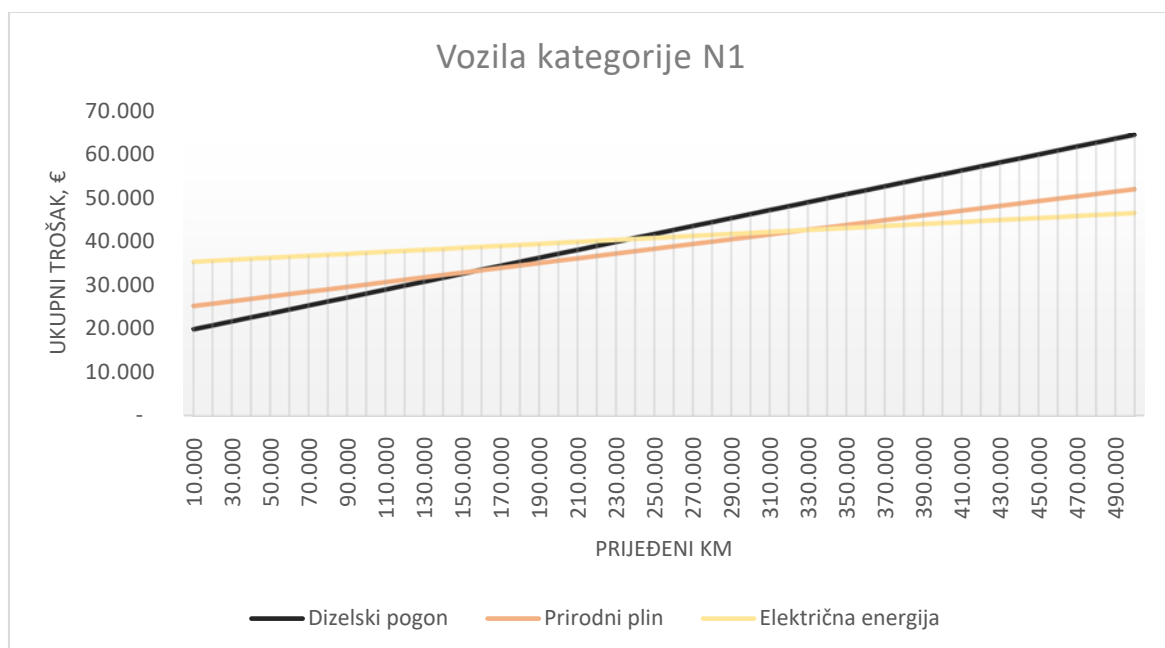
Vodik pruža slične performanse kao i konvencionalni pogon, no veće početne troškove i slabo razvijenu infrastrukturu. Trenutna cijena vodika po kWh 4,5 je puta veća od cijene električne energije, odnosno oko 12% veća od cijene dizela po kilometru. Kao i biodizel, vodik za potrebe logističkih poduzeća nema pozitivnih aspekata osim eventualno boljeg imidža poduzeća.

Za svaku kategoriju vozila za potrebe ove analize uzeti su prosječni troškovi vozila te kategorije na europskom tržištu te prosječne cijene goriva i potrošnja prema kategoriji. Cijena

dizelskog goriva korištena za izračun je 1,30€ po litri, a prosječna potrošnja za vozila prema kategoriji je: za kategoriju N1 7l/100km, za kategoriju N2 17l/100km, za kategoriju N3 28l/100km. Fiksni troškovi nabave vozila određeni na taj način kao: 19.000,00€ za vozila kategorije N1, 58.000,00€ za vozila kategorije N2 te 90.000,00€ za vozila kategorije N3. [29]

Cijena prirodnog plina određena je kao 60% cijene dizelskog goriva. Cijena nabave vozila na prirodni plin određena je kao 30% veća od cijene nabave konvencionalnog vozila. [30]

Cijena nabave električnog vozila na baterija je 75% veća od cijene konvencionalnog vozila [21], na što je dodano 10%, odnosno ukupno 85% viša cijena, zbog potrebe investiranja u popratnu infrastrukturu kao što su punjači i pojačavanje priključka na električnu mrežu. Cijena po prijeđenom kilometru za vozila koja koriste električnu energiju određena je u poglavlju 5.2.3 [23][24] kao 4 puta niža od cijene dizela te je taj izračun i korišten za provođenje analize.

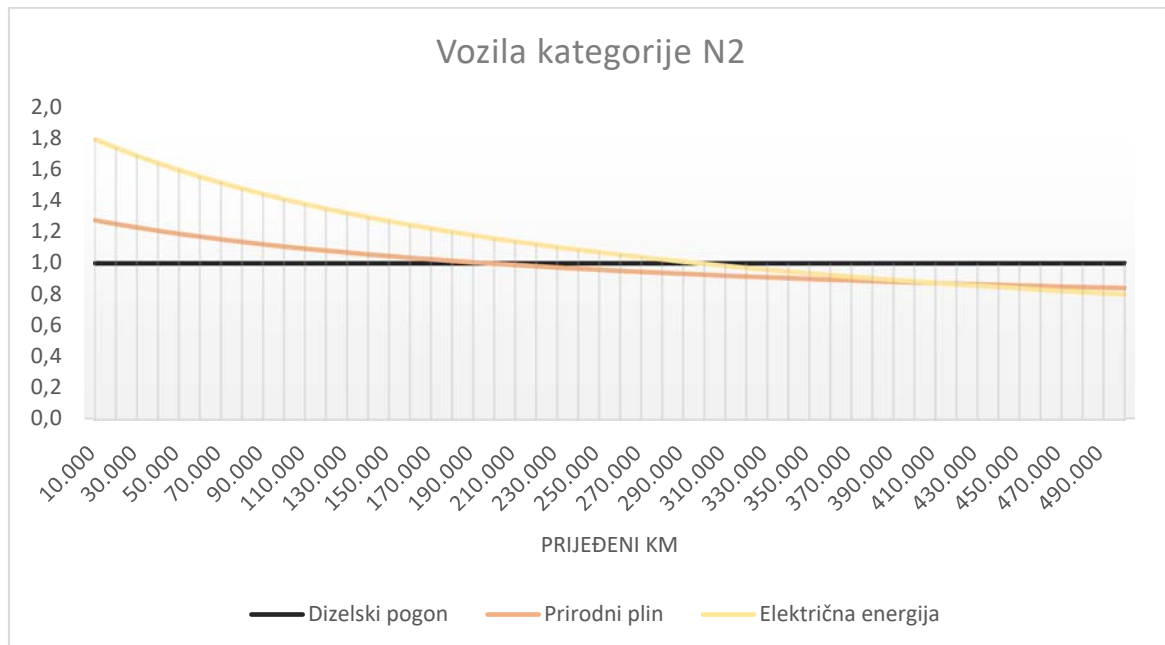


**Graf 3: Trošak nabave i goriva vozila kategorije N1 prema prijeđenoj kilometraži, ovisno o tipu pogona**

Izvor: Izradio autor

Vozila kategorije N1 manji su potrošači od vozila većih kategorija. Unatoč tome što im je fiksna cijena nabave niža, kako bi alternativna rješenja koja ostvaruju uštedu po potrošenoj jedinici energije ostvarila adekvatna umanjeње varijabilnog dijela troška, potrebno je da je vozilo što veći potrošač i da prelazi što veću udaljenost. Prirodni plin postaje isplativiji od dizela

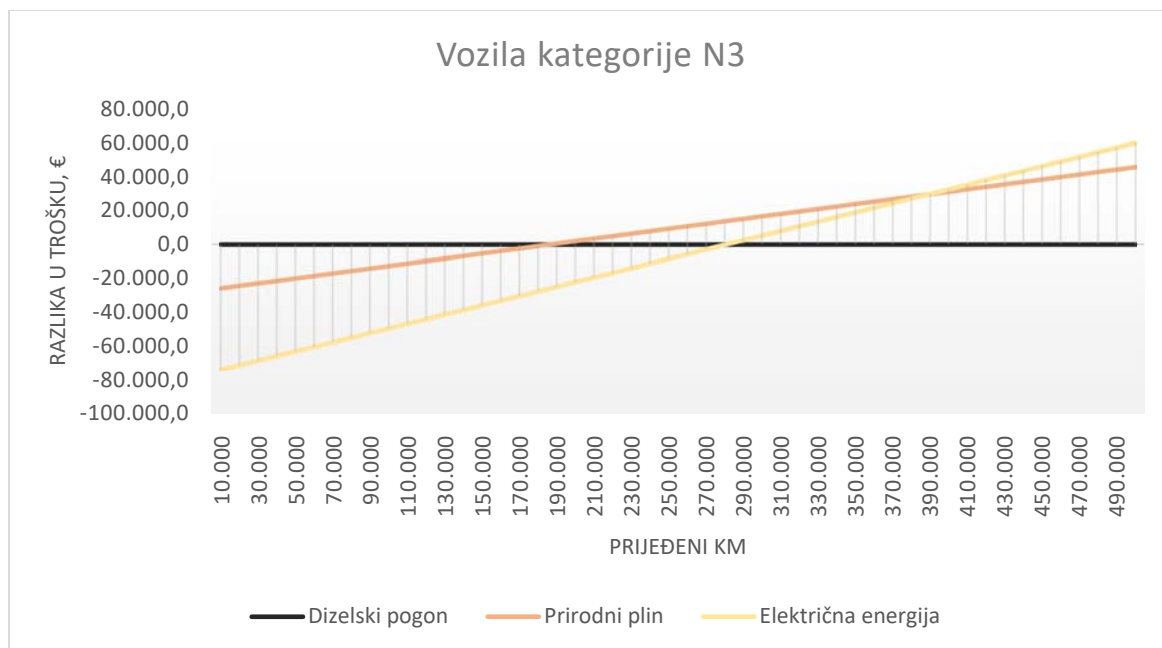
za vozila kategorije N1 nakon 160.000 prijeđenih kilometara, a električna energija tek nakon 240.000 kilometara (graf 3). S obzirom da se vozila te kategorije obično koriste na kraćim relacijama i imaju nižu godišnju kilometražu, cca 50.000km godišnje [29], prilikom nabave novog vozila izbor plinskog bio bi isplativ nakon više od 3 godine, a električnog nakon 5 godina.



**Graf 4: Odnos troškova nabave i goriva plinskih i električnih vozila kategorije N2 naspram dizelskih**

Izvor: izradio autor

U grafu 4 prikazan je odnos troškova nabave i goriva za plinska i električna teretna vozila kategorije N2. Vidljivo je kako je omjer troška prirodnog plina manji od 1, odnosno trošak plinskog vozila manji je od ekvivalentnog dizelskog, tek nakon 200.000 prijeđenih kilometara, dakle oko 2 godine uz 100.000 kilometara godišnje [29], a električnog za iste uvjete tek nakon 300.000 kilometara. Električna energija postaje isplativija od plina tek nakon 420.000 prijeđenih kilometara, što odgovara vremenskom periodu aktivne uporabe od 4 godine.



**Graf 5: Odnos razlike u trošku korištenja dizelskog, plinskog i električnog vozila kategorije N3 s obzirom na prijeđenu udaljenost**

Izvor: izradio autor

Grafom 5 prikazane su razlike u apsolutnom trošku za pojedine vrste alternativnog pogona u odnosu na dizelski za teretna vozila kategorije N3. To su vozila koja godišnje prijeđu preko 130.000 kilometara [29] i prelaze velike udaljenosti svakodnevno. Iako je već nakon 190.000 kilometara, dakle godinu dana do 18 mjeseci, prirodni plin pokazao uštedu od 664€, a električna energija uštedu od 2.670€ nakon 290.000 prijeđenih kilometara odnosno 2 godine, vozila te kategorije iznimno su skupa i nije uvijek moguće odlučiti se za takvu investiciju. Iako bi eventualno došlo do uštede, zbog dodatno visokih cijena takvih vozila s pogonom na plin većina poduzeća morala bi se zadužiti kako bi nabavili takva vozila, što bi utjecalo na ukupnu cijenu. Električna vozila bila bi kroz vrijeme i isplativija od plinskih, no nažalost trenutno još ne zadovoljavaju potrebe i zahtjeve koje logistički operateri imaju za vozila kategorije N3, a uz to smanjuju prihode smanjenjem dostupnog prostora za prijevoz dobara.

Treba uzeti u obzir i kako je analiza iz grafova 3, 4 i 5 provedena na pretpostavci da se donosi odluka o vrsti vozila koje će se nabaviti, a da je odluka o nabavi novog vozila već donesena. S obzirom da teretna vozila, pogotovo ona kategorije N3, dugo ostaju u upotrebi i nerijetko se ne nabavljaju nova, prednosti koje su pokazali plin i električna energija znatno opadaju u slučaju da je odluka koja se donosi treba li nabaviti vozilo ili ne.

## 6.2 Analiza troškova i koristi iz perspektive društva

Za analizu troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca u cestovnom prometu prvo je potrebno vezati neku vrijednost i uz troškove i uz koristi kako bi ih bilo lakše uspoređivati. Troškovi su obično i predstavljeni kao novčana vrijednost koju je potrebno uložiti ili koje se potrebno odreći, u ovom slučaju kako bi se postigli rezultati koji pridonose boljitku društva i očuvanju okoliša.

Troškovi koje uzrokuje cestovni teretni prijevoz, a ne snose ih sudionici tog tržišta nego čitavo društvo, nazivaju se eksterni ili vanjski troškovi (cestovnog teretnog prijevoza). Iz tog razloga vanjske troškove logistička poduzeća i njihovi partneri obično ne razmatraju te troškove prilikom donošenja odluka. Države donose razne zakone i naplaćuju poreze i davanja u pokušaju internalizacije eksternih troškova prema logističkim poduzećima između ostalih, ali to ne pokriva vanjske troškove u potpunosti. Na primjer, Ujedinjeno Kraljevstvo ima jedne od strožih propisa vezanih za internalizaciju troškova no svejedno uspijeva internalizirati samo oko 67% ukupnih eksternih troškova prouzrokovanih cestovnim teretnim prijevozom, kao što su zagađivanje okoliša, buka, nesreće, zagušenje prometnica i troškovi održavanja potrebne infrastrukture. [31]

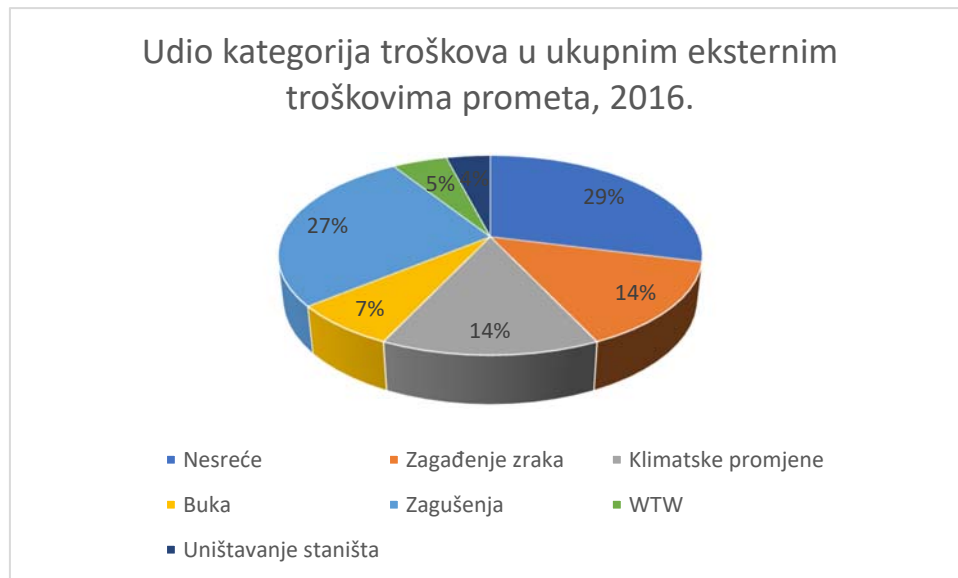
€/kg	NH3	NMVOC	SO2	Nox – gradovi	Nox – ruralno	PM2.5 veliki gradovi (>0.5M stanovnika)	PM2.5 gradovi	PM2.5 ruralno	PM10
Hrvatska	17,9	0,9	8	18,5	11,4	292	95	54	12,2
EU28	17,5	1,2	10,9	21,3	12,6	381	123	70	22,3

Tablica 2: Troškovi zagađenja zraka, prosjek za 2016. godinu, u €/kg

Izvor: Izradio autor prema [32]

U tablici 2 prikazan je prosječan trošak po kilogramu pojedine vrste emisija u eurima, prosječna vrijednost za 2016. godinu, za Hrvatsku i za EU28 prema podacima Europske Komisije. Prema podacima o ukupnim emisijama pojedine štetne tvari za istu godinu može se izračunati trošak nastao zagađenjem zraka. Za 2016. godinu za EU28 taj iznos je, za teretni cestovni promet, bio 29,42 milijarde €, odnosno od oko 3,24 €-centa (0,0324€) po kilometru za lakša gospodarska vozila do oko 9,38 €-centa (0,0938€) po kilometru za teška gospodarska vozila. [32]

Ukupni eksterni troškovi prometa u EU28, što uključuje sve oblike putničkog i teretnog prometa, a podrazumijeva eksterne troškove prouzrokovane nesrećama, zagađenjem zraka, klimatskim promjenama, bukom, proizvodnim lancem goriva i uništavanjem staništa, iznose više od 840 milijardi € godišnje, a za Hrvatsku su za 2016. iznosili 5,1 milijardu € odnosno 6,9% ukupnog BDP-a, od čega 5 milijardi € odnosno 98% od ukupnog iznosa otpada na cestovni promet. [32]



**Graf 6: Udio kategorija troškova u ukupnim eksternim troškovima prometa, 2016.**

Izvor: Izradio autor prema [32]

Od svih eksternih troškova najveći dio čine nesreće, a to je 29%. Vidljivo u grafu 6 je da zagađenje zraka, klimatske promjene i buka zajedno čine 35% od ukupnog iznosa eksternih troškova, a u Hrvatskoj je to 1,75 milijardi € godišnje. Od tog iznosa 31% čini teretni cestovni prijevoz, dakle 542,5 milijuna € godišnje. To su primarni eksterni troškovi na koje cilja organizacija zelenih transportnih lanaca u cestovnom prometu.

Troškove po kategorijama za teretni cestovni promet dalje se može izračunati iz prethodno dobivenih rezultata. 40% iznosa troška prouzrokovanog teretnim cestovnim prometom u Hrvatskoj čini zagađenje zraka, dakle oko 217 milijuna € godišnje, jednako kao i klimatske promjene. Preostalih 108,5 milijuna € dolazi iz troškova prouzrokovanih onečišćenjem bukom.

Korištenjem biodizela ne postiže se otklanjanje ili smanjenje troškova buke s obzirom da se radi o istom dizelskom motoru. Prema dostupnim podacima, smanjenje eksternih



troškova u slučaju biodizela naspram dizela u slučaju zagađenja zraka iznosi oko 12,5%. Za klimatske promjene ono iznosi oko 14%. Za oba slučaja promatrani su primjeri motora emisijske klase Euro IV. [32]

Prirodni plin korišten u modernim sustavima visokotlačnog ubrizgavanja s dva goriva, odnosno predubrizgavanjem dizelskog goriva, stvara smanjenje eksternih troškova uzrokovanih zagađenjem zraka na primjeru Hrvatske od oko 85% (80-90% za klasu emisija Euro IV, ovisno o uvjetima i području vožnje) u usporedbi s dizelskim motorima. Smanjenja eksternih troškova uzrokovanih klimatskim promjenama iznose 13-15%. Ta se smanjenja, kao i u primjeru biodizela, ne odnose na buku. [32]

Vozila na električni pogon, baterijski ili s vodikovim ćelijama, gotovo u potpunosti eliminiraju buku nastalu radom motora. Buka od takvih vozila i dalje postoji i kod teretnih vozila dobar dio proizlazi iz same njihove veličine, na primjer prolaskom kotača po podlozi, od priključka s prikolicom, uzrokovana aerodinamikom vozila i drugo. Eksterni troškovi vezani za buku kod teretnih su vozila u nekim slučajevima čak i do 16 puta veći nego kod osobnih vozila po prijeđenom kilometru vozila, a u prosjeku oko 5 puta veći na otvorenim, slabije naseljenim područjima i oko 10 puta veći u urbanim sredinama (u obzir je uzet odnos troškova za laka i srednja teretna vozila, kategorije N1 i N2, za urbane sredine, a teška teretna vozila, kategorije N3, za ostale prometnice). Elektrifikacijom teretnih vozila ti bi se troškovi mogli smanjiti u prosjeku za oko 80%.

Eksterni troškovi prouzrokovani zagađenjem zraka kod korištenja električnih vozila s baterijama prema Europskoj komisiji padaju za preko 90%, što naravno ovisi o infrastrukturi električne mreže i izvoru električne energije u pojedinoj zemlji. U slučaju kada bi se koristili obnovljivi izvori, taj bi iznos mogao pasti još i više. Električna vozila na baterije gotovo ne uzrokuju troškove vezane za klimatske promjene. [32]

Električna vozila koja koriste vodikove ćelije postižu smanjenje ukupnih eksternih troškova od oko 67% tokom svog životnog ciklusa. [33]

	Dizel	Biodizel	Plin	Električna energija	Vodik
Buka	108,5	108,5	108,5	86,8	86,8
Zagađenje zraka	217	189,9	32,5	21,7	71,6
Klimatske promjene	217	186,6	184,4	0	71,6
<b>Ukupno</b>	<b>542,5</b>	<b>484,9</b>	<b>325,5</b>	<b>108,5</b>	<b>230,1</b>
Smanjenje	0%	11%	40%	80%	58%
Ušteda	0	57,5	217	434	312,5

Tablica 3: Potencijalne uštede na eksternim troškovima korištenjem alternativnih pogonskih metoda za teretna vozila u Republici Hrvatskoj, prema podacima Europske Komisije iz 2016., u milijunima €

Izvor: Izradio autor

U tablici 3 prikazani su rezultati izračuna potencijalnih koristi evaluacijom eksternih troškova uzrokovanih teretnim prijevozom u Republici Hrvatskoj, prikazani u milijunima € godišnje. To je monetarna vrijednost izgubljena uništavanjem okoliša, narušavanja zdravlja ljudi, smanjenjem kvalitete i duljine života ljudi, biljaka i životinja. U posljednjem retku tablice 3 pod „Ušteda“ vidljiv je iznos koji bi Republika Hrvatska potencijalno mogla uštedjeti kada bi transportni lanci bili organizirani korištenjem vozila s određenim pogonskim sredstvima.

Troškovi povezani s ostvarivanjem takvih ciljeva uglavnom su povezani s poboljšanjem postojeće ili izgradnjom nove infrastrukture. Dodatni troškovi u vidu ulaganja u prometni sektor mogu nastati i samom incentivizacijom logističkih poduzeća za prelazak na zelenije pogonske metode putem olakšica. Kao što je predstavljeno u podpoglavlju 3.3 cestarine predstavljaju oko 20%, ovisno o prijeđenoj kilometraži, troškova teretnih vozila, i primjer su stavke gdje država može tvrtkama dati olakšicu, kao i olakšice na određena davanja. Još jedna mogućnost su poticaji za nabavku novih vozila koja odgovaraju određenim standardima zelenog transporta.

U Republici Hrvatskoj prema podacima Državnog zavoda za statistiku od 31. prosinca 2019. registrirano je ukupno 2.275.027 cestovnih vozila, a od toga je 193.500 teretnih cestovnih vozila kao što su kamioni i tegljači. Iako to predstavlja udio od 8,5% teretnih vozila u ukupnom broju cestovnih vozila, ona čine 31% ukupnih eksternih troškova cestovnog prometa. [32][34]

Osim toga, teretna su vozila obična koncentrirana na određenim lokacijama poput LDC-a i gospodarskih zona, a i većina poduzeća posjeduju više vozila koja se nakon obavljenog

prijevoza vraćaju u bazu. To znači da se razvijanje infrastrukture može fokusirati na određene žarišne točke. Na primjer, kada bi apsolutno sva teretna vozila u Hrvatskoj bila električna vozila na baterije, bilo bi potrebno oko 8.000 punjača najnovije generacije kako bi se svako od tih vozila moglo puniti jednom dnevno. S obzirom da je cijena nabave i instalacije jednog punjača do 3.000€ to znači da bi se investicijom od 24 milijuna € mogla pripremiti sva potrebna punjačka mjesta. Ako se sagledaju dobiti ostvarene na godišnjoj razini prikazane u tablici 3, to ostavlja više od 400 milijuna € za daljnja ulaganja u infrastrukturu potrebna za ostvarivanje takvog projekta.

Ukoliko bi se država odlučila uključiti u poticaje za nabavu novih električnih teretnih vozila na baterije s udjelom od 50% od razlike cijene električnih i konvencionalnih vozila, trebalo bi izdvojiti oko 7,6 milijardi €. Na primjeru trajanja takvog projekta od 10 godina, s oko 10% prijelaza godišnje, krećući od najstarijih teretnih vozila prema najnovijima prve bi godine uštede bili minimalne a troškovi maksimalni, te bi ukupni trošak za prvu godinu bio oko 1 milijardu €, druge oko 673 milijuna €, treće oko 630 milijuna € i dalje bi relativno linearno padao. Korist bi se, ekonomski, počela vidjeti tek nakon 28 godina – prvenstveno zbog potrebnih dodatnih ulaganja u razvoj i održavanje infrastrukture, ali utjecaj na javno dobro bio bi odmah pozitivan, unutar prvih godinu dana. Također bi bilo potrebno zadovoljiti povećanu potražnju električne energije od oko 2GW, što je povećanje od oko 16,4% od sadašnjih proizvodnih kapaciteta Republike Hrvatske. Pretpostavka je da bi u međuvremenu ta tehnologija napredovala, da bi tvrtke same počele ulagati u tu tehnologiju i održavanje dijela infrastrukture unutar LDC-a kako bi ostale konkurentne i time snosili dio troška i skratili vrijeme povrata. Naravno, kako bi tako nešto bilo uopće moguće razmatrati van teorije potrebno je sagledati mnoge dodatne aspekte kao i činjenicu da je ta tehnologija još u razvoju i treba zadovoljiti određene tehničke zahtjeve kao što je domet. [35]

Prelazak na biodizel bio bi mnogo jeftiniji i isplativiji na kraće staze s obzirom da postojeća vozila mogu koristiti to gorivo, a dobar dio infrastrukture već postoji. Najveća ulaganja bila bi potrebna za samu proizvodnju biodizela u slučaju da se ne odluči za uvoz, što je također dobra opcija s obzirom da je Europska Unija vodeći proizvođač (i korisnik) biogoriva na svijetu. Potencijalna godišnja ušteda na eksternim troškovima vjerojatno će se također povećavati razvojem naprednijih, zelenijih dizelskih motora, što također smanjuje eksterne

troškove biodizela. Ova bi opcija brzo pokazala rezultate, ali u usporedbi s drugim opcijama smanjila bi društvene koristi kroz dulji vremenski period. [36]

Republika Hrvatska gotovo uopće ne posjeduje infrastrukturu za vodik, a trenutne cijene vozila, infrastrukture i samog vodika prilagođenog za korištenje u vodikovim ćelijama apsolutno ne opravdavaju investicije u tom smjeru. Daljnji razvoj tehnologije i očekivani pad cijena, pogotovo samog vodika, eventualno bi mogao opravdati ovu opciju s obzirom na bolje tehničke karakteristike teretnih vozila na vodik u usporedbi s onima koja koriste baterije.

Plin je, uz nove tehnologije plinskih motora, najbolja opcija za ulaganje u smislu dobiti na srednje vremenske periode. Veliki dio infrastrukture postoji, ali bi ga bilo potrebno nekoliko puta proširiti. Najveća ulaganja u ovoj opciji bila bi nabava samih vozila ili prilagođavanje postojećih za korištenje plinskog goriva, iako niža nego za električna vozila, a pozitivna strana je što nije potrebno čekati na daljnji razvoj tehnologije jer u sadašnjem stanju već zadovoljava većini tehničkih zahtjeva.

Poticanjem poduzeća na ulaganje u alternativna pogonska rješenja ili izravnim ulaganjem u njih kao i u popratnu infrastrukturu kroz određeno vrijeme, unatoč inicijalnim izdavanjima, moguće je ostvariti višestruki povrat uloženog čak i kada se gleda samo sa ekonomskog stajališta, a i više gledajući društveno korisne benefite poput poboljšanja zdravlja opće populacije.

## 7. ZAKLJUČAK

Svijet se sve više okreće k zelenim tehnologijama, a razvijenije države uvode pravila, propise i zakone vezane za očuvanje okoliša. Sam promet postaje sve zeleniji, a njegove sudionike sve više zanima kako mogu očuvati svoj okoliš, ali po mogućnosti bez ili uz što manje vlastite gubitke. Iz tog razloga javlja se spremnost na veće početne investicije kako bi se kasnije ostvarili barem neutralni rezultati, ako podrazumijevaju čišće tehnologije.

Logistika je jedna od najvećih gospodarskih grana i obuhvaća ogroman broj aktivnosti, od organizacije, planiranja, preko skladištenja do prijevoza kao i mnoge druge. Među tim aktivnostima prijevoz stvara veliki dio troška, a ujedno i veliki dio negativnih ekoloških posljedica. Vidljivo je iz prvog dijela ovog rada kako je u teretnom prijevozu u Europi cestovni prijevoz daleko najzastupljeniji s preko četiri petine udjela, a iz tog razloga predstavlja izvrstan potencijal za razvoj novih, čišćih tehnologija jer svojim opsegom pruža ogromnu podlogu za postizanje promjena.

Kako bi se postigle promjene potrebno je i ulagati u razvoj i primjenu tehnologije. Poduzećima je ipak krajnji cilj njihova zarada, a ne dobrobit okoliša ili društva. Iz tog razloga tehnologije trebaju ciljati na uzročnike troškova, u ovom slučaju najvećim dijelom gorivo, odnosno trenutno korištena fosilna goriva, kako bi imale najviše manipulativnog prostora za trošak same tehnologije. Naime, da je trošak goriva iznimno nizak, kako bi alternativno pogonsko gorivo imalo ikakve šanse moralo bi cijenom biti barem blizu fosilnih goriva. U ovom slučaju ta je cijena vrlo visoka, a iz tog razloga nove tehnologije imaju šansu i imaju mogućnost biti isplative.

Ekološke posljedice cestovnog prometa enormne su. Samo u Republici Hrvatskoj eksterni troškovi cestovnog prometa jednaki su gotovo 7% iznosa BDP-a. Teretni promet sudjeluje u tome s gotovo jednom trećinom, što je po efikasnosti zapravo puno bolje od osobnih automobila s obzirom da odradi većinu posla gledano u tonskim kilometrima. I dalje, iznos je nevjerojatan, a i dalje se samo povećava.

Stoga je pruženo nekoliko mogućih rješenja, nekih lakše, a nekih teže izvedivih. Potpuno zeleni transportni lanci bili bi teško ostvarivi čak i primjenom svih dostupnih tehnologija, ali postupno je moguće krenuti u tom smjeru. Alternativna pogonska goriva čine

se kao najbolji korak – to je tehnologija koja se razvija i može postati samo bolja, trenutno je u žarištu priča o zelenim tehnologijama i stoga pruža visok publicitet kao i veliku konkurenciju dobavljača što snižava cijenu, a i pruža najveće i najopipljivije dugoročne rezultate. Problem je što iziskuje visoka početna ulaganja.

Analizom troškova i koristi postiže se objektivan rezultat, odnosno odgovor na pitanje je li neku odluku isplativo donijeti ili je isplativije ne donijeti ju, ili ima li smisla uvesti određenu promjenu. Sagledaju se svi troškovi onoliko koliko je to moguće, jer neke ipak nije moguće predvidjeti s potpunom sigurnošću, te se usporede sa svim potencijalnim koristima. Idealna je situacija kada se društvene koristi mogu prikazati kao monetarna vrijednost, što je ovdje slučaj. Europska Komisija svakih nekoliko mjeseci do najviše nekoliko godina ažurira svoj priručnik o eksternim troškovima prometa u Europi, gdje je detaljno opisan proces izračuna tih troškova kao i sami troškovi.

Koristeći sve dostupne podatke, zaključeno je kako se određena alternativna goriva isplate kao investicija i poduzećima i društvu. Zanimljivo je kako se biogorivo poduzećima, osim eventualno za publicitet, prema trenutnom stanju ne bi isplatilo nego bi samo povećalo troškove, ali se za društvene troškove višestruko isplati. Iz tog razloga dosta javnih prijevoza u javnom vlasništvu, pogotovo u Europi, koristi biogoriva. Ipak, uz samo mali poticaj države kako bi se uklonila razlika u troškovima za poduzeća ili čak pretvorila u ekonomski isplativu opciju, biogoriva, točnije biodizel, bi mogla postati prvi izbor u zelenim lancima. Kao što je već navedeno ostvarena bi bila višestruka korist za društvo. Osim toga, za proizvodnju biogoriva potrebno je uzgajati sirovine, uglavnom soju, a Republika Hrvatska ima više nego dovoljno pogodnih prostora za tu aktivnost i to u ruralnim područjima koja stanovništvo napušta zbog nedostatka gospodarskih aktivnosti. Višak, neiskorišteni dio sojine biljke također je moguće prodati i iskoristiti za druge industrije.

Električna vozila na baterija su pak tehnologija koja se tek počinje razvijati i iako se već sada pokazuju kao najbolje dugoročno rješenje, prvo je potrebno da se dovoljno razviju kako bi se zadovoljili svi potrebni standardi, a prvenstveno domet za duge staze. Samim razvojem te tehnologije i cijena pada, a dodatnu ju smanjuje sve veća konkurencija na tržištu. Ulaganje u obnovljive izvore energije u slučaju elektrana pak dodatno smanjuje ionako minimalne ekološke posljedice koje ova vrsta prijevoza ima.

## LITERATURA

- [1] Ballou, R., Basic business logistics, 1987.
- [2] Bowersox, D., Closs, D., Bixby Cooper, M., Supply Chain Logistics Management, 2007.
- [3] Babić D., Transport i logistika, prezentacije s predavanja predmeta Upravljanje transportnim lancima, 2015.
- [4] Bongdap N. N., Modes of Transportation: Five Types of Transportation, 29.04.2020., <https://www.jotscroll.com/forums/3/posts/192/modes-of-transport-five-5-types-of-transportation.html>
- [5] Babić D., Prijevoz tereta po prometnim granama, prezentacije s predavanja predmeta Upravljanje transportnim lancima, 2016.
- [6] eurostat, Freight transport statistics - modal split, veljača 2021., [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight\\_transport\\_statistics\\_-\\_modal\\_split](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split)
- [7] Protega V., Nastavni materijal za predavanja iz kolegija: OSNOVE TEHNOLOGIJE PROMETA, 2009.
- [8] Podjela cesta, Prometna zona, <https://www.prometna-zona.com/podjela-cesta/>
- [9] Sternad M., Cost calculation in road freight transport, 19international scientific conference Business Logistics in Modern Management, 2019.
- [10] Sarkis J., Dou Y., Green supply chain management – a concise introduction, 2018.
- [11] Śladkowski A., Ecology in Transport: Problems and Solutions, 2020.
- [12] McCarthy P., Rasul M. G., Moazzem S., Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel, International Journal of Low-Carbon Technologies Volume 6, Issue 4, 2011.
- [13] Europska agencija za okoliš, EEA Report, Environmental noise in Europe — 2020, 2019.

[14] Europska agencija za okoliš, Onečišćenje bukom značajan je problem za ljudsko zdravlje i okoliš, 04.02.2020.

[15] Dahiya A., Bioenergy - Biomass to Biofuels and Waste to Energy, drugo izdanje, 2020.

[16] Europska agencija za okoliš, Emissions of air pollutants from transport, 2017., <https://www.eea.europa.eu/downloads/678979764473406ebc72fb9a95add75d/1512466059/transport-emissions-of-air-pollutants-5.pdf>

[17] Thiruvengadam A., Besch M., Padmanaban V., Pradhan S., Demirgok B., Natural gas vehicles in heavy-duty transportation-A review, 2018.

[18] Climate technology centre & network, Compressed Natural Gas (CNG) as fuel, <https://www.ctc-n.org/technology-library/vehicle-and-fuel-technologies/compressed-natural-gas-cng-fuel>

[19] CK Power, BATTERY VS. DIESEL: WHY WE NEED BOTH AS WE MOVE INTO A GREENER FUTURE, <https://www.ckpower.com/battery-vs-diesel-why-we-need-both-as-we-move-into-a-greener-future/>

[20] Woollacott E., Electric cars: What will happen to all the dead batteries?, 2021.

[21] Marcacci S., Cheap Batteries Could Soon Make Electric Freight Trucks 50% Cheaper To Own Than Diesel, Forbes, 2021.

[22] Green Car Congress, <https://www.greencarcongress.com/2021/01/20210108-renault.html>

[23] Tesla, Semi, <https://www.tesla.com/semi>

[24] Strujaplin, Cijene električne energije u RH (kWh), <https://strujaplin.com/energetsko-trziste/cijene-struje>

[25] International Trucks, The Complete Solution for Zero-Emission Long Haul Transportation, <https://www.internationaltrucks.com/alternate-fuel/hydrogen-fuel-cell>

[26] Dong-Yeon L., Elgowainy A., Kotz A., Vijayagopal R., Marcinkoski J., Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for



medium- and heavy-duty trucks, 2018.

[27] Dasgupta A. K., Pearce D. W., Cost-Benefit Analysis: Theory and Practice, 1972.

[28] Hayes A., Anderson S., Cost-Benefit Analysis, 2021.,  
<https://www.investopedia.com/terms/c/cost-benefitanalysis.asp>

[29] Wilcox D., Motortransport, Diesel to the rescue, 2018.,  
<https://motortransport.co.uk/wp-content/uploads/2018/01/cost-tables-2014.pdf>

[30] Swartz N., TRUCKS: Fueling the Diesel vs. Natural Gas Debate, 2000.,  
[https://www.waste360.com/mag/waste\\_trucks\\_fueling\\_diesel](https://www.waste360.com/mag/waste_trucks_fueling_diesel)

[31] Piecyk M., McKinnon A. C., Internalising the External Costs of Road Freight Transport in the UK, 2007.

[32] Europska komisija, Handbook on the external costs of transport, Verzija 2019., 2019.

[33] Owen A. D., Externalities and Subsidies: the Economics of Hydrogen-based Transportation Technologies, 2004.

[34] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, REGISTRIRANA CESTOVNA VOZILA I CESTOVNE PROMETNE NESREĆE U 2019., 2020.,  
[https://www.dzs.hr/Hrv\\_Eng/publication/2020/05-01-04\\_01\\_2020.htm](https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2020/05-01-04_01_2020.htm)

[35] Energy consumption in Croatia, WorldData,  
<https://www.worlddata.info/europe/croatia/energy-consumption.php>

[36] Mizik T., Gyarmati G., Economic and Sustainability of Biodiesel Production—A Systematic Literature Review, 2021.

## Popis slika

Slika 1: Tok robe u opskrbnom lancu .....	4
Slika 2: Ukupni troškovi cestovnog teretnog prijevoza prema prijeđenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019. ....	16
Slika 3: Udio fiksnih i varijabilnih troškova cestovnog teretnog prijevoza prema prijeđenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019.....	16
Slika 4:Struktura troškova cestovnog teretnog prijevoza prema prijeđenim kilometrima vozila u Sloveniji, 2019 .....	17
Slika 5: Udio pojedinih vrsta transporta u proizvodnji stakleničkih plinova .....	19
Slika 6: Udio pojedinih vrsta transporta u proizvodnji osnovnih zagađivača.....	21
Slika 7: Zelene prijevozne i logistične prakse .....	23
Slika 8: Električni kamion sa solarnim ćelijama .....	31
Slika 9: Vodikova ćelija.....	32

## Popis grafova

Graf 1: Modalna podjela unutarnjeg teretnog prometa, EU, 2008.-2019. ....	9
Graf 2: Udio ceste u ukupnom unutarnjem teretnom prijevozu, 2008., 2018. i 2019. (% u tonskim kilometrima) .....	10
Graf 3: Trošak nabave i goriva vozila kategorije N1 prema prijeđenoj kilometraži, ovisno o tipu pogona .....	36
Graf 4: Odnos troškova nabave i goriva plinskih i električnih vozila kategorije N2 naspram dizelskih .....	37
Graf 5: Odnos razlike u trošku korištenja dizelskog, plinskog i električnog vozila kategorije N3 s obzirom na prijeđenu udaljenost.....	38
Graf 6: Udio kategorija troškova u ukupnim eksternim troškovima prometa, 2016. ...	40

## Popis tablica

Tablica 1: Prosječne emisije biodizela u usporedbi s konvencionalnim dizelskim gorivom, prema podacima Agencija za zaštitu okoliša SAD-a.....27

Tablica 2: Troškovi zagađenja zraka, prosjek za 2016. godinu, u €/kg .....39

Tablica 3: Potencijalne uštede na eksternim troškovima korištenjem alternativnih pogonskih metoda za teretna vozila u Republici Hrvatskoj, prema podacima Europske Komisije iz 2016., u milijunima € .....42



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada \_\_\_\_\_  
pod naslovom **Analiza troškova i koristi organizacije zelenih transportnih lanaca**

**– osvrt na cestovni promet**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 09/02/2021 \_\_\_\_\_

Student/ica:

\_\_\_\_\_ Dominik Matić \_\_\_\_\_  
(potpis) 