

# Optimizacija prijevoznih procesa po ekološkim kriterijima

---

**Rukavina, Mateo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:119:849273>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Mateo Rukavina**

**OPTIMIZACIJA PRIJEVOZNIH PROCESA PO EKOLOŠKIM KRITERIJIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 2. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Prijevozna logistika II**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 5191

Pristupnik: **Mateo Rukavina (0135237520)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

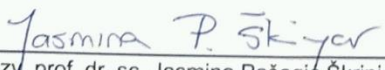
Zadatak: **Optimizacija prijevoznih procesa po ekološkim kriterijima**

Opis zadatka:

U radu će se prikazati zadaci prijevozne logistike te kriteriji optimizacije prijevozne logistike. Objasniti će se optimizacija prijevoznih procesa po ekološkim kriterijima. U radu će se provesti analiza ekološki prihvatljivih načina prijevoza.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

  
izv. prof. dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar

\_\_\_\_\_

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**OPTIMIZACIJA PRIJEVOZNIH PROCESA PO EKOLOŠKIM KRITERIJIMA**

**OPTIMIZATION OF TRANSPORT PROCESSES ACCORDING TO ECOLOGICAL  
CRITERIA**

Mentor: prof. dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar

Student: Mateo Rukavina

JMBAG:0135237520

Zagreb, rujan 2019.

## OPTIMIZACIJA PRIJEVOZNIH PROCESA PO EKOLOŠKIM KRITERIJIMA

### SAŽETAK

Prijevozna logistika, ponajviše cestovni teretni promet ima značajan utjecaj na okoliš, klimu i ljude. Štetni ispušni plinovi koji nastaju prilikom cestovnog teretnog transporta robe uzorkuju promjene klime, zagađenje, buku i štetno djelovanje na zdravlje ljudi. Iz tih razloga nužno je nastojati optimizirati prijevozne procese prema određenim ekološkim kriterijima. Ti kriteriji odnose se na optimizaciju potrošnje goriva (samim time emisije štetnih plinova), optimizaciju iskorištenja teretnog kapaciteta (što manje praznih vožnji i nepopunjenih teretnih kapaciteta) i na alternativne, ekološki prihvatljive načina prijevoza. Upotrebom alternativnih goriva poput vodika, bio-etanola, bio-dizela, prirodnog plina i vozila na električni pogon, moguće je značajno smanjiti emisiju štetnih plinova, smanjiti potrošnju fosilnih goriva i na taj način pozitivno djelovati na okoliš stvarajući održivi transport sa težnjom prema nultoj emisiji ispušnih plinova.

**KLJUČNE RIJEČI:** logistika; ispušni plinovi; ekološki kriteriji; alternativna goriva; električna vozila

### SUMMARY

Transportation logistics, especially road freight transport has a significant ecological impact. Tailpipe emissions that are product of road freight transport are the reasons of climate changes, pollution, noise and they are also harmful for human health. From those reasons there is necesarry to achieve optimization of transport processes acording to ecological criteria. Those criteria are optimization of fuel consumption (less emissions), optimization of utilization of freight capacity ( no empty trucks and no unfilled freight capacity) and also alternatives such as ecological ways of transport. With alternative fuels such as hydrogen, bio-ethanol, bio-diesel, natural gass i electric vehicle, is possible to significantly reduce harmful emissions, reduce fossil fuel consumption and make a eco-friendly transportation, sustainable transport process and zero-emissions transport process.

**KEY WORDS:** logistics; tailpipe emissions; ecological criteria; alternative fuels; electric vehicles

## SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
2	ZADACI PRIJEVOZNE LOGISTIKE .....	2
3	KRITERIJI OPTIMIZACIJE PRIJEVOZNE LOGISTIKE .....	6
3.1	Minimiziranje transportnih troškova .....	6
3.2	Optimizacija vremena dostave.....	7
4	OPTIMIZACIJA PRIJEVOZNIH PROCESA PO EKOLOŠKIM KRITERIJIMA .....	9
4.1	Potrošnja energije u sektoru transporta .....	9
4.2	Utjecaj transporta na čovjeka i okolinu .....	12
4.2.1	Staklenički plinovi.....	12
4.2.2	Buka i vibracije .....	14
4.3	Optimizacija po ekološkim kriterijima .....	16
4.3.1	Optimizacija potrošnje goriva teretnih vozila .....	16
4.3.2	Optimizacija iskorištenja teretnog kapaciteta .....	20
5	ANALIZA EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIH NAČINA PRIJEVOZA .....	24
5.1	Električna (hibridna) teretna vozila .....	24
5.2	Teretna vozila na vodik i gorive ćelije .....	30
5.3	Bio-etanol .....	33
5.4	Bio-dizel .....	34
5.5	SPP (stlačeni prirodni plin) i UPP (ukapljeni prirodni plin) .....	35
5.6	Usporedna analiza alternativnih goriva .....	38

6	ZAKLJUČAK .....	43
	POPIS LITERATURE .....	44
	POPIS SLIKA .....	48
	POPIS TABLICA.....	49
	POPIS GRAFIKONA .....	50
	POPIS KRATICA .....	51
	POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA .....	53

# 1 UVOD

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati načine optimizacije prijevozne logistike na ekološki način, kako i na koji način optimizirati prijevozne procese da oni što manje štetno djeluju na okoliš. Isto tako dokazati da se upotrebom alternativnih goriva može značajno smanjiti upotreba fosilnih goriva i emisija štetnih plinova u okolinu, koji za posljedicu imaju promjenu klime i štetno djelovanje na zdravlje ljudi.

Nakon uvodnog poglavlja slijedi prvo poglavlje koje donosi prikaz zadataka prijevozne logistike, što je to zapravo logistika, koja je njezina uloga u smanjenju troškova opskrbnog lanca, koja je njezina važnost te koji se trendovi pojavljuju u suvremenoj logistici.

Drugo poglavlje prikazuje kriterije optimizacije prijevozne logistike, među koje spadaju i ekološki kriteriji. Poblje obrađuje najvažnije kriterije; minimiziranje transportnog troška i optimizaciju vremena dostave.

Sljedeće poglavlje poblje prikazuje potrošnju energije u sektoru prometa na razini Europske Unije da bi se dalo do znanja koliko su promet i transport veliki potrošači energije. Također se obrađuje štetan utjecaj transporta na čovjeka i okoliš u obliku stakleničkih plinova koji uzrokuju globalno zagrijavanje i promjene klime i štetno djelovanje buke i vibracija koje dolaze iz prometa. Na kraju ovog poglavlja stavlja se naglasak na načine optimizacije po ekološkim kriterijima, preciznije, optimizacija potrošnje goriva u cilju smanjenja ispušnih plinova i optimizacija iskorištenja teretnog kapaciteta u cilju što manje praznih vožnji.

Slijedi poglavlje koje donosi analizu ekološki prihvatljivih načina prijevoza. Poblje se prikazuju karakteristike električnih vozila, vozila na vodik, bio-etanol, bio-dizel, stlačeni prirodni plin i ukapljeni prirodni plin. Prikazuju se značajke svake navedene alternative, djelovanje na okoliš i mogućnost smanjenja potrošnje klasičnog dizela i emisije štetnih ispušnih plinova. Na kraju poglavlja provedena je komparativna analiza gdje se uspoređuju prednosti i nedostaci svake pojedine alternative i daju prijedlozi upotrebe s obzirom na trenutno stanje na tržištu i dostupnost navedenih alternativa.

Posljednje poglavlje koje je ujedno i zaključno donosi sumiranje svega iznesenog, potvrđuje hipotezu iz uvoda da se upotrebom alternativnih goriva i načina prijevoza može značajno smanjiti upotreba fosilnih goriva i emisija štetnih plinova.



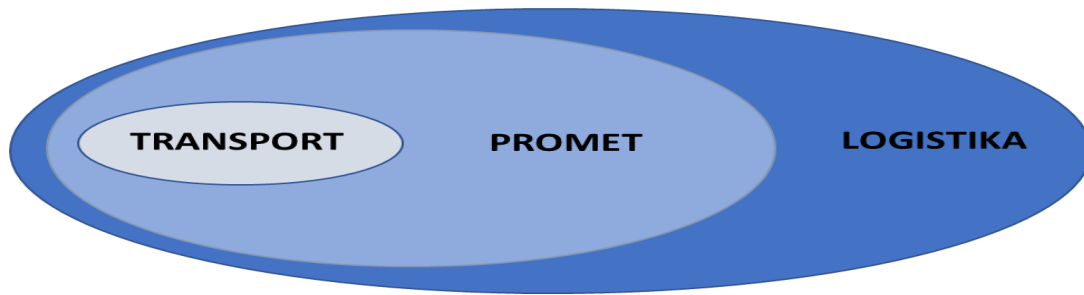
## 2 ZADACI PRIJEVOZNE LOGISTIKE

Definicija logistike prema Vijeću Europe glasi: „Logistika se definira kao upravljanje tokovima robe i sirovina, procesima izrade završenih proizvoda i pridruženim informacijama od točke izvora do točke krajnje uporabe u skladu s potrebama kupca. U širem smislu logistika uključuje povrat i raspolaganje otpadnim tvarima“ [1]. Ono što je karakteristično za logistički sustav je veza između njegovih dinamičkih (transport) i statičkih komponenti (skladištenje) [2].

Ono što je u fokusu logističkog sustava je prostorno vremenska transformacija roba kroz procese [3]:

- transporta, pregrupiranja i skladištenja gdje su bitni procesi tokova dobara
- pakiranja i signiranja gdje su bitni procesi pomaganja tokovima dobara
- dostavljanja i obrada naloga gdje su bitni procesi tijekom informacija.

Logistika i optimizacija lanaca opskrbe imaju veliku ulogu u smanjenju troškova poduzeća, postavljanjem novih uvjeta poslovanja. Pomoću adekvatnih logističkih modela uvodi se optimizacija u svakodnevno poslovanje. Glavna zadaća logistike je razviti sustav koji osigurava pravi proizvod na pravom mjestu i u pravo vrijeme. To obuhvaća sve dijelove lanca opskrbe, od dobave sirovina do proizvodnje i sastavljanja gotovih proizvoda. Slika 1 prikazuje da postoji nedvojbeno povezanost između transporta, prometa i logistike, ta tri pojma se vežu jedan uz drugog i jedan bez drugog ne mogu funkcionirati. Transport obuhvaća, osim samog prijevoza i sve ostale aktivnosti vezane uz proces premještanja ljudi i dobara s jednog mjesta na drugo. Promet predstavlja gospodarsku djelatnost čije je zadaća zadovoljenje potreba za premještanjem ljudi i dobara u prostoru, dok logistika obuhvaća sve aktivnosti i djelatnosti vezane uz premještanje dobara [4].

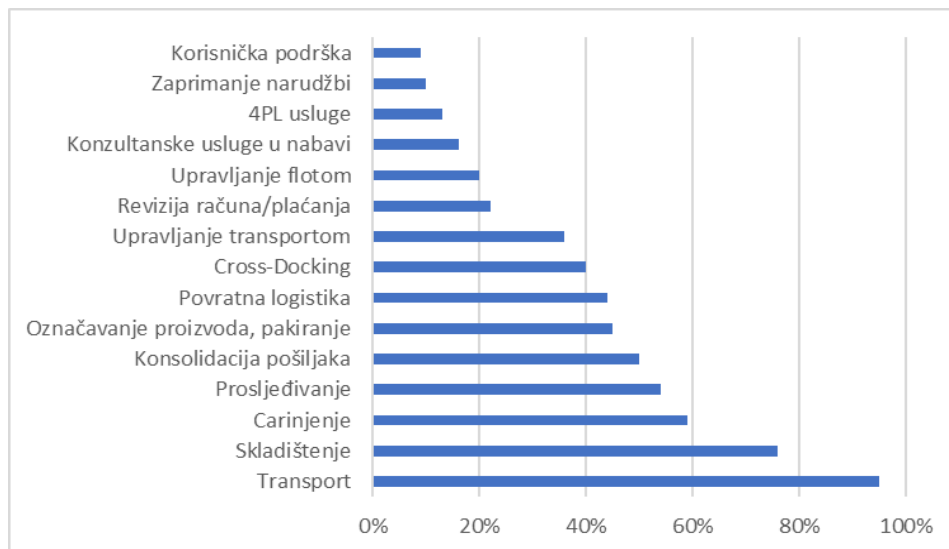


Slika 1 Povezanost između transporta, prometa i logistike

Izvor:[4]

Misija logistike veže se uz smanjivanje troškova logističkih procesa i povećanje razine logističke usluge te smanjivanje ukupnih logističkih troškova uz zadržavanje trenutne kvalitete i razine logističkih usluga. Tako definirana misija ima za cilj smanjenje vremena transporta, smanjenje zaliha, povećanje performansi dostave i povećanje fleksibilnosti [4].

U suvremenim gospodarstvima pojavljuju se dva trenda; trend rezanja troškova i trend *outsourcinga* (prepuštanje poslova izvan osnovne djelatnosti poduzećima koja su specijalist u tom području). Na taj način smanjuju se ulaganja u vlastitu infrastrukturu te se dugoročno unajmljuju potrebni kapaciteti a istovremeno se povećavaju ulaganja u razinu kvalitete intelektualnog kapitala i kvalitetu informacijskih sustava. Troškovi se nastoje smanjiti smanjenjem broja manipulacija što se postiže koncentracijom operacija u za to specijalizirane centre [5]. Sa grafikona 1 vidljivo je da su transport i skladištenje najčešće usluge koje su podložne *outsourcingu*. Uzrok tome može se naći u prethodno spomenutom trendu rezanja troškova i smanjivanja ulaganja u vlastitu infrastrukturu i vozni park, odnosno prepuštanja tih usluga poduzećima specijaliziranim za obavljanje navedenih usluga. Ono što se *outsourca* u manjem obimu su usluge orijentirane na korisnika, odnosno na povratnu informaciju. Tu je važno imat direktan kontakt i iz prve ruke dobiti povratnu informaciju od korisnika jer ako se do povratne informacije dolazi preko posrednika, ona često može biti nepotpuna ili može u potpunosti izostati.



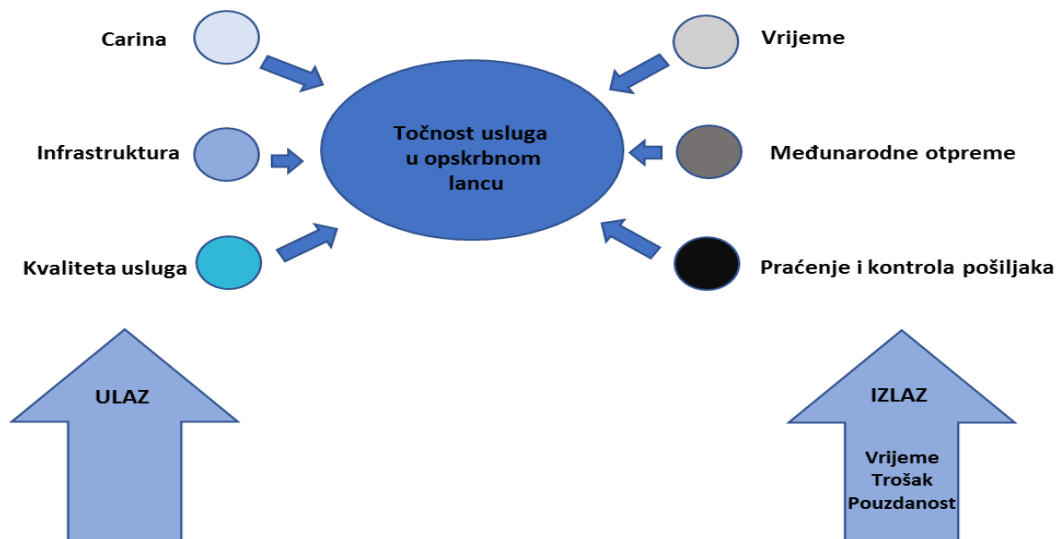
Grafikon 1 Udio *outsourcinga* pojedinih logističkih usluga

Izvor: [6]

Važnost logistike vidljiva je i u izvješću Svjetske banke *Connecting to Compete: Trade Logistics in the global Economy*, gdje se putem indeksa logističkih performansi (*engl. Logistics Performance Index – LPI*), koji je razvijen od strane pružatelja logističkih usluga, Svjetske banke i znanstvene zajednice, rangiraju države prema konkurentnosti u šest područja [7]. Slika 2 prikazuje indikatore indeksa performansi koji su podijeljeni u dvije kategorije [7]:

- ulaz (inputi)-carina, infrastruktura i kvaliteta usluge
- izlaz (outputi)-rezultati procesa-indikatori vremena, troškova i pouzdanosti, međunarodnih otprema i praćenja i kontrole pošiljaka.

Države koje imaju visoke logističke performanse, države su snažnog i konkurentnog gospodarstva, države sa visokim stopama izvoza i vrlo razvijenim proizvodnim i trgovačkim aktivnostima [7].



Slika 2 Ključni elementi indeksa logističkih performansi (LPI)

Izvor: [7]

### 3 KRITERIJI OPTIMIZACIJE PRIJEVOZNE LOGISTIKE

Optimizacija prijevozne logistike uključuje optimizaciju svih dijelova procesa prijevoza roba, pri čemu se naglasak stavlja na minimiziranje transportnih troškova, optimizaciju vremena dostave i ekološke kriterije. Ostali kriteriji optimizacije uključuju [8]:

- udobnost
- zadovoljstvo korisnika
- kvaliteta usluge.

#### 3.1 Minimiziranje transportnih troškova

Smanjenjem gubitaka i troškova, ostvaruju se uštede, a samim time i konkurentska prednost na tržištu. Mjere za smanjenje troškova uključuju tehničko-tehnološka, organizacijska i informacijska rješenja. Uz unapređenje logističkih aktivnosti i procesa moguće je ostvariti uštede od 15 do 20%. U ukupnim troškovima logistički troškovi iznose 25 do 40%, a u cijeni proizvoda i do 20%. Logistički gubici vežu se uz transport, zalihe, skladištenje, pakiranje, vrijeme, administraciju i znanje. Najveći logistički trošak je upravo transport koji u ukupnim troškovima sudjeluju sa oko 40%. Gubici se pojavljuju zbog lošeg planiranja prijevoznih kapaciteta, neadekvatnog planiranja ruta, loše organizacije povratnog toka, loše informatičke povezanosti i slično. Sve navedeno su područja u kojima je uz primjerenu optimizaciju u vidu pravilnog izbora vida transporta, vrste transportnog sredstva, boljeg planiranja ruta, praćenja transportnih sredstava, moguće ostvariti značajne uštede. Na izbor vida transporta utječe vrsta, količina, pakiranje i udaljenost. Koje vozilo odabrati ovisi o tipu, nosivosti i veličini vozila. Troškovi također nastaju ako poduzeće posjeduje veliki broj vozila koja nisu adekvatno iskorištena jer ne postoji tolika potražnja za kapacitetima. Tom problemu se može doskočiti primjenom logističkog outsourcinga, pomoću jednostavnih metoda moguće je odrediti koliki je potreban broj vlastitih, a koliki *outsourcanih* vozila [9].

Primjera radi, za određivanje optimalnog broja vlastitih vozila potrebno je poznavati [10]:

- promatrani period (npr. tjedni, mjeseci, godine)
- fiksne i varijabilne troškove za vlastita vozila
- troškove outsourcinga po vozilu.

Uz pomoć formule (1.) odredi se broj perioda u kojima se nedostatak vlastitih vozila nadoknađuje outsourcingom [10]:

$$m = \frac{n * CF}{CO - CV} \quad (1.)$$

Pri čemu je:

- m-broj perioda u kojima se nedostatak vlastitih vozila nadoknađuje outsourcingom
- n-broj promatranih perioda
- CF- fiksni trošak vlastitog vozila
- CV-varijabilni trošak vlastitog vozila
- CO-trošak *outsourcinga* po vozilu

Sljedećom formulom (2.) odredi se broj perioda u kojima se potražnja može zadovoljiti vlastitim vozilima [10]:

$$n - m = \quad (2.)$$

= broj perioda u kojima se potražnja može zadovoljiti vlastitim vozilima

### 3.2 Optimizacija vremena dostave

Krajnjim kupcima od velike je važnosti da im roba bude isporučena u dogovoreno vrijeme na dogovorenom mjestu. Naravno, nije uvijek prioritet brza dostava budući da je nekim korisnicima prioritet niska cijena, takvi korisnici su spremni duže čekati isporuku, ali shodno tome platiti manje. No u oba slučaja korisnik želi pouzdan i točan proces dostave, bez obzira na vremenski rok dostave, a to je moguće postići pravilnim planiranjem i optimiziranjem procesa dostave.

Budući da transport čini veliki dio ukupnih troškova, optimizacijom ruta taj trošak je moguće smanjiti. Optimizacija ruta na tradicionalan način, koristeći papir, olovku i kartu nije prihvatljiva u današnjem opsegu poslovanja. Za optimizaciju ruta koriste se algoritmi koji u obzir uzimaju stanje u prometu, vremenske uvjete i potencijalne točke zastoja i na taj način daju najbržu, odnosno najkraću rutu [11].

Optimizacija vremena dostave važna je u sektoru logistike, pogotovo u distribuciji robe u „zadnjoj milji“. Optimizacijom ruta smanjuju se troškovi dok se kvaliteta usluge istovremeno povećava. Takvi softveri djeluju u realnom vremenu, raspoložu sa pravovremenim informacijama i na taj način određuju optimalnu rutu za trenutnu prometnu situaciju i vremenske okolnosti [12].

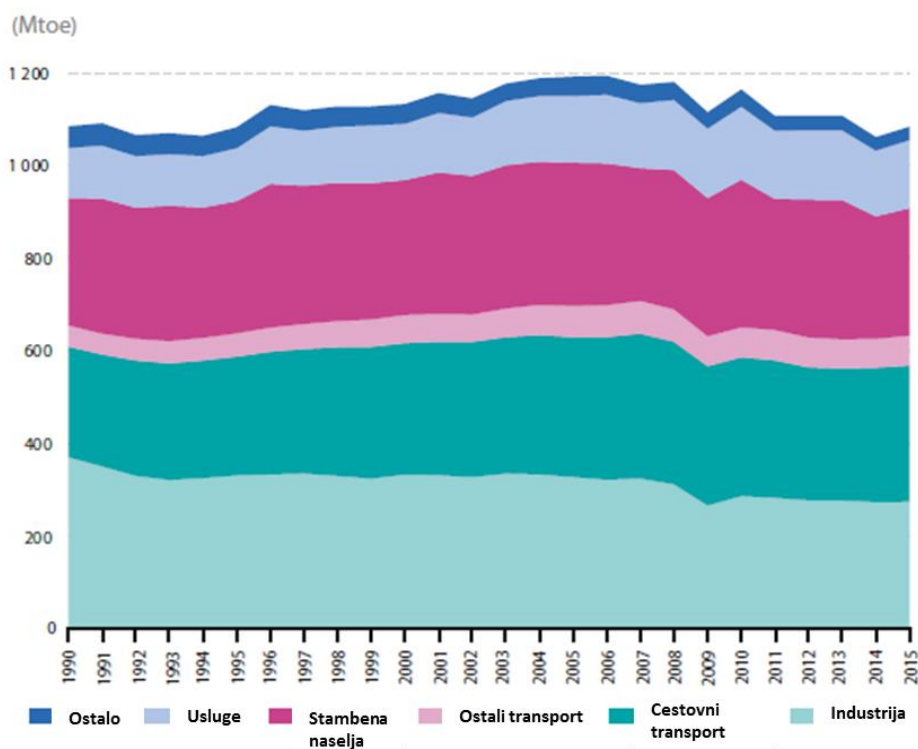
Postoje razni pristupi rješavanju problema usmjeravanja vozila. Dijele se na egzaktne, heurističke i metaheurističke. U egzaktne algoritme spadaju Granaj i reži, Generiranje stupaca i Lagranage-ovo opuštanje. Ti algoritmi temelje se na modelima protoka vozila ili protoka tereta. U metaheuristične algoritme spadaju Clark and Wright, Sweep i Christofides algoritmi i Mignozi Toth algoritmi. Oni se temelje na heurističkoj konstrukciji ruta. Dok se metaheuristični zasnivaju na procesima iz prirode pa u njih spadaju algoritmi Simulirano kaljenje, Genetički algoritmi i Kolonija mrava [13].

## 4 OPTIMIZACIJA PRIJEVOZNIH PROCESA PO EKOLOŠKIM KRITERIJIMA

Klimatske promjene, sigurna opskrba energijom i održivi transport ovise jedno o drugom, odnosno jedno se na drugo veže. Klimatske promjene uzrokovane su između ostalog i porastom obujma cestovnog transporta, tj. sve većom emisijom ispušnih plinova. Da bi sustav mogao biti održiv, da bi se osigurala energija i za sljedeće naraštaje, da bi se postigao održiv transportni sustav, smanjio negativan utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš, nužno je skrenuti pažnju na važnost optimizacije prijevoznih procesa po ekološkim kriterijima, na potencijal električnih vozila i alternativnih oblika kako pogona vozila tako i načina prijevoza.

### 4.1 Potrošnja energije u sektoru transporta

Da bi se uspješno obavio transport i zadovoljili korisnici, potrebna je velika količina energije. Grafikon 2 prikazuje potrošnju energiju po pojedinim sektorima od 1990-2015 godine na razini Europske Unije (EU). Vidljivo je da sektor transporta troši velike količine energije, energija je izražena u jedinicama Mtoe što predstavlja ekvivalentu jedinicu za milijun tona nafte (*eng. Million Tonnes of Oil Equivalent*). Sami cestovni transport troši vidljivo najviše energije u odnosu na ostale tipove transporta.

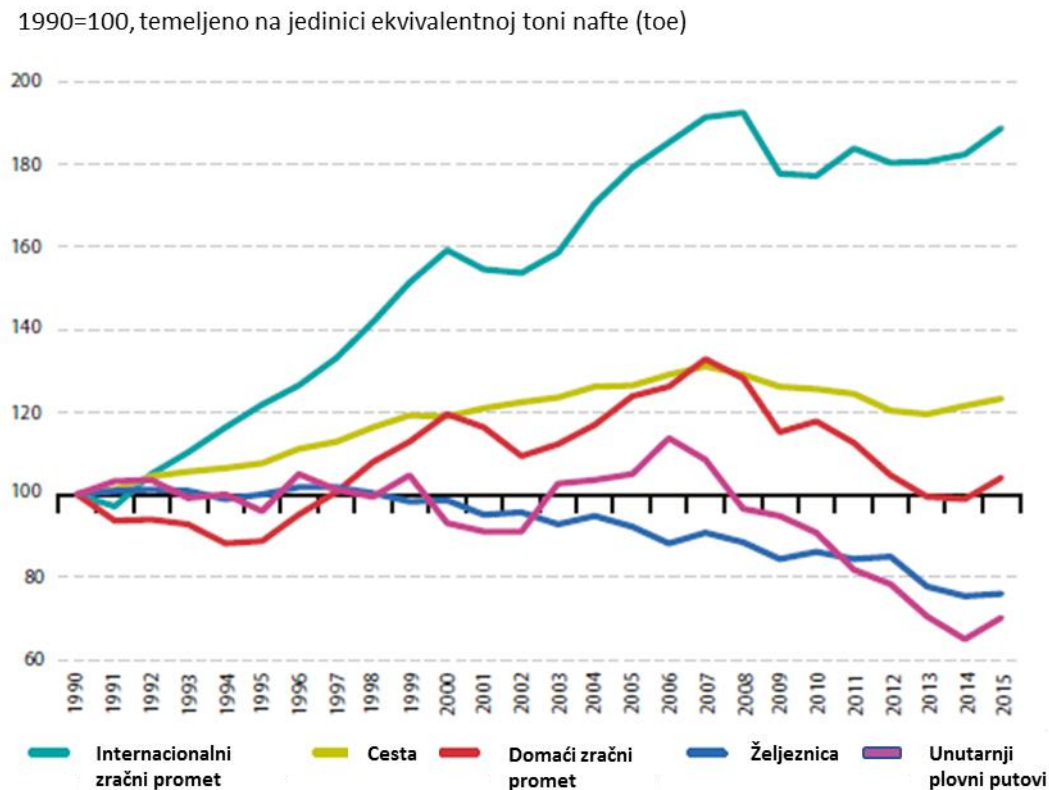


Grafikon 2 Potrošnja energije po pojedinim sektorima

Izvor: [14]



Nadalje, grafikon 3 prikazuje potrošnju energiju na razini EU po pojedinim modovima transporta. Jasno je vidljivo da cestovni i zračni transport od 1990. godine do 2015. godine bilježe značajan porast potrošnje energije. No vidljivo je i smanjenje potrošnje energije u ovim sektorima od 2007. godine što se može pripisati napretku tehnologije, tj. manjoj potrošnji goriva razvojem novih motora.

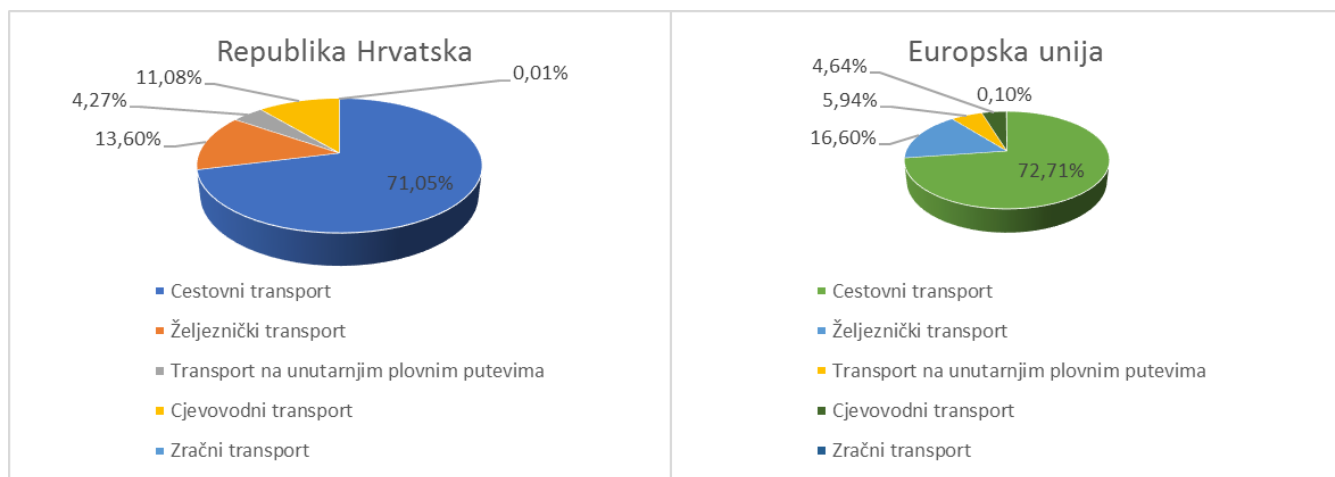


Grafikon 3 Potrošnja energije po pojedinim modovima transporta

Izvor:[14]

U Republici Hrvatskoj (RH) sektor prometa je također najveći potrošač energije i upravo u tom sektoru postoji potencijal za provedbu mjera energetske učinkovitosti. Od 1991. do 2017. godine udio potrošnje energije prometnog sektora porastao je sa 21,7% na 33,9%. Mjere energetske učinkovitosti mogu se provesti kroz optimiranje strukture transportnih oblika, većim iskorištavanjem kapaciteta, korištenjem učinkovitijih motornih vozila i odabirom odgovarajućeg režima vožnje. Za vrijeme gospodarske krize od 2008. godine uočen je pad potrošnje energije što se može objasniti manjom potrebom za mobilnošću, odnosno manjom potrošnjom goriva. Pokazatelj učinkovitosti u sektoru prometa je struktura pojedinih oblika prijevoza, ako se veći dio tereta prevozi željeznicom, veći je stupanj učinkovitosti u teretnom prometu [15].

Grafikon 4 prikazuje usporedbu struktura tonskih kilometara u prijevozu tereta između RH 2017. godine i EU 2016. godine. Jasno je vidljivo da se najveći udio prijevoza tereta odvija cestovnim putem na što se ujedno troši i najviše energije. No na razini EU više se tereta prevozi željeznicom, stoga su te države energetske učinkovitije. Razlog malog udjela prijevoza tereta željeznicom u RH može se pronaći u lošem stanju željezničke infrastrukture i zastarjeloj floti vozila, što uzrokuje neprihvatljivo dugo vrijeme vožnje. Suprotno od toga autoceste u RH su na visokom nivou i jedan od glavnih razloga velikog postotka prijevoza tereta cestovnim putem. Ostale zemlje EU također su bolje i po prijevozu tereta na unutarnjim plovim putevima dok kod cjevovodnog transporta RH prednjači. Razlog tome može se pronaći u postojanju industrije nafte i plina u RH i potrebom za distribucijom navedenih sirovina.

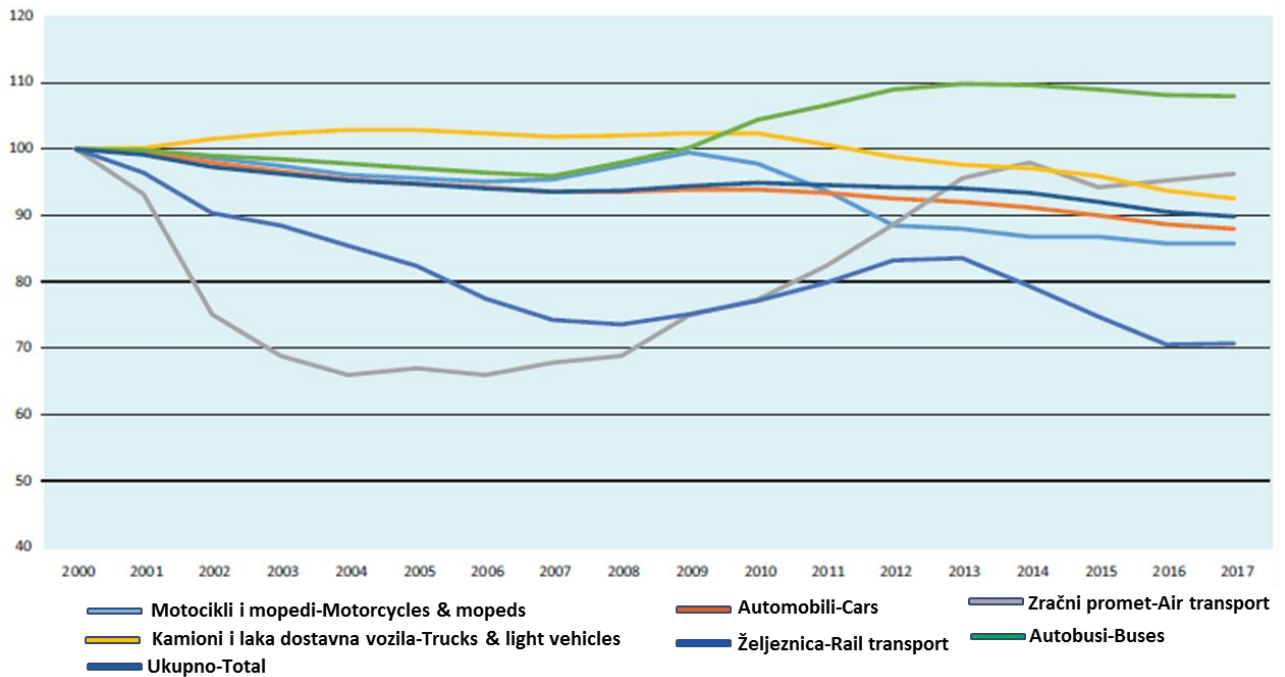


Grafikon 4 Struktura tonskih kilometara u prijevozu tereta u Republici Hrvatskoj u 2017. godini i u Europskoj Uniji 2016. godine

Izvor: [15]

Iz smjernica Direktive 2006/32/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 5. travnja 2006. o učinkovitosti korištenja krajnje energije i energetske usluga proizašla je ODYSSEE metodologija, koja predstavlja standard u valorizaciji trendova energetske učinkovitosti preko ODEX indeksa. Grafikon 5 prikazuje indeks energetske učinkovitosti sektora prometa kroz ODEX indeks. Indeks ODEX agregira trendove energetske učinkovitosti svakog transportnog moda u zasebnom indikatoru na razini cijelog sektora. U teretnom prometu kod kamiona i lakih dostavnih vozila upotrebljava se jedinična potrošnja po tonskom kilometru, s obzirom na to da je glavna aktivnost usmjerena na prijevoz roba. U razdoblju od 2000. do 2017. godine indeks energetske učinkovitosti (ODEX) za cjelokupan prometni sektor smanjio se za 10,1 %. Vidljivo

je da se učinkovitost kamiona i lakih dostavnih vozila povećala za 7,4 % za navedeni period [15].



Grafikon 5 Indeks poboljšanja energetske učinkovitosti ODEX u sektoru prometa RH, [15]

## 4.2 Utjecaj transporta na čovjeka i okolinu

U narednim poglavljima biti će pojašnjeni aspekti u kojima transport djeluje na čovjeka i okolinu.

### 4.2.1 Staklenički plinovi

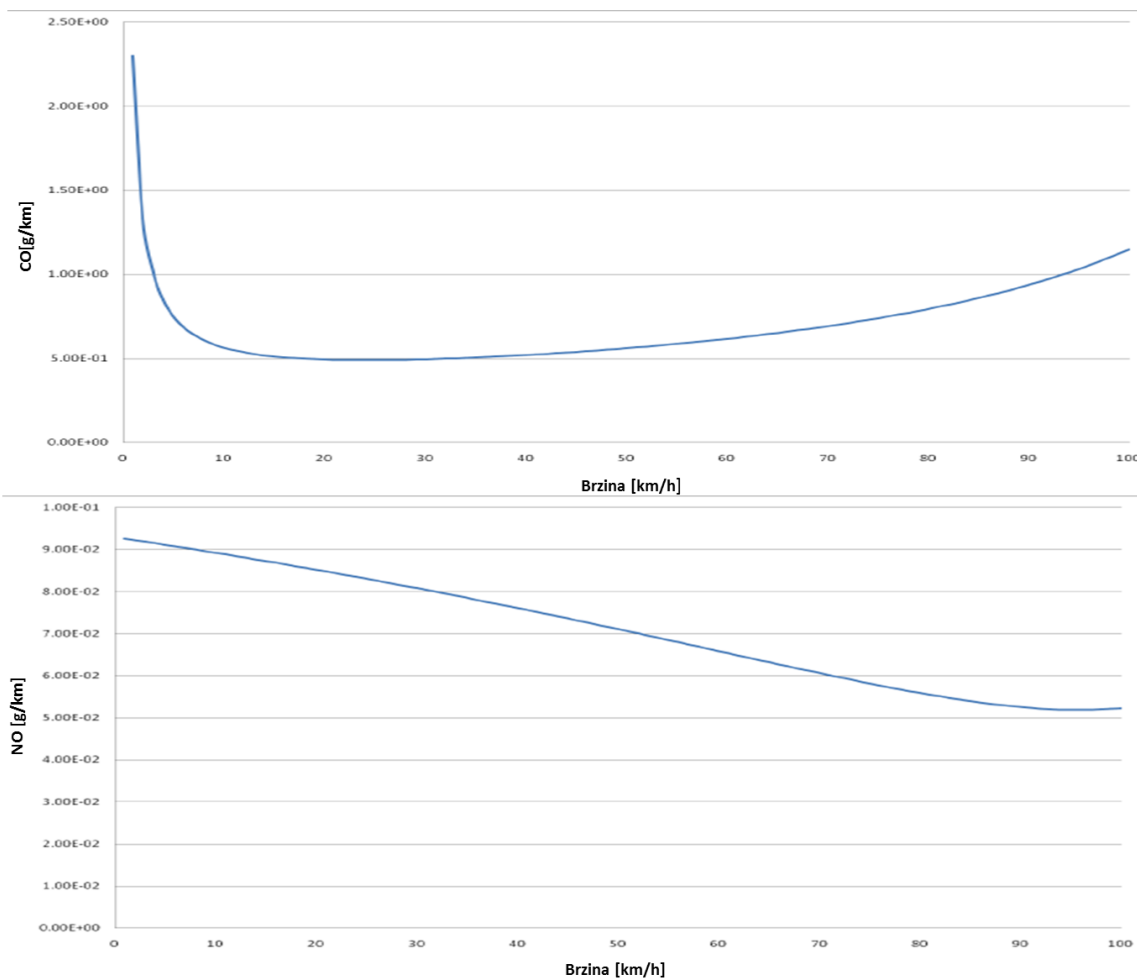
Staklenički plinovi su plinovi koji uzrokuju efekt staklenika i klimatske promjene. Učinak staklenika je pojava povećanja temperature zemlje zbog različite propusnosti atmosfere za kratkovalno i dugovalno sunčevo zračenje te onečišćenja atmosfere. Štetni plinovi, najviše CO<sub>2</sub> ne dopuštaju prirodan povrat topline natrag u atmosferu. CO<sub>2</sub> propušta kratkovalno sunčevo zračenje na zemlju, ali ne propušta zemljino dugovalno zračenje u atmosferu, tako da se toplina zadržava i povećava se temperatura zraka [16]. Najveći izvor stakleničkih plinova u EU su industrije i sektor transporta. Prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) kao staklenički plinovi navode se [17]:

- ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)

- metan (CH<sub>4</sub>)
- didušični oksid (N<sub>2</sub>O)
- hidrofluorougljici – grupa spojeva (HFC)
- perfluorougljik (PFC)
- sumporni heksafluorid (SF<sub>6</sub>)
- i indirektni plinovi kao SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i NMVOC (ne-metanske hlapive organske tvari)

Grafikon 6 prikazuje odnos emisija CO i NO<sub>x</sub> u odnosu na brzinu kretanja vozila. Vidljivo je da se količina ispuštenog CO povećava sa povećanjem brzine, dok je koncentracija NO<sub>x</sub> najveća pri nižim brzinama kretanja i sukladno tome s povećanjem brzine koncentracija NO<sub>x</sub> opada.

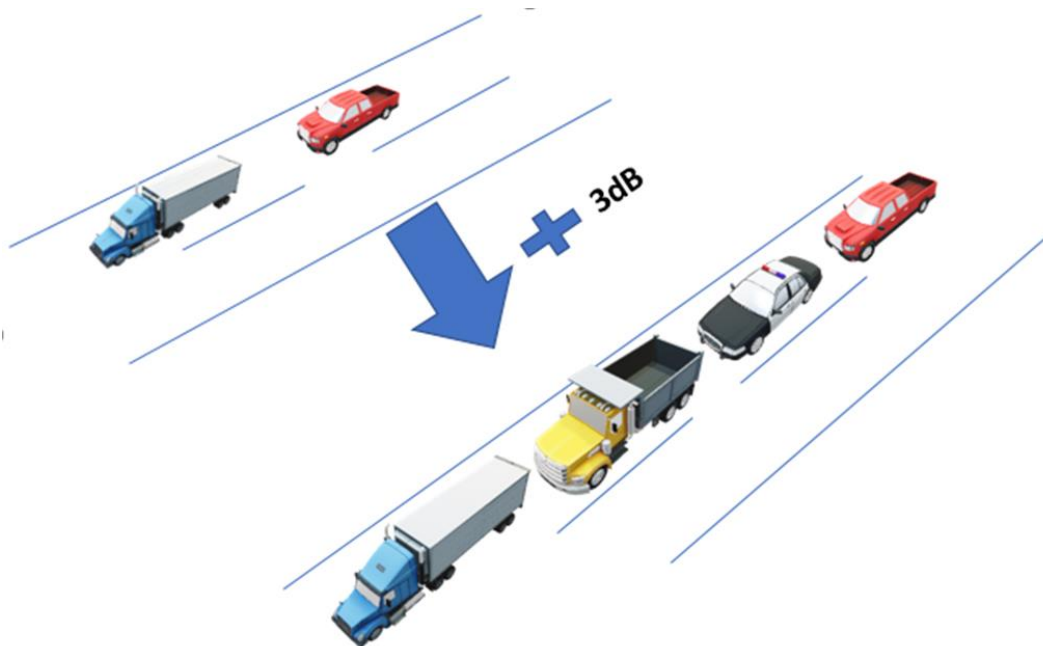
Standardi emisije ispušnih plinova za vozila zadaju se u obliku grama emitirane tvari po prijeđenom kilometru. Emisija ispušnih tvari se regulira za laka vozila i teška teretna vozila. EU propisuje u području tehnologije i sigurnosti najveće dopuštene mase i dimenzije cestovnih vozila, licenciranje vozača, utvrđuje procedure za tehnički pregled vozila, tehničke zahtjeve za cestovna vozila te područje sigurnosti i ekološke podobnosti motornih vozila na temelju Europske konferencije ministara prometa (CEMT) i međunarodnog Sporazuma o prijevozu opasnih tvari (Sporazum ADR). Prema regulativi EU označavaju se sa EURO1, EURO1...EURO6. Njima se ograničava emisija ugljikovog monoksida (CO), ugljikovodika (HC), dušičnih oksida (NO<sub>x</sub>) i čestica (PM) [18]. CO i NO<sub>x</sub> spadaju u štetne sastojke ispušnih plinova. CO nastaje kao produkt nepotpunog izgaranja, tj. kad u gorivoj smjesi nema dovoljno kisika. Otrovan je i veže se na hemoglobin u krvi pri čemu nastaje karboksihemoglobin, koji ovisno o koncentraciji može uzrokovat različite tegobe. U koncentraciji od 1%, nakon nekoliko udisaja uzrokuje nesvjesticu. NO<sub>2</sub> spada u grupu dušičnih oksida (NO<sub>x</sub>). U većim koncentracijama to je plin crvenožute boje i zagušljiva mirisa. Koncentracija od 30 ppm (*engl. parts per million*) uzrokuje za dva sata zapaljenje ždrijela, dušnika i bronhija, uz pojavu glavobolje i kašlja [19].



Grafikon 6 Odnos emisija CO i NO<sub>x</sub> i brzine kretanja vozila, [17]

#### 4.2.2 Buka i vibracije

Teška teretna vozila stvaraju buku između 88 i 92 dB dok laka teretna vozila stvaraju buku između 79 i 81 dB. Budući da je buka koja prelazi 60 dB štetna po ljudsko zdravlje, nameće se zaključak da su teretna transporta sredstva veliki uzročnik negativnih pojava kod čovjeka i okoline [20]. Negativno djelovanje buke dijeli se na buku prometnog toka i na buku unutar vozila. Gledano s medicinskog stajališta razlikuje se auralno i ekstraauralno djelovanje buke. Auralno predstavlja djelovanje buke direktno na organ sluha dok ekstraauralno predstavlja djelovanje buke na cijeli organizam, tj. na neurovegetativni sustav, povećava napetost, krvni tlak, izaziva poremećaje rada srca, pluća, želuca i endokrinog sustava, sužava pozornost i produktivnost rada što je kod vozačkog osoblja vrlo opasno. Slika 3 prikazuje da u slučaju udvostručenja broja vozila na prometnici, uz uvjet da svi ostali čimbenici ostanu nepromijenjeni, razina buke na toj prometnici se povećava za 3 dB.



Slika 3 Povećanje buke u slučaju udvostručenja prometa

Izvor: [16]

U prijašnje doba vrijeme od 8-18 sati je bilo najbučnije. U novije doba zamjećuje se veća buka i u noćnim razdobljima, razlog tomu je prisutnost 24-satne distribucije robe. Kada se govori o teretnom cestovnom prometu prisutno je neprestano povećanje broja vozila i prijeđenih kilometara po vozilu, stoga treba usmjeriti veliku pozornost smanjivanju razine buke jer će u suprotnom razina buke u okolišu ostati nezadovoljavajuća ili će se pogoršati [21]. Pri brzinama većim od 30 km/h za osobna vozila i 40 km/h za teretna vozila utjecaj kotrljanja pneumatika po kolničkoj površini postaje značajan, dok pri brzinama većim od 50 km/h postaje dominantan [22]. Najznačajnija je buka nastala zbog interakcije pneumatika i vozne površine, ista se može smanjiti [21]:

- smanjenjem brzine vozila,
- odabirom određenog tipa vozne površine,
- održavanjem cesta i vozila,
- upravljanjem prometom (prometno opterećenje i preusmjeravanje prometa),
- ponašanjem vozača i uvođenjem određenih zabrana.

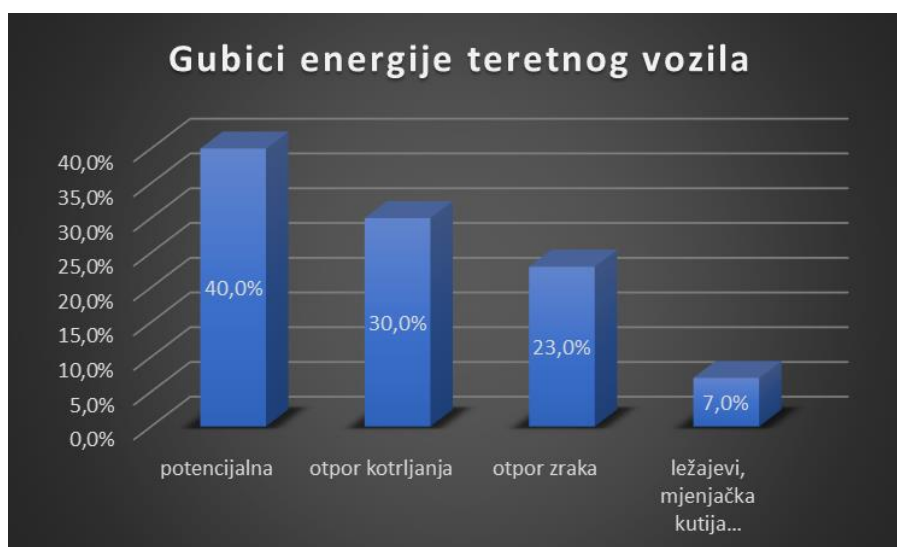
### 4.3 Optimizacija po ekološkim kriterijima

U narednim poglavljima biti će prikazane mogućnosti optimizacije prijevozne logistike po ekološkim kriterijima, odnosno moguće mjere energetske učinkovitosti.

#### 4.3.1 Optimizacija potrošnje goriva teretnih vozila

30% troškova u životnom ciklusu teškog teretnog vozila čini gorivo. Prosječni kamion godišnje prijeđe oko 150 000 km uz prosječnu potrošnju od 32,5 l/100 km. Kada se razmotre navedeni podaci jasno je da bilo kakav napredak u smanjenju potrošnje goriva dovodi do značajnog smanjenja troškova [23].

Potrošnja kamiona ovisi o mnogim faktorima kao što su stanje prometnice, vremenski uvjeti i ponašanje vozača u prometu. Na sve navedeno je teško utjecati no nužno je pokušati optimizirati potrošnju ponajviše iz ekonomskih i ekoloških razloga. Brzina i masa vozila značajno utječu na potrošnju goriva jer se odražavaju na otpor kotrljanja, otpor zraka i otpor povezan s nagibom prometnice. Grafikon 7 prikazuje kako je najveći gubitak u potencijalnoj energiji prilikom savladavanja uspona. 30% energije gubi se zbog otpora kotrljanja koji se stvara na gumama, 23% gubitka energije čini otpor zraka a ostatak od 7% dolazi od gubitaka u ležajevima kotača, mjenjačkoj kutiji i ostalim dijelovima motora [24].



Grafikon 7 Gubici energije teretnog vozila

Izvor: [24]

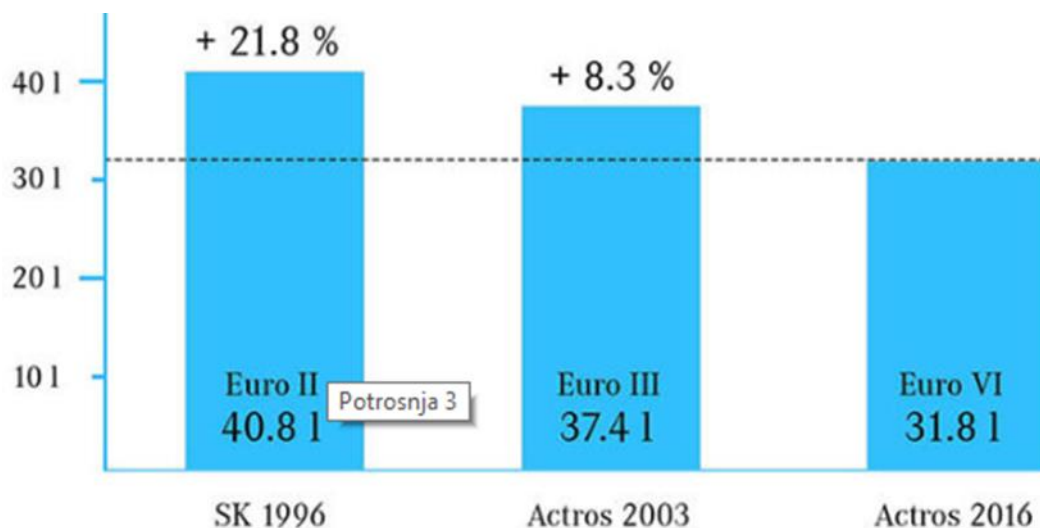
Brzinu kretanja vozila određuje vozač dok masa ovisi o količini tereta koja se prevozi. Važno je smanjiti masu samog kamiona ali to obično vodi do povećanja nosivosti a ne smanjenja ukupne mase. Mali otpor kotrljanja je ono što nastoje postići proizvođači guma. Kada se govori o otporu zraka, proizvođači jedino na čemu mogu raditi je prednji dio vozila budući da je stražnji dio vozila kutijastog oblika, da bi bio u mogućnosti prihvatiti što veću količinu tereta, a samim time nije aerodinamičan. Koeficijent otpora zraka je funkcija temperature gume i brzine vožnje kamiona. Prilikom kupovine kamiona važno je obratiti pozornost na tip motora, mjenjačku kutiju i kabinu. Pravilan odabir ovisi o prethodnom iskustvu, o tome što se prevozi i u kojim količinama. Cilj je što manja potrošnja, uz što manju cijenu, veliki prijevozni kapacitet uz istovremenu veliku razinu udobnosti. Smanjenje potrošnje moguće je postići optimalnim radom motora uz pravilni odabir guma, odnosa brzina i mjenjačkom kutijom. Cilj je postići optimalan rad motora za što više transportnih zadataka. Optimalan rad motora podrazumijeva onu brzinu i natovarenost samog vozila prilikom kojih se ostvaruje najmanja potrošnja goriva. Kada bi se u obzir uzimala samo potrošnja moglo bi se doći do krivog rješenja ovog problema na način da se koriste mali i slabi motori koji bi imali malu potrošnju ali bi istovremeno zahtijevali čestu izmjenu brzina, što bi uzrokovalo teško i zamorno upravljanje takvim vozilom te bi vrlo teško bilo naći vozača koji bi pristao voziti u takvim uvjetima. Problemi nastaju prilikom mjerenja potrošnje u realnim uvjetima. Glavni razlog tome je što je svaka vožnja drugačija, odnosno različiti faktori iz okoline koji utječu na vožnju se ne ponavljaju (vremenski uvjeti, stanje na prometnici). Ono što se može primijeniti je praćenje više vozila istovremeno što također nije u potpunosti pouzdano jer i dalje postoje različitosti prouzrokovane vozačima i vozilima samima (npr. ne vozi svaki vozač na isti način niti svako vozilo ima identične gume). U ovisnosti od vozača, kako ubrzava vozilom i na koji način vrši promjenu brzina, potrošnja može varirati za oko 5% [24].

Na potrošnju vozila uvelike utječe održavanje i pravovremeno uklanjanje kvarova i problema. U 44% slučajeva prevelike potrošnje, tijekom redovnog održavanja vozila uočeni su kvarovi na sustavima dobave ili ubrizgavanja goriva. Još jedan uzrok prevelike potrošnje je premali tlak u gumama. Prema izvješću vlade Velike Britanije (VB) ako su gume tlakom 20% ispod primjerene razine, to rezultira povećanjem otpora kotrljanja za 10%. Prema proizvođaču guma Michelin, u VB je najmanje 58% guma sa tlakom u gumama 10% manjim u odnosu na optimalan, što rezultira za 1,5% većom potrošnjom. Otklon osovine na višeosovinskoj prikolici također značajno utječe na potrošnju. Ako je otklon osovine 1% potrošnja se povećava za 3%, a ako je otklon osovine 2%, potrošnja se povećava za 8%. Nadalje, uzrok povećane potrošnje



može se pronaći i u lošem izgaranju. Ako iz ispušnog sustava ide crni dim, smjesa ne izgara adekvatno, odnosno gubi se puno energije. Stil vožnje također značajno utječe na potrošnju. Programi i treninzi vožnje pokazali su se kao vrlo učinkoviti za postignutim rezultatima u vidu smanjenja potrošnje za 8-10%. Pojedine tvrtke da bi podigle svijest vozača o eko vožnji te tako utjecale na smanjenje potrošnje načinom vožnje pojedinog vozača, nude novčane stimulacije za vožnju na ekološki način koji smanjuje potrošnju. Važno je posvetiti pozornost i na odabiranje adekvatnog vozila za pojedini prijevoz. Pritom se misli na izbjegavanje prijevoza tereta teretnim vozilom veće mase i veličine nego što karakteristike tereta zapravo zahtijevaju [25].

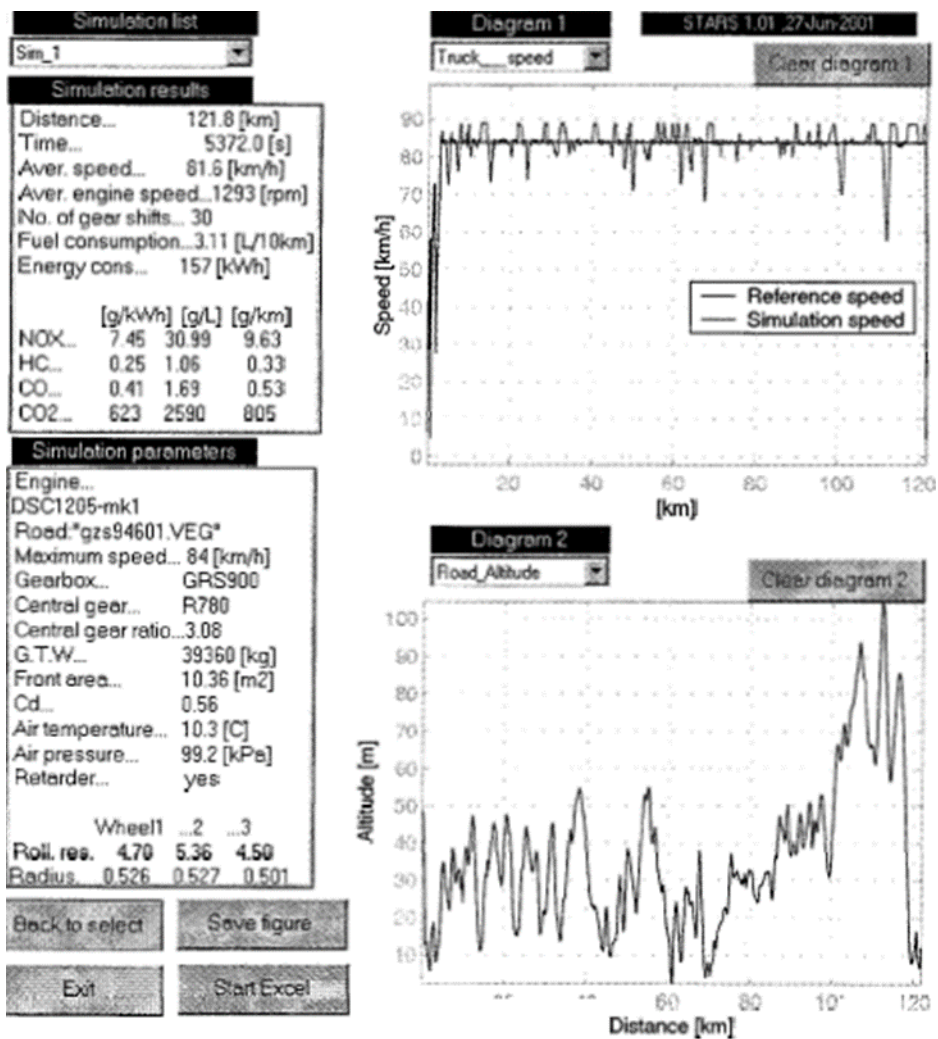
Grafikon 8 prikazuje kako se napretkom razvoja motora značajno smanjila potrošnja goriva. Motori iz 1996. godine Euro II norme trošili su 40.8l/100km dok motori Euro VI norme troše 31.8 l/100km što je smanjenje potrošnje za 21,8%. Ovakva smanjena potrošnja rezultira i smanjenom emisijom ispušnih plinova.



Grafikon 8 Smanjenje potrošnje napretkom motora, [26]

Postoje razni simulatori potrošnje. Jedan od njih je STARS (*eng.* Scania Truck And Road Simulation). Nudi mogućnost izbora između 300 cesta različitih profila, 30 različitih tipova motora, mjenjačkih kutija sa 12 ili 8 brzina, različitih dimenzija guma. Moguće je podešavati masu, koeficijent otpora zraka, temperaturu zraka i tlak zraka [24]. Slika 4 prikazuje

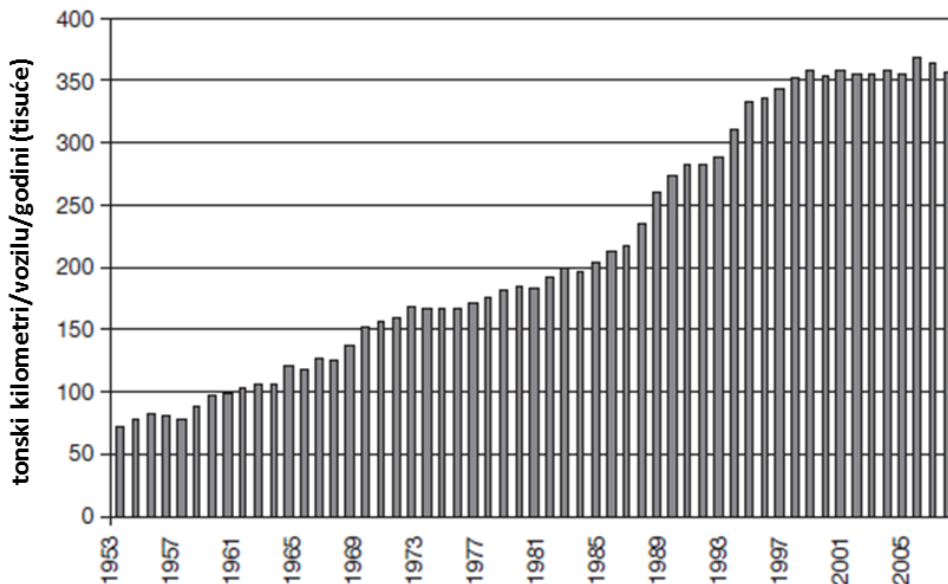
kako izgleda sučelje sa dobivenim rezultatima nakon provedene simulacije. Prikazuje se prijeđena udaljenost, potrebno vrijeme, prosječna brzina, prosječni okretaji motora, potrošnja energije, potrošnja goriva, emisija ispušnih plinova te pripadajući grafikoni udaljenosti i brzine. Također prikazuju se ulazni parametri u ovisnosti od kojih su dobiveni prikazani rezultati. Na ovaj način moguće je unaprijed planirati kupnju adekvatnog voznog parka ili smanjiti potrošnju postojećeg.



Slika 4 Prikaz rezultata simulatorskog programa STARS, [24]

### 4.3.2 Optimizacija iskorištenja teretnog kapaciteta

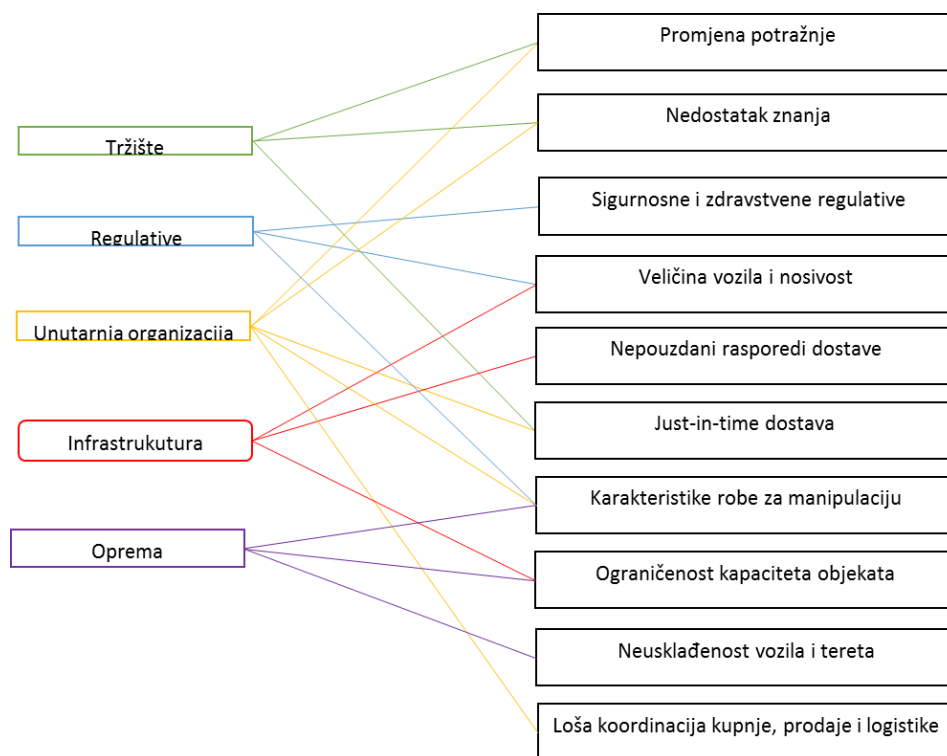
Kao što je već ranije rečeno, cestovni teretni promet uvelike ima utjecaj na okoliš i okolinu. Kada bi sva teretna vozila bila potpuno popunjena, smanjio bi se utjecaj na okoliš. Statistike kažu da je 2007. godine na području EU 25% od ukupnog broja kamiona, prometovalo prazni, dok se primjerice u Irskoj ta brojka penje na 37%. Na području Ujedinjenog Kraljevstva svega je 52% iskorištenost teretnog prostora, 44 tonski kamion, koji ima nosivost 29 tona tereta u prosjeku vozi samo 17.6 tona. Optimizacija iskorištenja teretnog kapaciteta jedna je od mjera održivosti jer obuhvaća kako ekonomske tako i ekološke koristi. Također je cijena prijevoza i goriva ono zbog čega je nužno obratiti pozornost na optimalno iskorištenje kapaciteta. Optimalnim iskorištenjem kapaciteta moguće je smanjiti i gužve u prometu jer se samim time smanjuje broj teretnih vozila na cestama a time se direktno smanjuje utjecaj na okoliš manjom emisijom štetnih plinova [25]. Slika 5 prikazuje povećanje produktivnosti kamiona na području Ujedinjenog Kraljevstva. Razlog značajnog povećanja produktivnosti može se pronaći u povećanju nosivosti kamiona i povećanju broja sati vožnje na dnevnoj bazi.



Slika 5 Povećanje produktivnost kamiona u Ujedinjenom Kraljevstvu,[25]

Prazni kilometri se iskazuju kao prazni vozilo-kilometri. Posljedica su čestog kretanja tereta u samo jednom smjeru i problema nastalih iz teškog pronalaženja tereta u suprotnom, povratnom smjeru. Problem praznih kilometara je danas značajno manji nego ranije u prošlosti.

Tako primjerice da je postotak praznih kilometara ostao na onom iz 1973. godine, trošak prijevoza u godini 2003. bi bio 1,3 milijardi funti veći uz dodatnih 1,1 milijun tona CO<sub>2</sub> ispuštenih u atmosferu. Slika 6 prikazuje ograničenja prilikom planiranja iskorištavanja teretnog kapaciteta. Svako od 5 glavnih ograničenja spojeno je sa pripadajućim uzrocima s desne strane. Tako na tržište uvelike utječe promjena potražnje, regulative se odnose na vozila i sigurnosne i zdravstvene propise, unutarnja organizacija uključuje menadžment poduzeća koji mora voditi računa o svemu dolje navedenom i povezanom sa unutarnjom organizacijom, isto tako infrastruktura i oprema uvelike utječu na iskorištenje kapaciteta jer primjerice ako se pošalje preveliko vozilo za mali teret, iskoristivost je nezadovoljavajuća.



Slika 6 Ograničenja iskorištenja teretnog kapaciteta

Izvor: [25]

Jedan od načina pomoću kojega je moguće bolje planirati kapacitete je da uz pomoć svojevrstne tablice kupci imaju pregled dana kada je određeno vozilo u njihovoj blizini i na taj način potvrđuju narudžbu i dostavu za taj dan. Na taj način prijevoznik može koncentrirati više tereta za tu lokaciju, odnosno unaprijed planirati kapacitete i bolje iskoristiti teretni prostor. Mana ovog načina je što se smanjuje razina usluge za kupca što može dovesti do pada

konkurentnosti na tržištu. U idealnom slučaju logistički operater zadužen za prijevoz bio bi unaprijed upoznat sa svim količinama robe za prijevoz, na svim lokacijama, u bilo koje doba. Na taj način bilo bi vrlo lako optimalno popuniti kapacitete, kako na odlaznim rutama, tako i na povratnim. No u praksi je često slučaj da je nemoguće postići optimalnu popunjenost kapaciteta zbog nedostatka informacija i komunikacije između prijevoznika i otpremnika. Prijevoz tereta je karakterističan po tome što za razliku od prijevoza putnika gdje se često ugovara povratno putovanje, teret prevozi u samo jednom smjeru. Procjenjuje se da je 2003. godine između Škotske i Engleske prometovalo 130 000 praznih kamiona. Razlog takvih razlika u količini tereta u jednom u odnosu na drugi pravac može se pronaći u trokutastom planiranju ruta (A-B-C-A) umjesto planiranja direktnih ruta (A-B-A), no kod direktnih ruta su puno veći troškovi prijevoza u odnosu na trokutastu. Jedan od koncepata koji također uzrokuje loše iskorištenje teretnog kapaciteta je koncept „Upravo na vrijeme“ (*eng. Just-in-time*). Taj koncept ima za cilj postići kontinuirani tok dobara kroz opskrbni lanac uz što manju količinu zaliha. Da bi se osigurali prijevozni kapaciteti i uskladili sa proizvodnjom i gustim vremenskim rasporedom, potrebno je osigurati veći broj isporuka manjih količina robe. U tom slučaju iskorištenost teretnog prostora se žrtvuje u korist manje količine zaliha i fleksibilnije proizvodnje, istovremeno se povećava broj teretnih vozila na cestama. Razlog lošeg iskorištenja kapaciteta može biti i loš protok informacija u samom poduzeću, loša komunikacija prodaje i logistike može također rezultirati lošim iskorištenjem kapaciteta jer primjerice zbog loše komunikacije moguće je poslati dvije različite isporuke, male udaljenosti između krajnjih odredišta sa dva različita kamiona i na taj način voziti poluprazne kamione na gotovo isto mjesto isporuke. Jedan od mogućih načina povećanja iskorištenja teretnog kapaciteta je svakako udruživanje. Može se razmatrati kao horizontalno i vertikalno. Kod horizontalne integracije dvije konkurentske tvrtke koje imaju isti položaj i ulogu u lancu opskrbe, ako udruže logističke operacije i prijevoz, mogu smanjiti transportne troškove za od 15-20%. Dobar primjer takvog udruženja su tvrtke Unilever i Kimberly-Clark koje su u Nizozemskoj u sektoru maloprodaje pomoću distribucijskog centra i pružatelja logističkih usluga Kuehne-Nagel-a uspjeli smanjiti logističke troškove za oko 12-15% uz istovremeno bolje zadovoljenje potražnje te brže i frekventnije isporuke. Oblik vertikalne integracije može biti kada kamion koji je na povratku iz supermarketa odlazi pokupiti robu kod dobavljača i prevozi je do distribucijskog centra. Na taj način izbjegavaju se prazne vožnje. Sa jednim od takvih načina vertikalne integracije tvrtka Tesco uspjela je smanjiti broj vožnji za tri milijuna godišnje [25].

Na području Ujedinjenog Kraljevstva procjenjuje se da 24% dostava dolazi s kašnjenjem dok je 34% od dostava koje kasne uzrokovano prometnim zagušenjima. Odstupanja od predviđenog plana dostave moguća su i zbog gužve u distribucijskim centrima koje mogu biti uzrokovane premalim brojem utovarno/istovarnih rampi. Problemima odstupanja od predviđenog plana može se doskočiti razvojem i upotrebom informatičke tehnologije (IT) koja omogućuje praćenje kamiona u stvarnom vremenu te se na taj način može pravovremeno reagirati i preusmjeriti vozila na neku drugu rutu. Vožnje noću također su pouzdanije za planiranje jer je koncentracija prometa noću uvelike manja u odnosu na dnevnu koncentraciju prometa. Neka teretna vozila su predviđena sa samo jednu vrstu tereta, to se posebice odnosi na kamione hladnjače ili primjerice tankere. Ta vozila prometuju na određenim rutama i imaju ograničen kapacitet pa shodno tome treba planirati prijevoz. Ono što je dovelo do poboljšanja su vozila sa više kombiniranih kapaciteta za različite termalne i ostale uvjete (primjerice jedan dio kamiona je hladnjača a ostatak nije). Budući da postoje zakonska ograničenja vezana za nosivost i dimenzije kamiona, nisu rijetke situacije da teretni prostor ne bude iskorišten ili po masi ili po volumenu (velikog volumena a male mase ili roba velike mase a malog volumena). Na području EU prema Direktivi 96/53/EC iz Pravilnika o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (Narodne novine, br. 85/16), članak 2., propisana maksimalna duljina prikolice iznosi 18,75 m a poluprikolice 16,5 m. Stoga, može se reći da su poboljšanja na području iskorištenja teretnog kapaciteta moguća su razvojem vozila, informacijskih sustava i osiguranjem većih prijevoznih kapaciteta na kritičnim točkama opskrbnog lanca. 100 specijalista iz područja logistike iz Ujedinjenog Kraljevstva predviđjeli su da će do 2020. godine broj praznih kilometara pasti za 19% dok će se prosječna masa ukrcanog tereta povećati za 12%. To pokazuje da je svakako moguće provesti značajne promjene na području teretnog iskorištenja te tako smanjiti negativan utjecaj na okoliš i poboljšati ekonomsku stranu poslovanja, odnosno osigurati razvoj održivog transporta [25].

## 5 ANALIZA EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIH NAČINA PRIJEVOZA

U narednim poglavljima biti će prikazani ekološki prihvatljivi načini prijevoza i pripadajuća analiza.

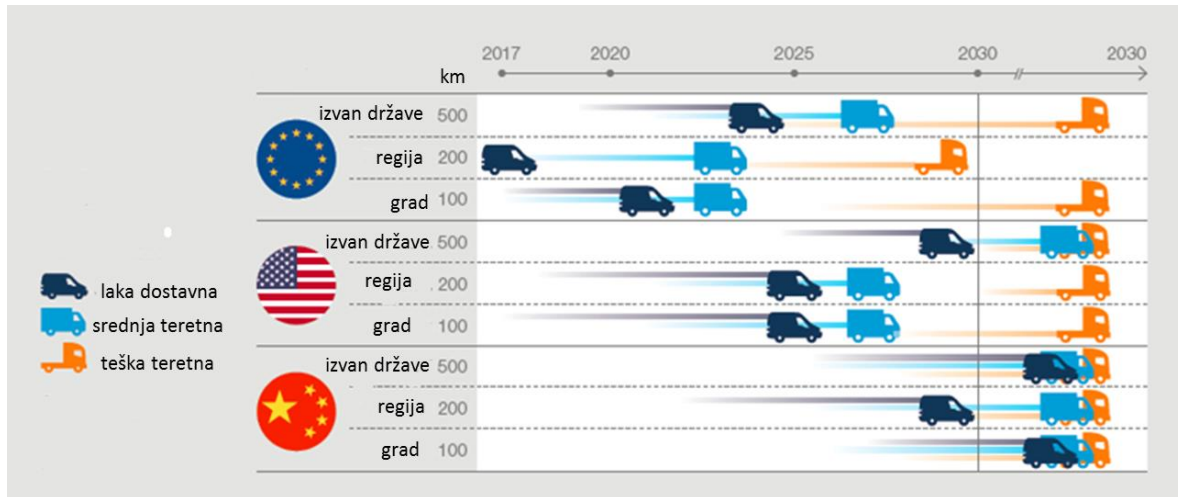
### 5.1 Električna (hibridna) teretna vozila

Razvoj električnih teretnih vozila iznimno je važan zbog velikog potencijala za kvalitetnije iskorištenje postojećih resursa, poboljšanja voznih karakteristika i održivog transporta. Ono na čemu je fokus je smanjenje potrošnje fosilnih goriva i emisije štetnih plinova. Transport teretnim vozilima zauzima značajan udio u ukupnom cestovnom transportu. Ta vozila najčešće koriste dizel kao pogonsko gorivo koje prilikom izgaranja ispušta dušične okside i čestice čađe, što nije slučaj kod ostalih goriva.

Hibridna vozila su vozila koja koriste dvije ili više vrsta pogonskih motora. Najčešće je to motor sa unutarnjim izgaranjem i pripadajućim spremnikom goriva te električni motor. Takva vozila prilikom kočenja u mogućnosti su pretvoriti kinetičku u električnu energiju i na taj način puniti pripadajuću bateriju na vozilu. Na taj način električni pogonski motor na vozilu ima ulogu generatora, kinetička energija vozila se pretvara u toplinsku energiju prilikom kočenja, a toplinska energija se pretvara u električnu [27].

Električna teretna vozila probijaju se na tržište velikom brzinom. Predviđa se da bi do 2030. godine 15% ukupne prodaje kamiona činili upravo kamioni na električni pogon, a u segmentu lakih teretnih vozila taj bi postotak mogao dosegnuti 25-30% na području Kine i Europske Unije. Ono što ih još uvijek ne čini dovoljno atraktivnima su činjenice da se skuplji u nabavi, nema dovoljno specijalizirane infrastrukture za taj tip vozila (električna neovisnost) i još uvijek nisu dovoljno strogi ekološki propisi u pogledu zabrane vožnje na dizel gorivo. Ono što je ključno za razmatranje u pogledu troškova nabave i održavanja je svakako veličina i cijena baterije, mogući doseg s jednim punjenjem, potrošnja električne energije u odnosu na cijenu fosilnog goriva i postojećih voznih karakteristika vozila na fosilna goriva. Slika 7 prikazuje kako će se električna teretna vozila prema predviđanjima najbrže probiti u segmentu srednjih i lakih teretnih vozila koja dnevno prolaze između 100-200 kilometara, što je dovoljna udaljenost s obzirom na trošak baterije. Očekuje se da će se broj električnih vozila u tom

segmentu izjednačit s brojem dizel vozila na području Europe do 2021. godine, dok će za prilagodbu najviše trebati teškim teretnim vozilima [28].



Slika 7 Pregled pojavljivanja električnih vozila po kategorijama

Izvor: [28]

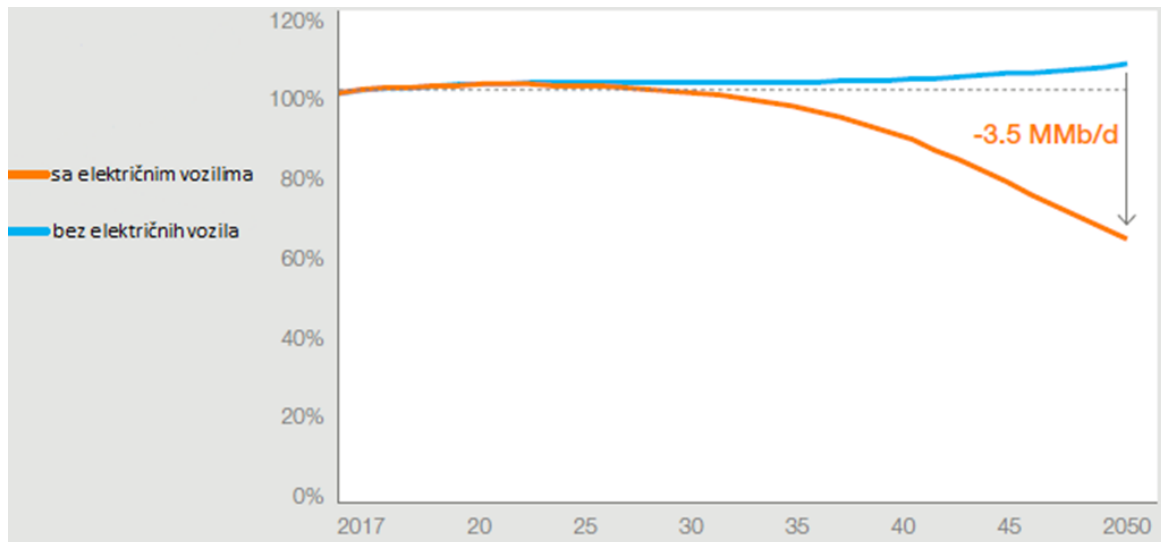
Ono što je također potrebno da bi se potaknulo korištenje električnih vozila je osiguranje infrastrukture potrebne za punjenje. Potrebno je osigurati mjesta za punjenje u distribucijskim centrima i uzduž glavnih autocesta [28]. Južno od Frankfurta na njemačkoj autocesti A5 omogućeno je punjenje hibridnih kamiona u vožnji na dionici dugoj 10 kilometara. Električna autocesta koristi tehnologiju sličnu vlakovima ili tramvajima, dopuštajući kamionima da se povežu za vrijeme vožnje do 90 kilometara na sat, izvlačeći energiju iz žica iznad. Električna energija puni akumulator kamiona, dopuštajući mu da neko vrijeme vozi na struju, a kada se baterija isprazni preuzima dizelski motor [29]. Do povećanja udjela električnih teretnih vozila dovest će i strože regulative u vezi emisija ugljičnog dioksida i dušičnih oksida te zabrana prometovanja dizel vozila u urbanim sredinama. Madrid, Pariz i Mexico-City su gradovi koji već provode tu praksu. Prema predviđanjima, Europa će se najbrže prilagoditi tržištu električnih teretnih vozila, procjena je da će 2030. godine na području Europe, električna teretna vozila činiti 21-29% ukupne prodaje teretnih vozila. Na području Kine udio prodaje električnih teretnih vozila iznositi će između 11-24% što će biti potpomognuto intervencijama države, odnosno zabranom fosilnih goriva. Najsporije će se na tržište električna teretna vozila probiti na području Sjedinjenih Američkih Država (SAD). Razlog tome je što na području SAD-a niska



cijena fosilnih goriva pa im ušteda primjenom električnih vozila nije značajna, a s druge strane oni su orijentirani na smanjenje potrošnje dizelskih teretnih vozila tako da im električna nisu u fokusu. Za očekivati je da će se električna vozila brže probiti na području teretnih vozila (prijevozničke tvrtke) nego što će to biti slučaj kod osobnih automobila. Razlog tome je što su prijevozničke tvrtke više okrenute kalkulacijama troškova s ciljem smanjenja operativnih troškova, što u području logistike električna teretna vozila čini iznimno atraktivnima. Drugi razlog je što se flote vozila u prijevozničkim tvrtkama zamjenjuju novijima puno češće nego šta je to slučaj kod osobnih automobila, tako da će puno brže odviti zamjena klasičnih teretnih vozila sa električnima, dok će u sektoru osobnih automobila ta zamjena trajati puno duže. Najveće zapreke za masovno korištenje električnih teretnih vozila su u pogledu moguće prijeđene udaljenosti u odnosu na dizelska vozila, vrlo je važno da električna vozila dometom mogu konkurirati dizelskima. Nadalje, nabavna cijela električnog vozila je veća, za što naravno treba više vremena da se otplati. Prijevoznici sa puno različitih ruta i prijeđene kilometraže osjećaju nepovjerenje prema električnim vozilima zbog nedovoljno infrastrukture za punjenje i vremena potrebnog za punjenje. Jedan od razloga je što su tehnologije električnih kamiona tek u zamahu, nema još dovoljno iskustava iz prakse, odnosno dokaza o pouzdanosti takvih vozila. Vrlo je važno i educirati ljude o značajkama električnih vozila, načinu njihova funkcioniranja, da bi ljudi bolje razumjeli njihove prednosti i bili manje skeptični prema njihovoj upotrebi [28]. Važno je naglasiti da električni kamion može prevesti istu količinu tereta kao i dizelski kamion ali je istovremeno mnogo lakši zbog jednostavnije konstrukcije, odnosno nema tekućina, usisnih sustava, ispušnih i svega ostaloga što se veže za dizel pogonjene motore [30].

No, kako će se primjena električnih teretnih vozila odraziti na energetska tržišta? Iako terena vozila čine samo 5% ukupne količine vozila na svijetu, zauzimaju 20% ukupne potražnje za gorivom u cestovnom prometu. Razlog tome je prvenstveno u velikoj potrošnji goriva i velikim udaljenostima koje se prelaze. Teretna vozila čine trećinu svjetske potrebe za dizelskim gorivom, 9% ukupnih svjetskih potreba za fosilnim gorivima također zauzimaju teretna vozila, dok u odnosu na potrošnju energije na cijelom svijetu, teretna vozila čine 3% ukupne svjetske potrošnje. Iz navedenih podataka jasno je da će trebati vremena da se prednosti električnih vozila jasno osjete, najviše vremena će trebati za teška teretna vozila jer se za njih očekuje da će se zadnji prilagoditi promjenama na tržištu. Shodno tome, s povećanjem udjela električnih vozila očekuje se i povećanje potrošnje električne energije. Potrošnja električne energije mogla bi se povećati za 3% do 2050. godine. Grafikon 9 prikazuje prognozu potrošnje dizelskog goriva u dva scenarija, pojava električnih vozila zaustavit će dosadašnji rast potrošnje dizelskog

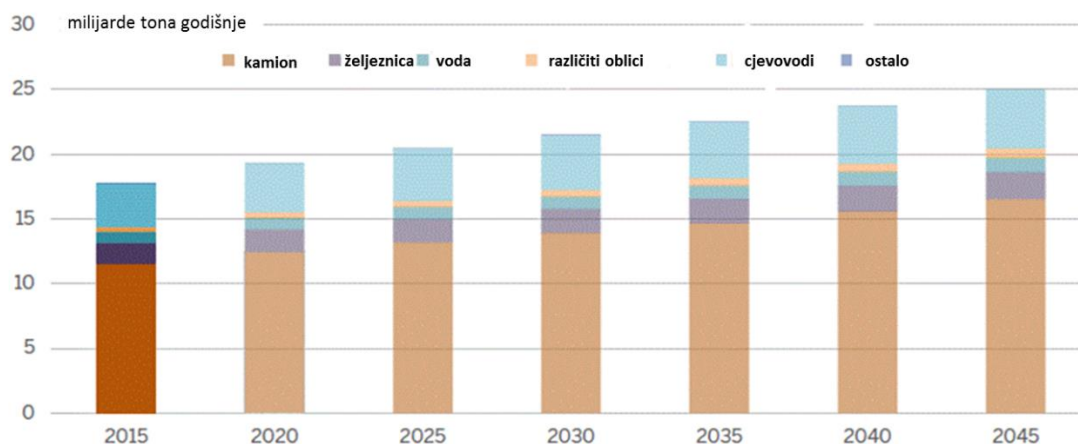
goriva, čija bi potrošnja i dalje rasla da nije došlo do pojave električnih vozila. Do 2050. električna energija zamijenit će 3,5 milijuna barela nafte po danu, odnosno smanjit potrošnju dizelskog goriva za 40% [28].



Grafikon 9 Prognoza kretanja potrošnje dizelskog goriva

Izvor: [28]

Grafikon 10 prikazuje kako će do 2045. godine količine tereta prevezenih kamionom biti u konstantnom porastu, stoga se procjenjuje da će do 2030. godine potreba za električnom energijom iznositi 30 TWh, dok će nakon 2030. godine naglo rasti i 2050. godine iznositi će 1000 TWh. Probleme će stvarati opsluživanje, tj. punjenje vozila tijekom perioda vršnih opterećenja, stoga je nužno osigurati dovoljno mjesta za punjenje duž autocesta i u industrijskim zonama za punjenje preko noći. Nužno je i razvijanje pametnih softvera koji bi omogućili što brže punjenje. Također je važno nadograditi energetske sustave da bi bili u mogućnosti podržati nadolazeću potražnju za električnom energijom. Za očekivati je da će naftne tvrtke osjetiti pad potražnje u nadolazećim godinama [28].



Grafikon 10 Porast količine tereta prevezenih kamionom

Izvor: [30]

Kamioni sa zadovoljavajućom aerodinamikom zahtijevaju 0.98 kWh/km energije, dok natovareni, na ravnoj cesti i maksimalnoj brzini na autocesti (90 km/h) zahtijevaju 1.23 kWh/km energije. Punjenje i vožnja električnog kamiona zahtijeva naizmjeničnu (AC) struju iz mreže koju treba pretvoriti u istosmjernu (DC) da bi se mogla puniti baterija a zatim ponovno pretvoriti u naizmjeničnu da bi se mogli pokretati motori kamiona. Postupak se može ubrzati direktnim brzim punjenjem istosmjernom strujom. U transmisiji kamiona s motorom sa unutarnjim izgaranjem događaju se značajni gubitci zbog 12 stupnjeva brzina, mjenjačke kutije i diferencijala, dok električni kamion ima poseban motor za svaki od pogonskih kotača i redukciju na jednu brzinu. Najbolji u klasi dizel motori imaju učinkovitost od 46%, dok prosječna učinkovitost dizel motora kod kamiona iznosi 39% uz prosječnu potrošnju od 33 l/100km. Kada se u obzir uzmu otpor zraka i kotrljanja dolazi se do zaključka da je električnom kamionu sa zadovoljavajućom aerodinamikom potrebno 1.15 kWh/km energije, 1.44 kWh/km za električni kamion sa lošijom aerodinamikom (kabina iznad motora), 2.2 kWh/km energije za najbolji u klasi kamion sa motorom sa unutarnjim izgaranjem i 3.3 kWh/km energije za prosječan kamion sa motorom sa unutarnjim izgaranjem. Kada se navedeno pretvori u potrošnju goriva, dolazi se do zaključka da najbolji u klasi kamion sa motorom sa unutarnjim izgaranjem ima potrošnju od 22l/100km, no ako se uzme u obzir da je prosječan koeficijent otpora zraka za europske kamione 0.6 dolazi se do potrošnje od 28l/100km. Iz ovoga je vidljivo koliko je aerodinamika važan faktor u potrošnji prilikom vožnje autocestom. Također je vidljivo da

električno vozilo ima manju potrošnju energije za od 1.5-2.9 puta. Nadalje, tipične operacije prilikom vožnje kao što su usporavanje, ubrzavanje, vožnja uz i niz brdo, značajno smanjuju učinkovitost motora sa unutarnjim izgaranjem dok električni motor ima konstantno istu učinkovitost motora bez obzira na profil vožnje. Električna vozila mogu iskoristiti energiju nastalu prilikom kočenja za punjenje baterija, dok kod klasičnih kamiona ta energija odlazi samo na zagrijavanje kočnica. Kod električnih kamiona veliki udio njihove mase čine baterije, dok s druge strane nemaju teške dizel motore, transmisiju, diferencijale, sustave za opskrbu gorivom i ispušne sustave što sve zajedno ima masu od oko 3 tone. Električni kamion najčešće ima 4 motora na naizmjeničnu struju, elektroniku za pretvaranje naizmjenične struje u istosmjernu i jednostavnu transmisiju što sve zajedno ima masu od 400kg. Baterije sa tehnologijom litij-kobalt-oksidi mogu težiti od 2.5 tone do 4.1 tone što ovisi o kapacitetu bateriju, odnosno o mogućem prijeđenom putu (480-800km). Takve baterije imaju 250 Wh/kg energije dok baterije tehnologije litij-željezo-fosfat imaju 165Wh/kg energije i shodno tome mnogo manju masu. Povećanje udjela električnih teretnih vozila, naročito teških teretnih vozila, rezultirat će značajno većom potrošnjom energije. Usporedbe radi, prosječna godišnja potrošnja električne energije za jedno europsko kućanstvo iznosi 3.5 MWh energije, dok električnom kamionu za jedno punjenje treba 1 MWh energije, dakle trećina godišnje potrošnje prosječnog kućanstva. Kada u jednom trenutku sva vozila na cesti budu električna, infrastruktura mreže i kapacitet moraju biti spremni. Kada se sagleda potrošnja električne energije po kamionu (1.44 kWh/km), ukupni broj svih teretnih cestovnih vozila u Europi (4.5 milijuna) i prosječna prijeđena udaljenost od 50000 km/godišnje, dolazi se do spoznaje da ta vozila zahtijevaju 324 TWh energije što je 10% prosječne energetske potrošnje na području Europske Unije za 2015. godinu. Infrastruktura potrebna za punjenje predstavlja jedno veliko ulaganje. Primjerice, za potrebe punjenja 12 električnih kamiona, sa punjačima od 100 kW, ukupni trošak infrastrukture za punjenje iznosi 1.5 milijun €, što čini gotovo 60% vrijednosti flote kamiona. Jedan od trenutno dostupnih električnih kamiona na tržištu je Tesla Semi čija cijena doseže 200 000 \$US. Tesla Semi zbog poboljšane aerodinamike ima 3 puta manju potrošnju energije od dizelskih kamiona. Što se tiče održavanja i popravaka električno vozilo je upola jeftinije za održavanje. Prema procjeni održavanje kamiona s motorom sa unutarnjim izgaranjem iznosi 12 500 € godišnje, dok je za električno vozilo iznos upola manji, također predviđa se da nema troškova zamjene baterije prvih 5 godina [31].

Kada se sagleda utjecaj na okoliš, pokazalo se da električni kamioni velikog dometa imaju 51-67% manji utjecaj na okoliš u odnosu na iste pogonjene fosilnim gorivima.

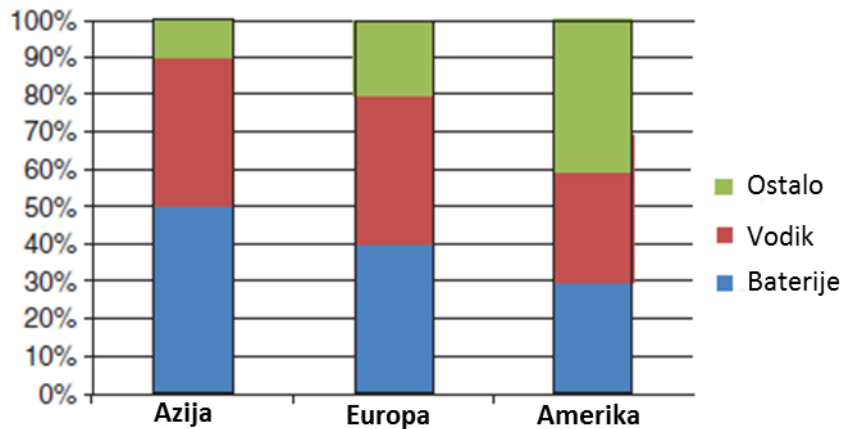
Nizozemska je jedna od država koje nastoje izbaciti kamione i autobuse s motorima sa unutarnjim izgaranjem iz gradova u razdoblju od 2020. do 2030. godine [31].

## 5.2 Teretna vozila na vodik i gorive ćelije

Vodik je nositelj energije koji može biti dobiven iz izvora koji sadrže jako malo ugljika, elementa koji nastaje izgaranjem fosilnog goriva. Prva vozila na gorive ćelije predstavljena su 2013., odnosno 2014. godine od strane Hyundai-a, Toyota-e i Daimler-a. Njihova glavna karakteristika je zadovoljavajući domet od 500km i jako brzo punjenje od 3-5 minuta za jedan spremnik vodika. Nabavna cijena im je približno slična kao i za električna vozila a najveći udio u cijeni čine spremnik vodika i sustav gorivih ćelija zbog skupih materijala koji se koriste poput platine, karbonskih vlakana i izmjenjivača topline. Iako je vozilo na vodik manje osjetljivo na troškove povezane sa povećanjem dometa jer se domet povećava samo većim spremnikom ili tlakom spremnika koji je znatno jeftiniji od litij-ionskih baterija po kWh. No u globalu vozilo na vodik je skuplje od vozila na električni pogon zbog sustava gorivih ćelija [32].

Goriva ćelija je elektrokemijski uređaj koji djelujući na različitim temperaturama, pretvara kemijsku energiju goriva (vodik, metanol, prirodni plin) u električnu energiju, reagirajući sa zrakom ili kisikom i uz pomoć katalize, proizvodi vodu, toplinu i struju. Trenutno na tržištu postoji 5 vrsta gorivih ćelija. Alkalne gorive ćelije su najviše razvijene. Koristila ih je NASA 1960.-tih godina za Apollo misije. Ove ćelije koriste vodik i čisti kisik, proizvode vodu, toplinu i struju a rade na temperaturi do 80 °C. Najučinkovitije su gorive ćelije sa učinkom preko 70%. Gorive ćelije na bazi fosforne kiseline koriste tekuću fosfornu kiselinu kao elektrolit. Također koriste vodik i zrak ili kisik za proizvodnju vode, topline i struje sa učinkovitošću od oko 50%. Njihov najveći proizvođač je UTC Power iz SAD-a. Gorive ćelije s čvrstim oksidima kao elektrolitom su visokotemperaturne gorive ćelije koje rade na između 700-1000 °C sa učinkovitošću od oko 60%. Izrađene su od četiri sloja od kojih su tri izrađena od keramike. Rade na metan, propan i butan. Molten karbonatna goriva ćelija radi na temperaturi do 650 °C. Prvotno su osmišljene da rade na prirodni plin i za elektrane pogonjene na ugljen, isto tako i za industriju i vojsku. Gorivi članci s polimernom membranom kao elektrolitom razvijaju se za potrebe transporta. Postoje dvije vrste, jedna kao gorivo koristi vodik a druga alkohol. Svaka koristi svoje gorivo za proizvodnju vode, topline i struje ali postoje razlike u djelovanju. Goriva ćelija koja koristi vodik kao gorivo ima učinkovitost od 60% i radi na temperaturi do 150 °C, dok ćelija koja koristi metanol ima učinkovitost od 40% i radi na temperaturi do 80 °C [32]. Grafikon 11 prikazuje predviđanje udjela pojedinih vrsta

pogonskih energija do 2050. godine. Predviđanja su da će omjer električnih vozila i vozila na vodik biti u omjeru 50:50, dok će se ponajviše u Americi zadržati vozila pogonjena primjerice biogorivima.

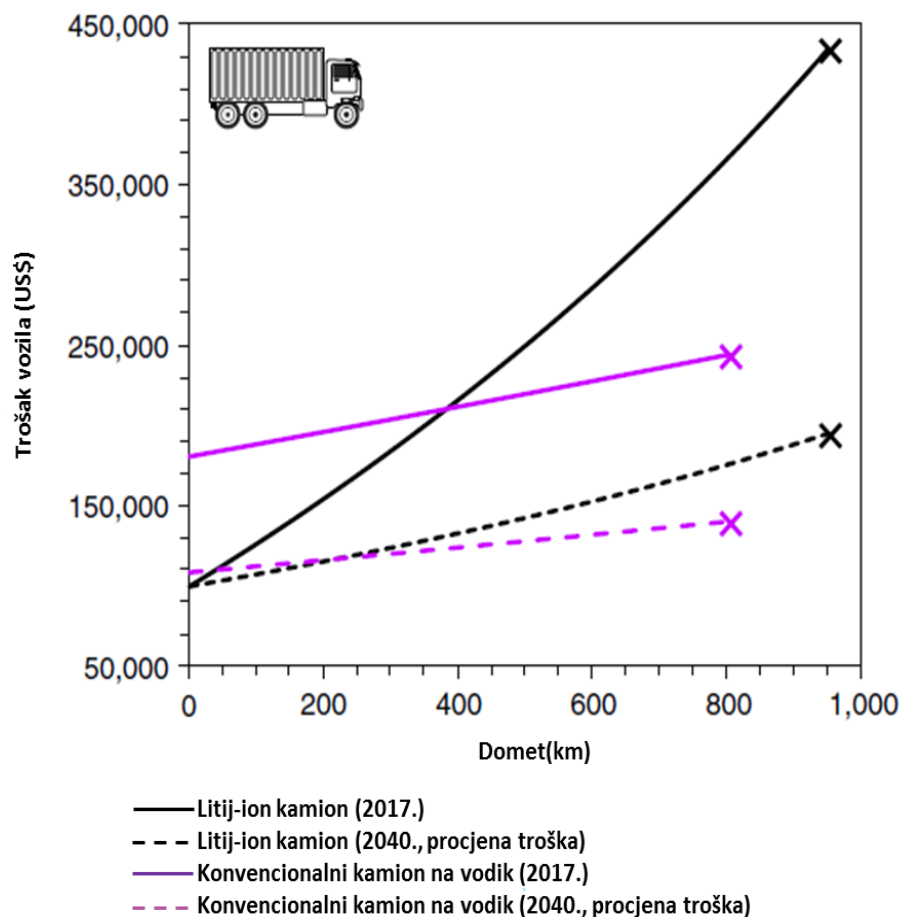


Grafikon 11 Predviđanje udjela pojedinih vrsta pogonskih energija do 2050. godine

Izvor: [32]

Zakonom ekonomije obujma, očekuje se da će cijena vodika kao pogonskog goriva opadati. Najviše kamiona sa pogonom na vodik čine vozila sa dometom od 240-320 km, što je uglavnom za gradske ili lokalne kraće prijevoze te ta vozila imaju pogon na plinoviti komprimirani vodik pod tlakom od 350 bara. Na području SAD-a najviše su zastupljeni dizel kamione srednje nosivosti, koji dnevno prelaze udaljenost od 320 km. Kada bi se svi ti dizel kamioni zamijenili vozilima na vodik kao pogonskim gorivom, uklonilo bi se 30% ukupnih emisija dušičnih oksida ( $\text{NO}_x$ ) iz prometa [33]. Velika zapreka za prihvaćanje vozila na vodik je trenutni nedostatak infrastrukture za transport i distribuciju vodika. Investicijski troškovi stanica za punjenje vodikom kreću se od 1-10 milijuna US\$, što je značajno više od stanica za brzo punjenje električnih vozila čiji trošak iznosi 0.2 milijuna US\$. Dugoročno gledano nadogradnja strujne mreže da bi se pokrile potrebe električnih vozila može rezultirati većim troškovima od troškova uspostavljanja mreže stanica za punjenje vodikom. Ono šta još treba uzeti u obzir kod potencijalnog uvođenja vozila na vodik je činjenica da ta vozila imaju energetska učinkovitost između 25-30% zbog kompleksnosti samog procesa prilikom kojega se odvija elektroliza vode, komprimiranje plinovitog vodika i pretvorbu tog vodika u energiju potrebnu za pogon vozila. S druge strane ukupna učinkovitost električnog vozila na baterije

prilikom vožnje i punjenja iznosi 80-85%, shodno tome nameće se da vozilo na vodik zahtijeva 2.5-3.5 puta više energije iz mreže da bi prošli istu udaljenost kao i električna vozila na baterije. No tu se mora uzet u obzir i prethodno spomenuti omjeri troškova nadogradnje električne mreže i izgradnje infrastrukture za punjenje vodikom [34]. Grafikon 12 prikazuje procjenu kretanja troškova za električna teretna vozila i vozila na vodik uspoređujući situaciju 2017. godine sa procjenama za 2040. godinu. Prema grafikonu, u 2017. godini trošak električnih vozila je značajno rastao sa željenim dometom (1000km≈425000 US\$) dok se za 2040. godinu procjenjuje da će to bit značajno manji (1000km≈175000 US\$). Slična situacija je i s vozilima na vodik, 2017. troškovi su veliki i rastu s dometom dok se za 2040. procjenjuje da će bit čak i manji nego šta je prognoza za električne za 2040. godinu. Oznaka „X“ na kraju svake linije označuje točku u kojoj ukupni volumen baterija, spremnika vodika i gorivih ćelija premašuje 300 litara za srednja teretna vozila i 2500 litara za kamione s poluprikolicama.

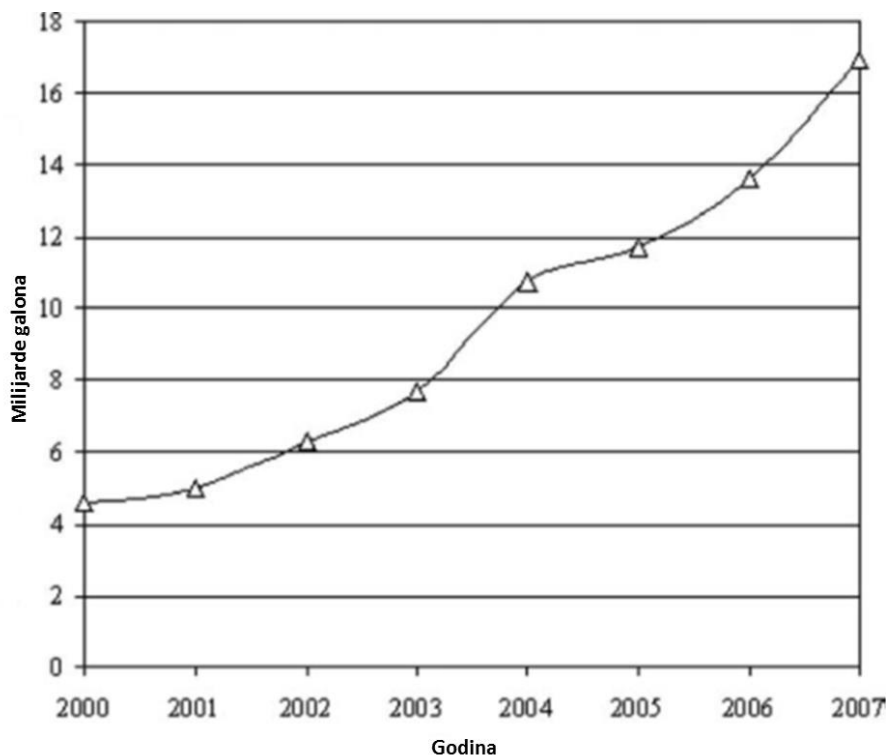


Grafikon 12 Procjena kretanja troškova električnih i vozila s pogonom na vodik i gorive ćelije

Izvor: [34]

### 5.3 Bio-etanol

Bio goriva su tekuća i plinovita goriva dobivena iz prirodnih materijala kao što su ratarske kulture, komunalni otpad i slično. Bio-etanol (BE) je često korišteno bio-gorivo pri transportnim procesima diljem svijeta. Upotrebom BE moguće je značajno smanjiti upotrebu fosilnih goriva i emisiju stakleničkih plinova. BE može biti proizveden iz različitih sirovina kao što su jednostavni šećeri, škrob i lignoceluloza. BE dobiven iz šećerne trske predstavlja čisto gorivo koje ima pozitivan utjecaj na smanjenje emisije štetnih plinova i stvaranja čistog zraka u gradskim područjima [35]. Grafikon 13 prikazuje povećanje proizvodnje bio-etanola od 2000. godine do 2007. godine. Vidljivo je da je proizvodnja značajno porasla, sa otprilike 4,5 milijarde galona (17 milijardi litara) 2000. godine na 17 milijardi galona 2007. godine (46 milijardi litara). Realno je za očekivati da je današnja količina proizvodnje na još većoj razini jer se sve više stavlja naglasak na ekološki utjecaj transporta i smanjenje emisije štetnih plinova upotrebom bio-goriva.



Grafikon 13 Povećanje proizvodnje bio-etanola kroz godine na svjetskoj razini

Izvor: [35]

Procjenjuje se da će 2020. godine potražnja za BE iznositi 125 milijardi litara. Najveći proizvođači bio-etanola su SAD i Brazil, pri čemu je Brazil ujedno i najveći izvoznik. Za 2010.



godinu procijenjeno je bilo da će potreba za BE iznositi 12.6 milijardi litara za EU. BE je u upotrebi već od 1894. godine kada se koristio u industrijske svrhe. No u tim vremenima nije zaživjela njegova upotreba kao goriva za vozila zbog visoke cijene proizvodnje u odnosu na proizvodnju fosilnih goriva. BE se odlikuje višom oktanskom vrijednošću od 108 oktana, širim granicama zapaljenja, većom brzinom gorenja i većim zagrijavanjem potrebnim za isparavanje. To omogućava veću kompresiju i kraće vrijeme gorenja što mu daje prednost u odnosu na fosilna goriva [35]. Oktanski broj određuje otpornost goriva na samozapaljenje, pojave kad prije preskakanja iskre kod motora sa unutarnjim izgaranjem dolazi do samozapaljenja smjese, nekontrolirane eksplozije gdje pri oslobađanju velike količine topline i brzine izgaranja dolazi do velikog lokalnog zagrijavanja cilindara, klipova i ventila, što može dovesti do ozbiljnih oštećenja [36]. Neki od nedostataka bio-etanola uključuju manje energije u odnosu na fosilna goriva, niži tlak isparavanja što uzrokuje probleme kod hladnog paljenja, povećanje emisija acetaldehida. BE može se koristiti kao primarno gorivo ili se miješati sa benzinom. Kada se miješa sa benzinom može se koristiti u motorima sa unutarnjim izgaranjem bez prethodno obavljenih izmjena na motoru. Najčešći je omjer u kojemu se miješa je 10% BE sa 90% benzina. U omjeru od 5% BE može se koristiti u EU prema standardu kvalitete EN 228. Omjer od 5% ne zahtijeva izmjene na motoru i pokriven je jamstvenim rokom. Sa izmjena na motoru moguće je koristiti omjer od 85% BE. Najveći udio u trošku proizvodnje BE čini sama sirovina, udio sirovine u trošku iznosi od 60-75%. Problem može nastati ako se uzme u obzir da se BE proizvodi od biljaka koje se također koriste u prehrani što može dovesti do kolizije u određivanju prioriteta. Također proizvodnja tih sirovina uvelike ovisi o vremenskim uvjetima što također može uzrokovati probleme u smislu kontinuirane opskrbe BE-om [35]. Danas postoje kamioni Euro 6 norme koji su pogonjeni BE u omjeru od 95%, koji potrošnjom i snagom mogu konkurirati dizelskima sa istim karakteristikama, sa istovremeno manjom emisijom dušičnih oksida i čestica čađe.

#### **5.4 Bio-dizel**

Bio-dizel (BD) je gorivo koje može biti korišteno u motorima sa unutarnjim izgaranjem bez poduzimanja preinaka na samom motoru. Čestice nastale izgaranjem dizela štetne su za zdravlje ljudi, utječu na okoliš i klimu te na zagađenje u urbanim sredinama.

BD može biti proizveden od algi, biljnog ulja, životinjskih masnoća ili iz restoranskih otpadnih ulja. Dobiva se postupkom koji se naziva transesterifikacija prilikom kojeg se odvaja glicerol od masti i biljnog ulja te nastaju dva produkta; metilni esteri (BD) i glicerol koji se

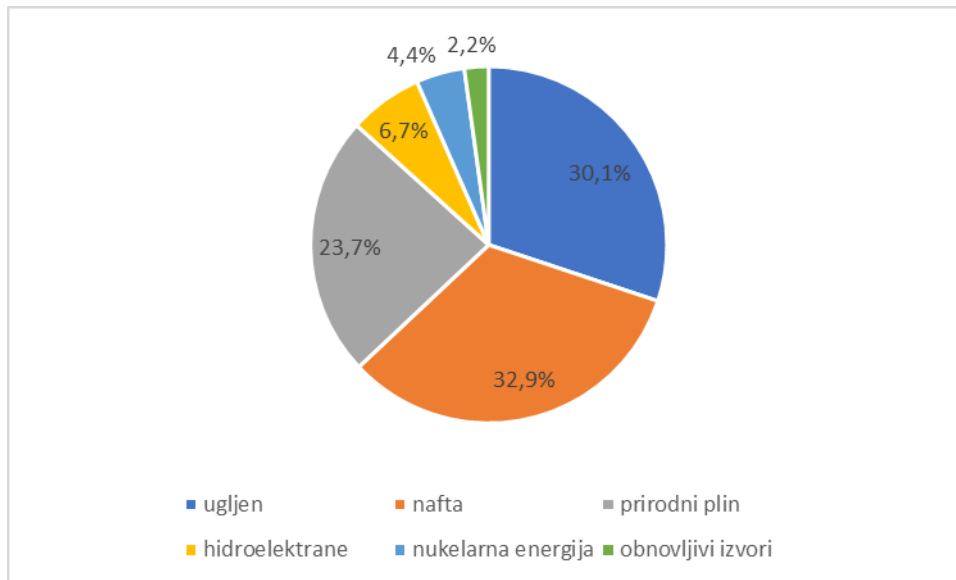
koristi u proizvodnji sapuna. BD je biološki razgradiv, nije otrovan i proizvodi do 60% manje emisije ugljičnog dioksida. Posjeduje 90% energetske vrijednosti klasičnog dizela i uz to zanemarivo mali udio sumpora. Kada se BD pomiješa sa običnim dizelom u omjeru 20:80 dobiva se gorivo koje se naziva B20. BD također ima višu točku zapaljenja (160 °C) od klasičnog dizela što ga čini pogodnijim za upotrebu u transportu jer je manji rizik od zapaljenja prilikom transporta ili skladištenja [37]. BD je također pogodan za miješanje sa BE koji je bio tema prethodnog poglavlja.

BD dobiven od uljane repice najčešće je dostupan na području EU, dok se BD dobiven od soje ponajprije nalazi na tržištu SAD-a. Prednosti BD-a u odnosu na klasičan dizel su veća pogodnost za transport, obnovljivost izvora (sirovine), bolja iskoristivost prilikom izgaranja i manji udio sumpora., veći cetanski broj koji je pokazatelj kakvoće dizelskog goriva i veća biološka razgradivost. Glavna prednost je to što ga može svatko proizvesti za sebe, neovisno o dobavljačima i cijenama uvoznih fosilnih goriva (pojedine države posjeduju većinu svjetskih rezervi). Nedostaci BD se mogu sagledati u većoj viskoznosti, manjoj količini energije, manjoj snazi i brzini motora, većoj cijeni, mogućnosti smrzavanja na nižim temperaturama i razgradnji goriva nakon dugog skladištenja. BD također ima bolja maziva svojstva što omogućuje dulji vijek motora. Viskoznost je jedna važna karakteristika BD-a jer utječe na rad opreme za ubrizgavanje, padom temperature povećava se viskoznost što dovodi do težeg ubrizgavanja. Dva važna parametra BD-a su točka zamućenja i točka tečenja. Točka zamućenja predstavlja temperaturu pri kojoj se gorivo počne zgušnjavati (kao vosak) a točka tečenja je najniža temperatura pri kojoj je gorivo u tekućem stanju. BD ima višu točku zamućenja i tečenja u usporedbi sa klasičnim dizelom. Sadržaj kisika BD-a omogućuje bolju učinkovitost izgaranja i bolju homogenost smjese kisika i goriva. BD sadrži 11% kisika po kili i ne sadrži sumpor. Izgaranje BD-a osigurava preko 90% smanjenja ukupne emisije ugljikovodika i 75-90% smanjenje emisije policikličkih aromatskih ugljikovodika. Također omogućuje značajne redukcije emisije štetnih čestica i ugljikovog monoksida. Nadalje, razgradnja BD-a je otprilike četiri puta brža od klasičnog dizela. Tako pridonosi smanjenju štetnog djelovanja na okoliš i smanjenje emisije štetnih plinova [38].

## **5.5 SPP (stlačeni prirodni plin) i UPP (ukapljeni prirodni plin)**

Prirodni plin svojom energijom čini odličnu zamjenu za dizel gorivo. Njegovom upotrebom moguće je smanjiti emisije ugljika, ovisnost o nafti te čak smanjiti transportne troškove, omogućuje istovremeno postizanje ekonomskih i ekoloških poboljšanja [39].

Grafikon 14 prikazuje udio prirodnog plina kao izvora energije u odnosu na ostale izvore energije. Vidljivo je da je prirodni plin treći najčešće korišteni izvor energije (23,7%), odmah iza nafte. Razlog tome je što se prepoznao njegov značaj, odnosno manji utjecaj na okoliš i potencijalno moguće smanjenje transportnih troškova.

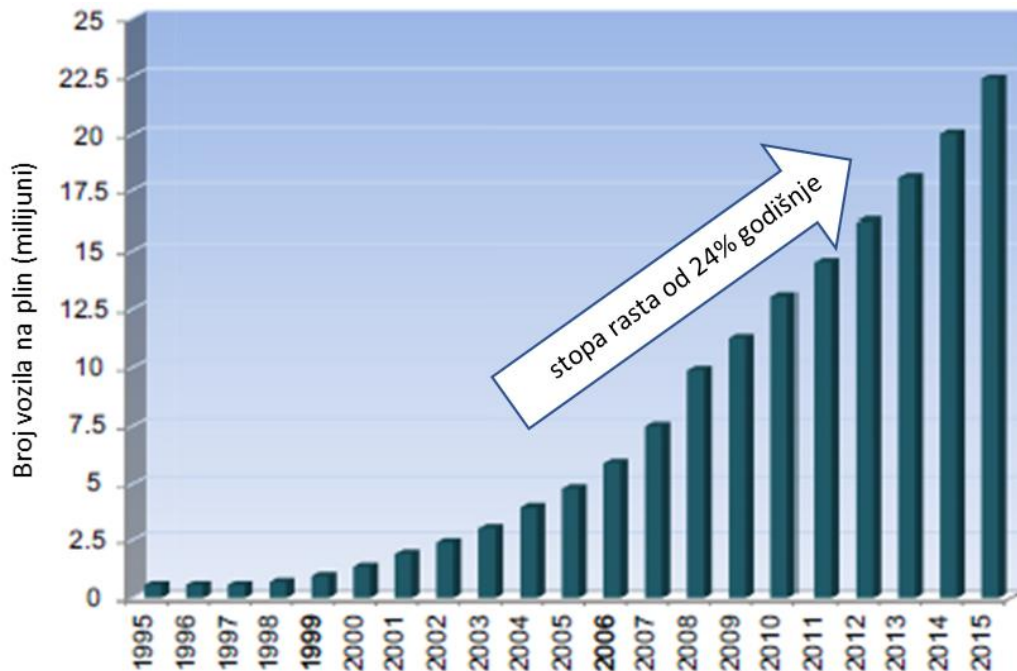


Grafikon 14 Udio prirodnog plina u odnosu na ostale izvore energije

Izvor: [40]

Stlačeni prirodni plin dobiva se tlačenjem klasičnog prirodnog plina na manje od 1% volumena koji zauzima pri standardnom tlaku zraka. Pohranjuje se i distribuira u cilindričnim, metalnim posudama pod tlakom od 200-248 bara. 2015. godine svjetski predvodnik u broju vozila na stlačeni prirodni plin bio je Iran sa 4,07 milijuna vozila, a odmah iza njega je Kina sa 3,99 milijuna vozila. Grafikon 15 prikazuje značajan porast broja vozila na prirodni plin u razdoblju od 1995.-2015. godine. U posljednjih 10 godina, stopa rasta iznosi 24% godišnje. Do 2030. godine očekuje se daljnji trend rasta od 3,7% godišnje. Broj vozila na plin u svijetu iznosio je oko 18 milijuna u više od 86 zemalja sa 26,677 stanica za punjenje 2015. godine. Realno je za očekivat da se taj broj u međuvremenu još više povećao s obzirom da se sve više pozornosti skreće na alternativna goriva, smanjenje negativnog utjecaja na okoliš i održivi transport. TCF (*Trillion Cubic Feet*) je mjerna jedinica volumena za prirodni plin koja se koristi u naftnoj industriji u SAD-u (1CF= 28.31685L). 2014. godine procijenjeno je da svjetske rezerve plina iznose 7080,3 TCF (2.8316846592E+13 litara [41] ) što je bilo dostatno za 60 godina potrošnje sa potrebama za plinom koje su bile aktualne 2014. godine.. Procjene su da će do 2035. godine plin pokrivati 25% potreba za energijom, a njegova će se upotreba od 2020-

2040 udvostručiti. Važno je napomenuti da se procjenjuje da će cijena plina do 2030. godine biti ispod cjenovnog ranga u kojem je bio 2005.-2008. godine, što ga čini odličnim izborom kao gorivo u transportu, gdje je uvelike bitna optimizacija troškova [40].



Grafikon 15 Porast broja vozila na prirodni plin

Izvor: [40]

Prirodni plin omogućuje čisti ispuh bez čestica, manju emisiju CO<sub>2</sub>, nižu razinu buke i niže troškove eksploatacije [42]. Kamioni na plin imaju jednake performanse, vozna svojstva i potrošnju kao i oni na dizel gorivo, ali je emisije CO<sub>2</sub> moguće reducirati za 20-100%, što ovisi o tome upotrebljava li se kao gorivo prirodni plin ili bio-plin. Za teška teretna vozila, koji prelaze velike udaljenosti, upotrebljava se UPP, dok se SPP koristi za lakša vozila koja prelaze manje udaljenosti [39]. Kod upotrebe bio-plina emisiju CO<sub>2</sub> moguće je smanjiti za 100%, dok se prilikom upotrebe prirodnog plina CO<sub>2</sub> može smanjiti za 20%. Bio-plin je gorivo koje se može dobiti iz bilo koje bio-mase. Dobiva se anaerobnom fermentacijom ili razgradnjom organskih tvari, a sastoji se od metana i ugljikovog dioksida [43]. Ako se koristi plinski dizel proces, umjesto klasični plinski Otto (benzinski) proces, moguće je postići potrošnju od 15-25% nižu u odnosu na plinski Otto proces i potrošnju istovjetnu dizelskom vozilu. UPP drži se u spremnicima pod tlakom od 4-10 bara, temperaturi od -125 do -145 °C, a vrijeme potrebno za punjenje je isto kao i kod dizelske verzije. Današnje izvedbe ovisno o veličini spremnika plina mogu prevaliti i do 1000 km. Sami proces u motoru odvija se na sljedeći način; gorivo se

pretvara u plinovito stanje i motor usisava smjesu plina i zraka, zatim se na kraju takta kompresije u cilindar ubrizgava mala količina dizel goriva koja se zapali i upali smjesu plina i zraka i na taj način ima ulogu svjeće [44].

## 5.6 Usporedna analiza alternativnih goriva

U prethodnim poglavljima prikazani su ekološki prihvatljivi načini prijevoza, odnosno načini pogona i pogonskih goriva. U obzir su uzeta vozila na električni pogon te vozila koja kao pogonsko gorivo koriste vodik, bio-etanol, bio-dizel, stlačeni i ukapljeni prirodni plin. U ovom poglavlju biti će prikazana sveobuhvatna analiza navedenih alternativa. Tablica 1 prikazuje usporedbu potreba za energijom, iz koje je vidljivo da električna vozila imaju značajno manju potrebu za energijom što omogućuje racionalno korištenje energije i ostvarivanje ušteda, odnosno dugoročno gledano održivi transport. Vidljiv je također i značaj aerodinamike gdje se optimalnim dizajnom aerodinamike može značajno utjecati na potrošnju energije.

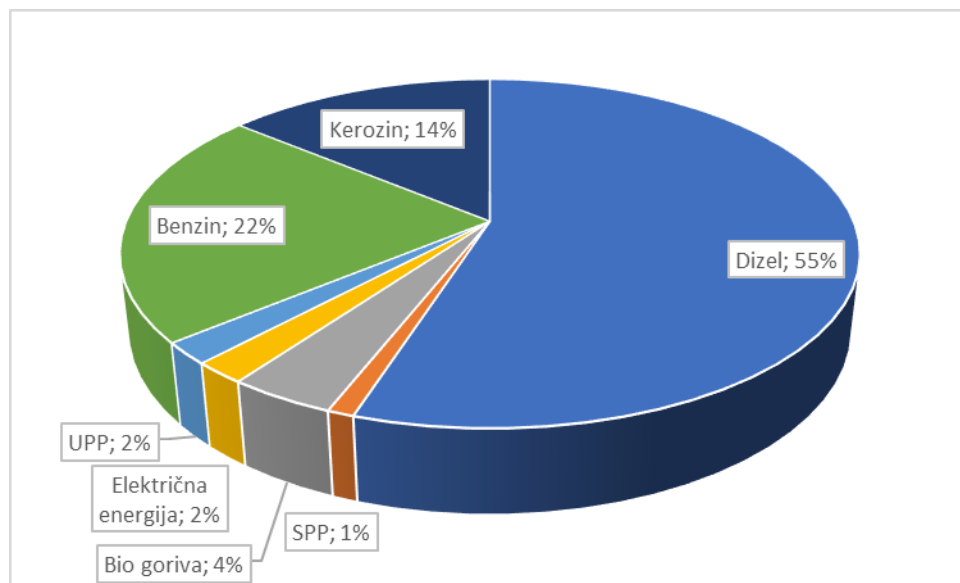
Tablica 1 Potrebe za energijom električnih i vozila sa motorima na unutarnje izgaranje

	Potreba za energijom
Optimalno aerodinamično električno vozilo	1,15 kWh/km
Električno vozilo lošije aerodinamike	1,44 kWh/km
Najbolje u klasi vozilo sa unutarnjim izgaranjem	2,2 kWh/km
Proječno vozilo sa unutarnjim izgaranjem	3,3 kWh/km

Izvor: Izradio autor

Grafikon 16 prikazuje udio pojedine vrste goriva u EU 2014. godine. Vidljivo je da je u najvećoj mjeri zastupljeno dizelsko gorivo, a iza njega benzin i kerozin. Alternativna goriva spomenuta u poglavljima prije zastupljena su u malim postocima, no za očekivati je da će se situacija mijenjati jer su alternativna goriva jedini način za uspostavljanje održivog transporta i sve više proizvođači teretnih vozila usmjeravaju proizvodnju i tehnologiju prema

alternativnim gorivima. 94% potrebne energije za sektor cestovnog prometa 2014. godine dobiveno je iz fosilnih goriva [45].



Grafikon 16 Prikaz zastupljenosti pojedine vrste goriva na području EU 2014.

Izvor: [45]

Tablica 2 prikazuje usporedbu prednosti i nedostataka svih ranije spomenutih alternativnih goriva. Vidljivo je da imaju puno više prednosti u odnosu na nedostatke. Ono što im je svima zajedničko je to da omogućuju smanjenje potrošnje fosilnih goriva i manje emisije štetnih plinova. Razlikuju se u tome što pojedina goriva zahtijevaju posebnu infrastrukturu za punjenje, posebne motore ili preinake na motorima te nemaju sva navedena goriva istu energetska učinkovitost. Kada se sagleda mogućnost masovne primjene, može se doći do zaključka da električna vozila i vozila na vodik nisu primjerena trenutno za masovnu primjenu prvenstveno zbog nedostatka infrastrukture potrebne za punjenje i visoke nabavne cijene, pogotovo za prilike u Republici Hrvatskoj. No ostala alternativna goriva kao što su bio-etanol, bio-dizel, SPP i UPP su trenutno primjerenija za masovnu upotrebu i predstavljaju podlogu za stvaranje nulte emisije ispušnih plinova jer već sada svojom upotrebom omogućavaju značajnu redukciju štetnih ispušnih plinova i stvaranje održivog transporta. Uz to omogućuje primjenu uz male ili nikakve preinake na motorima sa unutarnjim izgaranjem koji su danas još uvijek zastupljeni u najvećoj mjeri a istovremeno vozila ostvaruju iste performanse kao i dizel pokretana vozila. No treba uzeti u obzir da se takva bio-goriva dobivaju iz prirodnih materijala, istovremeno zauzimajući obradive površine za proizvodnju hrane. Iz tog razloga treba raditi i dalje na smanjenju potrošnje i s vremenom postizanje nulte emisije ispušnih plinova.

Tablica 2 Usporedba prednosti i nedostatka alternativnih goriva

<b>Vrsta goriva/pogona</b>	<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
<b>Električna/hibridna vozila</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smanjenje potrošnje fosilnih goriva</li> <li>• Manje emisije štetnih plinova</li> <li>• Moguće smanjenje upotrebe dizela za 40% do 2025. godine</li> <li>• Energetski učinkovitija vozila</li> <li>• Upola jeftinija za održavanje u usporedbi s dizel vozilima</li> <li>• 51-67% manji utjecaj na okoliš</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skuplja u nabavi</li> <li>• Potrebna specijalna infrastruktura</li> <li>• Domet</li> <li>• Povećanje potrošnje električne energije s masovnom upotrebom</li> </ul>
<b>Vodik i gorive ćelije</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dobiva se iz izvora koji sadrže malo ugljika</li> <li>• Zadovoljavajući domet</li> <li>• Brzo punjenje</li> <li>• Omogućuje smanjenje emisija dušičnih oksida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skuplja u nabavi od električnih</li> <li>• Nedostatak infrastrukture za transport i distribuciju</li> <li>• Veliki investicijski troškovi stanica za punjenje</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetska učinkovitost od 25-30%</li> </ul>
<b>Bio-etanol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dobiva se iz prirodnih materijala</li> <li>• Smanjuje upotrebu fosilnih goriva i emisiju štetnih plinova</li> <li>• Viša oktanska vrijednost, veća brzina gorenja, veće zagrijavanje potrebno za isparavanje</li> <li>• Ako se miješa sa benzinom može se koristiti bez preinaka na motoru</li> <li>• Potrošnjom i snagom vozila na bio-dizel mogu konkurirati klasičnim dizel vozilima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manje energije u odnosu na fosilna goriva</li> <li>• Problem kod hladnog paljenja</li> <li>• Proizvodnja sirovine ovisi o vremenskim uvjetima</li> </ul>
<b>Bio-dizel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koristi se bez preinaka na motoru</li> <li>• Proizvodi se od algi, biljnog ulja i sl.</li> <li>• Biorazgradiv</li> <li>• Pogodniji za upotrebu u transportu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veća viskoznost</li> <li>• Manja količina energije</li> <li>• Manja snaga i brzina motora</li> <li>• Veća cijena</li> <li>• Mogućnost smrzavanja pri</li> </ul>



	<p>zbog manjeg rizika zapaljenja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veći cetanski broj</li> <li>• Dulji vijek motora</li> <li>• 90% mogu smanjenje emisije ugljikovodika</li> </ul>	<p>niskim temperaturama</p>
<p><b>SPP i UPP</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smanjenje emisije ugljika</li> <li>• Smanjenje transportnih troškova</li> <li>• Velike rezerve</li> <li>• Očekivani pad cijene</li> <li>• Čisti ispuh, manje CO<sub>2</sub>, manje buke</li> <li>• Jednake performanse kao kod dizel vozila</li> <li>• Veliki domet</li> <li>• Vrijeme punjenja kao i kod dizela</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veći rizik od zapaljivanja</li> </ul>

Izvor: Izradio autor

## 6 ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih analiza i istraživanja može se zaključiti da se optimizacijom prijevoznog procesa po ekološkim kriterijima može smanjiti potrošnja goriva, samim time obujam korištenja fosilnih goriva i emisija štetnih ispušnih plinova. Optimizacijom iskorištenja teretnog kapaciteta moguće je također smanjiti utjecaj na okoliš jer se takvom optimizacijom postiže manji broj vozila na cestama i manje gužve. Manji broj vozila na cestama rezultira manjim emisijama ispušnih plinova. Sa povećanjem praznih kilometara rastu također i transportni troškovi a cilj je postići i obaviti transportni rad uz što manje troškove. Razlika između prijevoza tereta i putnika je u tome što se teret prevozi u samo jednom smjeru, zbog toga nastaje problem praznih kilometara, čijom se optimizacijom i optimalnim popunjavanjem prijevoznih kapaciteta može smanjiti potrošnja goriva, emisija ispušnih plinova i učinkovitiji i kvalitetniji prijevozni proces, kako za krajnjeg kupca, tako i za okoliš. Također u radu je dokazano na temelju istraživanja da se upotrebom alternativnih pogona i vrsta goriva, odnosno ekološki prihvatljivih pogona i goriva može značajno smanjiti upotreba fosilnih goriva i emisija ispušnih plinova. Električna vozila omogućuju nultu emisiju ispušnih plinova i eliminaciju upotrebe fosilnih goriva, dok hibridna električna omogućuju značajne redukcije u emisijama plinova i upotrebi fosilnih goriva. Problem je zahtjev za specijalnom infrastrukturom za punjenje, jer da bi se omogućio masovni prelazak svih teretnih vozila na električna, potrebno je osigurati infrastrukturu za efikasno i učinkovito, odnosno brzo punjenje vozila. To zahtijeva velika ulaganja i trebati će vremena da se stvore uvjeti za prelazak svih teretnih vozila na električna, pogotovo kada se sagleda situacija u Republici Hrvatskoj. Problem predstavlja i visoka nabavna cijena koja će pasti sa masovnom upotrebom električnih vozila. Vozila na vodik i gorive ćelije omogućuju također značajne redukcije ispušnih plinova i fosilnih goriva. Njihov najveći nedostatak je mala učinkovitost i također zahtjev za specijaliziranom infrastrukturom, kako za punjenje, tako i za transport i distribuciju vodika. Trenutno najbolju opciju predstavljaju bio-goriva poput bio-etanola i bio-dizela te prirodni plin. To su alternative koje omogućavaju pokretanje postojećih motora bez modifikacija ili uz minimalne modifikacije. Upravo iz tog razloga predstavljaju adekvatnu soluciju za postepeni prelazak prema nultim emisijama ispušnih plinova, odnosno prestanku upotrebe fosilnih goriva kao izvora energije u transportu roba. Njihovom uporabom postižu se značajne redukcije u emisijama ispušnih plinova i korištenju fosilnih goriva. Na taj način smanjuje se utjecaj transporta na okoliš, na promjenu klime i omogućuje se stvaranje održivog transportnog sustava koji dugoročno omogućuje funkcioniranje opskrbnog lanca uz minimalnu devastaciju okoliša.

## POPIS LITERATURE

- [1] Šafran, M.: Nastavni materijali iz kolegija Planiranje prijevoznih procesa, 2018.
- [2] Buntak, K., Grgurević, D., Droždek, I.: Međusobni odnos logističkih i transportnih sustava, 2012.
- [3] Pfohl, H. Ch.: Logistiksysteme, IV. Auflage, Springer Verlag, Berlin – Heideberg – New York, 1990.
- [4] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [5] Poletan Jugović, T., Jurčić J.: Logistički špediterski operator kao perspektiva klasičnoga špeditera, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2006.
- [6] Roland Berger, Strategy Consultants: Outsourcing: Croatian and World Practice, II WIFI International Logistics Forum, Zagreb April 10, 2008
- [7] Pavlić Skender, H., Grčić Fabić, M.: Logistički špediter u fokusu prometnog i gospodarskog sustava, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2013.
- [8] Optifacility portal. Preuzeto sa: <http://optifacility.mooncoder.com/site/en/transport-optimization> [Pristupljeno: svibanj, 2019.]
- [9] Hrvatski prijevoznik portal. Preuzeto sa: <https://www.hrvatskiprijevoznik.hr/smanjenje-troskova-u-logistici-kako-racionalizirati-sektor-transporta/> [Pristupljeno: svibanj, 2019.]
- [10] Stanković, R.: Nastavni materijali iz kolegija Prijevozna logistika II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019.
- [11] Jungleworks portal. Preuzeto sa: <https://jungleworks.com/say-goodbye-to-on-time-delivery-challenges-with-route-optimization/> [Pristupljeno: svibanj, 2019.]
- [12] Carpal fleet portal. Preuzeto sa: <https://carpalfleet.com/route-optimization-software/> [Pristupljeno: svibanj, 2019.]
- [13] Carić, T.: Nastavni materijali iz kolegija Optimizacija prijevoznih procesa, 2017. ecotransit world calculation-aplikacija

- [14] Energy, transport and environment indicators 2017 edition, Statistical books, Eurostat, European Union, 2017.
- [15] Energija u Hrvatskoj, Godišnji energetska pregled, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Republika Hrvatska, 2017.
- [16] Golubić, J.:Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
- [17] Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu. Preuzeto sa: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/7A\\_predavanje\\_Energetika\\_staklenicki\\_plinovi.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/7A_predavanje_Energetika_staklenicki_plinovi.pdf) [Pristupljeno: lipanj, 2019.]
- [18] New Horizons 2017 of transport and communications, University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering Doboj, 2017.
- [19] Achour, H., Olabi, A. G., Carton, J.G.: Estimating Vehicle Emissions from Road Transport, Case study: Dublin City, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin City University, Ireland
- [20] Nikoličić, S., Lazić, D.: Zelena logistika, 1. Nacionalna konferencija o kvalitetu života, Kragujevac, 2006.
- [21] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet. Zavod za prometnice, 2004.
- [22] European Commission Working Group 5: Inventory of noise mitigation methods, Brussels, 2002.
- [23] Hellström, E., Ivarsson, M., Aslund, J., Nielsen, L.: Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption, , Control Engineering Practice, 2009.
- [24] Sandberg, T.: Heavy Truck Modeling for Fuel Consumption Simulations and Measurements, Department of Electrical Engineering, Linkopings universitet, Sweden, 2001.
- [25] McKinnon A., Cullinane S., Browne M., Whiteing A.: Green logistics, Improving the environmental sustainability of logistics, 2010.
- [26] Portal Kamion & Bus. Preuzeto sa: <https://www.kamion-bus.hr/917> [Pristupljeno: lipanj, 2019.]

[27] Perez, L.V., Bossio G.R., Moitre D., Garcia, G.O.: Optimization of power management in an hybrid electric vehicle using dynamic programming, Facultad de Ingenier´ia, Universidad Nacional de R´io Cuarto, C´ordoba, Rep´ublica Argentina, 2006.

[28] Mckinseyenergyinsights portal. Preuzeto sa: <https://www.mckinseyenergyinsights.com/insights/new-reality-electric-trucks-and-their-implications-on-energy-demand/> [Pristupljeno: lipanj, 2019.]

[29] Energetika-net portal. Preuzeto sa: <http://www.energetika.net.com/vijesti/elektromobilnost/njemacka-otvorila-elektricnu-autocestu-za-punjenje-kamiona-28577> [Pristupljeno: lipanj, 2019.]

[30] Energyfuse portal. Preuzeto sa: <http://energyfuse.org/report-electrification-trucking-sector-grow-quickly/> [Pristupljeno: lipanj, 2019.]

[31] Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., Nix, J.: Analysis of long haul battery electric trucks in EU, European Federation for Transport and Environment (T&E), Graz, 17-18 May 2018.

[32] Kendall, K., Pollet B.G.: Hydrogen and fuel cells in transport, University of Birmingham, Birmingham, UK, 2012.

[33] Lee, D.Y., Elgowainy, A., Kotz, A., Vijayagopal, R., Marcinkoski J.: Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks, Journal of Power Sources, 2018.

[34] Cano, Z.P.,Ye, S., Banham, D.: Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets, Nature Energy, April 2018.

[35] Balat, M., Balat, H.: Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel, Sila Science and Energy Unlimited Company, Mekan Sok, No 24, Trabzon, Turkey, 2009.

[36] Autoportal. Preuzeto sa: [https://www.autoportal.hr/clanak/shto\\_je\\_oktanski\\_broj](https://www.autoportal.hr/clanak/shto_je_oktanski_broj) [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[37] Izvori energije portal. Preuzeto sa: [http://www.izvorienergije.com/energija\\_cinjenice/cinjenice\\_biodizel.html](http://www.izvorienergije.com/energija_cinjenice/cinjenice_biodizel.html) [Pristupljeno: srpanj, 2019.]

- [38] Demirbas, A.: Biodiesel-A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines, Sila Science and Energy, Trabzon, Turkey, 2008.
- [39] Krupnick, A.: Energy, Greenhouse Gas, and Economic Implications of Natural Gas Trucks, Washington, 2010.
- [40] Khan, M. I., Shakoor, A., Yasmeen, T.: Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel, Pakistan, 2015.
- [41] Kylesconverter web pretvarač. Preuzeto sa:  
<http://www.kylesconverter.com/volume/trillion-cubic-feet-to-litres> [Pristupljeno: srpanj, 2019.]
- [42] Kamion & Bus portal: Preuzeto sa: <https://www.kamion-bus.hr/1498> [Pristupljeno: srpanj, 2019.]
- [43] Obnovljivi izvori energije portal. Preuzeto sa:  
<https://obnovljiviizvorienergijee.weebly.com/bioplina.html> [Pristupljeno: srpanj, 2019.]
- [44] Kamion & Bus portal. Preuzeto sa: <https://www.kamion-bus.hr/1092> [Pristupljeno: srpanj, 2019.]
- [45] European Commission: Alternative Fuels, Expert group report, Studies and reports, Brussels, 2017.

## **POPIS SLIKA**

Slika 1 Povezanost između transporta, prometa i logistike.....	3
Slika 2 Ključni elementi indeksa logističkih performansi (LPI).....	5
Slika 3 Povećanje buke u slučaju udvostručenja prometa.....	15
Slika 4 Prikaz rezultata simulatorskog programa STARS .....	19
Slika 5 Povećanje produktivnost kamiona u Ujedinjenom Kraljevstvu.....	20
Slika 6 Ograničenja iskorištenja teretnog kapaciteta .....	21
Slika 7 Pregled pojavljivanja električnih vozila po kategorijama.....	25

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1 Potrebe za energijom električnih i vozila sa motorima na unutarnje izgaranje.....	38
Tablica 2 Usporedba prednosti i nedostatka alternativnih goriva .....	40



## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1 Udio out-sourcinga pojedinih logističkih usluga .....	4
Grafikon 2 Potrošnja energije po pojedinim sektorima .....	9
Grafikon 3 Potrošnja energije po pojedinim modovima transporta .....	10
Grafikon 4 Struktura tonskih kilometara u prijevozu tereta u Republici Hrvatskoj u 2017. godini i u Europskoj Uniji 2016. godine .....	11
Grafikon 5 Indeks poboljšanja energetske učinkovitosti ODEX u sektoru prometa RH.....	12
Grafikon 6 Odnos emisija CO i NO <sub>x</sub> i brzine kretanja vozila .....	14
Grafikon 7 Gubici energije teretnog vozila.....	16
Grafikon 8 Smanjenje potrošnje napretkom motora .....	18
Grafikon 9 Prognoza kretanja potrošnje dizelskog goriva .....	27
Grafikon 10 Porast količine tereta prevezenih kamionom .....	28
Grafikon 11 Predviđanje udjela pojedinih vrsta pogonskih energija do 2050. godine .....	31
Grafikon 12 Procjena kretanja troškova električnih i vozila s pogonom na vodik i gorive ćelije .....	32
Grafikon 13 Povećanje proizvodnje bio-etanola kroz godine na svjetskoj razini.....	33
Grafikon 14 Udio prirodnog plina u odnosu na ostale izvore energije .....	36
Grafikon 15 Porast broja vozila na prirodni plin.....	37
Grafikon 16 Prikaz zastupljenosti pojedine vrste goriva na području EU 2014. ....	39

## POPIS KRATICA

LPI	Indeks logističkih performansi	Logistics Performance Index
CF	Fiksni trošak vlastitog vozila	
CV	Varijabilni trošak vlastitog vozila	
CO	trošak outsourcinga po vozilu	
EU	Europska Unija	
RH	Republika Hrvatska	
ODEX	indeks energetske učinkovitosti	
CO <sub>2</sub>	Ugljični dioksid	
CH <sub>4</sub>	Metan	
N <sub>2</sub> O	Didušični oksid	
HFC	Hidrofluorougļjici	
PFC	Perfluorougļjik	
SF <sub>6</sub>	Sumporni heksafluorid	
SO <sub>2</sub>	Sumporov dioksid	
NO <sub>x</sub>	Dušični oksidi	
CO	Ugljikov monoksid	
UNFCC	Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime	
NMVOC	ne metanske hlapive organske tvari	
CEMT	Europska konferencija ministara prometa	
ADR	Međunarodni sporazum o prijevozu opasnih tvari	

ppm	dijelova u milijunu	Parts per milion
VB	Velika Britanija	
STARS	Scania kamionski i cestovni simulator	Scania Truck And Road Simulation
IT	Informatičke tehnologije	
SAD	Sjedinjene Američke Države	
AC	Naizmjenična struja	
DC	Istosmjerna struja	
BE	Bio-etanol	
BD	Bio-dizel	
B20	20.80 omjer bio-dizela i klasičnog dizela	
SPP	Stlačeni prirodni plin	
UPP	Ukapljeni prirodni plin	

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

Mtoe	ekvivalent milijun tona nafte
m	broj perioda u kojima se nedostatak vlastitih vozila nadoknađuje outsourcingom
dB	buka
km/h	brzina
l/100km	potrošnja
m	metri (duljina)
km	kilometri (duljina)
TWh	tera vat sat
MWh	mega vat sat
kWh/km	potreba za energijom po kilometru
\$US	Američki dolar
€	Euro
bar	tlak
TCF	volumen plina
°C	stupanj celzijus (temperatura)



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 **Optimizacija prijevoznih procesa po ekološkim kriterijima**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 3.9.2019

Mateo Rutavina  
(potpis)