

Prilog analizi utjecaja logistike pametnoga grada na okoliš

Perić, Mile

Doctoral thesis / Disertacija

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:307659>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

Mile Perić

**PRILOG ANALIZI UTJECAJA
LOGISTIKE PAMETNOGA GRADA
NA OKOLIŠ**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: prof. dr. sc. Dragan Čišić

Rijeka, 2016.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF MARITIME STUDIES IN RIJEKA

Mile Perić

**CONTRIBUTION TO
THE ANALYSIS OF THE
ENVIRONMENTAL IMPACT OF
SMART CITY LOGISTICS**

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2016.

Mentor: prof. dr. sc. Dragan Čišić

Doktorska disertacija obranjena je 21. srpnja 2016. na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, pred povjerenstvom:

1. dr. sc. Hrvoje Baričević, redoviti profesor Pomorskog fakulteta u Rijeci, predsjednik
2. dr. sc. Dragan Čišić, redoviti profesor Pomorskog fakulteta u Rijeci, mentor i član
3. dr. sc. Vinko Tomas, redoviti profesor Pomorskog fakulteta u Rijeci, član
4. dr. sc. Ana Perić Hadžić, docentica Pomorskog fakulteta u Rijeci, član
5. dr. sc. Sadko Mandžuka, izvanredni profesor Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, član

ZAHVALA

Ovaj dio posvećen je svima koji su doprinijeli stvaranju ove doktorske disertacije.

Za početak zahvaljujem svome mentoru prof. dr. sc. Draganu Čišiću na znanstvenom i stručnom vođenju, prenesenom znanju i iskustvu te svakodnevnom savjetovanju i nesebičnoj pomoći pri izradi ove doktorske disertacije.

Posebnu zahvalu upućujem Hrvatskom autoklubu (HAK), Centru za vozila Hrvatske (CVH) i Nastavnom Zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije na ustupljenim podacima koje sam koristio u provođenju znanstvenih istraživanja, a koja su rezultirala izradom doktorske disertacije.

Također, zahvaljujem članovima povjerenstva Pomorskog fakulteta u Rijeci na profesionalnosti i stručnosti.

Konačno, zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima što su cijelo vrijeme bili moj poticaj i potpora te što su bili puni razumijevanja tijekom mog rada i pisanja ove doktorske disertacije.

Sažetak

Doktorska disertacija - Prilog analizi utjecaja logistike pametnoga grada na okoliš – proučava kako se uporabom tehnologija i modela logistike pametnoga grada (LPG) može značajno smanjiti ekološki utjecaj urbane mobilnosti. Danas gradovi predstavljaju centre u kojima živi najveći broj stanovnika. Primjerice u gradovima Europske unije živi 70 % stanovništva i u njima se istovremeno stvara 80 % BDP-a. Procjenjuje se da je trošak zbog zakrčenosti prometa u EU 80 milijardi eura godišnje. Tom iznosu treba pridodati i dodatne troškove koji se stvaraju zbog ekologije, emisije CO₂ i troškove prometnih nesreća. Logističke potrebe se često zanemaruju pri planiranju i upravljanju gradovima pa je potreban znatan potencijal za poboljšanje djelovanja i usluga.

Analizirani su socijalni utjecaji ekoloških djelovanja na LPG. Definirani su osnovni faktori: goriva, poboljšanje učinkovitosti vozila, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti promjene, širi utjecaj na okoliš, pravičnost i dostupnost, informiranost i osviještenost, infrastruktura, određivanje cijena i oporezivanje, zakoni (propisi), troškovi smanjenja emisija, mogućnosti za smanjenje socijalnih/političkih problema, drugi ekološki utjecaji socijalna jednakost, kvaliteta života, stvaranje novih poslova i konkurentnost.

Utjecaji ekološkog djelovanja bili su neklasificirani bez definiranih međusobnih veza. Korelacija nije bila dovoljan čimbenik za hijerarhijsku klasifikaciju faktora pa se pribjeglo uporabi rudarenja podataka, metodom Bayesove klasifikacije. Čime je dobiven model hijerarhijske strukture ekoloških utjecaja i faktora

Istovremeno metodom rudarenja podataka koji su prikupljeni na eko testu na tehničkom pregledu metodom CHAD analizirana je zavisnost podataka. Kao zavisne nepoznanice postavljeni su rezultati mjerenja na eko-testu, a ishod procesa rudarenja podataka je očekivano pokazao da osnovna podjela na grane u stablu zavisi primarno o vrsti motora. U slučaju podataka o vozilima, za potrebe budućih istraživanja uporabom

simulacijskih modela te uporabom statističkih računalnih alata određene su razdiobe za snagu automobila, obujam motora, masu automobila, prijeđene kilometre i starost vozila. U radu su definirane različite mjere koje pomažu u analizi strukture prometne mreže grada. Posebno se to odnosi na mjere stožernosti, koje su se pokazale značajnim u raščlambi socijalnih mreža za potrebe analize gradske prometne strukture. Ovom metodom moguće je kod izrade strukture prometa prethodno utvrditi kritična područja i raskrižja, te s promjenom tijekova u mreži smanjiti strukturni pritisak na pojedina područja. Izrađen je model ekoloških utjecaja LPG sustava rasipanjem potražnje duž cijele prometne mreže objedinjene s metodologijom socijalnih mreža i razdiobom ekološkog utjecaja vozila.

Model je izrađen uz pretpostavku da je ekološki utjecaj u čvoru i jednak zbroju ekoloških utjecaja drugih čvorova, umanjenih za faktor koji je obrnuto proporcionalan udaljenosti između čvorova i faktorom dobivenim iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja. Svi rezultati su potvrđeni na modelu prometa grada Rijeka.

Ključne riječi: logistika pametnoga grada, socijalni utjecaji, ekološka djelovanja vozila, prometna mreža grada Rijeke.

Summary

The doctoral dissertation *Contribution to the Analysis of the Environmental Impact of Smart City Logistics* analyses how smart city logistics' technologies and models can significantly reduce the ecological effect of urban mobility. Nowadays, cities represent centres with the largest number of inhabitants. Namely, 70 % of the EU population lives in urban areas and they account for 80 % of EU's GDP. It is estimated that the costs arising from traffic congestion amount to EUR 80 billion a year. This amount should be increased by additional costs incurred due to ecology, CO₂ emissions and traffic accidents. Logistics needs are often neglected in the planning and management of cities and therefore, there is a need for considerable improvements in performance and services.

The author analyses the social impacts of ecological activity on LPG. The fundamental factors are defined as follows: fuel types, improvements in vehicle performance, vehicle technologies, transport efficiency, management of transport infrastructure, integration of transport systems, safety and security, and economic aspects of change, broader impact on the environment, fairness and accessibility, knowledge and awareness, infrastructure, pricing and taxation, laws (regulations), the cost of reducing emissions, possibilities for reducing social /political problems, other environmental influences, social equality, quality of life, creation of new jobs and competitiveness.

The effects of ecological activity have been unclassified and their interconnections undefined. As correlation was not sufficient for a hierarchical classification of factors, the author applied a data mining technique – the Bayesian classification, which provided for a hierarchical structure model of ecological effects and factors.

At the same time, the dependencies between data have been analysed by mining data collected on the ECO test during technical inspection of vehicles using the CHAD method. The eco-test measurements are taken as dependent variables and data mining has, as expected, shown that the basic tree branching primarily depends on the type of engine. By applying simulation models and statistical software tools

on vehicle data distributions are derived for car power, engine volume, car weight, mileage and age. These results represent basis for future research. The dissertation defines different measures that help in the analysis of a city's transport network. This particularly applies to pivoting measures that have proven to be significant in the diversification of social networks for the purpose of analysing a city's transport infrastructure. This method makes it possible to identify the critical areas and intersections prior to designing the transport structure and thus by making changes in the flows within the network reduce the structural pressure in certain areas.

The author developed a model of ecological effects of the LPG system by dissipating the demand along the entire transport network integrated by social network methodology and the distribution of the ecological effects of vehicles. The model is built on the assumption that the ecological effect is in the node and represents the sum of ecological effects of other nodes minus the factor that is inversely proportional to the distance between the nodes and the factor obtained from the probability distribution of ecological effects. All results are confirmed on the transport model of the city of Rijeka.

Key words: smart city logistics, social effects, ecological effects of vehicle use, transport network of the city of Rijeka.

Sadržaj

ZAHVALA.....	IX
SAŽETAK.....	X
SUMMARY	XII

1. UVOD	1
1.1. Definicija znanstvenog problema i predmeta istraživanja	2
1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze	5
1.3. Svrha i ciljevi istraživanja.....	5
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja	7
1.5. Znanstvene metode istraživanja	9
1.6. Struktura doktorske disertacije	10
2. LOGISTIKA PAMETNOGA GRADA (LPG)	13
2.1. Osnovni pojmovi	13
2.2. Temeljni koncepti	15
2.3. Dionici	16
2.4. Sheme logistike pametnoga grada	17
2.4.1. <i>Pregled</i>	<i>17</i>
2.4.2. <i>Napredni informacijski sustavi.....</i>	<i>18</i>
2.4.3. <i>Sustavi zajedničkog prijevoza tereta.....</i>	<i>18</i>
2.4.4. <i>Javni logistički terminali.....</i>	<i>19</i>
2.4.5. <i>Kontrole faktora opterećenja</i>	<i>19</i>
2.5. Modeliranje.....	20
2.5.1. <i>Ograničenja modela</i>	<i>20</i>
2.6. Sustavni pristup	21
2.6.1. <i>Definicija problema.....</i>	<i>23</i>
2.6.2. <i>Ciljevi.....</i>	<i>23</i>
2.6.3. <i>Kriteriji.....</i>	<i>23</i>

2.6.4. Resursi	24
2.6.5. Ograničenja	24
2.6.6. Alternative.....	25
2.6.7. Prikupljanje podataka	26
2.6.8. Modeli	26
2.6.9. Vrednovanje	27
2.6.10. Analiza osjetljivosti	27
2.6.11. Izbor	27
2.6.12. Provedbe	28
2.6.13. Ispitivanje.....	28
3. MODELIRANJE LOGISTIKE PAMETNOGA GRADA	29
3.1. Okvir modeliranja	29
3.1.1. Značajke mreže.....	29
3.1.2. Značajke industrije i stanovništva	30
3.1.3. Modeli opskrbe	30
3.1.4. Modeli potražnje	31
3.1.5. Razina usluge prometne mreže	31
3.1.6. Korištenje mreže	31
3.1.7. Modeli utjecaja	31
3.1.8. Ekonomski utjecaji.....	31
3.1.9. Financijski utjecaji	32
3.1.10. Društveni utjecaji	33
3.1.11. Utjecaji na okoliš	33
3.1.12. Energetski utjecaj	34
3.2. Proces razvoja modela	34
3.2.1. Definiranje problema	35
3.2.2. Ciljevi	36
3.2.3. Kriteriji.....	36
3.2.4. Analiza sustava	37
3.2.5. Sinteza sustava	37
3.2.6. Razvoj softvera	37
3.2.7. Provjera	38
3.2.8. Validacija	38

3.2.9. <i>Primjena</i>	38
3.3. Modeli ponude i potražnje	39
3.3.1. <i>Stvaranje potražnje</i>	39
3.3.2. <i>Distribucija</i>	41
3.3.3. <i>Odabir načina prijevoza</i>	42
3.3.4. <i>Odabir rute</i>	43
3.3.5. <i>Simulacijski modeli</i>	43
3.3.6. <i>Trajanje transporta</i>	44
3.3.7. <i>Troškovi</i>	45
3.4. Modeli utjecaja	47
3.4.1. <i>Društveni i ekonomski modeli</i>	47
3.4.2. <i>Okolišni modeli</i>	48
3.4.3. <i>Financijski modeli</i>	54
3.4.4. <i>Modeli potrošnje energije</i>	58
4. EKOLOŠKI UTJECAJ LPG-a	63
4.1. Ekološki utjecaji	63
4.2. Ekološki standardi	64
4.2.1. <i>Razine onečišćujućih tvari u zraku</i>	64
4.2.2. <i>Provjera ispušnih plinova vozila putem ekotesta</i>	65
4.2.3. <i>Standardne vrijednosti emisije CO₂ za nova motorna vozila</i>	66
4.2.4. <i>Ciljane vrijednosti specifičnih emisija</i>	67
4.2.5. <i>Premija za prekomjerne emisije</i>	68
4.3. Metode mjerenja ekoloških utjecaja	70
4.3.1. <i>Metode mjerenja ekoloških utjecaja na mjernim postajama na području PGŽ</i>	70
4.3.2. <i>Metode izračunavanja emisije ispušnih plinova i potrošnje goriva</i>	76
4.3.3. <i>Metode mjerenja i kontrole ispušnih plinova cestovnih motornih vozila</i>	77
5. POKAZATELJI EKOLOŠKIH UTJECAJA NA LPG	82
5.1. Mjere za smanjenje stakleničkih plinova	82
5.2. Goriva	85

5.2.1.	<i>Stanje razvoja alternativnih goriva za teretna vozila</i>	86
5.2.2.	<i>Trenutna upotreba alternativnih goriva u teretnim vozilima</i>	89
5.2.3.	<i>Troškovi i prednosti</i>	91
5.2.4.	<i>Mogućnost napretka</i>	93
5.3.	Sustavi pohrane energije	95
5.3.1.	<i>Akumulatori</i>	95
5.3.2.	<i>Električna i hibridna vozila</i>	96
5.3.3.	<i>Gorive ćelije</i>	97
5.4.	Tehnologija vozila	97
5.4.1.	<i>Postupci za smanjivanje štetnih tvari</i>	98
5.4.2.	<i>Produkti i procesi izgaranja</i>	99
5.4.3.	<i>Smanjenje sadržaja štetnih ispušnih plinova benzinskih motora</i>	103
5.4.4.	<i>Redukcija sadržaja štetnih ispušnih plinova dizelskih motora</i>	104
5.4.5.	<i>Hibridni pogoni</i>	105
5.5.	Infrastruktura — kooperativni sustavi u prometu i transportu	113
5.6.	Pravna regulativa zaštite okoliša	119
5.6.1.	<i>Ekološki porezi na svjetskoj razini i u Europskoj uniji</i>	120
5.6.2.	<i>Pravna regulativa zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj</i>	121
6.	ANALIZA SKUPA POKAZATELJA	133
6.1.	Analiza prikupljenih podataka	133
6.2.	Statistička analiza podataka	137
6.3.	Regresijska analiza	142
6.4.	Hijerarhijska analiza upotrebom Bayesovih mreža	143
7.	MODEL ANALIZE EKOLOŠKOG UTJECAJA VOZILA	145
7.1.	Ekološki utjecaj osobnih vozila	145
7.1.1.	<i>Praćenje prometa sustavom za vizualno uočavanje u realnom vremenu</i>	145
7.1.2.	<i>VECTOR</i>	145
7.1.3.	<i>Modeli za izračun emisije ispušnih plinova za pojedinačno vozila</i>	147
7.1.4.	<i>Specifična snaga vozila – VSP (Vehicle Specific Power)</i>	147

7.2. Ekološki utjecaj teretnih vozila.....	149
7.2.1. Metode mjerenja i upravljanje emisijom CO ₂ transportnim operacijama	149
7.2.2. Kalkulacijska metoda bazirana na principu aktivnosti	150
7.2.3. Kalkulacijska metoda bazirana na principu energije	150
7.2.4. Koeficijenti za izračun prosječne emisije CO ₂ u cestovnom prijevozu tereta prema McKinnonu	151
8. ANALIZA PODATAKA IZRAČUNA EKOLOŠKOG UTJECAJA VOZILA	152
8.1. Analiza prikupljenih podataka	152
8.2. Statistička analiza podataka	153
8.2.1. Analiza emisije CO ₂ (staklenički plinovi).....	155
8.2.2. Analiza emisije CO ₂ lakih vozila s područja grada Rijeke.....	156
8.2.3. Analiza emisije CO ₂ teških vozila s područja grada Rijeke.....	160
8.2.4. Rezultati analize emisije CO ₂ svih vozila s područja grada Rijeke u 2015. g.....	162
8.3. Regresijska analiza	164
8.4. Modeli razdiobe vjerojatnosti	170
8.4.1. Snaga automobila	171
8.4.2. Obujam motora.....	172
8.4.3. Masa automobila	174
8.4.4. Prijeđeni kilometri	175
8.4.5. Starost	177
9. MODEL ANALIZE PROMETNE MREŽE METODAMA ANALIZE SOCIJALNIH MREŽA.....	179
9.1. Analiza socijalnih mreža	179
9.2. Metrika	180
9.3. Model analize prometne mreže upotrebom socijalnih mreža.....	184
9.4. Primjena na modelu prometne mreže grada Rijeke.....	186
10. ZAKLJUČAK	198

LITERATURA.....	204
POPIS KRATICA I AKRONIMA.....	213
POPIS OZNAKA I SIMBOLA	216
POPIS SLIKA.....	219
POPIS TABLICA.....	221
ŽIVOTOPIS	223

1. UVOD

Danas gradovi predstavljaju centre u kojima živi najveći broj stanovnika, stoga se u njima stvara i najveći dio BDP-a. Primjerice, u gradovima živi oko 70 % stanovnika Europe i u njima se stvara više od 80 % BDP-a, pa je uslijed toga mobilnost unutar gradova sve teža i neučinkovitija. Promet u gradovima ponajviše se zasniva na upotrebi osobnih automobila na uobičajena goriva, a neefikasan je i napredak prema učinkovitijim i održivim oblicima prijevoza. Gotovo svi gradovi i mjesta opterećeni su zakrčenošću prometa, što predstavlja procijenjeni trošak od 80 milijardi eura godišnje.

Koncept logistike pametnoga grada (LPG) (Taniguchi 2001, Taniguchi and Thompson 2004, Hesse 2008, Zamalloa Diaz, Kohsel et al., 2011) ima potencijal za rješavanje većeg broja složenih problema povezanih s cijelim nizom djelatnosti. (Taniguchi 2001) definira LPG kao "proces za potpuno optimiziranje logistike i djelatnosti prijevoza od strane tvrtki u urbanim područjima s obzirom na prometni okoliš, prometne gužve i potrošnju energije u okviru tržišnog gospodarstva". Cilj LPG-a na globalnoj razini je stvaranje i upravljanje logističkim sustavima u urbanom području s ciljem dobrobiti i pomirbe različitih ciljeva javnosti i privatnog sektora. Privatni sektor ima cilj smanjivanja troškova, dok javni sektor nastoji ublažiti prometne gužve i ekološke probleme.

LPG je bitna za djelotvorno funkcioniranje gradova i ima veliko učešće u gradskom prometu kao dijelu regionalnih, nacionalnih i međunarodnih dobavnih lanaca. Od LPG-a se očekuje konstantan porast, što dodatno okrupnjava njezine velike vanjske troškove. Logističke se potrebe često zanemaruju, pri planiranju i upravljanju gradovima, pa je zato potreban znatan potencijal za poboljšanje djelovanja i usluga LPG-a. Posebno se naglašava potreba za promjenom voznog parka u gradovima, s ciljem upotrebe alternativnih goriva radi smanjenja emisija i ovisnosti o nafti. Cilj EU-a je da se do 2050. godine znatno smanji proizvodnja CO₂ u gradskim središtima, upotrebom pametne regulacije pristupa i naplatom uporabe gradskog prostora. Reguliranjem dostupnosti vozila gradu treba pridonijeti optimiranju pristupa, poboljšanju kvalitete zraka i ispunjenju cilja da se do 2050. godine iz gradskih središta postupno isključe automobili na uobičajena goriva. Harmonično uvođenje

gradskih inteligentnih prometnih sustava, inovativne pametne tehnologije, posebice inteligentnih prometnih sustava glavni su čimbenici koji omogućavaju projektiranje mobilnosti u gradu. ITS pomaže da se raznim uređajima poput pametnih semafora, sustava za planiranje putovanja ili kooperativnih sustava (sustavi komunikacije vozila s vozilom i vozila s infrastrukturom) optimira upotrebu postojeće infrastrukture, čime se potiče usklađeno upravljanje cestovnim, javnim te prijevozom roba.

1.1. Definicija znanstvenog problema i predmeta istraživanja

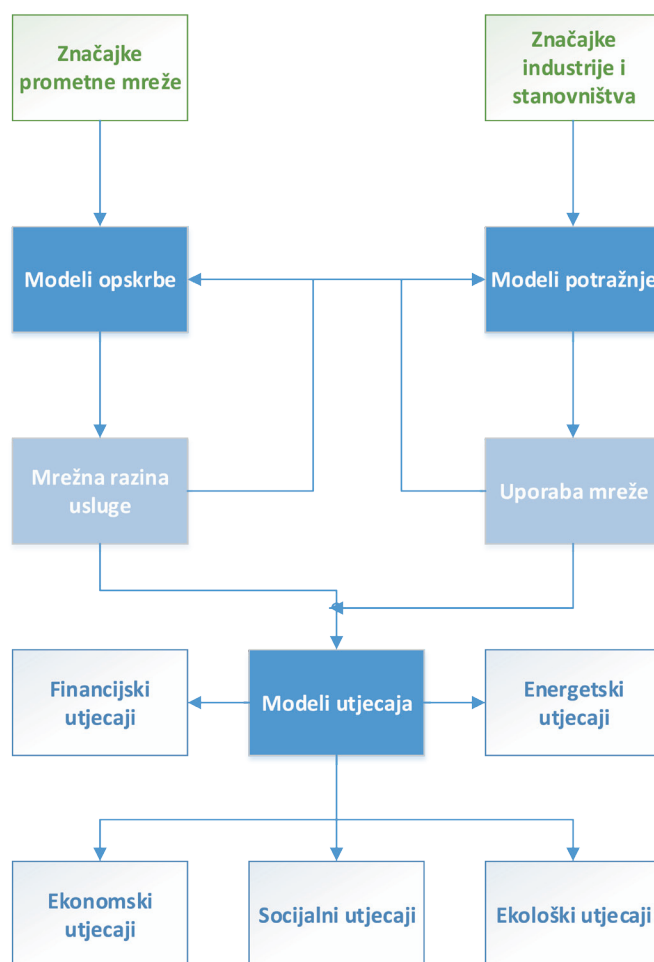
Za vrednovanje i planiranje potrebna je kvantifikacija posljedica LPG-a. Za predviđanje utjecaja poticaja LPG-a, u svrhu procjene efikasnosti i uporabljivosti, treba pristupiti modeliranju sustava. Modeli bi trebali opisivati ponašanje ključnih dionika uključenih u gradskom teretnom prometu. Oni bi također trebali uključiti aktivnosti prijevoznika, uključujući teretni prijevoz i skladištenje u gradu. Modeli moraju opisati protok prometa na gradskim prometnicama kako za osobna vozila tako i za teretna vozila. Modeli, također trebaju kvantificirati promjene u troškovima logističkih aktivnosti i prometne gužve, emisiju štetnih plinova i razine buke i slično.

Modeliranje LPG-a je izazovan zadatak, jer postoje mnoge složene logističke aktivnosti za svaku od zainteresiranih strana, kao i veliki broj različitih kriterija za procjenu. Treba biti vrlo oprezan u tome koje aktivnosti dionika treba uzeti u obzir i koje kriterije ocjenjivanja treba predvidjeti. Osim toga, modeliranje prometa na prometnoj mreži je važna komponenta LPG-a. Promet teretnih vozila predstavlja samo dio ukupnog prometa na gradskim cestama. Modeli LPG-a trebaju uzeti u obzir osobna i teretna vozila i usredotočiti se na učinke koje proizvode teretna vozila. To zahtijeva poseban tretman teretnih i putničkih vozila u formiranju podrijetla i odredišta matrice i dodjele prometa.

U ovome trenutku, dosadašnji modeli su ograničeni u potencijalu kvantitativnog predviđanja svih učinaka mjera LPG-a, zbog činjenice da je promet roba u gradu vrlo kompleksan sustav s brojnim zainteresiranim stranama. Postojeći razvijeni matematički pristupi modeliranja nisu dovoljni za potpuno opisivanje cjeline urbanih prometnih sustava. Konkretno, interakcija između zainteresiranih strana nije dobro

zastupljena u postojećim modelima. Druga teškoća pri modeliranju LPG-a proizlazi iz činjenice da ona uključuje gospodarske aktivnosti tvrtki, osobna i javna vozila te općenito – promet.

Postoje tri glavne vrste mrežnih modela potrebnih za predviđanje učinaka LPG inicijativa: (a) modeli opskrbe, (b) modeli potražnje i (c) modeli utjecaja. Ove tri vrste modela međusobno su u interakciji kako bi se stvorio integrirani okvir (Slika 1.1.). Modeli opskrbe predviđaju razinu usluge u teretnom sustava i temelje se na karakteristikama mreže i potražnje. Modeli potražnje predviđaju potražnju mobilnosti urbane robe na temelju karakteristika industrije i stanovništva, uključujući i razinu usluge. Modeli utjecaja predviđaju financijske, energetske, socijalne, ekološke i ekonomske utjecaje LPG-a utemeljene na predviđanju potražnje i razine usluge.



Slika 1.1. Modeli LPG-a (Taniguchi 2001)

Opskrbni modeli se koriste za predviđanje razine usluga transportnog sustava. Za procjenu troškova upotrebe mreže kombiniraju se fizičke karakteristike prometne

mreže s predviđanjem. Opće mjere uspješnosti, zajedničke, uključuju vrijeme putovanja i troškove poslovanja.

Modeli potražnje predviđaju razinu potražnje (vozila ili roba) za prometnim sustavom. Često su od interesa vremenske promjene (u jednom danu). Pri modeliranju LPG-a ujedno je potrebno, predviđanje obrazaca potražnje za različite vrste vozila primjerice – osobna vozila, laki kamioni i zglobna vozila.

Mrežna razina usluge uključuje utvrđivanje performansi prometnog sustava uključujući, najčešće, vrijeme putovanja i operativne troškove. Uz to je potrebno za predvidjeti troškove transportnog sustava za korisnike. Potrebno je predvidjeti potražnju, jer se izvedba transportnih sustava često pogoršava s povećanjem potražnje.

Upotreba mreže zahtijeva predviđanje potražnje u vidu vozila i robnih tokova za određenim modalitetima i rutama (prometne veze). Ova informacija omogućuje opskrbnim modelima predviđanje troškove za korisnike sustava.

Modeli utjecaja kvantificiraju upotrebu procijenjene potražnje i razine usluga LPG-a. Utjecaji mogu biti klasificirani u više kategorija, uključujući – ekonomske, financijske, socijalne, energetske i utjecaje na okoliš. Ekonomski utjecaji najčešće su kvantificirani upotrebom cost-benefit analize da bi se procijenila ekonomska održivost projekata i usporedili ekonomski učinci LPG modela. Financijski utjecaji najčešće se kvantificiraju upotrebom metoda neto sadašnje vrijednosti, interne stope povrata i razdoblja povrata investicije. LPG najčešće utječe na smanjenje troškova goriva, kapitala i održavanja prometnih sredstava i mreža. Socijalni utjecaji su najčešće subjektivni i zavise od distinktivnih grupa korisnika te se kreću od estetike do socijalnih utjecaja prometnih nesreća.

Postoje brojni neželjeni negativni učinci kretanja urbane robe, koji mogu predstavljati izravnu opasnost za ljudsko zdravlje. Potrebno je kvantificirati promjene u emisijama onečišćujućih tvari, buke ili vibracije. Kamioni obično čine mali postotak (oko 10 %) od ukupnog gradskog prometa, međutim često čine znatan postotak ukupne emisije onečišćenja. Staklenički plinovi, koji nastaju iz ispušnih plinova kamiona veliki su problem u mnogim gradovima. Ovisno o motorima i gorivima koje koriste vozila, razine emisije trebaju biti kvantificirane za sljedeće onečišćujuće tvari: CO, CO₂, NO_x, SO₂, HC i mikročestice.

1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze

Na temelju definiranog problema i predmeta istraživanja, postavlja se radna hipoteza istraživanja koja glasi: Upotrebom tehnologija i modela logistike pametnoga grada moguće je značajno smanjiti ekološki utjecaj urbane mobilnosti.

Temeljem osnovne znanstvene hipoteze postavljaju se pomoćne hipoteze kako slijedi:

- PH 1: Analizom socijalnih utjecaja moguće je odrediti pokazatelje ekoloških utjecaja na LPG
- PH 2: Upotrebom metode ispitivanja moguće je definirati model ekoloških utjecaja na LPG
- PH 3: Upotrebom metode klasifikacije i rudarenja podataka moguće je otkriti hijerarhijsku strukturu faktora ekoloških utjecaja na LPG
- PH 4: Statističkom analizom moguće je definirati modele razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
- PH 5: Primjenom analize socijalnih mreža moguće je analizirati strukturu prometne mreže grada
- PH 6: Moguće je izgraditi model rasipanja potražnje i upotreba mreža metodama analize socijalnih mreža
- PH 7: Moguće je modelirati ekološki utjecaj LPG sustava modelom rasipanja potražnje, analizom socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
- PH 8: Rezultati će se potvrditi na modelu LPG-a grada Rijeke.

1.3. Svrha i ciljevi istraživanja

Svrha istraživanja je rješavanje problema utjecaja logistike pametnoga grada na okoliš.

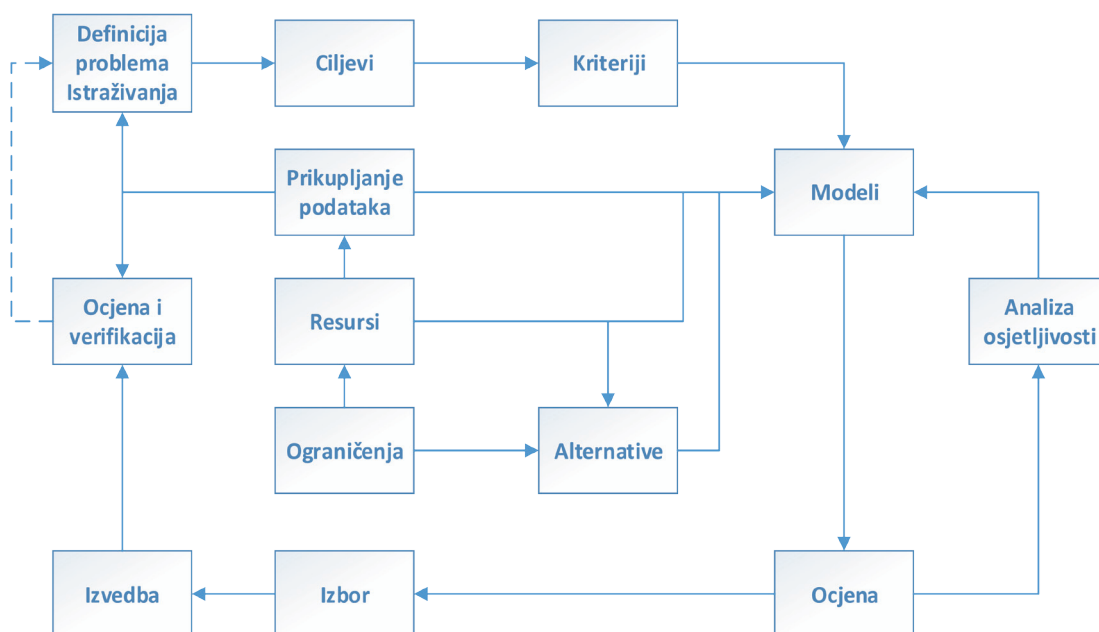
Cilj doktorske disertacije je izrada modela:

1. ekološkog utjecaja na LPG
2. razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
3. rasipanja potražnje i socijalnih mreža
4. rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

Da bi se ostvarila postavljena svrha i cilj istraživanja postavljeni su sljedeći zadaci istraživanja:

- analizirati dosadašnje teorijske spoznaje iz područja LPG-a
- utvrditi kriterije i analizirati rezultate ispitivanja
- analizirati podatke ekološkog utjecaja vozila
- rudariti podatke ekološkog utjecaja pojedinih vrsta vozila
- definirati razdiobe faktora utjecaja pojedinih vrsta vozila
- definirati metriku i modelirati urbanu prometnu mrežu upotrebom analize socijalnih mreža
- integrirati model rasipanja potražnje i socijalnih mreža za prometnu urbanu mrežu
- integrirati model rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
- transformirati model u programski kod
- testirati model na primjeru prometne mreže grada Rijeke.

Plan istraživanja doktorske disertacije sastoji se od više osnovnih faza istraživanja koje su slikovito prikazane dijagramom toka



Slika 1.2. Metodologija utvrđivanja problema i određivanja rješenja

Rezultati znanstvenog istraživanja koji su prezentirani u predmetnoj doktorskoj disertaciji impliciraju znanstveni doprinos tehničkim znanostima u teorijskom i praktičnom smislu.

Znanstveni doprinos istraživanja je u postavljenim i verificiranim modelima:

1. ekoloških utjecaja na LPG
2. razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
3. rasipanja potražnje i socijalnih mreža
4. rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

U odnosu na primjenu rezultata znanstvenih istraživanja, dobiveni rezultati utjecat će na proces donošenja odluka na taktičko-operativnoj razini planiranja i modeliranja LPG-a.

Ukupni znanstveni doprinos u teorijskom smislu odnosi se na:

- postavljanje sistematiziranog prikaza dosadašnjih metoda i rezultata istraživanja na području LPG
- razvoj znanstvene misli o upravljanju tehnološkim procesima i donošenju odluka na strateškoj, taktičkoj i operativnoj razini LPG.
- Izradi modela:
 - ekoloških utjecaja na LPG
 - razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
 - rasipanja potražnje i socijalnih mreža
 - rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

Doprinos u aplikativnom smislu odnosi se na podršku odlučivanju prilikom izrade modela, zasnivanja i analize LPG-a.

Rezultati znanstvenog istraživanja do kojih se došlo u ovoj doktorskoj disertaciji potvrđuju postavljenu radnu hipotezu istraživanja.

1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Mobilnost osoba je od strane javnosti shvaćena kao nužnost, urbani prijevoz tereta obično se vidi kao "loš susjed" koji stvara velike probleme za okoliš i ometa učinkovito kretanje ljudi. Ova predrasuda često predstavlja prepreku širokoj prenosivosti i održivosti već postojećih rješenja. Na međunarodnoj, nacionalnoj, regionalnoj i

lokalnoj razini poduzeto je više inicijativa u svrhu poboljšanja učinkovitosti, smanjenje eksternalija i promidžbe bolje slike urbanog teretnog prometa. Velik dio projekata dao je značajne rezultate, dok druge, često obećavajuće inicijative, nisu uspjele proizvesti rezultate u svom punom potencijalu ili se dobivene rezultate nije dalje moglo iskoristiti izvan pilot projekta.

Politike urbane mobilnosti i LPG istražuje niz javnih inicijativa i projekata. Radna skupina OECD o LPG usredotočuje se na nova rješenja u cilju smanjivanja zagađenja, buke i zagušenja uzrokovanih prijevozom tereta, te utvrđivanjem najboljih praksi kroz ocjenu inovativnih pristupa u OECD gradovima (OECD, 2003).

Projekti BESTUFS I i II sumiraju najbolje prakse urbanih teretnih rješenja iz europske perspektive (www.bestufs.net, Allen. 2007). Ovi projekti predstavljaju važnu prekretnicu zbog globalnog pogleda na LPG i zbog uspostavljanja mreže eksperata i relevantnih dionika čime se omogućilo povezivanje politike i preporuka istraživanja koji se odnose na kretanje roba u urbanim područjima.

Inicijativa "Trendsetter" opisuje 54 projekta s ciljem poboljšanja mobilnosti, kvalitete života, kvalitete zraka, smanjenja buke i gužve, a pet europskih gradova sudjeluje u provedbi inovativnih koncepata gradske logistike (www.trendsetter-europe.org).

CIVITAS inicijativa promiče gradske logističke sustave u smislu održivosti te čistih i učinkovitih mjera urbanog prijevoza. Od 2008. do 2012. godine, 25 europskih gradova je sudjelovalo u pet pilot programa (www.civitas-initiative.org). Institut za gradsku logistiku (www.citylogistics.org) usmjerava istraživačke aktivnosti u svim vidovima koji proizlaze iz i oko urbanog teretnog prijevoza. Od svog osnutka u Kyotu, Japan, 1999. godine, organiziran je veći broj međunarodnih konferencija o LPG-u, što je rezultiralo monografijama koje pružaju najnoviji uvid u koncepcije i implementacije LPG-a. Koncept LPG-a, ima za cilj poboljšanje urbanog teretnog prijevoza uz integriranu analizu prometne infrastrukture, prometnih resursa te političke i ekonomske okoline.

Od tada, pojavilo se nekoliko drugih relevantnih inicijativa na nacionalnoj i gradskoj razini (CCBCN 2008 - Köhler, 2001 - MIRACLES, 2006).

Očito, trenutno stanje istraživanja LPG je vrlo opsežno i zbog toga će se istraživanja u ovome području usmjeriti na faktore ekoloških utjecaja na LPG, rasipanja potražnje

i socijalnih mreža te ekološkog utjecaja vozila, uz istraživanje učinkovite kombinacije navedenih gledišta koje potencijalno, može dovesti do veće prednosti od fokusiranja na jedan specifičan aspekt.

Nadalje, identificirane su barijere i prepreke šire tržišne penetracije (CIVITAS, SUCCESS, START, itd.) i kao i određeni zahvati u gradovima (La Rochelle i Barcelona) te nacionalne fiskalne promotivne kampanje (PowerShift u Velikoj Britaniji). ICT alati predstavljaju širok spektar primjene od praćenja vozila i kontejnera do planiranja puta, cestarina itd., a bili su u središtu pozornosti nekoliko istraživačkih inicijativa s ciljem poboljšanja učinkovitosti gradskog prijevoza tereta (npr. SMARTFREIGHT, FREILOT, FREIGHTWISE, CORELOG, Gina, ENLoCC, IMONODE itd) čime su stvorene pretpostavke za ekološki prihvatljivije i sigurnije tekuće poslovanje tvrtki (npr. COFRET).

Operativni alati predstavljaju područje koje se intenzivno istražuje uvođenjem raznih mjera, koje se provode s ciljem postizanja učinkovite LPG-a. Jedna od mjera je stvaranje gradskih konsolidacijskih središta, s ciljem optimizacije prometa u tzv. krajnjem kilometru ("last mile"). Nekoliko istraživanja inicijativa (poput BESTUFS, START itd.) su pokazala pozitivan učinak ovih mjera na mobilnost, kao i slabosti koje su vezane prvenstveno na financiranje takvih projekata.

Marketinški alati su također pokazali utjecaj na učinkovitost zaštite okoliša LPG-a, uglavnom kroz sheme prepoznavanja (npr. ECOSTAR projekt koji je uveo oznake zelenog označavanja *Green labelling*).

1.5. Znanstvene metode istraživanja

U razmatranju i obradi tematike u ovoj doktorskoj disertaciji korištene su sljedeće znanstvene metode istraživanja: metoda analize i sinteze, metoda klasifikacije, metoda kompilacije, metoda komparacije, metoda deskripcije, statistička metoda, induktivna, deduktivna metoda te metoda specijalizacije i generalizacije.

Budući da se glavni dio istraživanja odnosi na modeliranje ekoloških utjecaja LPG-a, korištene su metode analize, klasifikacije te statističke metode.

Za dokazivanje postavljene hipoteze prvenstveno je korištena metoda ispitivanja i modeliranja. Za analizu dobivenih podataka korištene su statističke metode uključujući i metode rudarenja podataka upotrebom Bayesovih mreža.

Metodom apstrakcije modelirane su veze među pokazateljima koji su dobiveni metodom ispitivanja.

Upotrebom metoda analize socijalnih mreža određene su međusobne veze, razdiobe entiteta i segmentacija te agregacija i rudarenje podataka, širenje uzduž modelirane mreže, te lokacijska analiza interakcija.

Tijekom pojedinih faza istraživanja primjenjivana je metodologija sustavnog pristupa budući da LPG sustav čini veliki broj podsustava i entiteta.

Navedene znanstveno-istraživačke metode koristile su se za rješavanje postavljenih zadataka istraživanja te su se korektno, na uobičajen način, citirana tuđa opažanja, stavovi, spoznaje i zaključci.

1.6. Struktura doktorske disertacije

S obzirom na predmet i problem istraživanja, te s obzirom na sve objekte istraživanja, ova doktorska disertacija je organizirana i izložena kroz deset poglavlja koji čine funkcionalnu cjelinu.

U prvom dijelu, UVODU, kao što je to i uobičajeno, definiran je problem, predmet i objekti istraživanja, postavile su se znanstvena (glavna) hipoteza i pomoćne hipoteze, opisala se svrha i ciljevi istraživanja, izložen je pregled dosadašnjih istraživanja i rezultata najznačajnijih radova, ukratko su navedene sve korištene znanstvene metode, te se obrazložila struktura doktorske disertacije.

U drugom dijelu s naslovom LOGISTIKA PAMETNOGA GRADA opisana je pozadina gradske logistike, istaknuti su problemi vezani uz logističke aktivnosti teretnih prijevoznika, kao i socijalni problemi, uključujući probleme okoliša, zagušenja te ušteda energije u gradskim područjima. Analizira se utjecaj ITS-a (Inteligentnih Transportnih Sustava) koji mogu svojim učinkovitim mjerama doprinijeti smanjenju troškova prijevoza tereta i rješavanju socijalnih problema.

U trećem poglavlju s naslovom MODELIRANJE LOGISTIKE PAMETNOGA GRADA prvo je opisan okvir modeliranja, tri tipa mrežnih modela (modeli opskrbe, modeli potražnje i modeli utjecaja), zatim je prikazana analiza učinaka inicijativa LPG-a, promjena različitih parametara (ekonomskih, financijskih, društvenih, okolišnih i energetske) u gradskom distribucijskom sustavu bez mijenjanja ciljanog sustava. Zatim prikazan je proces razvoja modela, od definiranja problema, kriterija, analize sustava, prikupljanja podataka, razvoja softvera, verifikacije, procjene sustava i primjene modela. Kod analize sustava prikazana je analiza troškova i koristi, analiza profitabilnosti te njihove primjene. Također su prikazani modeli za procjenu potrošnje goriva.

U četvrtom poglavlju EKOLOŠKI UTJECAJI LPG-a dan je prikaz ekoloških utjecaja prometa, prikazani su ekološki standardi, kategorije kakvoće zraka u određenom području mjerenja, provjera ispušnih plinova putem ekotesta. Također su prikazane metode mjerenja ekoloških utjecaja u RH i u svijetu.

U poglavlju POKAZATELJI EKOLOŠKIH UTJECAJA NA LPG dan je prikaz mjera za smanjenje stakleničkih plinova. Tijekom istraživanja strukturiran je i opisan skup od petnaest različitih mjera za smanjenje emisije stakleničkih plinova.

U poglavlju ANALIZA SKUPA POKAZATELJA predstavljene su mjere za smanjenje CO₂ u području logistike, posebice prijevoza. Prepoznati su i analizirani temeljni pokazatelji ekoloških utjecaja na logistiku pametnoga grada (goriva, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti, širi utjecaj na okoliš, pravičnost i dostupnost, informiranost i osviještenost, infrastruktura, određivanje cijena, oporezivanje i regulacija). Podaci su dobiveni kroz anketiranje značajnog broja stručnjaka te statistički obrađeni. Koristeći se dubinskom obradom podataka, izdvojene su informacije iz grupe podataka te konvertirani u razumljivu strukturu za daljnju upotrebu. Korištena je regresijska analiza, višerazinska hijerarhija te analiza osnovnih faktora. Završno je korišten Bayesov klasifikator kako bi se definirala Bayesova mreža u cilju prikazivanja međupovezanosti odabranih faktora.

U sedmom poglavlju dan je model analize ekološkog utjecaja vozila. Izrađeni su modeli za izračun ispušnih plinova za pojedinačno vozilo i različite metode izračuna CO₂ za teretna vozila.

U osmom poglavlju napravljena je analiza izračuna ekološkog utjecaja vozila nad podacima informacijskog sustava Centra za vozila Hrvatske (CVH). Izvršena je statistička analiza podataka (analiza emisije CO₂ osobnih i teških vozila na području grada Rijeke) i diskusija rezultata analize. Prikazani su rezultati regresijske analize – stablo odlučivanja za različite parametre. U ovome poglavlju za potrebe simulacijske analize, kao i budućih istraživanja izrađeni su modeli razdiobe vjerojatnosti za pojedine faktore u modelu (snaga motora, obujam motora, masa vozila, prijeđeni kilometri i starost vozila).

U poglavlju MODEL ANALIZE PROMETNE MREŽE METODAMA ANALIZE SOCIJALNIH MREŽA prvo je dana analiza socijalnih mreža, zatim je prikazana metrika, model analize prometne mreže upotrebom socijalnih mreža. Za model se koristi ponderirana mreža prometnih s nekoliko svojstava primjerice, ponderirana distribucija stožernosti, klaster koeficijenata, heterogenost tokova. Pripremljen je pojednostavljeni model cestovne mreže za grad Rijeku, te su izračunani osnovni čimbenici, posebice upotrebom socijalnih mreža. Izračunana je stožernost svojstvenog vektora i rezultati su grafički prikazani, tako da je moguće vrlo brzo otkriti kritična područja u prometnom sustavu grada Rijeke. Prema modelu objedinjavanja rasipanja potražnje i metode socijalnih mreža izračunan je vektor stožernosti protoka. Na kraju je izračunan vektor ekološkog utjecaja za svaki pojedini čvor. U modelu je rabljena matrica udaljenosti temeljena na analizi socijalnih mreža, ali bi za praktičnu upotrebu bilo bolje rabiti stvarnu matricu udaljenosti pojedinih čvorova (raskrižja) gradske prometne mreže.

Svi dobiveni rezultati su znanstveno izneseni uz diskusiju.

U posljednjem dijelu rada naslova ZAKLJUČAK, prezentirani su svi relevantni zaključci i preporuke za daljnja istraživanja.

Nakon iznesenog sadržaja svih deset dijelova ove doktorske disertacije, popisane su sve korištene reference, kratice, oznake i simboli, indeksi, slike i tablice. Na kraju je priložen i kratki životopis doktoranda.

2. LOGISTIKA PAMETNOGA GRADA (LPG)

2.1. Osnovni pojmovi

U zadnje vrijeme gradski prijevoz tereta se suočava s brojnim problemima. Od teretnih prijevoznika očekuje se pružanje veće razine usluga uz točnost dostave (u zadano vrijeme) i snižene troškove. Razine zagušenja na gradskim cestama su u stalnom porastu zbog povećanja mobilnosti, koja generira ekonomski razvoj i socijalnu slobodu. U mnogim gradovima javljaju se veliki problemi zagušenja, zagađenosti, buke, korištenja prostora, problema dostupnosti koji su uzrokovani porastom prometa. Veliki kamioni uzrokuju znatno onečišćenje zraka emisijom NO_x, "čvrste čestice" te drugih plinova u urbanim područjima. Očuvanje energije je također važno pitanje ne samo zbog ograničene količine prirodnih resursa na raspolaganju, nego i za smanjenje emisije CO₂ kako bi se ograničilo globalno zagrijavanje. Kamionske nesreće često dovode do znatnih trauma za zajednicu.

Sve više proizvođača automobila u svom programu ima hibridna vozila s povoljnim učinkom po okoliš, kao i proizvodnju električnih automobila. Ipak, nije sigurno da bi se i velika transportna vozila mogla zamijeniti upotrebom takve tehnologije. Čak i ako velika teretna vozila neće doživjeti značajnije promjene, napredne ICT i ITS tehnologije će doprinijeti smanjenju potrošnje energije i smanjenju emisija CO₂. Ovo bi doprinijelo učinkovitijem prijevozu i naprednijem planiranju prometa. Kako bi postigli ovaj cilj, bilo bi potrebno preciznije odrediti cijeli spektar cestovne mreže. U svezi s tim, cestovni senzori za potrebe prometnog informacijskog sustava nisu dovoljni; potrebno je združivanje automobilskih sustava s ugrađenim uređajima za prikupljanje podataka kao i elektroničkog sustava za naplaćivanje cestarine. Ako su poznate prednosti i nedostaci današnje cestovne mreže, odnosno ono što znamo danas, bit ćemo u mogućnosti ponuditi i ugraditi više rješenja u postojeći sustav. Ako se združi (e-commerce) s ITS/ICT tehnologijom, sve potrebne informacije će biti moguće prikupiti i distribuirati između kupaca, proizvođača, trgovaca na malo i

prijevoznika. Kooperativni transport bit će moguće realizirati kako bi minimalizirali troškove i povećali dobrobiti za društvo, tvrtke i pojedince.

U ovome poglavlju opisuje se pozadina gradske logistike. Ističu se problemi vezani uz logističke aktivnosti teretnih prijevoznika, kao i socijalnih problemi, uključujući probleme okoliša, zagušenja te ušteda energije u gradskim područjima. Analizira se utjecaj ITS-a (Inteligentnih Transportnih Sustava) koji mogu svojim učinkovitim mjerama doprinijeti smanjenju troškova prijevoza tereta te rješavanje socijalnih problema. Na primjer, sustav identifikacije položaja za kamione putem GPS-a (*Global Positioning System*) i mobilne telefonije omogućuje prijevoznicima tereta dinamičko upravljanje i raspoređivanje vozila, što može pomoći pri minimiziranju troškova i smanjiti ukupno vrijeme putovanje vozila.

U posljednje vrijeme zabilježen je veliki napredak internetskih tehnologija i tehnologije bežične komunikacije te su ostvarene brojne prednosti o kojima se prije samo maštalo. Zbog toga će informacijsko-komunikacijske tehnologije igrati važnu ulogu LPG-u. U Europi trenutno postoje dvije internetske usluge dostupne za prijevoznike: Teleroute i Freecargo. Ove internetske usluge koordiniraju razmjenu u LTL dostavi i kamionskim transportnim kapacitetima. Razvoj takozvanih "virtualnih otpremnih centara" bi mogao imati ogroman poticaj za kooperativni prijevoz.

S druge strane u tijeku je trend urbanizacije u svijetu. Gradovi pružaju mnogo primamljivih prilika za zapošljavanje, obrazovanje, kulturne i sportske aktivnosti itd. Koncentracija stanovništva u urbanim područjima primjećuje se u većini industrijaliziranih zemalja kao i u zemljama u razvoju. Međutim, to dovodi do širenja urbanih područja i često stvara probleme u vidu prijevoza tereta, zbog nedostatka odgovarajućih urbanih logističkih planova.

Visoki udio kretanja ukupnih dobara događa se unutar gradova. Na primjer, u Tokiju i okolnim područjima, oko 67 % ukupnog kretanja roba u smislu tonaže ima podrijetlo i odredište unutar 23 gradska područja prema istraživanju koje je provedeno 1994. godine. To ukazuje na važnost kretanja dobara u urbanim područjima.

Postoji visok trošak u smislu novca i vremena nastao kao rezultat kretanja dobara unutar gradova. Kamioni nose većinu dobara unutar gradova, a cestovni promet je postao skuplji zbog manjeg faktora popunjenosti kamiona. To smanjenje faktora

popunjenosti kamiona je uzrokovano nedavnim trendom prema smanjenju količine dobara koja se često prevoze prema širokom spektru potrošača po potrebi.

Gradovi se sada suočavaju s globalnom konkurencijom za ulaganja i trgovinu s učinkovitošću sustava prijevoza ključnim za održivi ekonomski napredak. Stoga učinkoviti i ekološki prihvatljivi logistički sustavi pomažu gradovima postati konkurentnima u smislu gospodarskog razvoja.

Postoje dvije točke za raspravu o utjecajima razvoja e-trgovine na logistiku pametnoga grada:

- e-trgovina mijenja logističke aktivnosti dajući veći prioritet na zahtjeve kupaca ili potrošača
- logističke aktivnosti sadrže e-trgovinu za odgovarajući ponude i potražnje pri kretanju dobara.

E-trgovina pruža dobru priliku za brzu, individualnu i direktnu trgovinu u *Business to Business (B2B)* i *Business to Consumer (B2C)* slučajevima po niskoj cijeni. Kao rezultat toga, proizvođači moraju promijeniti svoje logističke sustave za brže, više pouzdane sustava s nižim troškovima kako bi izašli u susret s višom razinom individualne potražnje potrošača. Platforma za usklađivanje ponude i potražnje pri kretanju dobara putem interneta omogućuje racionalizaciju logističkih sustava povećanjem faktora popunjenosti kamiona. Te promjene mogu ili ne moraju doprinijeti ublažavanju prometnih zagušenja i poboljšanju okoliša. Stoga će primjena inicijative logistike pametnoga grada postati ubuduće bitna za redukciju troškova tereta i za rješavanje socijalnih problema.

2.2. Temeljni koncepti

Koncept “logistike pametnoga grada” (npr. Ruske, 1994; Kohler, 1997; Taniguchi i van der Heijden, 2000) ima potencijal za rješavanje mnogih od ovih teških i kompliciranih problema. Taniguchi i dr. (1999) definira logistiku pametnoga grada kao “proces za potpunu optimizaciju logistike i aktivnosti prijevoza od strane privatnih tvrtki u urbanim područjima, a obzirom na prometno okruženje, prometna zagušenja i potrošnju energije u okviru tržišnog gospodarstva”. Cilj LPG-a je na globalnoj razini

optimizirati logističke sustave unutar gradskoga područja razmatrajući o troškovima i koristima od programa za javnost, kao i privatnog sektora. Privatnim dostavljačima i prijevoznicima tereta je cilj smanjiti svoje troškove, a javni sektor nastoji ublažiti prometna zagušenja i ekološke probleme.

2.3. Dionici

Postoji četiri ključna dionika u urbanom teretnom prometu:

- pošiljatelji (proizvođači, veleprodaja, maloprodaja)
- prijevoz tereta (prijevoznici, skladišta firmi)
- stanovnici (potrošači) i
- administracija (na EU, državnoj i gradskoj razini).

Svaki od ključnih dionika u urbanom prijevozu ima svoje vlastite određene ciljeve i ponašaju se na drugačije načine. Modeli logistike pametnoga grada trebaju prepoznati ta ponašanja.

Pošiljatelji su korisnici prijevoznika tereta koji ili šalju robu drugim tvrtkama ili pojedincima, ili primaju robu od njih. Pošiljatelji općenito nastoje maksimizirati razinu svojih usluga koje uključuju troškove, vrijeme za podizanje pošiljke ili isporuku, i pouzdanost transporta te praćenje pošiljke. U zadnje vrijeme popularizirala se metoda dolaska prijevoznika do korisnika unutar točno određenog vremena radi podizanja/ isporuke robe. Takva stroga vremenska ograničenja dovela su do češćeg prijevoza manjih količina robe. Pouzdanost isporuke robe je postalo veoma važno u *Just-in-time* prijevoznom sustavu. Postoje dvije vrste pouzdanosti; (a) isporuka bez oštećenja robe, (b) isporuke bez bilo kakvog kašnjenja u točno određeno vrijeme kod korisnika.

Teretni prijevoznici tipično pokušavaju smanjiti troškove vezane uz prikupljanje i isporuku robe kupcima kako bi povećali profit. Postoji veliki pritisak osiguravanja višeg stupnja usluga za kupce uz niže ukupne troškove. Ovo je posebno važno kada prijevoznici trebaju doći do kupaca u sklopu određenog vremena. Međutim, teretni prijevoznici često nailaze na probleme u vožnji svoga vozila zbog prometnog zagušenja na urbanim cestama. To je dovelo do neučinkovitog korištenja kamiona, gdje se prevoze manji paketi i kamioni često moraju čekati u blizini mjesta kupca kada stignu prije određenog vremena.

Stanovnici koji žive, rade i kupuju u gradu često ne odobravaju dolazak velikih kamiona u lokalne ulice, ali ta vozila nose robu koja im je potrebna. Voljeli bi smanjiti prometna zagušenja, buku, onečišćenje zraka i prometne nesreće u blizini svojih stambenih i kupovnih područja. S druge strane su trgovci, unutar gradske poslovne zone, koji žele dobiti robu u za njih prikladno vrijeme. Međutim, to je ponekad u sukobu sa stanovnicima koji žele tihe i sigurne uvjete na lokalnim cestama.

Gradska administracija pokušava podići gospodarski razvitak grada i povećati zapošljavanje. Oni također žele ublažiti zagušenja prometa, poboljšati okoliš i povećati cestovnu sigurnost grada. Trebaju biti neutralni i trebaju odigrati veliku ulogu rješavajući sukobe među ključnim sudionicima koji su uključeni u prijevoz tereta. Dakle, administracija treba koordinirati i olakšati gradsku logistiku.

Postoje mnogi kriteriji za vrednovanje LPG-a pošto postoje brojni sudionici uključeni u prijevoz dobara u gradskom području. Trošak smanjenja ili povećanja profita su tipični kriteriji za prijevoznike tereta i pošiljatelje. Smanjenje NO_x, CO₂ emisija, vibracija, buke i prometne nesreće mogu biti kriterij za stanovnike i administraciju. Budući da za svakog sudionika ima niz kriterija za procjenu, teško je odrediti jednu vrstu procjene za mjeru LPG-a.

2.4. Sheme logistike pametnoga grada

2.4.1. Pregled

Logistika pametnoga grada sadrži jednu ili više od sljedećih inicijativa:

- napredni informacijski sustavi
- kooperativni teretni prijevozni sustavi
- javni logistički terminali
- kontrola faktora opterećenja.

Uobičajeno je kombinirati ove inicijative i da rješenje bude kompatibilno s planom lokalne politike prijevoza.

2.4.2. Napredni informacijski sustavi

Napredni informacijski sustavi postali su važni pri racionalizaciji postojećih logističkih operacija. Općenito, napredni informacijski sustavi za podizanje/isporuku robe imaju tri važne funkcije:

- omogućiti komunikaciju između vozača i nadzornog središta,
- pružati trenutne informacije o prometnim uvjetima
- čuvati detaljne podatke o podizanju/istovaru robe u kamione.

Računalo se koristi za pohranu detaljnih podataka o povijesti podizanja/isporuke putem kamiona, uključujući vrijeme polaska/dolaska u skladište i kod kupaca kao i vrijeme čekanja, brzine putovanja te proputovane rute. Tvrtka je u mogućnosti analizirati podatke i promijeniti svoje rute putovanja i raspored te značajno povećati učinkovitost svoje flote vozila. Na ovaj način možemo smanjiti negativni utjecaj na okoliš i troškove prijevoza tereta.

2.4.3. Sustavi zajedničkog prijevoza tereta

Nekoliko istraživača istražili su sustave kooperativnog prijevoza tereta (Ruske, 1994 ~ Taniguchi *et sur.*, 1995., 2000c; Kohler, 1997) što je omogućilo da manji broj kamiona bude potreban za prikupljanje ili isporuku iste količine robe. Na temelju istraživanja po Kohler (1997), izvanredno je vidjeti prijevoznike koji su konkurenti kako surađuje u isporuci robe u centru grada Kassela u Njemačkoj. Neutralni prijevoznik skuplja roba od 5 prijevoznika tereta i dostavlja ih trgovinama u centru grada. Nakon uvođenja ovoga sustava ukupno vrijeme putovanja kamionima je smanjeno kao i redovi kamiona koji čekaju na ulicama za isporuku robe. Izvorno, ovaj sustav započeo je s 10 prijevoznika tereta, i sada 5 ostaju u kooperativnom sustavu. Drugi izvanredan slučaj je suradnja u isporuci među 11 robnih kuća u Osaki, Japan. U tom sustavu, dvije robne kuće imaju skladišta robe u susjedstvu, razmjenjuju svoju robu za dostavu po kvartovima. Ovo je znatno smanjilo putovanja kamiona, osoba koje rade i ukupne troškove. Kao u navedenim slučajevima, sustavi zajedničkog prijevoza tereta mogu značajno smanjiti troškove prijevoza kao i utjecaj na okoliš.

2.4.4. Javni logistički terminali

Javni logistički terminali koji se nalaze u okolini grada mogu pomoći u promicanju sustava zajedničkog prijevoza tereta (Janssen *et al.*, 1991., Taniguchi *et al.*, 1999b, Duin 1997). Platforme daje vlada i njima upravljaju privatni prijevoznici dobara za isporuku robe u gradskim područjima. Ove tvrtke su subvencionirane od strane vlade kako bi se omogućila isporuka po nižim cijenama. Taj sustav smanjuje potreban broj kamiona za isporuku. Prvi multifunkcionalni logistički terminal bit će izgrađen u Japanu u Seki u blizini Nagoya. O ovome logističkom terminalu se govori kao o “logističkom gradu” i ima različite funkcije kao što je pretovar robe, sastavljanje proizvoda tijekom distribucije, skladišta i veleprodaju. Ovaj projekt se planira i izvršava od strane grupe tvrtki iz raznih vrsta industrije uz potporu nacionalnih, prefektura i općinske vlade.

2.4.5. Kontrole faktora opterećenja

Kontroliranje opterećenja utovara/istovara je relativno nova inicijativa u odnosu na konvencionalne propise jer ograničava težinu vozila, određuje vrijeme za ulazak kamiona u gradska središta i kontrolira emisije vozila. Dva su europska grada (Kopenhagen i Amsterdam) uveli sustav certifikata za prijevoznike tereta koji dostavljaju ili prikupljaju robe u područja središta grada u 1998. U Kopenhagen, samo vozilima s certifikatom (naljepnicom) je dozvoljeno koristiti javne utovarno-istovarne terminale u centru grada. Ovaj certifikat može samo biti izdan za vozila koja zadovoljavaju sljedeća dva kriterija:

- faktor opterećenja iznad 60 %
- vozila ne starija od 8 godina.

Od tvrtki koje posjeduju vozila zahtjeva se da predaju izvješće o faktoru opterećenja vozila svaki mjesec. Da bi održavali certifikat, tvrtka mora imati prosjek faktora opterećenja tijekom prethodnog mjesec iznad 60 posto. U Amsterdamu se ne dozvoljava vozilima težine iznad 7,5 tona prometovanje ulicama osim glavne ceste. Međutim, vozila težine preko 7,5 tona su u mogućnosti dobiti posebne certifikate za vožnju ovim ulicama, ako zadovoljavaju na ova tri uvjeta:

- faktor opterećenja iznad 80 %
- dužina manja od 9 m
- motor mora zadovoljiti Euro III standard emisije.

Policija ispituje faktor opterećenja određenih vozila na tim cestama. Ova inicijativa smatra da će veći faktor tereta proizvoditi manje utjecaja na okoliš.

2.5. Modeliranje

Potrebna je kvantifikacija posljedica primjene inicijativa gradske logistike zbog njihove evaluacije i planiranja, što zahtijeva modeliranje utjecaja inicijativa gradske logistike u svrhu evaluacije zahtjeva. Modeli bi trebali opisivati ponašanje glavnih utjecajnih grupa uključenih u gradski, odnosno, urbani teretni promet. Također bi trebali uključivati aktivnost prijevoznika tereta, uključujući prijevoz te utovar i istovar tereta kod klijenta ili u skladište. Nadalje, modeli moraju opisivati tok prometa na urbanim cestama za teretna vozila, ali i za osobne automobile. Modeli također moraju, nakon implementiranja LPG-a, kvantificirati promjene u cijeni kod logističkih aktivnosti, zagušenosti prometa, emisijama ispušnih plinova te razini buke itd.

Modeliranje gradske logistike je izazovni pothvat jer ima puno kompliciranih logističkih aktivnosti za svaku interesnu grupu te također puno različitih procjenskih kriterija za ocjenjivanje utjecaja LPG-a. Stoga, osoba koja modelira mora biti vrlo oprezna te dobro predvidi kakve aktivnosti bi ulagači mogli zahtijevati i koje kriterije bi trebalo predvidjeti. Nadalje, teretna vozila predstavljaju samo dio od sveukupnog prometa na urbanim mrežama cesta. Modeli LPG-a moraju razmotriti i vozila za prijevoz putnika i teretna vozila i fokusirati se na utjecaje koje uzrokuju teretna vozila. Ovo zahtijeva poseban tretman teretnih i vozila za prijevoz putnika po rasporedu podrijetla, matrici destinacija i prometne organizacije.

2.5.1. Ograničenja modela

Trenutno, modeli nisu u mogućnosti kvantificirano predvidjeti sve učinke mjera LPG-a. Razlog tome je što je kretanje urbanih dobara vrlo kompleksan sustav s puno dionika. Postojeći pristupi matematičkih modela koji su trenutno razvijeni, zasad nisu dovoljni da u potpunosti opišu cjelokupni urbani transportni sustav. Sljedeće, interakcija između dionika nije dobro predstavljena u postojećim modelima. Još je jedna prepreka koja kod modeliranja LPG-a dolazi iz činjenice da LPG uključuje ekonomske aktivnosti privatnih kompanija i tok vozila na cestovnim mrežama. Dosta je teško baratati sa

svim aspektima logističkih aktivnosti u jednom modelu. Također, kalibracija i validacija modela nije jednostavna u stvarnim situacijama zbog nedostatka prikladnih podataka koji opisuju parametre kretanja dobara.

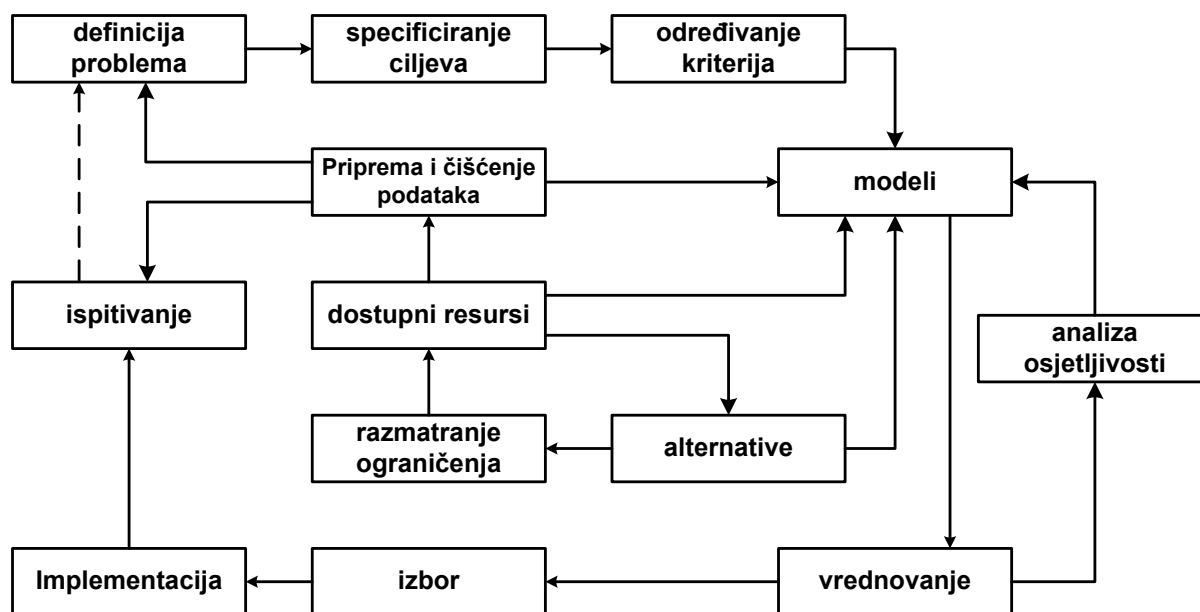
2.6. Sustavni pristup

Gradski prijevozni sustavi su kompleksni s brojnim komponentama i interakcijama. Sustavni pristup je metodologija za definiranje problema i određivanje rješenja, što omogućava analitički okvir za modeliranje i evaluaciju shema LPG-a. Taj pristup definira proces koji se sastoji od broja odgovarajućih aktivnosti za istraživanje problema gradskog prometa.

Uloga analitičara je asocirati donositeljima odluka, da donose informirane odluke tako što im omogućuju tehničke savjete. To uključuje određivanje opcije koja je najviše konzistentna s ciljevima donositelja odluka.

Sustavni pristup identificira najbolje načine za upotrebu ograničenih resursa u postizanju utvrđenog cilja. To je stalni proces rješavanja problema koji se jako oslanja na modeliranje i skupljanje podataka kako bi pomogao pri donošenju zaključka.

Koristit će se ilustracije koje će opisati način razvijanja ITS-a za LPG, kako bi se demonstrirao sustavni pristup koji može biti primijenjen da bi pomogao pri rješavanju problema distribucije urbanih dobara.



Slika 2.1. Sustavni pristup do LPG-a

Ovdje je prikazan samo pregled općeg koncepta vezanog za sustavni pristup. Kod primjene sustavnog pristupa za traženje rješenja za određeni problem gradskog prijevoza treba voditi računa da svaki grad ima svoju određenu socijalnu, ekonomsku i ekološku pozadinu koja zahtijeva oprez u istraživanju i analizi.

Sustavni pristup se početno fokusira na definiranje problema, zatim na specificiranje ciljeva i određivanje kriterija. Sljedeći korak uključuje razmatranje ograničenja i dostupnih resursa koji omogućavaju veliki raspon alternativa koje se mogu razviti u određenu skupinu podataka za analizu te modela koji se mogu napraviti. Modeli imaju centralnu ulogu u sustavnom pristupu. Koriste se za predviđanje performansi alternativa. Ovdje se radi o predviđanju budućih zahtjeva, nabave i utjecaja. Alternative su zatim ocijenjene na bazi njihovih posljedica. Selektivna procedura određuje koja će alternativa biti odabrana za implementaciju. Nakon implementacije odabrane alternative, ocjenjuju se njene performanse. Ova povratna veza uključuje provjeru ako je početni problem riješen i ciljevi zadovoljeni. Ako početni problem nije riješen, mora biti redefiniran ili originalni cilj mora biti modificiran. U bilo kojem slučaju, proces se nastavlja sve dok početni problem nije riješen i cilj postignut. Proces se često nastavlja jer se javljaju novi problemi ili su određeni novi ciljevi. Postoje mnogi problemi sa svakom aktivnosti sustavnog pristupa koji moraju biti prepoznati da bi se omogućila racionalna osnova za vrednovanje shema LPG-a.

2.6.1. Definicija problema

Problemi nastaju zbog razlika između stvarnog i željenog stanja u određenom trenutku u vremenu. Definiranje problema stoga uključuje prije svega određivanje viđenja i interpretacije stvarne situacije od svih zainteresiranih grupa, što zahtijeva identifikaciju ključnih dionika i pitanja koja utječu na njih.

Treba dobiti informacije od svih koji imaju interes u ishod problema, što uspostavlja sučelje između različitih interesnih skupina. Konzultirajući se sa svim dionicima uključenim u urbanu distribuciju robe, može se napraviti pomak u rješavanju problema. To također pomaže educirati dionike o problemu drugih grupa i širih problema.

Potrebna je kvantifikacija problema kako bi se omogućila objektivna osnova za razjašnjenje problema. Zajednički problem urbanog prijevoza uključuje:

- prometna zagušenja
- planiranje flote kamiona i upravljanje (kapital i operativni troškovi) utjecaj na okoliš.

2.6.2. Ciljevi

Ciljevi su uspostavljeni da se osigura smjer koji se odnosi na ishod predložene sheme. Time se osigurava da uspješnost sheme može biti provjerena nakon što se implementira. Racionalno planiranje je nemoguće osim ako je ono što se želi postići jasno navedeno.

Tipični ciljevi LPG-a su:

- smanjiti radne troškove
- povećati efikasnost
- smanjenje okolišnih utjecaja.

2.6.3. Kriteriji

Kriteriji za mjerenje performansi sustava. Za svaki cilj treba odrediti mjeru učinkovitosti:

- broj kamiona (vozila)
- faktore tereta
- prosječnu brzinu (km/h)
- prijeđene kilometre vozila.

2.6.4. Resursi

Resursi su ulazi za projekt i obično su financijski, materijalni ili ljudski. Na početku procesa modeliranja potrebno je točno odrediti iznos resursa, oblik podataka kako bi se moglo izravno utjecati na opseg istraživanja, modeliranje i procjene koje se trebaju napraviti. Treba biti prepoznata razina ljudskog znanja i vještina koje su dostupne. Proračun može pomoći u identificiranju potrebne razine resursa. Zajednički resursi za sheme LPG-a uključuju:

- (a) Prometnu infrastrukturu
 - (i) ceste
 - (ii) robne terminale
- (b) telekomunikacijsku infrastrukturu
 - (i) internet
 - (ii) satelit (npr. GPS)
- (c) javni sektor
 - (i) sponzorstvo
 - (ii) koordinacija
- (d) privatni sektor
 - (i) tehnologiju
 - (ii) marketing
 - (iii) upravljanje.

2.6.5. Ograničenja

Postoji niz izazova koji se odnose na planiranje, dizajniranje i uspješno modeliranje LPG-a. Bitno je razmotriti bilo koja ograničenja koja mogu smanjiti razinu raspoloživih resursa ili dati neprihvatljive izlaze projekta. Često financijski, pravni, društveni ili politički problemi ograničavaju raspon alternativa koje se mogu uzeti u obzir:

- dostupnost određenog resursa koji se zahtijeva
- bitni propisi i standardi
- potencijalno neprihvatljive nuspojave
- zakonodavstvo i propisi koji se odnose na natjecanje i privatnost.

Teretni prijevoznici su često male tvrtke s malo računalne tehnologije. Mnoge male tvrtke nemaju pristup naprednim informacijskim tehnologijama. Nedostatak

resursa i znanja, kao i neodgovarajuće obrazovanje može spriječiti korištenje ITS-a. Informacijski sustavi temeljeni na zvuku i grafici pružaju dobre mogućnosti kako bi se pojednostavilo sučelje s novim tehnologijama.

Inicijative ITS-a moraju biti financijski održive za opskrbljivača tehnološke infrastrukture, kao i za korisnike. Trebao bi postojati razuman povrat novaca na investiciju kako bi se opravdali troškove nabave. Često se može provesti smanjenje operativnih troškova prijevoznika. Potražnja i troškovni modeli moraju se razvijati kako bi se predvidjeli financijski učinci ITS-a. Nove inicijative povezane s primjenom naprednih tehnologija često zahtijevaju podršku administracije. Za primjenu LPG-a koja se bazira na ITS-u treba osigurati: sigurnost, privatnost, slobodu i povjerljivost. Uvođenje inicijativa LPG-a ne smiju narušavati ove vrijednosti već ih poboljšavati.

2.6.6. Alternative

Alternative su mogućnosti koje imaju potencijal za riješiti problem. Treba biti generiran širok raspon različitih mogućnosti. Ovo zahtijeva da analitičar bude kreativan i inovativan. Često nove tehnologije ili propisi omogućue potencijalno uvođenje neke od inicijativa LPG-a.

Postoji velik broj ITS temeljenih shema LPG-a koje su već provedene u svjetskim gradovima:

- (a) automatska naplata cestarina
- (b) odgovarajući sustavi za osiguranje opterećenja u povratu na odredište
- (c) rezervacijski sustavi za pristup terminalima
- (d) nadzor i praćenje vozila u realnom vremenu (pozicije, nadgledanje performansi, elektronički vožni dnevnik itd.)
- (e) nadzor performansi (npr. vrijeme putovanja, brzina i težina)
- (f) kompjuterizirana vozila s usmjeravanjem i sustavom planiranja (udaljenost, vrijeme putovanja, očekivano vrijeme dolaska)
- (g) vođenje rute (izbjegavanje zagušenja, nesreća, održavanja cesta).

2.6.7. Prikupljanje podataka

Određivanje performansi i izvedba ciljnog sustava često zahtijeva provedbu brojnih i opsežnih istraživanja. Zbog toga treba imati dovoljan broj podataka da se ostvari racionalna osnova za donošenje odluka:

- (a) identifikacija problema
 - (i) postojećeg stanja
 - (ii) problemi sudionika (Larraneta, 1999.)
- (b) modeliranje
 - (i) opis sustava
 - (ii) vrednovanje
- (c) praćenje i ispitivanje.

2.6.8. Modeli

Modeli se koriste za pojednostavljeni prikaz urbanih tereta sustava. Obično se koriste računalne procedure na temelju matematičkih relacija za predviđanje izvedbi u shemama LPG-a. Modeli omogućuju promjene različitih parametara sustava prometa tereta u gradu koji se procjenjuje, bez izvedbe sustava, tj. shema.

Također se koriste tehnike koje daju kvantitativne procjene o koristima i troškovima LPG-a. Aktualni pristupi i primjena su opisane u kasnijim poglavljima. Postoje tri vrste mrežnih modela koji daju informacije koje se mogu upotrijebiti u svrhu evaluacije:

- (a) zahtjev
 - (i) roba
 - (ii) vozila
- (b) opskrba
 - (i) vrijeme putovanja
 - (ii) pouzdanost
- (c) utjecaji
 - (i) okolišni
 - (ii) ekonomski
 - (iii) potrošnja energije
 - (iv) društveni
 - (v) financijski.

2.6.9. Vrednovanje

Vrednovanje uključuje metodičku usporedbu alternativa, na temelju ekonomske, društvene, financijske, potrošnje energije i razloga zaštite okoliša. Predviđene posljedice za svaku alternativu se uspoređuju.

Često se koriste tehnike višekriterijske analize kao i kvantitativna usporedba opcija koje uključuju brojne faktore.

Vrednovanje ITS-a za LPG, uključuje i brojna pitanja:

- (a) financijska održivost (sposobnost na povrat ulaganja)
- (b) politička prihvatljivost (podrška)
- (c) konkurentna neutralnost
- (d) horizontalna kompatibilnost (protok informacija između tvrtki).

2.6.10. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti uključuje istraživanje varijabilnosti predviđenih učinaka alternativa prema pretpostavkama napravljenim unutar modela. Zajednički tehnološki parametri uključuju:

- (a) stope prodiranja
- (b) stope pogreške (npr. otkrivanje i prijenos)
- (c) vijek trajanja (npr. tehnologija)
- (d) troškovi rada i održavanja.

2.6.11. Izbor

Nakon ocjenjivanja, netko tko ima moć i nadležnost odlučivanja odabire jednu od mogućih alternativa. Općenito, analitičar samo preporučuje najbolju opciju, ali ne postoji jamstvo da će biti odabrana ta opcija. Strukturu procesa odabira karakteriziraju postupci:

- (a) natječaj odabira
- (b) pregovori oko ugovora
- (c) neovisno ispitivanje.

U LPG-u proces donošenja odluka je često prilično složen, s velikim brojem aktera

koji utječu jedni na druge. Odnose između otpremnika, prijevoznika i primatelja teško je generalizirati. Organizacijske strukture i načini upravljanja znatno se razlikuje među tvrtkama, pa je često izazov prepoznati donositelje odluka.

2.6.12. Provedbe

Provedba odabrane sheme često uključuje i raspon zadatka koji se trebaju ostvariti. Često u shemama LPG-a moraju biti uvedene nove operacijske i organizacijske procedure.

Tu su i brojna pitanja koja se odnose na provedbu LPG-a na temelju ITS-a, uključujući:

- (a) kompatibilnost modula (sučelje i razmjena podataka)
- (b) arhitektura informacijskog sustava
- (c) upravljanje projektom (razvoj)
- (d) operativno upravljanje (obuka i tehnička podrška).

2.6.13. Ispitivanje

Nakon provedbe odabranih shema potrebno je provjeriti kako se sve obavlja, stoga je posebno važno odrediti je li početni problem riješen te jesu li ili nisu ostvareni ciljevi. Ovo uključuje praćenje obavljanja sheme. Često poboljšano razumijevanje problema ili sposobnost postizanja ciljeva može dati povratnu informaciju u proces ili potporu za planiranje buduće sheme LPG-a.

3. MODELIRANJE LOGISTIKE PAMETNOGA GRADA

3.1. Okvir modeliranja

Modeli imaju središnju ulogu u pristupu sustava LPG-a. Modelima je moguće procijeniti učinke promjena različitih parametara u gradskom distribucijskom sustavu bez mijenjanja ciljanog sustava.

U analizi učinaka inicijativa LPG-a razlikuju se tri opća tipa mrežnih modela:

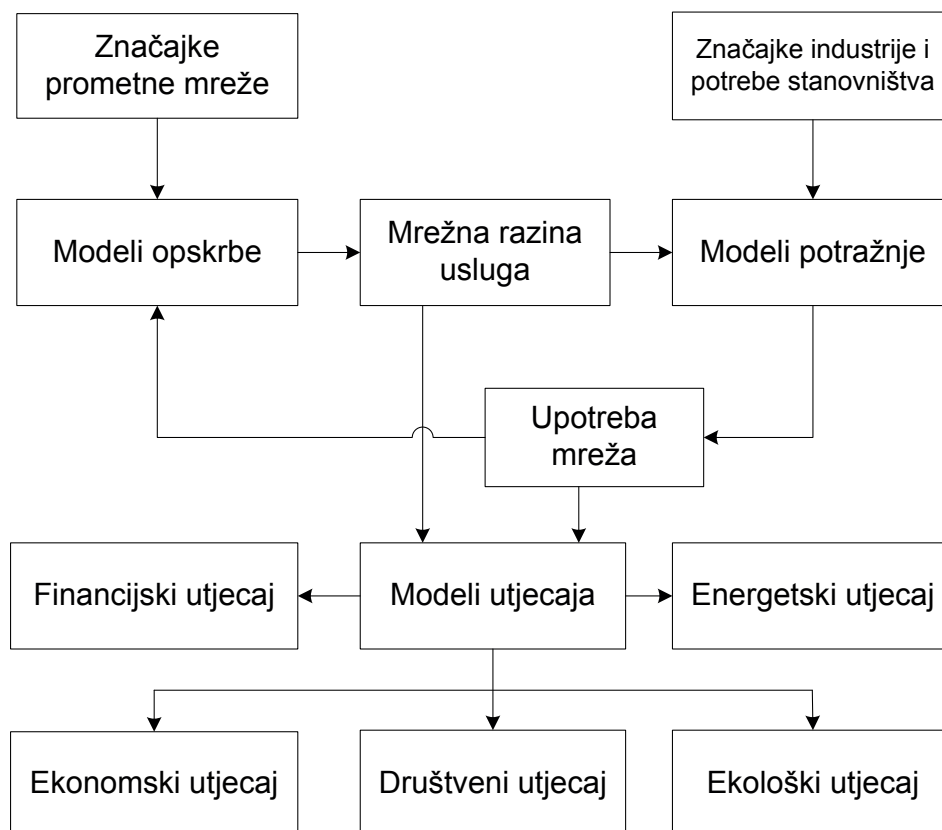
- (a) modeli opskrbe
- (b) modeli potražnje i
- (c) modeli utjecaja.

Postojanje interakcije između navedenih modela predstavlja okvir za modeliranje LPG-a. Tako, ovisno o značajkama i zahtjevima prometne mreže, modelima opskrbe moguće je predvidjeti ponudu usluga prometnog sustava. Modeli potražnje predviđaju kretanje i količinu dobara i usluga zasnovanih na značajkama industrije i potrebama stanovništva. Navedeni modeli detaljno su objašnjeni u potpoglavlju 3.3. Konačno, modeli utjecaja predviđaju financijske, energetske, društvene, ekonomske i okolišne utjecaje LPG-a na temelju potražnje i ponude usluga prometnog sustava.

3.1.1. Značajke mreže

Prije samog modeliranja potrebno je opisati prometnu mrežu. Na troškove i učinak prometne mreže utječu različite fizička i prostorna značajke koje je potrebno odrediti kao ulazne parametre (inpute).

Geografski informacijski sustavi (GIS) predstavljaju koristan alat za obradu velike količine podataka potrebnih za modeliranje shema LPG-a.



Slika 3.1. Okvir za modeliranje LPG-a

3.1.2. Značajke industrije i stanovništva

U modeliranju kretanja dobara i usluga unutar gradskih područja potrebno je razmotriti značajke korištenja zemljišnih zona kao što su:

- Tip
- Lokacija
- Gustoća
- Stupanj razvoja.

3.1.3. Modeli opskrbe

Modeli opskrbe koriste se za predviđanje razine usluge od strane prometnog sustava. Fizičke značajke prometne mreže se uspoređuju s predviđenom potražnjom u svrhu predviđanja troškova njezina korištenja. Mjerljive značajke mreže uključuju vrijeme putovanja i troškove poslovanja.

3.1.4. Modeli potražnje

Modeli potražnje predviđaju stupanj korištenja prometne mreže. Pritom je nužno uzeti u obzir odstupanja u korištenju mreže tijekom dana. Također, u modeliranju shema LPG-a potrebno je predvidjeti korištenje prometne mreže od strane različitih vrsta vozila (npr. osobna vozila, laki kamioni i teška vozila).

3.1.5. Razina usluge prometne mreže

Značajke prometnog sustava potrebno je utvrditi s obzirom na:

- Vrijeme putovanja
- Troškove poslovanja.

Najprije je potrebno predvidjeti troškove korisnika prometnog sustava. Zatim je neophodno procijeniti potražnju za korištenjem prometne mreže s obzirom da se porastom korištenja pogoršavaju performanse mreže.

3.1.6. Korištenje mreže

Prilikom predviđanja korištenja mreže potrebno je razmotriti alternativne načine (korištenjem različitih vrsta vozila) i pravce prijevoza dobara i usluga. Time je omogućeno predviđanje troškova korisnika sustava kod oblikovanja modela opskrbe. Procjena potražnje također je potrebna kako bi predvidjeli utjecaje ili alternativne sheme.

3.1.7. Modeli utjecaja

Korištenjem predviđene potražnje i razine usluge utjecaji LPG-a mogu biti kvantificirani. Utjecaji se mogu klasificirati u nekoliko kategorija, uključujući ekonomsku, financijsku, društvenu, okolišnu i energetska.

3.1.8. Ekonomski utjecaji

Kako bi utvrdili ekonomsku održivost različitih shema LPG-a programa moguće je koristiti analizu troškova i koristi. Najčešći troškovi i koristi predstavljaju:

- (a) Troškove
 - (i) Nabave
 - (ii) Poslovanja
 - (iii) Održavanja
- (b) Koristi
 - (i) Smanjenog vremena putovanja
 - (ii) Smanjenih troškova poslovanja (potrošnja goriva, popravaka i održavanja)
 - (iii) Smanjenih slučajnih troškovi (osobni, popravci vozila).

Navedeni troškovi i koristi se kombiniraju u svrhu procjene isplativosti projekta koristeći tehnike diskontiranja. Procjenom omjera koristi i troškova (engl. Benefit Cost Ratio – BCR) i neto sadašnje vrijednosti (engl. Net Present Value – NPV) utvrđuje se ekonomska isplativost projekta i uspoređuju ekonomski utjecaji različitih shema LPG-a.

3.1.9. Financijski utjecaji

Kod procjene financijskih učinaka predviđa se utjecaj na prihode i troškove za poduzeća uključena u LPG sheme. U određivanju financijske održivosti koristi se niz kriterija, uključujući:

- (a) Kriterij neto sadašnje vrijednosti (NSV)
- (b) Kriterij interne stope prinosa (ISP)
- (c) Kriterij razdoblja povrata investicije (RP).

Shema LPG-a često za posljedicu ima smanjenje troškova prijevoznika, i to u sljedećim područjima:

- (a) Plaće
- (b) Registracije i osiguranja
- (c) Kapitala
- (d) Goriva i ulja
- (e) Popravaka i održavanja
- (f) Guma.

3.1.10. Društveni utjecaji

Društveni utjecaji podrazumijevaju niz utjecaja za razne korisničke i nekorisničke skupine, uključujući:

- (a) Poslovno natjecanje
- (b) Podrivanje
- (c) Pristupačnost
- (d) Estetiku.

3.1.11. Utjecaji na okoliš

Postoje brojni neželjeni negativni učinci kretanja dobara i usluga koji mogu predstavljati izravnu opasnost za zdravlje ljudi. Stoga je potrebno koristiti modeliranje za procjenu promjena u emisijama onečišćujućih tvari, razine buke i vibracija.

Iako kamioni u pravilu predstavljaju mali postotak (oko 10 %) ukupnog gradskog prometa (vozilo – kilometara), često proizvode značajan postotak ukupne emisije. Staklenički plinovi proizvedeni od ispušnih plinova kamiona su veliki problem u mnogim gradovima. Ovisno o motorima i gorivu koja koriste vozila, razine emisije trebaju se procijeniti za sljedeća onečišćenja:

- (a) Ugljikov monoksid (CO)
- (b) Okside dušika (NO_x)
- (c) Koncentracije lebdećih čestica (SPM)
- (d) Ugljikovodike (HC).

Stanovnici su često pod utjecajem buke kamiona. Poremećaj spavanja je jedno od područja interesa u gradskim područjima. Razinu buke te broj izloženih osoba treba predvidjeti prilikom ocjenjivanja LPG sheme.

LPG sheme uključuju promjene u ukupnom broju i vrsti kamiona koji se koriste za distribuciju dobara i usluga u gradskim područjima. To utječe na frekvenciju i razinu buke koju proizvode kamioni. Postoje različiti kriteriji koji se koriste za mjerenje razine buke primjenom ponderirane A decibel ljestvice:

- (a) L_{90} – 90 % vremena iznad prosječna razina buke
- (b) L_{eq} – ekvivalentna razina buke: prosječna tijekom određenog vremenskog razdoblja.

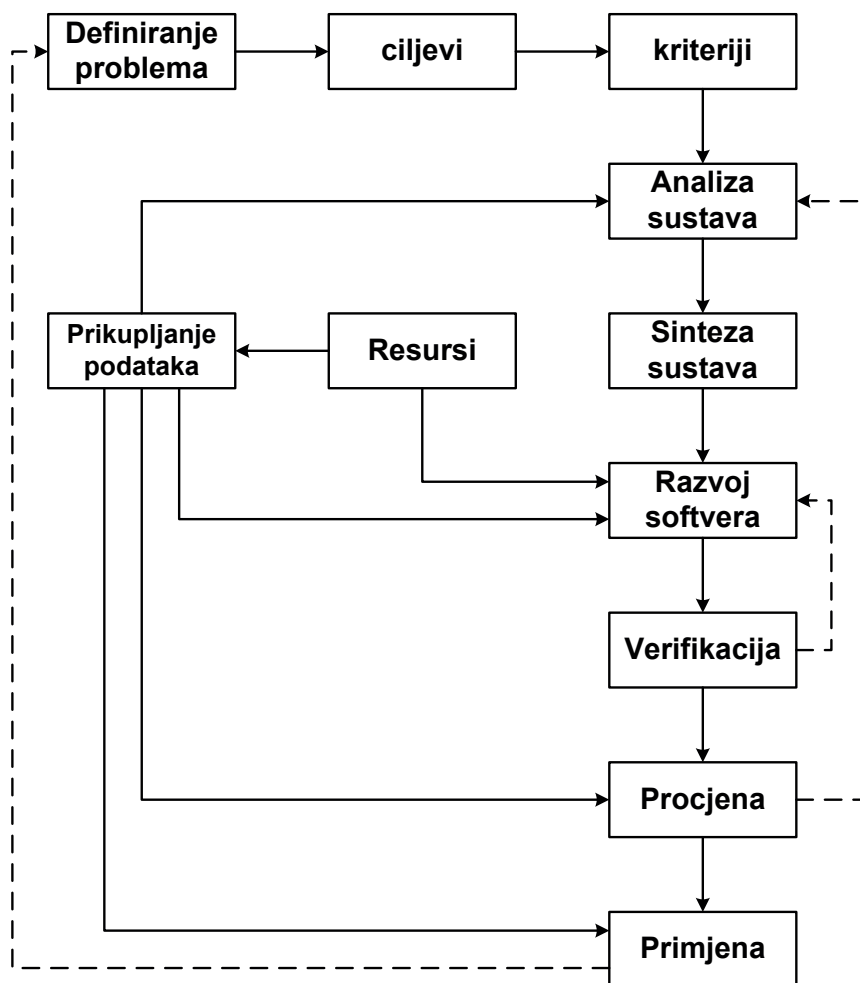
3.1.12. Energetski utjecaj

S obzirom na ograničenu količinu resursa na raspolaganju, naglasak je pomaknut na očuvanje energije. LPG sheme imaju potencijal za smanjenje ukupne količine potrošenog goriva kamiona. Modelima se procjenjuje potrošnja različitih vrsta goriva kao što su:

- (a) Nafta – olovni i bezolovni benzin
- (b) Automobilsko dizelsko ulje
- (c) Ukapljeni naftni plin (UNP) /tekući prirodni plin (LNG).

3.2. Proces razvoja modela

Opći postupak razvoja modela za ocjenjivanje sheme LPG-a prikazan je u slici 3.2. Modeli ne smiju biti pretjerano složeni, a razina detalja treba odražavati cilj modela. Povećanje broja čimbenika može dovesti do većih pogrešaka procjene i povećanja broja pretpostavki, dakle, mrežni modeli bi trebali pomoći donositeljima odluka u određivanju raspona utjecaja pojedinih opcija. Modeli trebaju biti dovoljno osjetljivi kako bi dopustili usporedbu učinaka različitih opcija. Također, moraju pružiti informacije o ustupcima između opcija koje se razmatraju.



Slika 3.2. Postupak razvoja modela

Pojedine faze razvoja modela za ocjenjivanje sheme LPG-a opisane su u nastavku.

3.2.1. Definiranje problema

Početna faza razvoja modela uključuje definiranje problema, s tim da predviđanje učinaka sheme LPG-a mora biti jasno definirano. Svrha modela bi trebala biti točno određena obzirom da s procijenjenim modelom treba odgovoriti na određeni skup pitanja.

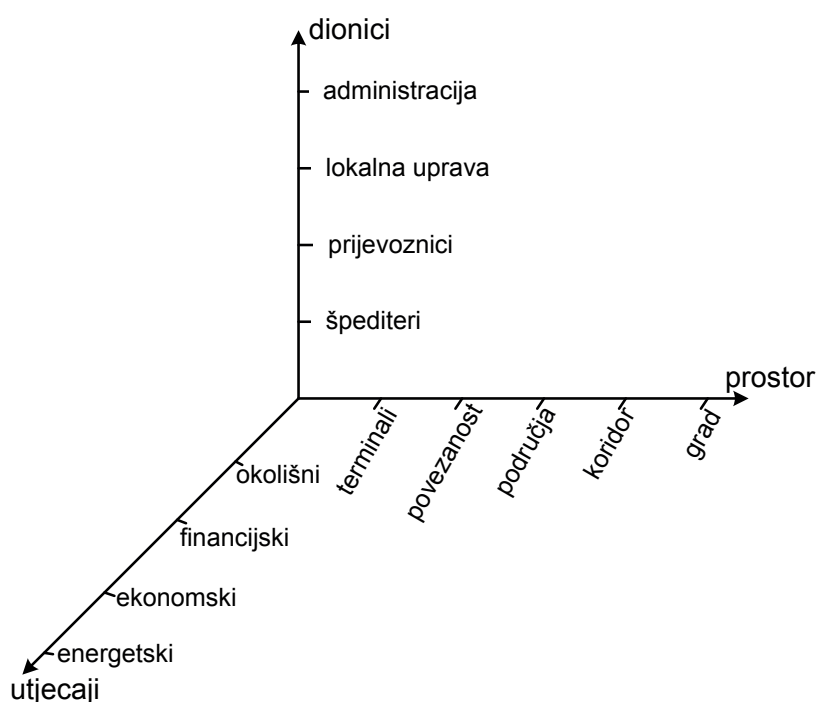
Model treba biti osjetljiv na varijable od interesa, pritom je potrebno identificirati spektar opcija koje zahtijevaju procjenu.

U procesu donošenja odluka treba uzeti u obzir ulogu modela. Korisno je identificirati donositelje odluka koji će koristiti dobivene rezultate modela.

Granice sustava ili ograničenja sustava treba uzeti dovoljno široko da se uključe svi značajni učinci. Iako se u pravilu postavljaju primjenom intuitivne procjene, granice sustava obuhvaćaju sljedeće 3 dimenzije:

- (a) Prostorne: geografske granice(odgovor na pitanje: gdje?)
- (b) Dionici: grupacije koje obuhvaćaju (odgovor na pitanje: tko?)
- (c) Utjecaji: raspon efekata(odgovor na pitanje: što?).

Postoji niz različitih elemenata unutar svake dimenzije. Redoslijed elemenata prikazan u slici 3.3. ne pokazuje njihovu relativnu važnost.



Slika 3.3. Granice sustava

3.2.2. Ciljevi

Nakon definiranja problema istraživanja, potrebno je utvrditi ciljeve modela. Pritom je potrebno odrediti opće rezultate koji se očekuju od modela.

3.2.3. Kriteriji

Model treba pružiti informacije koje su korisne donositeljima odluka. S tim u vezi, potrebno je utvrditi rezultate koji se očekuju od modela, odnosno statističku značajnost i intervale pouzdanosti.

3.2.4. Analiza sustava

Analiza sustava uključuje identificiranje bitnih komponenti i interakcije sa sustavom koji se istražuje. Glavni čimbenici i izravne veze trebaju biti identificirane. Ova faza često uključuje prikupljanje podataka. Dijagrami utjecaja i aktivnosti mogu biti korisni alati za opisivanje procesa unutar složenih sustava.

3.2.5. Sinteza sustava

Sinteza sustava zahtijeva da se faktori i odnosi utvrđeni u fazi analize prikažu u matematičkom obliku. U oblikovanju modela koriste se varijable i jednačbe. Odnosi između varijabli prikazuju se pomoću zatvorenih formi analitičkih jednačbi. Pritom je potrebno odrediti vrstu korištenih varijabli:

- (a) Determinističke – gdje postoji samo jedan mogući ishod
- (b) Stohastičke/nasumične – gdje su mogući različiti ishodi
- (c) Egzogene – određuju se izvan modela
- (d) Endogene – određuju se unutar modela.

3.2.6. Razvoj softvera

Sljedeći korak u procesu razvoja modela odnosi se na razvoj postupaka temeljenih na primjeni računalnih programa koji omogućuju korištenje matematičkih i logičkih izraza definiranih u sintetskoj fazi za dobivanje kvantitativnih rezultata.

Postoji više tipova softverskih alata koji se mogu koristiti za modeliranje:

- (a) Programski jezici (npr. Fortran, Delphi, Visual Basic ili C++)
- (b) Generički paketi:
 - (i) DBMS (npr. Fox Base)
 - (ii) Tablice (npr. Excel).
- (c) Softveri specijalizirani za modeliranje:
 - (i) simulacije (npr. SIMSCRIPT i MODSIM)
 - (ii) sustavi dinamike (npr. STELLA i MISLIM).

Postoji veliki broj pomagala koja mogu pomoći u razvoju koda, uključujući, pseudokod i dijagrame toka.

Razne vrste informacija služe kao inputi za modele LPG-a uključujući:

- (a) Transportnu mrežu
- (b) Parametre
- (c) Karakteristike korisnika.

Oni su obično navedeni pomoću datoteke generirane korištenjem drugih programskih postupaka (npr. GIS ili DBMS).

Rezultat, odnosno output modela treba biti predstavljen na jasan i razumljiv način za donositelje odluke. Postoje razni oblici outputa modela kao što su:

- (a) Dinamički (npr. animacija)
- (b) Grafički (npr. karte i grafikoni)
- (c) Datoteke (npr. tekst).

3.2.7. Provjera

Provjerom softverskih procedura ispituje se prikladnost prikaza sustava. Pritom se testiraju procedure i uspoređuju dobiveni rezultati modela s očekivanim rezultatima.

3.2.8. Validacija

Validacija modela uključuje usporedbu rezultata dobivenih primjenom računalnih programa s rezultatima modela testiranog u realnim prostoru i vremenu. U ovoj fazi se procjenjuje sposobnost modela u oponašanju stvarnosti, stoga je potrebno provesti cijeli niz istraživanja za procjenu performansi modela. Inteligentni transportni sustavi (ITS) često pružaju bogat izvor podataka pomoću kojih je moguće provjeriti modele LPG-a. Također, postojeći modeli se mogu koristiti za provjeru rezultata novih modela.

3.2.9. Primjena

Primjenom modela moguće je procijeniti utjecaj i predvidjeti uspješnost razmatranih opcija. Pritom je korisno izraditi i analizu osjetljivosti promjenom ulaznih varijabli.

3.3. Modeli ponude i potražnje

Za razliku od prijevoza putnika, prilikom planiranja prometne infrastrukture ne obraća se dovoljno pažnje na prijevoz dobara. Donedavno se smatralo da je prijevoz putnika problem koji dovodi do zagušenja prijevoznih ruta, međutim, prijevoz dobara je jednako značajan za izbjegavanje navedenog problema. Iz tog razloga, nameće se potreba izgradnje modela za prijevoz dobara koji bi se koristili prilikom projektiranja grada.

Oblikovanja modela za prijevoz dobara su puno kompleksnija u odnosu na izradu modela za prijevoz putnika. U modelu se koristi cijeli niz varijabli kao što su: broj ljudi, broj vozila, broj vlasnika prijevoznih tvrtki te prometna infrastruktura. Važna varijabla koji ima značajan utjecaj na razvoj modela je posrednik ili agent. Nitko ne zna kako će se posrednik ponašati, te koji će biti njegovi zahtjevi.

Modeli prijevoza dobara velikim dijelom se oslanjaju na modele prijevoza putnika. Svi modeli prate četverofazni model koji se tradicionalno temelji na prijevozu putnika. Navedeni pristup obuhvaća četiri procjene: generiranje (stvaranje) potražnje, distribuciju, odabir načina prijevoza i odabir rute.

Procjene gradskog prijevoza dobara ovise o ravnotežnoj cijeni i postojećoj prijevoznj mreži. Pritom je moguće koristiti ekonometrijske pristupe procjene (Harker, 1985). Navedeno obuhvaća procjene troškova koji se mogu unaprijed odrediti s velikom preciznošću i gdje su poznati odnosi između proizvođača, potrošača i prijevoznika. Ravnotežne cijene se temelje na troškovima prijevoza i cijeni robe.

Tradicionalni pristupi u procjeni opskrbe i potražnje za kretanjem dobara u gradovima objašnjeni su u nastavku. Oni obuhvaćaju procjenu: stvaranja potražnje, distribucije, načina razdiobe, simulacije, vremena putovanja i troškova. Navedeni pristupi zajedno određuju model opskrbe i potražnje za robom.

3.3.1. Stvaranje potražnje

Stvaranje potražnje se može izraziti prema jedinici prostora, odnosno upotrebi prostora ili zone, te jedinici protoka, odnosno robe ili kamiona. Odnos između varijabli značajnih za procjenu može se prikazati primjenom regresijske analize. U

regresijskom modelu, kretanje zavisne varijable se predviđa u odnosu na kretanje nezavisnih varijabli. Pritom je regresijske modele moguće podijeliti s obzirom na funkcionalni oblik između zavisne i nezavisnih varijabli:

- a) Jednostavni linearni regresijski model – postoji samo jedna nezavisna varijabla unutar linearne funkcije.
- b) Višestruki linearni regresijski model – postoji više nezavisnih varijabli koje su linearno povezane.
- c) Nelinearni model – pretpostavlja se nelinearna veza između varijabli (npr. eksponencijalna).

Najčešći oblik regresijskom modela je višestruka regresija koja se može prikazati na sljedeći način (Bahovec, Erjavec, 2009):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k) + \varepsilon, \quad (3.1)$$

gdje su

y : zavisna ili izlazna varijabla

x_i : nezavisne (ulazne) varijable

ε : pogreška, izražava slučajna odstupanja od funkcionalnog odnosa.

Pretpostavi li se da je veza između y i x_i linearna, model (1) se može pisati:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon, \quad (3.2)$$

u gornjoj jednadžbi $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ su parametri varijabli, a ε predstavlja slučajnu varijablu, odnosno grešku relacije. Polazne pretpostavke koje moraju biti ispunjenje u primjeni modela višestruke linearne regresije su:

- a) veza između zavisne varijable i skupa nezavisnih varijabli mora biti linearna
- b) regresijske varijable su nestohastičke, odnosno nezavisne su o greškama relacije
- c) greške relacije su međusobno nezavisne, identično i normalno distribuirane slučajne varijable s očekivanom vrijednosti nula i varijancom σ^2 (pretpostavka nepromjenjivosti ili homoskedastičnosti varijance)
- d) varijable x_i su međusobno ortogonalne, tj. nekorelirane.

Parametri varijabli, odnosno regresijski koeficijenti pokazuju odnos između zavisne

i nezavisnih varijabli. Osnova za mjerenje reprezentativnosti regresijske jednadžbe je disperzija oko regresije, koja se očituje na rezidualnim odstupanjima. Tako manja odstupanja empirijskih vrijednosti zavisne varijable od regresijskih vrijednosti rezultiraju boljom reprezentativnošću dobivenog regresijskog modela. **Koeficijent determinacije** predstavlja specifičan pokazatelj reprezentativnosti regresije. Točnost predviđanja vrijednosti varijabli je preciznija što je koeficijent determinacije bliži jedinici.

Opterećenje ovisi o raznim ekonomskim, društvenim i tehnološkim faktorima. Tako je opterećenje moguće procjenjivati s obzirom na različite socioekonomske razloge kao što su zaposlenost, gustoća populacije, broj kućanstava itd.

Ostali pristupi koji se mogu koristiti za procjenu modela opterećenja uključuju makroekonomske modele i modele rasta.

3.3.2. Distribucija

Tradicionalni pristup u modeliranju načina distribucije dobara je primjena gravitacijskog modela. Pored navedenog, u brojnim istraživanjima korištena je opća troškovna funkcija. Tok proizvoda se predstavlja kao težina gdje je pojedini proizvod više tražen, te prostoru gdje je taj proizvod tražen.

Korištene su zračne udaljenosti kako bi se odredio put proizvoda, dok su za vrijeme putovanja korišteni modeli kamiona. Modeli su kalibrirani za razne putove i za razne proizvode. To je značilo uvođenje negativnog eksponenta nezavisne funkcije. Viši eksponent je predviđen u pravilu zbog vremena putovanja kamiona po urbanim dijelovima. Visoki eksponent je korišten za prodajne putove i velike dostave. Proizvodi za proizvodnju imaju najniži eksponent. Zbog takove raspodjele eksponenata prostorna separacija nije visoki faktor koji bi inače utjecao na uzorke ponude i potražnje. Proizvodi namijenjeni za otpad imaju u pravilu velike eksponente jer se niski eksponenti ili eksponent 0 imaju u pravilu kraće putovanje kako bi se minimizirali transportni i sakupljački troškovi.

3.3.3. Odabir načina prijevoza

Odabir način prijevoza dobara je neophodan u situacijama kad postoji više različitih načina prijevoza između dviju točaka. Pri odabiru načina prijevoza razmatraju se sljedeći čimbenici:

- a) Pristupačnost
- b) Dostupnost (infrastrukture, opreme, usluga)
- c) Kapacitet
- d) Služba za korisnike
- e) Cijena tereta
- f) Udaljenost
- g) Fleksibilnost
- h) Frekvencija
- i) Popis robe
- j) Gubici i šteta
- k) Pouzdanost (vrijeme transporta, vrijeme između pošiljaka)
- l) Sigurnost
- m) Brzina.

Odabir načina prijevoza ovisi i o karakteristikama robe koja se transportira. Neke od bitnih karakteristika su:

- a) Gustoća
- b) Veličina pošiljke
- c) Rok trajanja
- d) Tip
- e) Vrijednost
- f) Volumen
- g) Težina.

Većina dobara namijenjenih gradovima se prevozi prometnicama što dozvoljava veći stupanj fleksibilnosti u odnosu na željeznički prijevoz na veće udaljenosti. Gradski prijevoz najčešće uključuje prijevoz na kraće udaljenosti s kraćim vremenom putovanja. Željeznički prijevoz dulje traje s obzirom na veći broj stanica za utovar i istovar dobara. Također, željeznički prijevoz je manje fleksibilan jer na istoj pruži prometuje više vlakova.

Dakle, prijevoz tereta obuhvaća donošenje različitih odluka poput načina prijevoza, veličine i učestalosti slanja dobara. Pored navedenog, prijevoznici moraju odabrati najprikladniju rutu prikupljanja i isporuke dobara. U procjeni navedenog moguće je koristiti diskretne modele odlučivanja poput binarne i multinominalne logističke regresije (Ben-Akiva i Lerman, 1985).

3.3.4. Odabir rute

Jedan od najvažnijih zadataka prijevoznika je odabir prikladne rute. Čimbenici koji utječu na odabir rute u gradskim područjima odnose se na maksimalno dopuštenu visinu (rute s tunelima i nadvožnjacima) i težinu vozila (ograničenje kod prelaska mostova).

Stres vozača je također utjecajan faktor pri odabiru rute. Na stres utječu uvjeti na cesti, vremenske prilike i neprilike, tip vozila i slično. Prema istraživanjima, 92 % vozača odabiru sami rutu prema načinu vožnje, teretu i tipu vozila (Eglese, Madden, Slater, 2006).

Modeli toka prometa predstavljaju odnos između potražnje prometa i uvjeta prometa. Potražnja prometa se najčešće opisuje matricom puta. Ovi modeli moraju uključiti utjecaj vremena putovanja uslijed zagušenja na prometnicama.

U razvoju modela treba uzeti u obzir fizičke karakteristike vozila i prometnica (npr. kvaliteta prometnica, cijena cestarine) te stohastičke elemente (npr. zagušenje, stres vozača, vremenski uvjeti) svake pojedine rute.

Mnogi LPG preporučuju dinamički sustav odabira modela na temelju praćenja podataka prometa uživo. Problem je što ne postoji dovoljna količina podataka za uspješnu primjenu ovoga načina odlučivanja.

3.3.5. Simulacijski modeli

Matematički modeli optimizacije su u širokoj upotrebi za rješavanje problema u gradskom teretnom transportu. Imaju prednost jer u analizu transporta uključuju i specifični cilj transporta i niz problema na koje se može naići u transportu.

Nužno je shvatiti da matematički modeli optimizacije u osnovi razvijaju apstraktni prikaz problema u transportu, te su rješenja dobivena takvom analizom ograničena objektivnim parametrima i vrijednostima koja ne mogu u potpunosti prikazati i predvidjeti probleme prilikom teretnog transporta. Stoga se smatra da simulacijski modeli imaju veći potencijal za predviđanje realnih scenarija i rješavanje problema u transportu.

Simulacija je moćan alat za modeliranje prometnog, odnosno transportnog sustava. Najviše se koristi za upravljanje terminalima korištenima u urbanom teretnom transportu kao i analizu raskrižja, u kojima je više manje poznat broj vozila.

3.3.6. Trajanje transporta

Cilj modeliranja LPG-a s korištenjem simulacijskih modela je reduciranje ukupnog trajanja transporta kao i implementacija mjera kojima se smanjuju troškovi nastali društvenim, ekonomskim i okolišnim faktorima u prometu u urbanim sredinama. Prometne gužve kao i utjecaj na okoliš ovise o trajanju putovanja, odnosno brzini samog transporta, što ponajviše ovisi o protočnosti prometa na određenim cestovnim dionicama. Također, na troškove transporta utječe stanje na cesti i prometna infrastruktura, stoga je potrebno procijeniti opterećenost pojedinih cestovnih dionica i predvidjeti vrijeme potrebno da bi se transport izvršio.

Odluke vozača imaju važnu ulogu u planiranju transporta i u velikoj mjeri utječu na ukupne troškove prijevoza. Potpuno je prihvatljivo da se percepcija vremena potrebnog za transport i drugih elementa u transportu razlikuje od vozača do vozača. No većina modela za planiranje transporta koristi vrijeme trajanja transporta kao primarni faktor koji utječe na ukupne troškove transporta. Stoga se većina troškova povezivanja fokusira na vezu između vremena trajanja transporta i protočnosti prometa na odabranim cestovnim dionicama.

Troškovi povezivanja se mogu razvrstati u dvije skupine: skupinu koja u obzir uzima elemente prometa i skupinu bez elemenata prometa. Pod elementima prometa se smatraju semafori, kružni tokovi i ceste koje imaju prednost s obzirom na ceste koje nemaju prednost.

Navigacijski sustavi mogu se koristiti za predviđanje vremena dolaska. Navigacija se

trenutno temelji uglavnom na kartama ulica i lokalnom znanju vozača. Informacije o prometnim uvjetima u stvarnom vremenu uglavnom se dobivaju preko prometnih biltena na radiju, CD-radija ili mobilnog telefona. Međutim, navigacijski sustavi u vozilu imaju niz prednosti, uključujući i uštede u vremenu i troškovima, smanjenje opterećenja vozača, pouzdanije raspoređivanje i jednostavnije koordiniranje. Istraživanje provedeno diljem zemlje kod flote od 4000 operatora u Njemačkoj otkrilo je zahtjeve navigacijskog sustava kod kamiona (Just and Krug, 1999). Podaci u realnom vremenu o prometu i vremenskim uvjetima su ocijenjeni kao visoki do vrlo visoki. Prodor na tržište se smatra povezanim s troškom jedinice, pouzdanošću, osjetljivošću na informacije u realnom vremenu i sposobnošću vozača da razumiju dane savjete.

Većina velikih gradova je do sada primijenila ITS koji omogućavaju neki oblik informacije o vremenu putovanja. To omogućava da korisnici izbjegavaju ceste na kojima se odvijaju radovi, mjesta na kojima su se dogodile nesreće i zagušenja u prometu. Neki sustavi omogućavaju predviđanje vremena putovanja između određenih mjesta.

3.3.7. Troškovi

Na ukupne troškove utječu svi elementi koji se smatraju bitnima ljudima koji odlučuju o modelima. Postoje različiti tipovi troškova koji mogu biti inkorporirani u modele kao što su novac, vrijeme, udaljenost, psihički i fizički utjecaj. Ukupni trošak je onaj koji objedinjuje sve prije navedene troškove, a opisuje ga sljedeća formula (na primjer M. Janić: Advanced transport systems/analysis, modeling, and evaluation of performances; Springer-Verlag, London 2014).

$$C_{ij}^k = f_{ij}^k + \sum_m \alpha_m^k V_m^k, \quad (3.3)$$

gdje su:

f_{ij}^k – cijena proizvoda

α_m^k – koeficijent uvjeta m za proizvod k

V_m^k – nezavisna varijabla u koju je uključeno vrijeme transporta, vrijeme čekanja, neplanirane odgode, promjena vremena putovanja, vjerojatnosti gubitka ili oštećenja tereta.

Općenito vrijednost o kojoj ovisi ukupni trošak ovisi o načinu transporta i proizvodu

koji se transportira. Također, vrijednost prevožene robe ima utjecaj na ukupni trošak. Opskrbni lanci pokušavaju smanjiti ukupni trošak novim načinima, kao npr. prikupljanje/dostavljanje paketa točno na vrijeme u urbanim sredinama.

Varijable koje znatno mogu povisiti troškove se odnose na odabir rute te utjecaj prometnica. Zagušenja prometa, radovi na cesti, nedovoljno poznavanje prometne infrastrukture se ubraja u te varijable. Troškovi prijevoza se odnose na rute, terminale i vozila. Ukupan trošak prijevoza robe se dijeli na trošak transporta i trošak skladištenja.

Trošak transporta uključuje trošak korištenja i fiksni trošak vozila. Trošak korištenja vozila je suma vremena korištenja vozila i trošak penala za kašnjenje vozila prilikom dostave. Fiksni trošak vozila uključuje vozilo, administraciju vozila, vozač, osiguranje i porez (Jean-Paul Rodrigue, Claude Comtois, Brian Slack: *The Geography of Transport Systems*, by Routledge, New York, 2013.)

Trošak skladištenja se sastoji od varijabilnog i fiksnog troška, uključujući trošak izgradnje objekta, održavanje objekta, instalacija opreme, održavanje opreme i transport unutar objekta.

Pretpostavlja se da su funkcije troškova linearne, no puno su predviđanje točnija ukoliko su funkcije nelinearne. Međutim, kompleksnost modeliranja se povećava ukoliko su funkcije nelinearne (Iara Diaz, 1982).

Cijene transporta se mogu analizirati koristeći prostornu cijenu uravnoteženog modela. Modeli koji se koriste za analizu sastoje se od cijene dostave i količine robe koja je završila na tržištu iz određenog prostornog elementa koristeći funkciju ponude i potražnje. Također, model može koristiti i neke čimbenike koji mogu utjecati na cijenu kao npr. regija, tip robe, proces dostave.

Jasno je vidljivo da se ciljevi svih načina modeliranja svode na jedan problem – trošak. Stoga je cilj je dizajnirati model tako da vrijeme potrebno za prijevoz robe bude što kraće te da taj prijevoz bude što jeftiniji. Podjela poslova na generiranje potražnje i odabir rute olakšava logističke probleme na koje se može naići prilikom organizacije transporta. Način razdiobe također olakšava transport, te omogućuje fleksibilnost prilikom razvrstavanja. Vidljivo je da će se u budućnosti morati više pažnje posvetiti organizaciji i modeliranju transporta robe nego transportu putnika (Eiichi Taniguchi,

Tien Fang Fwa, Russell G. Thompson: Urban Transport and Logistics, CRC Press Taylor&Francis Group, 2014., Boca Raton-London-New York).

3.4. Modeli utjecaja

Modeli utjecaja predstavljaju glavnu funkciju modeliranja za predviđanje utjecaja na transport i ukupni trošak pomoću upotrebe LPG-a. Ovi modeli se koriste za procjenu širokog spektra utjecaja:

- (a) Društveni utjecaji – smanjenje prometnih gužva i izbjegavanje sudara
- (b) Ekonomski utjecaji – promjene fiksnih troškova i troškova rada
- (c) Utjecaj na okoliš u vidu CO₂ ili NO_x emisija i razine buke
- (d) Financijski utjecaji – smanjenje troškove prema prijevoznicima i špediterima
- (e) Potrošnja energije – promjena količine energije koja se koristi.

3.4.1. Društveni i ekonomski modeli

Količina robe koja je u opticaju na određenom tržištu je zbroj pojedinačnih pošiljki odobrenih od strane špeditera. One su pod utjecajem posebnih ograničenja svakog proizvodnog procesa.

Ulazno-izlazna analiza je metoda za predstavljanje strukture urbanog gospodarstva i u funkciji korištenja robe od strane proizvođača i veličine proizvođača. Procjenjuje se interakciju između industrijskih poduzeća definiranjem veličine proizvodnje i uvjeta nabave materijala potrebnih za proizvodnju.

Ulazno-izlazne tablice pokazuju kako je proizvodnja svakog pojedinog proizvođača raspoređena među ostalim industrijskim poduzećima i koliko je potrebno materijala, odnosno ulaznih sirovina od drugih proizvođača, odnosno industrijskih poduzeća za dobivanje željene proizvodne količine. Svaki element predstavlja prodaju od jednog proizvođača (industrijskog poduzeća) ili sektora gospodarstva drugom. Robni tokovi između zastupljenih poduzeća prikazani su u novčanim jedinicama. Analize se mogu primijeniti za procjenu potražnje robe na tržištu za sva industrijska poduzeća u gradskom području (Hutchinson 1974, Roberts i Kullman 1979).

Demetsky (1974) je predstavio okvir za sumiranje kretanja robe i dobara unutar gradskih područja. Niz operacija omogućuje sažet prikaz ulazno-izlaznih robnih tokova koji se uspostavljaju. Zone usluga uspostavljaju se unutar istraživanog područja te su podrijetlo i odredište robe i dobara analizirani u smislu vremenske, volumetrijsku i prostorne dimenzije da bi prikazali varijacije u potrebi za transportom robe. Odnosi se zatim razvijaju između protoka roba i dobara te pojedinih aktivnosti kako bi se utvrdile ulazno-izlazne tablice. Predstavljene su interakcije između pojedinih gradskih zona i zona dobavljača.

Kombinacija ulazno-izlaznog pristupa s modeliranjem procesa u četiri koraka korištena je u Portlandovoj robnoj studiji protoka dobara (Taylor i Buttona, 1999). Dobiveni model kategorizira robe po vrsti, tržišnom segmentu kojem pripada i načinu unosa, a zatim raspodjeljuje robu s obzirom na objekt iz kojeg dolazi, kao i njeno konačno odredište. Roba se zatim pretvarala u ekvivalent vozila, potom je dodijeljena mreži i uspoređena u odnosu na vozila klasifikacijskih točaka.

3.4.2. Okolišni modeli

Modeli zaštite okoliša predviđaju učinke na okoliš primjenom *LPG* mjera. Modeli se obično koriste za procjenu utjecaja navedenih čimbenika onečišćenja.

- (a) Buke
- (b) Vibracija
- (c) Onečišćenja zraka (NO_x , CO_2 , lebdeće/krute čestice itd.).

U javnosti postoji zabrinutost u vezi utjecaja navedenih čimbenika na okoliš stoga je potrebno stvoriti model kojim bi se navedeni utjecaj predvidio (Kroon i po. Ur., 1991). Buka, vibracije i onečišćenje zraka (emisije NO_x i lebdeće/krute čestice) imaju učinak na lokalno područje i okoliš u blizini prometnica. Emisije CO_2 također utječu na globalno zatopljenje Zemlje. Ovim čimbenicima onečišćenja i njihovom utjecaju na okoliš se u posljednje vrijeme sve više posvećuje pažnja.

3.4.2.1. Buka

Postoji niz faktora koji utječu na razinu buke koju stvara promet na određenoj udaljenosti od ceste kao što je naznačeno u jednadžbi 3.4.

$$L_N = f(V, Q, a_2, l, \alpha_d), \quad (3.4)$$

gdje su:

L_N : razina buke

V : prosječna brzina putovanja

Q : volumen prometa

a_2 : dimenzije većih vozila

l : udaljenost od prometnice do predviđene točke

α_d : indeks slabljenja s udaljenosti u funkciji difrakcije (ogiba).

Razina buke obično je predstavljena preko razine intenziteta zvuka (dB) kao što je prikazano u jednadžbi 3.5.

$$L_N = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}, \quad (3.5)$$

gdje su:

I : intenzitet zvuka

I_0 : referentni intenzitet zvuka ($= 10^{-12} \text{ W/m}^2$).

Volumen velikih vozila je važan čimbenik, jer kamioni, autobusi i tegljači proizvode puno veću buku od malih putničkih vozila. Smanjenje buke putem difrakcije u jednadžbi 3.4 ovisi o strukturi ceste; nasipu i povišenim betonskim konstrukcijama.

Za predviđanje razine buke na udaljenosti l od ceste, treba procijeniti prosječnu brzinu vozila, volumen prometa i udio velikih vozila na cesti. Uobičajeno se prometna simulacija koristi za procjenu navedenih vrijednosti. Makroskopska prometna simulacija je pogodnija za velike prometne mreže, na primjer, za glavnu cestovnu mrežu velikog grada.

Međutim, za procjenu učinaka na okoliš u dijelu grada ili na određenoj prometnici ili raskrižju, mikroskopski model, koji se bavi ponašanjem svakog vozila posebno, je prikladniji.

Priručnik za poboljšanje prometne okoline u Japanu (1989) nudi sljedeće jednadžbe za procjenu razine buke izazvane prometom.

$$L_{50} = L_W - 8 - 20 \log_{10} l + 10 \log_{10} \left(\pi \frac{l}{d} \tan 2\pi \frac{l}{d} \right) + \alpha_d + \alpha_i \quad (3.6)$$

$$L_W = 87 + 0.2V + 10 \log_{10}(a_1 + 10a_2), \quad (3.7)$$

gdje su:

L_{50} : srednja vrijednost buke inducirane prometom dB(A)

L_W = prosječna razina snage prouzročena od strane vozila dB(A)

V : prosječna brzina putovanja (km/h)

a_1 : veličina malih vozila

a_2 : veličina velikih vozila ($a_1 + a_2 = 1$)

l : udaljenost između izvora buke do predviđene točke (m)

d : prosječno napredovanje vozila (m)

$$d = 1000 \frac{V}{Q}$$

Q : prosječan volumen prometa (vozila/sat)

α_d : indeks slabljenja s udaljenosti u funkciji difrakcije (dB(A))

α_j : indeks ostalih utjecaja (dB(A)).

Za predviđanje razine buke, potrebno je istražiti uzroke buke i procijeniti razinu pozadinske buke.

3.4.2.2. Vibracije

Prometno-inducirane vibracije ponekad stvaraju ozbiljne probleme ljudima i kućama građanima na slabom terenu. Uz to, vibracije tla mogu ometati rad visoko preciznih strojeva.

Vibracije inducirane prometom povezane su s nizom faktora (izraz 3.8).

$$L_V = f(V, Q, a_2, \alpha_r, \alpha_s, \alpha_1, \alpha_\sigma), \quad (3.8)$$

gdje su:

L_V : razina vibracija

V : prosječna brzina vožnje vozila

Q : obujam prometa

a_2 : udio velikih vozila

α_σ : indeks ravnosti površine ceste

α_r : indeks dominantne frekvencije tla

α_s : indeks cestovne strukture

α_1 : indeks prigušenja s udaljenosti od vibracija.

Razina vibracija je definirana izrazom 3.9.

$$L_V = 20 \log_{10} \left(\frac{a_e}{a_0} \right), \quad (3.9)$$

gdje su:

a_e : efektivno ubrzanje pregledano s obzirom na ljudsku reakciju na vibracije

a_0 : referentno ubrzanje ($= 10^{-5} \text{ m / s}^2$).

Ravnina površine ceste je glavni čimbenik koji utječe na razinu vibracija. Ako je površina pločnika dovoljno glatka, tu ne smije biti ozbiljnih problema vibracija na tvrdo tlo. Međutim, na slabom terenu, koji se obično sastoji od aluvijalne gline, teški kamioni i autobusi mogu proizvesti ozbiljne probleme vibracija za ljude i građevine. Zgrade se ponekad mogu nagnuti uslijed vibracija izazvanih prometom.

Dominantna frekvencija vibracija izazvanih prometom je povezana s nosivosti tla. Aluvijalna slaba podloga ima manju dominantnu frekvenciju iz činjenice da vibracija s manje dominantnom frekvencijom propagiraju dalje propadanje (Taniguchi i Sawada, 1979).

Vrsta cestovne konstrukcije, na primjer, razina podloge, nasipa ili povišenih betonskih konstrukcija također utječu na razinu vibracija. Prigušenje s promjenom udaljenosti od vibracija povezana je s dominantnom frekvencijom tla i vrstom tla.

Za predviđanje učinaka vibracija, potrebno je procijeniti prosječnu brzinu kretanja vozila, volumen prometa i udio velikih vozila. Osim ovih parametara bitno je prikupiti podatke o ravnosti površine ceste, dominantnoj frekvenciji terena, strukturi ceste i vrsti tla.

Priručnik za poboljšanje prometnog okruženja u Japanu (1989) predstavio je sljedeće jednadžbe za procjenu vibracija uzrokovanih prometom.

$$L_{10} = c_1 \log_{10}(\log_{10} Q^*) + c_2 \log_{10} V + c_3 \log_{10} M + c_4 + \alpha_r + \alpha_s + \alpha_1 + \alpha_\sigma \quad (3.10)$$

gdje su:

L_{10} : razina vibracija izazvanih prometom 10 % niže od maksimuma (dB)

Q^* : ekvivalentni volumen prometa na 500 sekundi po traci (vozila / 500 s / po traci)

$$Q^* = \frac{500}{3600} * \frac{l}{M} (Q_1 + 12Q_2)$$

Q_1 : prometni volumen malih vozila (vozila/sat)

Q_2 : prometni volumen velikih vozila (vozila/sat)

V: prosječna brzina vozila (km/h)

M: broj traka cesta u oba smjera;

α_g : indeks ravnosti površine ceste

α_r : indeks dominantne frekvencije tla

α_s : indeks cestovne strukture

α_1 : indeks prigušenja s udaljenosti od vibracija

c_1, c_2, c_3, c_4 – konstante.

3.4.2.3. Zagađenje zraka

Emisije štetnih plinova, uključujući NO_x , CO_2 su proporcionalne s nekoliko čimbenika (jednadžba 3.11).

$$L_g = f(V, Q, TV, I, W, u, H), \quad (3.11)$$

gdje su:

L_g : gustoća plinova

V: prosječna brzina vožnje vozila

P: obujam prometa

TV: vrste vozile

I: udaljenost od ceste do točke predviđanja

W: širina ceste

u: brzina vjetra

H: visina izvora.

Emisije štetnih plinova su vrlo ovisne o brzini vozila. Na primjer, tipična krivulja za emisije NO_x iz vozila pokazuju da se emisije smanjuju kako se brzina povećava i doseže minimum kada je brzina između 60–70 km/h (za brzine od 0 do 70km/h). Na većim brzinama emisije se povećavaju kako se brzina povećava.

Veliki kamioni s dizelskim motorima ispuštaju 15–20 puta više NO_x od osobnih automobila, dakle, tip vozila znatno utječe na emisije ispušnih plinova.

Difuzija ispušnih plinova može se dobiti rješavanjem jednadžbe difuzije u trima dimenzijama, koje uključuju prirodne difuzije plinova i utjecaj vjetera.

Kao primjer, Ooishi (1996) procjenjuje da je emisija CO₂ povezana s potrošnjom goriva. Prvo potrošnja goriva može se procijeniti pomoću sljedećih jednadžbi:

$$\text{za velike kamione } f_c = \frac{539,0}{V} - 11,03V + 0.0758V^2 + 587,6 \quad (3.12)$$

$$\text{za male kamione } f_c = \frac{544,2}{V} - 1,194V + 0.0117V^2 + 81,2 \quad (3.13)$$

$$\text{za autobuse } f_c = \frac{716,4}{V} - 13,00V + 0.1008V^2 + 611,7 \quad (3.14)$$

$$\text{za osobne automobile } f_c = \frac{356,9}{V} - 1,706V + 0.0128V^2 + 105,2 \quad (3.15)$$

gdje su:

f_c : potrošnja goriva

V : prosječna brzina putovanja vozila (km/h)

također, emisiju CO₂ se može izračunati pomoću sljedećeg izraza

$$E_c = f_c \cdot U_c \quad (3.16)$$

gdje su:

E_c : emisija CO₂ (g-C)

U_c : CO₂ emisija po jedinici potrošnje goriva (g-C/cm³).

Tipične vrijednosti za U_c dane od strane Nacionalnog instituta za znanost i tehnologiju Japana (1992) za benzin 0,623 (g-C/cm³) i za dizel 0,730 (g-C/cm³) .

3.4.2.4. *Primjene*

Kraus (1998) je predstavio model za predviđanje duljine ruta teretnih vozila za procjenu ekoloških i ekonomskih utjecaja distribucijskih sustava. Ovaj model određuje duljinu rute koja kreće iz središnjeg skladišta do kupaca s obzirom na prosječnu udaljenost između njih, veličinu narudžbe i kapaciteta vozila, prosječno opterećenje vozila, te prosječan broj korisnika u ruti. Rezultati modela su pokazali dobru procjenu u usporedbi sa stvarnom duljinom rute.

Taniguchi i Van der Heijden (2000a) predstavili su model za vrednovanje *LPG-a* s

obzirom na emisiju CO₂. Model se sastoji od dvaju podmodela, modela vozila (kombi/kamion) za probleme u planiranju rute s vremenskim prozorima (eVRP- TW) za svako industrijsko poduzeće kao i dinamičan simulacijski model prometa za dostavne kombije/kamione i osobne automobile na gradskoj cestovnoj mreži. Oni procjenjuju emisiju CO₂ i smanjenje troškova transporta uvođenjem mjera LPG-a. Taniguchi i Van der Heijden su zaključili da su kooperativni sustavi teretnog prijevoza najučinkovitiji u smanjenju emisije CO₂ u povećanoj potražnji distribucije tereta.

Model koji predviđa zagađenje zraka i zagađenje bukom od strane teretnih vozila na raskrižjima je razvio Ma (1999). Ovaj model je korišten za procjenu kapaciteta okoliša na glavnim teretnim rutama u Osaki. Analizirani su učinci kontrole pristupa teretnih vozila tijekom vršnog sata i uključivanje vozila niske emisije.

3.4.3. Financijski modeli

Financijsko modeliranje je važno za procjenu izvedivosti i isplativosti projekta u odnos na mjere LPG-a. Većina projekata javnih radova može se procijeniti na temelju analize troškova i koristi (engl. Cost-Benefit Analysis). Na primjer, izgradnja novih autocesta s visokom stopom povrata se može prihvatiti s ekonomskog stajališta. Međutim, projekt koje se odnosi na mjere LPG-a također zahtijeva dobru profitabilnost, jer je suštinski povezana s privatnim logističkim aktivnostima. Na primjer, čak i ako se novi podzemni prijevozni sustav tereta može smatrati ostvarivim prema analizi troškova i koristi, isti ne može biti usvojen ako se ne dokaže visoka razina profitabilnosti.

Stoga, financijski modeli igraju važnu ulogu u određivanju hoće li se ili neće usvojiti mjere LPG-a. Ponekad analiza profitabilnosti može otkriti da mjere LPG-a zahtijevaju financijsku potporu iz javnog sektora, iz razloga što projekti vezani uz mjere LPG-a najčešće podrazumijevaju visoke početne investicije.

Koristi od uvođenja mjera LPG-a imaju pozitivne učinke na okoliš, a posebnu korist najčešće imaju građani, ali ne špediteri ili teretni prijevoznici. Ako projekt zahtijeva znatno početno ulaganje, privatne tvrtke oklijevaju, jer su nesklone velikom riziku ulaganja.

Buduće vrijednosti troškova i koristi se pretvaraju u sadašnje vrijednosti primjenom socijalne diskontne stope. Sadašnja vrijednost troškova i koristi može se izračunati pomoću jednadžbe 3.17 i 3.18.

3.4.3.1. Analiza troškova i koristi

Analiza troškova i koristi je uobičajena metoda za procjenu projekata u javnom sektoru (Boardman et al., 1996). Ovdje se procjenjuju troškovi pri izgradnji i eksploataciji projekta. Također se procjenjuje dobit društva koje generira sustav tijekom trajanja projekta. Sadašnja vrijednost troškova i koristi projekta može se izračunati pomoću jednadžbi 3.17 i 3.18.:

$$C_{SV} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}, \quad (3.17)$$

gdje su:

C_{SV} : trenutni iznos troškova

C_i : trošak i-te godine

n : trajanje projekta

r : socijalna diskontna stopa.

$$B_{SV} = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}, \quad (3.18)$$

gdje su:

B_{SV} = sadašnja vrijednost koristi od projekta

B_i = dobit za i-tu godinu.

Omjer dobit/troškovi (BCR) se mogu procijeniti izrazom 3.19.:

$$BCR = \frac{B_{SV}}{C_{SV}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} \right) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \right), \quad (3.19)$$

U brojniku su kvantificirane sve koristi, a u nazivniku svi troškovi investicijskog projekta. Buduće koristi i troškove projekta potrebno je diskontirati, odnosno svesti na sadašnju vrijednost. Pritom se koristi tzv. socijalna diskontna stopa koja je obično nešto niža od opće kamatne stope. Projekt je prihvatljiv s ekonomskog aspekta ako je dobiveni omjer iznad 1.

Kod izbora investicijskog projekta, planiranje projekta i njegova ocjena smatraju se najsloženijim aspektima procesa strateškog planiranja i kapitalnog budžetiranja. Dobra investicijska odluka ovisi o izboru pravih kriterija procjene investicijskih projekata. Intenzivnim razvojem upravljačkog pristupa financijama poduzeća razvijene su mnogobrojne specifične metode financijskog odlučivanja. Posljednjih pedesetak godina u svjetskoj i domaćoj literaturi obrađivana je problematika investiranja,

kapitalnog budžetiranja, strateškog planiranja primjene metoda ocjene investicijskih projekata. Pritom su dvije najvažnije metode investicijskog odlučivanja:

- 1) Metoda neto sadašnje vrijednosti (engl. Net Present Value)
- 2) Metoda interne stope povrata (engl. Internal Rate of Return).

1) Metoda neto sadašnje vrijednosti zahtijeva da suma diskontiranih neto novčanih tokova u cijelom vijeku eksploatacije investicije, uključujući i investicijska ulaganja kao negativne novčane tokove i ostatak vrijednosti investicije po isteku vremena eksploatacije, bude pozitivna. Izračun neto sadašnje vrijednosti prikazan je izrazom 3.20.:

$$NSV = B_{SV} - C_{SV} = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i}, \quad (3.20)$$

Projekti s većom neto sadašnjom vrijednošću su prihvatljiviji za ulaganje.

2) Interna stopa povrata može se definirati kao stopa koja zadovoljava izraz 3.21.:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} = 0, \quad (3.21.)$$

Ako je stopa povrata jednaka nuli tada je suma sadašnjih vrijednosti koristi od eksploatacije projekta izjednačena sa sadašnjom vrijednošću troškova projekta. Dakle, interna stopa povrata izjednačuje investicijska ulaganja s neto novčanim tijekovima u toku izvedbe projekta. Dakle, poželjnije je investirati u projekt s višom internom stopom povrata.

Troškovi projekta se uglavnom odnose na izgradnju, održavanje i rad sustava. Procjenu troškova izgradnje novih sustava, kao što je primjerice trošak izgradnje sustava podzemnog teretnog prijevoza, treba procijeniti na temelju troškova izgradnje sličnih transportnih sustava. Rad sustava automatskog upravljanja zahtijeva veće početno ulaganje u hardver i druge upravljačke i kontrolne uređaje. No, nakon što su automatski sustavi instalirani, oni omogućuju fleksibilnije korištenje sustava nego u ručno upravljanim sustavima.

Društvene koristi od pokretanja LPG-a se mogu podijeliti na izravne i neizravne. Izravne koristi uključuju:

- (a) Prednosti koje se odnose na uštedu vremena putovanja
- (b) Prednosti povezane sa specifičnostima putovanjima

- (c) Prednosti povezane s manjom vjerojatnošću prometnih nesreća
- (d) Prednosti vezane uz okoliš.

Neizravne koristi uključuju:

- (a) Priliku za otvaranje novih radnih mjesta
- (b) Otvaranje novih tvrtki
- (c) Povećanje prihoda gradova i općina.

LPG mjere mogu generirati smanjenje prijeđenih kilometara vozila ili broja vozila koja se koriste za rad. To rezultira smanjenjem vremena putovanja na cestovnoj mreži. Prednosti koje se odnose na uštedu vremena putovanja su korisne kako za osobne automobile tako i za teretna vozila. Uštedu u vremenu putovanja moguće je i novčano procijeniti koristeći vrijednosti vremenskih parametara.

LPG mjere mogu smanjiti operativne troškove, uključujući vozila, troškove rada vozila, troškove vozača, goriva i cestarine. Moguća su i smanjenja oštećenja prevezene robe. Navedeno predstavlja prednosti povezane sa specifičnostima putovanja.

Veliki kamioni koriste urbane ulice za prijevoz robe te su ponekad uključeni u ozbiljne sudare. Pojedine *LPG* mjere su učinkovite u smanjenju ukupnih prijeđenih kilometara velikih kamiona, što može smanjiti broj nesreća. Smanjenje cestovnih nesreća spašava ljudske živote i teške ozljede te smanjuje prometne gužve.

Općenito je teško kvantitativno procijeniti prednosti vezane uz okoliš. Međutim, emisije dušikovog oksida (NO_x) i ugljičnog dioksida (CO_2) je moguće pretvoriti u novčane jedinice procjenjujući troškove koji bi ih učinili bezopasnim.

Kvantitativna procjena neizravnih koristi je mnogo teža u odnosu na procjenu izravnih koristi od pokretanja projekta *LPG*-a. Stoga se neizravne koristi često izražavaju u kvalitativnom smislu te modeliranje ovakvih koristi predstavlja poseban istraživački izazov.

3.4.3.2. Analiza profitabilnosti

Budući da su privatne tvrtke uključene u niz logističkih aktivnosti, profitabilnost projekta koji se odnosi na *LPG* mjere su bitne za ocjenjivanje hoće li se projekt usvojiti. Analiza profitabilnosti može se provesti u četirima fazama pri čemu je potrebno:

- (a) Odrediti cijenu za uslugu
- (b) Predvidjeti potražnju na osnovu cijene
- (c) Izračunati prihod
- (d) Procijeniti dobit.

Cijena za korištenje novih usluga temeljenih na *LPG* servisima je bitan čimbenik u analizi profitabilnosti. Cijena se može procijeniti, budući da je često teško identificirati odgovarajuću cijenu za novu uslugu. Na temelju postavljene cijene, procjenjuje se potražnja i razina usluge. Ponekad se provode istraživanja u svrhu procjene potražnje za novim sustavima koji još nisu razvijeni ili provedeni drugdje. Predviđeni prihodi i dobit najviše ovise o točnosti predviđene razine potražnje. Posebnu pozornost treba posvetiti potpunom informiranju ljudi koji odgovaraju na upitnike u navedenom istraživanju, s obzirom na karakteristike novog sustava.

Interna stopa povrata može pružiti korisne informacije za procjenu profitabilnosti projekta, jer projekte vezane uz *LPG* mjere često provodi neka treća strana podržana kako od strane privatnog, tako i od javnog sektora. Interna stopa povrata je odgovarajući indikator za procjenu projekta koji uključuje mješavinu ulaza iz javnog i privatnog sektora.

3.4.3.3. *Primjene*

Kao primjer analize profitabilnosti može poslužiti projekt sustava podzemnog teretnog prijevoza. Procjena novog sustava podzemnog prijevoza tereta u Tokiju, koristeći analizu troškova i koristi rezultirala je zaključkom da je ovaj projekt ekonomski isplativ (Ooishi i Taniguchi, 1999). Procijenjeno je da će ovaj sustav rezultirati značajnim smanjenjem vremena putovanja, emisija i sudara. Međutim, profitabilnost projekta je bila upitna, zaključujući da je najmanje 50 % troškova izgradnje potrebno unaprijed osigurati kako bi se osigurala financijska održivost.

3.4.4. Modeli potrošnje energije

LPG mjere će značajno utjecati na potrošnju energije teretnih vozila poboljšanjem i racionalizacijom urbanog cestovnog prijevoznog sustava. Procjenu promjene potrošnje energije primjenom *LPG* mjera moguće je prikazati primjenom različitih

modela. Pošto kamioni nose prevoze najveći dio robe u urbanim područjima, moraju se razviti modeli za procjenu potrošnje goriva za motorna vozila.

3.4.4.1. Faktori koji utječu na potrošnju goriva

Postoji niz čimbenika koji utječu na potrošnju goriva motornih vozila kao što su:

- (a) Uzorak kretanja
 - Prosječna brzina vožnje
 - Ponašanje vozača.
- (b) Stanje na cestama
 - Kvaliteta podloge
 - Vlažnost površine ceste
 - Zavoji
 - Gradijenti.
- (c) Uvjeti vozila i ostali efekti
 - Težina vozila
 - Veličina motora
 - Vrsta goriva
 - Vrsta prijenosa
 - Tolerancije proizvođača
 - Način korištenja vozila i motora
 - Učestalost održavanja
 - Hladno pokretanje i hladno korištenje
 - Vremenski uvjeti
 - Korištenje pomoćne opreme.

Everall (1968) je predložio sljedeće jednadžbe za procjenu potrošnje goriva kao funkcije prosječne brzine vozila

$$f_c = k_1 + \frac{k_2}{V} + k_3 * V^2, \quad (3.22)$$

gdje su:

f_c – potrošnja goriva po jedinici udaljenosti

V : prosječna brzina vozila

k_1, k_2, k_3 – konstante.

Konstanta k_1 u jednadžbi 3.22 dodijeljena je potrošenom gorivu po jedinici udaljenosti i približno je jednaka masi vozila (Evans and Herman, 1976). Drugi termin u jednadžbi 3.22 je povezan s različitim vremenski ovisnim gubicima trenja i približno proporcionalan protoku goriva u mirovanju. Treći izraz u jednadžbi 5.22 predstavlja aerodinamični otpor, što vozilo doživljava tijekom rada. Ovaj pojam je manje važan u području niske prosječne brzine vozila. Prema ispitivanjima na stvarnim cestama (Yamada, 1980), potrošnja goriva je minimizirana na prosječnim brzinama putovanja između 50–60 km/h. Također, vozačevo ponašanje ima znatan utjecaj na potrošnju goriva. Općenito, umjerenije ubrzanje i kočenje dovodi do manje potrošnje goriva.

Institut za istraživanje javnih radova u Japanu izvodi eksperimente o učincima kvalitete cestovne površine na potrošnju goriva. Utvrđeno je da kvaliteta površine ceste znatno utječe na potrošnju goriva. Na primjer, potrošnja goriva na makadamskom putu bila je oko 22 % veća nego na asfaltiranoj cesti. Vlažnost površine ceste također utječe na potrošnju goriva, pa se tako manja potrošnja goriva javlja prilikom suhih uvjeta na cestama.

Roumegoux (1979) koristi računalne modele kako bi proučio učinke zavoja na potrošnju goriva u međugradskim uvjetima. Analiza je pokazala da u usporedbi s ravnim cestama, prelazak zavoja s vozilom koji teži 1 tonu i ubrzanjem od 0,2 G uzrokuje dodatnu potrošnju od 1 l/100 km. Pelensky et. al. (1968) su proučavali učinke uspona i predložili sljedeću jednadžbu:

$$f_c = 87 + 0,45 t + 0,08 mg\theta , \quad (3.23)$$

gdje su:

t – vrijeme putovanja

m – masa vozila

g – ubrzanje sile teže

θ – kut nagiba.

Različiti čimbenici koji se odnose na stanje vozila također utječu na potrošnju goriva. Težina vozila značajno utječe na potrošnju goriva, jer je otpor kotrljanja proporcionalan masi na svakoj osovinu. Jasno je da veći motori troše više goriva. Težina i premještanje motora vozila je osmišljeno tako da vozilo ima najbolje performanse ili optimalno korištenje snage motora i goriva. Stoga, izražavajući potrošnju u funkciji pomaka motora je gotovo jednaka izražavanju potrošnje u funkciji težine vozila.

Poznato je da vozila s dizelskim motorima troše manje goriva od vozila s benzinskim motorima, osobito kada je motor hladan. Vozila s automatskim mjenjačem troše više goriva nego ona s ručnim mjenjačem. To je zbog gubitka snage motora u prijenosnom sustavu i ograničenosti raspona prijenosnih omjera. Nedavno je razvijen kontinuirano varijabilni prijenos te se očekuje ostvarivanje bolje potrošnje goriva od ručnog mjenjača, kao i ugodniju vožnju.

Loše održavana vozila troše više goriva. Loša podešavanja motora, kao što je pogrešno vrijeme paljenja, prljavi filtri i labavo remenje, povećavaju potrošnju. Također, temperatura okoline je važan čimbenik koji utječe na potrošnja goriva. Svaki pad temperature uzrokuje povećanje potrošnje goriva, čak i kada je motor vruć. Navedeno je posljedica većih toplinskih gubitaka i veće viskoznosti goriva u prijenosnom sustavu.

Osim što pokreće vozilo, motor omogućuje rad pomoćne i dodatne opreme, kao što su klimatski uređaj, servoupravljač i kočnice. Ako vozilo ima dodatnu opremu, operativni učinci tih stavki se ne smiju zanemariti pri izračunu potrošnje goriva.

3.4.4.2. Modeli za procjenu potrošnje goriva

Yamada (1980) je razvio model za procjenu potrošnje goriva kojeg je verificirao eksperimentima, a mjereni su podaci o cesti i vozilu. Model kao što je prikazano u jednadžbi 3.24 uključuje vrstu kolnika, zaustavno vrijeme, prosječni gradijent, korištenje klimatskih uređaja i prosječne brzine putovanja za izražavanje potrošnje goriva, što je inverzno potrošnji goriva. Čimbenici koji imaju visoku korelaciju s drugim čimbenicima su uklonjeni.

$$f_e = 6.372 - 0.716r_g - 0.193t_s - 1.392g_a - 1.412a + 0.138V - 0.001V^2, \quad (3.24)$$

gdje su:

f_e – ekonomija potrošnje (km/litri)

r_g – 1 za podlogu šljunka, 0 za podlogu asfalta

t_s – vrijeme zaustavljanja (min.)

g_a – prosječni gradijent (%)

a – 1 kada je klimatizacija uključena, 0 kada je klimatizacija isključena

V - prosječna brzina putovanja (km/h).

Parcijalnim diferenciranjem jednadžbe 3.24 u odnosu na prosječnu brzinu putovanja i izjednačavanjem s nulom, došlo se do rezultata da je se optimalna potrošnja goriva ostvaruj pri brzini od 69 km/h. Kanzaki (1986) je razvio računalni model za procjenu potrošnje goriva simulirajući sustav prijenosa snage vozila. Ovaj model ima prednost jer se potrošnja goriva vozila u svakom mogućem stanju rada može procijeniti bez pokretanja ispitivanja. U modelu se najprije određuje moment motora i rotacija motora u određenom stanju. Jednadžbe koje predstavljaju rad prijenosne mreže sustava vozila se koriste za izračunavanje momenta i rotacije. Konačno, mape motora se koriste za određivanje potrošnje goriva prema odgovarajućem momentu i određenoj rotaciji. Kraus (1998) je procijenio potrošnju goriva kao funkciju veličine reda i udaljenosti od skladišta za 40-tonsko vozilo, bazirano na podacima iz njemačkog okolišnog ovlaštenja.

4. EKOLOŠKI UTJECAJ LPG-a

4.1. Ekološki utjecaji

Kahn Ribeiro i Kobayashi [96] su procijenili kako 8 % svjetske emisije CO₂ dolazi iz područja teretnog prijevoza, ali prema OECD-ovom izvješću "Prijevoz, energija i CO₂" 25 % [5] od ukupne emisije CO₂ može se pripisati prijevozu. Automobili i kamioni predstavljaju otprilike 75 % od svih emisija, ali emisija zrakoplovnog i pomorskog transporta radikalno raste. Iako postoji značajan napor u korist smanjenja emisije CO₂, porast prijevoza podupire korištenje energije za prijevoz te se previđa da bi se do 2050. moglo udvostručiti. Dodatna predviđanja su da se skladištenju i upravljanju dobrima može pripisati od 2 % do 4 % emisije CO₂. Uzimajući u obzir prethodne navode, logistika je, nakon energetike, drugi najveći zagađivač CO₂.

Sektor logistike je vrlo kompleksan sustav te male promjene unutar jednog područja mogu imati značajne posljedice za cijeli sustav, fenomen izrazito vidljiv kada se radi o istraživanju zagušenja/pretrpanosti. Čak se ni jedinstvene transportne mjere ne mogu ocijeniti zasebno od svih poveznica. Kada se uzme u obzir mjera za smanjenje CO₂, uvijek postoje lateralne posljedice koje utječu na ishod ove mjere. Te posljedice se mogu kretati u istom smjeru kao i originalni učinak te postepeno povećati (poznato kao multiplikacijski efekt), ili kretati se suprotno od trenda te smanjiti originalni efekt (poznato kao efekt odbijanja). Primjerice, "inducirani promet", mjera infrastrukture za povećanje cestovnog kapaciteta te smanjenje zagušenja, može inducirati više prometa, kao kod poboljšanih cestovnih uvjeta, javlja se rastući trend u prometu, s obzirom da ljudi imaju tendenciju više voziti na novim prometnicama gdje nema gužve. Ovaj navod je u skladu s Braessovim paradoksom [9] koji pokazuje kako izgradnja nove, dodatne prometnice koja bi trebala smanjiti daljinu i vrijeme putovanja zapravo uzrokuje povećanje vremena putovanja i gužve za sva vozila.

4.2. Ekološki standardi

4.2.1. Razine onečišćujućih tvari u zraku

Temeljem Zakona o zaštiti zraka (NN 47/2014) rezultati mjerenja uspoređuju se s Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12).

Granična vrijednost (GV) je granična razina zagađenja ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji ili je vrlo mali rizik štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta ne smije se prekoračiti.

Ciljana vrijednost (CV) je razina zagađenja postavljena s ciljem dugoročnog otklanjanja mogućih štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini, koju, gdje je to moguće, treba postići u utvrđenom roku.

Prag obavješćivanja (PO) je razina onečišćenosti čije prekoračenje predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje pri kratkotrajnoj izloženosti za osjetljive skupine stanovništva i o kojima se žurno i na odgovarajući način informira javnost.

Prag upozorenja (PU) je razina onečišćenosti čije prekoračenje predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje pri kratkotrajnoj izloženosti za čitavo stanovništvo i pri čijoj se pojavi žurno poduzimaju odgovarajuće propisane mjere.

Tablica 4.1. Granične i ciljane vrijednosti s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi i kvalitetu življenja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Onečišćujuća tvar	GV	GV	GV	GV/CV
	1 sat	24 sata	1 godina	max. 8 sati pomično
Sumporov dioksid SO_2	350	125		
Dušikov dioksid NO_2	200		40	
Lebdeće čestice PM_{10}		50	40	
Ugljikov monoksid (CO)				10 mg/m^3
Benzen C_6H_6			5	
Sumporovodik H_2S	7	5		
Amonijak NH_3		100		
Prizemni ozon O_3				120

Prag obavješćivanja i pragovi upozorenja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Onečišćujuća tvar	Prag obavješćivanja – 1 sat	Prag upozorenja – 3 uzastopna sata
Sumporov dioksid – SO_2		500
Dušikov dioksid – NO_2		400
Prizemni ozon O_3	180	240

Ocjena kvalitete zraka formira se nakon godine dana mjerenja i složene statističke obrade podataka koji se prezentiraju u godišnjem izvještaju na način kako je propisano u Pravilniku o praćenju kakvoće zraka (NN 3/2013).

Prema razini zagađenja (rezultati mjerenja tijekom najmanje godinu dana) s obzirom na propisane granične vrijednosti (GV), tolerantne vrijednosti (TV), ciljane vrijednosti i dugoročne ciljeve u skladu sa Zakonom o zaštiti zraka (NN 47/2014) i odredbama Uredbe o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (NN 178/2004) područja mjerenja svrstavaju se u tri skupine po stupnju onečišćenosti zraka.

Tablica 4.2. Kategorije kakvoće zraka u određenom području mjerenja

Prva kategorija kakvoće zraka	čist ili neznatno onečišćen zrak: ako nisu prekoračene granične vrijednosti kvalitete zraka (GV)
Druga kategorija kakvoće zraka	umjereno zagađen zrak: prekoračene su granične vrijednosti (GV) za jednu ili više onečišćujućih tvari, a nisu prekoračene tolerantne vrijednosti (TV) niti za jednu ili više onečišćujućih tvari
Treća kategorija kakvoće zraka	prekomjerno zagađen zrak: prekoračene su tolerantne vrijednosti (TV) za jednu ili više onečišćujućih tvari

4.2.2. Provjera ispušnih plinova vozila putem ekotesta

Proizvođači cestovnih motornih vozila nastoje iz novog motora izvući što više snage uz što manju potrošnju te što čišći ispuh. Za snagu i potrošnju najviše je zainteresirano tržište, a na što čišće ispušne plinove tjera ih zakonodavstvo, pa se stoga donose sve stroži homologacijski propisi o graničnoj emisiji ispuha koje proizvođač mora poštovati raznim poboljšanjima, uz veliku penalizaciju za nepridržavanje. Iz tog razloga vozila novijih generacija imaju znatno čišći ispuh od onih starijih.

Zakonski propisi za ograničenje štetnih tvari u ispušnim plinovima Ottovih motora. Zakonodavac propisuje maksimalne vrijednosti štetnih tvari u ispušnim plinovima pri testiranju tipova vozila za dodjeljivanje opće uporabne dozvole i naknadnih ispitivanja emisije štetnih tvari (analiza ispušnih plinova, OBD).

Tablica 4.3. Granične vrijednosti štetnih tvari vozila s Ottovim motorom u Europi u (g/km), osim za PN u (l/km)

M1(< 2,5t, sa 6 sjedala)	CO	HC	NO _x	PM	PN
Euro III od 2000.	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV od 2005.	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V od 2009.	1,00	0,10	0,06	0,005*	-
Euro VI od 2014.	1,00	0,10	0,06	0,005*	610"
* za izravno ubrizgavanje 0,0045					

Tablica 4.4. Granične vrijednosti ispuha vozila s dizelskim motorom u EU u [g/km]

	CO	HC+NO _x	NO _x	Krute čestice
Euro 3 od 2000.	0,64	0,56	0,5	0,05
Euro 4 od 2005.	0,5	0,30	0,25	0,025
Euro 5 od 2009.	0,5	0,23	0,18	0,005
Euro 6 od 2014.	0,5	0,17	0,08	0,005

Uz same homologacijske zahtjeve u zemljama razvijenog svijeta, zakonodavstva propisuju da se periodičnim pregledima kontrolira emisija ispušnih plinova kako bi se pratila odstupanja i nepravilnosti u radu motora u odnosu na ona koje je proizvođač deklarirao. Gledajući kroz prizmu vremena, prva nastojanja ograničenja sadržaja ispuha i periodična kontrola ispušnih plinova započinje krajem šezdesetih godina. Europska unija se bavi izračunavanjem ispušnih plinova putem EEC i EC smjernica.

4.2.3. Standardne vrijednosti emisije CO₂ za nova motorna vozila

Osvrt na Uredbu broj 443/2009 Vijeća Europske unije

Vijeće Europske unije i Europski parlament donijeli su 15. 12. 1993. godine Odluku (Odluka Vijeća 94/69/EZ) o mjerama za ublažavanje klimatskih promjena. U siječnju 2007. godine Europska komisija je predložila da se u sklopu međunarodnih pregovora

postavi za cilj Europske unije 30 %-tno smanjenje emisija stakleničkih plinova u odnosu na razine iz 1990. koje razvijene zemlje trebaju ostvariti do 2020. godine i da se neovisno o tomu sama EU čvrsto obveže da će do 2020. godine ostvariti barem 20 %-tno smanjenje emisija stakleničkih plinova (u odnosu na razine iz 1990.) neovisno o smanjenjima koja ostvare druge razvijene zemlje.¹

Jedna od posljedica tih obveza je da će sve države članice EU trebati značajno smanjiti emisije iz motornih vozila. Cestovni promet jedan je od najveći sektor po emisijama stakleničkih plinova u Europskoj uniji, i u njemu emisije i dalje rastu. Ako se utjecaj cestovnih motornih vozila na promjenu klime nastavi povećavati, to će znatno umanjiti značaj smanjenja koja su drugi sektori postigli u suzbijanju klimatskih promjena.

Prema Odluci Vijeća EU od 1993. godine, do 2020. godine prosječna CO₂ emisija ne smije prijeći 95 g/km. Cilj od 95 g/km će se provoditi u fazama.²

4.2.4. Ciljane vrijednosti specifičnih emisija

Specifične emisije CO₂ za svaki proizvedeni osobni automobil mjere se u gramima po kilometru i izračunavaju se u skladu sa sljedećim formulama.³:

- a) Od 2012. do 2015. godine: specifična emisija računa se po formuli:

$$\text{CO}_2 = 130 + a(M - M_0)$$

gdje su:

- M : masa vozila u kilogramima (kg)
- M₀ : 1 372,0
- a : 0,0457.

- b) Od 2016. godine: specifična emisija računa se po formuli:

$$\text{CO}_2 = 130 + a(M - M_0)$$

gdje su:

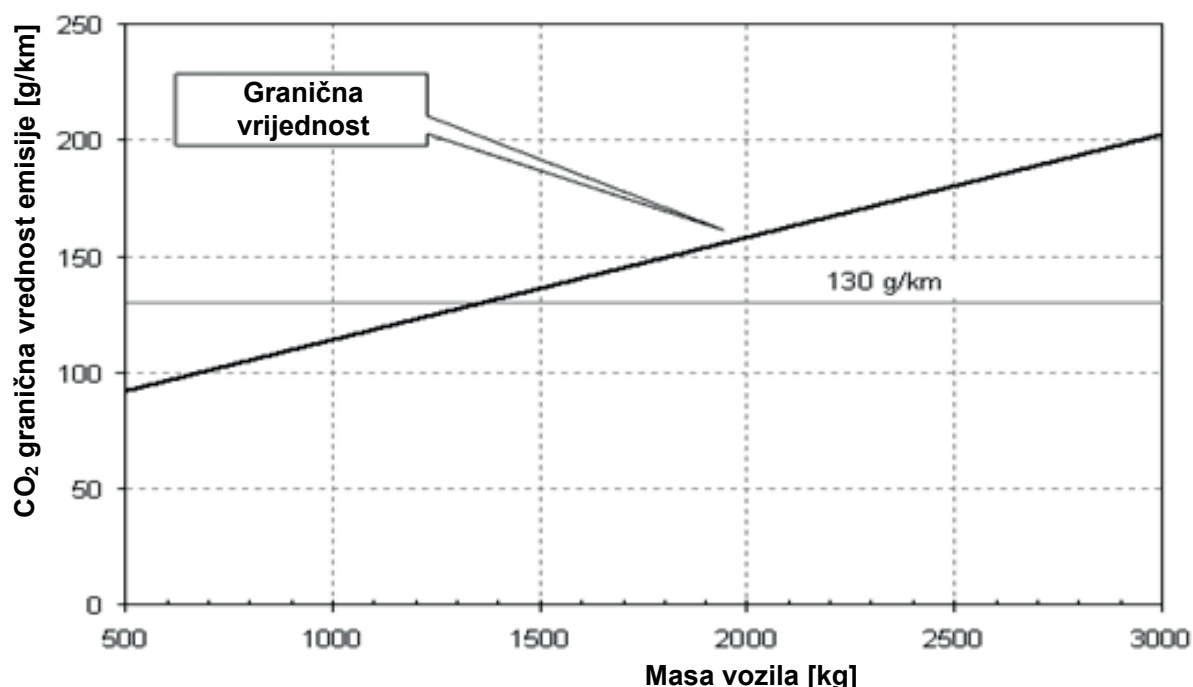
1 Službeni list Europske unije L 140/1, UREDBA (EZ) br. 443/2009 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. travnja 2009. o utvrđivanju standardnih vrijednosti emisija za nove osobne automobile u okviru integriranog pristupa Zajednice smanjenju emisija CO₂ iz lakih vozila, 5. lipnja 2009., str. 212

2 Ibidem, str. 217

3 Ibidem, str. 223

- M : masa vozila u kilogramima (kg)
- M_0 : vrijednost donesena u skladu s člankom 13. stavkom 2.
- a : 0,0457.

Ciljana vrijednost specifičnih emisija za određenog proizvođača u jednoj godini izračunava se kao prosjek specifičnih emisija CO₂ svakog proizvedenog osobnog automobila registriranog u toj kalendarskoj godini.



Izvor: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/faq_en.htm

Slika 4.1. Ovisnost emisije CO₂ o masi vozila prema Odluci Vijeća EU o ograničenju emisije motornih vozila na 130 g/km

4.2.5. Premija za prekomjerne emisije

Od 2012. godine nadalje za svaku godinu kad su prosječne specifične emisije CO₂ određenog proizvođača veće od njegove ciljane vrijednosti specifičnih emisija u toj godini, EU Komisija zaračunava premiju za prekomjernu emisiju za tog proizvođača.⁴

4 Ibidem, str. 218

1. U slučaju da su prosječne specifične emisije CO₂ određenog proizvođača iznad njegovih ciljanih vrijednosti specifičnih emisija za više od 3 g/km zaračunava se taksa (kazna) po formuli:

$$[(\text{Prekomjerna emisija CO}_2 - 3 \text{ g /km}) \cdot 95 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \times 25 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \times 15 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \times 5 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km}] \cdot \text{broj novih osobnih automobila}.$$
2. U slučaju da su prosječne specifične emisije CO₂ jednog proizvođača iznad njegovih ciljanih vrijednosti specifičnih emisija za više od 2 g CO₂ /km, ali ne više od 3 g CO₂ /km zaračunava se taksa (kazna) po formuli:

$$[(\text{Prekomjerna emisija} - 2 \text{ g CO}_2 / \text{km}) \cdot 25 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \times 15 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \cdot 5 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km}] \cdot \text{broj novih osobnih automobila}.$$
3. U slučaju da su prosječne specifične emisije CO₂ jednog proizvođača iznad njegovih ciljanih vrijednosti specifičnih emisija za više od 1 g CO₂ /km, ali ne više od 2 g CO₂ /km zaračunava se taksa (kazna) po formuli:

$$[(\text{Prekomjerna emisija} - 1 \text{ g CO}_2 / \text{km}) \cdot 15 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km} + 1 \text{ g CO}_2 / \text{km} \times 5 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km}] \cdot \text{broj novih osobnih automobila}.$$
4. U slučaju da su prosječne specifične emisije CO₂ jednog proizvođača iznad njegovih ciljanih vrijednosti specifičnih emisija za najviše 1 g CO₂ /km zaračunava se taksa (kazna) po formuli:

$$(\text{Prekomjerne emisije} \cdot 5 \text{ EUR/g CO}_2 / \text{km}) \cdot \text{broj novih osobnih automobila}.$$

Praćenje napretka proizvođača. Praćenje provedbe odluke **Vijeća Europske unije** će koristiti relevantna tijela vlasti zemalja članica Europske unije na bazi godišnjih izvješća o registraciji novih vozila te ih prosljeđivati Europskoj komisiji, koja će predstavnike proizvođača pozvati na provjeru podataka. Na bazi tih podataka Komisija će svakog 31. listopada objavljivati postignuća svakog od proizvođača u emisiji CO₂ u odnosu na godišnje ciljane emisije. Podaci će biti dostupni na web stranicama Europske agencija za okoliš.⁵

5 Ibidem, str. 218

4.3. Metode mjerenja ekoloških utjecaja

Ovdje su prvo opisane metode mjerenja ekoloških utjecaja koje koristi Nastavni zavod za javno zdravstvo PGŽ na 14 mjernih mjesta na području Primorsko-goranske županije. U drugom dijelu opisane su metode mjerenja ispušnih plinova motornih vozila u Republici Hrvatskoj i pojedinim europskim zemljama. Pri tome je korišten upitnik "General questionnaire 2012", CITA (Comite international de l'inspection technique automobile), u kojem su podaci o tehničkim pregledima za sve zemlje u svijetu.

4.3.1. Metode mjerenja ekoloških utjecaja na mjernim postajama na području PGŽ

Kontinuirano ispitivanje i obrada podataka onečišćenja zraka na području Primorsko-goranske županije provodi se prema metodama i važećim zakonskim odredbama navedenim u:

- Zakon o zaštiti okoliša, NN 153/2013.
- Zakon o zaštiti zraka, NN 47/2014.
- Pravilnik o praćenju kakvoće zraka, NN 3/2013.
- Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku, NN 178/2004.
- Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku, NN 117/2012.
- Uredba o ozonu u zraku, NN 133/2005.
- Pravilnik o uzajamnoj razmjeni informacija i izvješćivanju o kvaliteti zraka, NN 57/2013.

Program mjerenja kakvoće zraka prati vremensku i prostornu raspodjelu onečišćujućih tvari koje se emitiraju iz prijevoznih sredstava, industrijskih i energetske postrojenja, tehnoloških procesa te difuznih izvora. Mjerna mjesta i opis mjerenja onečišćenja iz zraka prikazan je u tablici 4.5. U tablici 4.7. dan je primjer trenutnog prikaza "posljednje satne vrijednosti po postajama [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; CH_4 u [mg/m^3]]. U tablici 4.8. dani su parametri te način njihova određivanja.

Tablica 4.5. Lokacija 14 mjernih postaja u PGŽ [102]

MJERNA POSTAJA	OPIS
ZAVOD I , Krešimirova 52a, Rijeka	A/K: SO ₂ , dim, NH ₃ , NO ₂ , O ₃ , CO, UTT, PM ₁₀ , PAU, metali, kiselost oborina
ZAVOD II , Krešimirova 38, Rijeka	A: PM ₁₀
MLAKA ; I. Sušnja 4, Rijeka	K: SO ₂ , dim, NO ₂ , NH ₃ , H ₂ S
FIORELLO LA GUARDIA Studentska 1, Rijeka	K: SO ₂ , dim, NO ₂
DRAGA ; Brig 24, Draga	K: SO ₂ , dim
KOSTRENA ; Glavani bb, Kostrena	K: SO ₂ , dim, NH ₃ , UTT, metali
BAKAR ; Primorje 39, Bakar	K: SO ₂ , dim, NH ₃ , UTT, metali
KRALJEVICA ; Frankopanska 9	K: SO ₂ , dim, NO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, UTT, metali
KRASICA I , Krasica bb, Bakar	K: SO ₂ , dim, H ₂ S
OPATIJA , Gorovo bb, Opatija	A: O ₃
JEZERO VRANA , Cres	K: SO ₂ , dim, UTT, metali, kiselost oborina
OMIŠALJ ; OŠ Omišalj, Bajec bb	K: SO ₂ , dim, Cl, UTT
URINJ ; Kostrena	A/K: SO ₂ , NO ₂ , CO, H ₂ S, NH ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , R-SH, BTEX, Cd, Pb i Ni u PM ₁₀ , UTT, metali
LIVIDRAGA ; Lividraga	K: UTT, metali
KRASICA II ; Bakar	A: SO ₂ , H ₂ S, NO ₂ , O ₃ , BTEX
DELNICE ; I.G.Kovačića bb, Delnice	K: SO ₂ , UTT, kiselost oborina, dim, metali
MARTINŠĆICA ; Vrh Martinšćice	A/K: UTT, PM ₁₀ , metali
ŽURKOVO ; Žurkovo, Kostrena	K: UTT, metali
PLUMBUM ; Pećine, Rijeka	K: UTT, metali
VRH MARTINŠĆICE ; Kostrena	A: H ₂ S, BTEX
PAVEKI ; Šojška bb, Kostrena	A/K: SO ₂ , NO ₂ , H ₂ S, O ₃ , CO, Pb, PM ₁₀ , PM _{2.5} , R-SH, Cd, i Ni u PM ₁₀ , BTEX, UTT, metali
GEROVO ; Zagrebačka ulica bb, Gerovo	K: UTT, metali, kiselost oborina
VOLOSKO ; Stube I. Zavidića 1, Volosko	K: SO ₂ , dim
VIŠEVAC ; Marinići, Viškovo	A: NH ₃ , H ₂ S, CO, CH ₄ , PM ₁₀
MARIŠĆINA ; Pogled, Viškovo	A: SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , NH ₃ , H ₂ S, CO, PM ₁₀ , BTEX

4.3.1.1. Kemijske metode

1. Sumporov dioksid – SO₂

Sumporov dioksid SO₂ određuje se acidimetrijskom metodom (standardni britanski postupak za rutinsko određivanje koncentracije SO₂ u zraku naselja). Metoda se bazira na apsorpciji SO₂ iz zraka prolaskom kroz apsorpcijsku otopinu i određivanje otopljenog sumporovog dioksida u otopini.

2. Masena koncentracija dima

Masena koncentracija dima u zraku određuje se na temelju intenziteta zatamnjenja papirnog filtra nakon filtracije zraka. Princip metode je fotometrijsko mjerenje redukcije reflektirane svjetlosti od filtera papira, a iz internacionalne baždarne krivulje određuje se koncentracija dima [140].

3. Taložne tvari

Prema njemačkim standardima izrađen je uređaj za sakupljanje uzoraka taložne tvari. Uređaj ima nosač, košare te polietilenske posude. Postupak uzorkovanja traje 30 ± 2 dana. Gravitacijski se određuje količina ukupno netopivih, ukupno topivih tvari i količina pepela [121]. Standardiziranim volumetrijskim metodama određuju se količine klorida i kalcija [144]. Sadržaj sulfata, amonijevih iona i nitrita određuje se spektrofotometrijskom metodom u topivom dijelu [144]. Koncentracije metala određuju se spektrometrijom (AAS; HRN EN ISO 15586:08) i titrimetrijom (HRN ISO 6058:01).

4. Dušikov dioksid – NO_2

Određivanje koncentracija NO_2 u zraku se određuje analitičkom metodom spektrofotometrije, a sami uzorci NO_2 dobivaju se modificiranom Saltzmanovom metodom [74].

5. Amonijak – NH_3

Određivanje koncentracije NH_3 u zraku obavlja se analitičkom metodom spektrofotometrije pomoću Nesslerova reagensa. Blaga otopina vodikovog peroksida (0,06%) se koristi kao apsorpcijska otopina za sakupljanje uzoraka zraka u tijeku 24 sata [140].

6. Sumporovodik

Određivanje koncentracije sumporovodika obavlja se modificiranom Buch-Stratmanovom metodom koja se zasniva na spektrofotometriji, tj. na analizi nastalog molibdenskog plavila [164].

7. Kiselost oborina

Mjerenje kiselosti oborina obavlja se pomoću pH metra. Sadržaj sulfata (SO_4^{2-}) određuje se analitičkom metodom spektrofotometrije (St.Meth. 4500- SO_4 E.:05). Sadržaj nitrata (NO_3^-) i amonijevih iona u oborinama određuje se analitičkom metodom spektrofotometrijom (St.Meth. 4500- NO_3 B.:05) [116].

8. Lebdeće čestice PM_{10} i metali

Lebdeće čestice sakupljaju se na filtrima sa staklenim ili kvarcnim vlaknima pomoću uređaja za uzimanje uzorka. Težina sakupljenih čestica određuje se gravimetrijski [74]. Za određivanje količine metala u lebdećim česticama PM_{10} filteri se stavljaju u kiselu otopinu HCl i HNO_3 [165]. Pomoću masenog spektrometra (ICP-MS) se analizira kisela izlučevina (ekstrakt) na prisutnost pojedinih metala.

9. Pojedinačni policiklički aromatski ugljikovodici (PAU)

Koncentracije pojedinih policikličkih aromatskih ugljikovodika određuju se iz lebdećih čestica izdvajanjem policikličkih aromatskih ugljikovodika s filtera kojima su sakupljaju lebdeće čestice pomoću cikloheksana, filtriranjem organske smjese stupnom kromatografijom te separacijom i prepoznavanjem određenih policikličkih aromatskih ugljikovodika HPLC tehnikom [1].

4.3.1.2. Primjena fizikalnih metoda na automatskim postajama (AP)

Praćenju kvalitete zraka na automatskim postajama obavlja se pomoću analizatora koji svoj rad zasnivaju na određenom fizičkom svojstvu polutanta. Princip određivanja pojedinog onečišćivača zraka prikazan je u tablici 4.6.

Tablica 4.6. Principi određivanja određenog polutanta na automatskoj postaji [102]

	Polutant	Način određivanja	Normativni dokument
1.	sumporov dioksid – SO_2	fluorescencijom UV svjetlom pobuđenih molekula	HRN EN 14212:2012
2.	sumporovodik – H_2S	pretvaranje H_2S u SO_2 , fluorescencijom UV svjetlom pobuđenih molekula	nakon konverzije prema HRN EN 14212:2012
3.	ozon – O_3	mjerjenje apsorpcije UV zračenja	HRN EN 14625:2012
4.	dušikov dioksid – NO_x	mjerjenje kemiluminiscencije nastale u reakciji NO i O_3	HRN EN 14211:2012
5.	amonijak – NH_3	konverzija NH_3 u NO; mjerjenje kemiluminiscencije nastale u reakciji NO i O_3	nakon konverzije prema HRN EN 14211:2012
6.	ugljkov monoksid CO	mjerjenje apsorpcije infracrvenog zračenja	HRN EN 14626:2012
7.	lebdeće čestice $PM_{2.5}$ i PM_{10}	određuju se gravimetrijski mikrovagom ili apsorpcijom p-zračenja	
8.	analizator BTEX i merkaptana	odjeljivanja i određivanja tih spojeva plinskom kromatografijom	HR NEN14662:2007-3.dio

Mjerna oprema iz automatskih postaja omogućava i automatski prikaz izmjerenih koncentracija onečišćujućih tvari na web stranicama Zavoda (automatsko osvježavanje podataka svakih sat vremena).

Tablica 4.7. Posljednje satne vrijednosti po postajama [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; CH_4 u [mg/m^3]

RIJEKA - MLAKA						
SO_2	NO_2	O_3	CO			
6.8	26.3	64.2				
RIJEKA - KREŠIMIROVA 52 a						
SO_2	NO_2	H_2S				
1.7	24.4	0.2				
RIJEKA - KREŠIMIROVA 38						
PM_{10}						
7.3						
OPATIJA - GOROVO						
NO_2	O_3					
0.0	90.1					
KOSTRENA - MARTINŠĆICA						
PM_{10}						
15.0						
KOSTRENA - VRH MARTINŠĆICE						
H_2S	C_6H_6					
1.8	1.8					
KOSTRENA - URINJ						
SO_2	NO_2	NH_3	PM_{10}	CO	H_2S	C_6H_6
9.3	5.1	2.8	14.3		0.6	0.9
KOSTRENA - PAVEKI						
SO_2	NO_2	O_3	PM_{10}	CO	H_2S	C_6H_6
1.5		87.7	22.8		1.1	1.7
KRASICA						
SO_2	NO_2	O_3	H_2S		C_6H_6	
3.0	3.6	77.0	1.7		0.1	
VIŠKOVO-MARIŠĆINA						
SO_2	NO_2	O_3	PM_{10}	CO	H_2S	C_6H_6
Marišćina: prekid komunikacije						
VIŠKOVO - VIŠEVAC						
H_2S	PM_{10}	CH_4	NH_3		CO	
0.6	14.7	1.5	1.9			
Izvor: www.zzjzpgz.hr/zrak,datum 6.4.2016.period: 4:00-5:00						

U tablici 4.8. prikazana su mjerna mjesta i metode mjerenja pojedinih onečišćivača zraka (polutanta) [102]

Mjerenje onečišćenja zraka na području Primorsko-goranske županije vrši se u mreži 10 automatskih postaja gdje se prate trenutne koncentracije sumporova dioksida, dušikova dioksida, ozona, sumporovodika, ugljikovog monoksida, amonijaka, lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5}, benzena, toluena i ksilena, te merkaptana i sulfida. Trenutne vrijednosti koncentracija mogu se vidjeti na internetskoj stranici Zavoda.

4.3.2. Metode izračunavanja emisije ispušnih plinova i potrošnje goriva

Postoji više metoda na osnovi kojih se može izračunati emisija ispušnih plinova i potrošnja goriva. Izbor metode ovisi o vrsti ispušnog plina, vrsti prometa, vrsti prometala te o dostupnosti i kvaliteti dostupnih podataka. Metode možemo razvrstati u četiri osnovne grupe:

- *Metoda temeljena na prometnoj aktivnosti* – način za izračun emisija ispušnih plinova u cestovnom prometu. Na temelju podataka dobivenih za količinu ispušnih plinova se računa potrošnja goriva. Ovom metodom se podaci mogu podijeliti na emisiju pri radnoj temperaturi, pri hladnom startu i emisiju hlapivih tvari.
- *Metoda temeljena na potrošnji goriva* – ovo je standardna metoda za izračunavanje emisije ispušnih plinova u necestovnom prometu. U cestovnom prometu se na taj način računa emisija sumpor dioksida. Na temelju poznate količine potrošenog goriva se procjenjuje sastav i količina ispušnih plinova.
- *Metoda temeljena na udjelima ugljika* – na ovaj način se računa potrošnja goriva u cestovnom prometu. Na osnovi količine ispušnih tvari koje sadrže ugljik se računa, prema kemijskoj formuli, količina potrošenog goriva. Za druge tipove prometa se ovom metodom računa emisija ugljičnog dioksida.
- *Specifične metode za određene tvari* – neki su ispušni plinovi podgrupe drugih (NMHC su podgrupa od HC, PM određene veličine su podgrupa ukupnih PM itd.). Procjena se radi distribucijom ili zastupljenošću podgrupe u grupi.

U cestovnom prometu se emisija CO₂, CO, HC, NO_x i PM određuje primjenom metode temeljene na prometnoj aktivnosti i to posebno za emisiju pri radnoj temperaturi,

pri hladnom startu i za emisiju hlapivih tvari. Količina potrošenog goriva se računa primjenom metode temeljene na udjelima ugljika, kada su već poznate emisije gore navedenih ispušnih plinova. Iz količine potrošenog goriva se primjenom metode temeljene na potrošnji goriva računaju emisije sumpor dioksida.

4.3.3. Metode mjerenja i kontrole ispušnih plinova cestovnih motornih vozila

Ispitivanja ispušnih plinova motornih vozila se obavlja u sklopu tehničkoga pregleda vozila pogonjenih benzinskim i dizelskim motorima. U Hrvatskoj je propisima utvrđeno da se za vozila s benzinskim motorima koja su proizvedena 1970. godine (i mlađa) mjerodavne vrijednosti volumenskog udjela ugljikova monoksida (CO) u ispušnim plinovima, a za vozila s dizelskim motorima koja su proizvedena 1980. i (mlađa) mjerodavan je stupanj zacrnjenja, tj. stupanj do kojega čestice u ispušnim plinovima priječe prolazak svjetlosti (izražava se koeficijentom apsorpcije k). Te se vrijednosti mjere odgovarajućim analizatorima, pri čemu analizatori namijenjeni provjeri vozila s benzinskim motorom, osim udjela ugljikova monoksida (CO), mjere i udjele ugljikova dioksida (CO₂), ugljikovodika (HC) i kisika (O₂), dušikovih oksida (NO_x) i druge pokazatelje kvalitete izgaranja u motoru. Propisima je utvrđeno da se podaci o ekološkoj kategoriji vozila ili motora dobivaju od proizvođača vozila i zapisuju se u bazu tehničkog pregleda pri prvoj registraciji vozila. U slučaju da podatak o ekološkoj kategoriji motora nije poznat direktno od proizvođača vozila, benzinski motori s reguliranim → katalizatorom, tj. katalizatorom i uređajem za reguliranje udjela kisika u gorivoj smjesi (lambda-sonda), moraju imati udjel ugljikova monoksida u ispušnim plinovima manji od 0,3 % (pri povećanom broju okretaja motora), odn. $\leq 0,5$ % (pri praznom hodu), a oni bez katalizatora ili s nereguliranim katalizatorom $\leq 4,5$ % (godina proizvodnje 1986. ili prije), odn. $\leq 3,5$ % (novija vozila); dizelski motori s prednabijanjem moraju imati stupanj zacrnjenja (koeficijent apsorpcije) $k \leq 2,5 \text{ m}^{-1}$, a oni bez prednabijanja $k \leq 3,0 \text{ m}^{-1}$.

Rezultati testa ovise i o trenutnom stanju vozila, koje se može poboljšati zagrijavanjem motora i vožnjom pod većim brojem okretaja (tzv. propuhivanje), izmjenom filtra za zrak, dodavanjem aditiva gorivu.

Vozila koja nisu opremljena katalizatorom ili imaju neregulirani katalizator bez lambda

sonde imaju oznaku **OTTO bez KAT**, kod njih se ispituje količina ugljikova monoksida (CO). Koriste se dopuštene zakonske vrijednosti. Količina CO mjeri se u postotcima [%] pomoću ispitivanja IP (ispušnih plinova) kod praznog hoda.

Vozila koja imaju regulirani katalizator imaju oznaku **OTTO REG KAT**, kod njih se ispituje CO i lambda λ (omjer usisane količine zraka s obzirom na potrebnu teoretsku količinu). Koriste se vrijednosti karakteristične za pojedino vozilo. Ako nisu poznate onda se koriste zakonske vrijednosti. Granična vrijednost lambde se nalazi između $0,97 \leq \lambda \leq 1,03$. Trenutno se provodi samo ispitivanje ispušnih plinova (tailpipe emission test), ali se gleda i CHECK ENGINE lampica (MIL) koja ne smije biti upaljena.

Kod vozila koja imaju **dizelski motor** kod ispitivanja ispušnih plinova mjeri se zacrnjenje (k vrijednost u $[m^{-1}]$) te se koriste vrijednosti karakteristične za pojedino vozilo, ako one ne postoje koriste se zakonske vrijednosti. Trenutno se provodi samo ispitivanje ispušnih plinova (tailpipe emission test), ali se gleda i CHECK ENGINE lampica (MIL - Malfunction Indicator Light) koja ne smije biti upaljena.

Tablica 4.9. Postupak ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila u Hrvatskoj i pojedinim europskim zemljama [58]

	OTTO bez KAT.	OTTO REG KAT.	Dizel	ALTER. GORIVA
Hrvatska	Za vozila proizvedena do 1986. godine granična vrijednost CO = 4,5%, a za vozila proizvedena nakon 1987. CO = 3,5%.	Kod praznog hoda ispituje se CO, granična vrijednost za vozila proizvedena do 2003. godine CO = 0,5%, a za novija CO = 0,3%. Kod povišenog hoda uz CO ispituje se i λ ; granične vrijednosti su CO = 0,3% za vozila proizvedena do 2003., a CO = 0,2% za proizvedena nakon 2003. Granična vrijednost lambde se nalazi između $0,97 \leq \lambda \leq 1,03$. CHECK ENGINE lampica (MIL) ne smije biti upaljena	mjeri se zacrnjenje (k vrijednost u $[m^{-1}]$) koriste se vrijednosti karakteristične za pojedino vozilo, ako one ne postoje koriste se zakonske vrijednosti. Također se gleda i CHECK ENGINE lampica (MIL - Malfunction Indicator Light) koja ne smije biti upaljena.	ne provodi se eko test
Danska	Ispituje se količina CO u % kod praznog hoda. Granična vrijednost CO zakonski je određena	Koriste se zakonske granične vrijednosti za CO i LAMBDU pri praznom hodu i povišenim okretajima. Provodi se samo ispitivanje ispušnih plinova (tailpipe emission test), ali se gleda i CHECK ENGINE lampica (MIL) koja ne smije biti upaljena	Zakonske vrijednosti koriste se k faktor za vozila do 1.7.2003., vrijednosti karakteristične za pojedino vozilo koriste se nakon tog datuma. Ako vrijednosti nisu poznate uzimaju se ponovno zakonske	Ne provodi se Eko test

	OTTO bez KAT.	OTTO REG KAT.	Dizel	ALTER. GORIVA
Finska	Ispituje se količina CO kojoj je granična vrijednost 4,5% , a i količina HC (granična vrijednost nepoznata) sve kod 1000 rpm (okretaja u minuti)	Ispituju se CO i HC. Granična vrijednosti CO = 0,5 % i HC = 100 kod praznog hoda. Kod povišenog hoda od 2000 RPM, granične vrijednosti su CO = 0,3 % i HC = 100. Provjera se vrši isključivo preko OBD-a (ako je vozilo opremljeno njime). Ako ne onda zakonske vrijednosti iznad uz naravno provjeru MIL-a	Isključivo se vrši ispitivanje ispušnih plinova. Granične vrijednosti k faktora za vozila registrirana prije 2006 iznose $k = 2.0 \text{ m}^{-1}$ (motor bez prednabijanja), $k = 3.0 \text{ m}^{-1}$ (motor s prednabijanjem). Za vozila poslije 2006. $k = 1.5 \text{ m}^{-1}$. Provodi se isključivo ispitivanje IP.	Ne provodi se eko test
Francuska	Ispituje se CO kod praznog hoda, a granične vrijednosti su: CO 3,5% za vozila do 1986/09/30 i CO = 4,5% za vozila nakon tog datuma	Ispitivanje IP prema zakonskim vrijednostima. Za vozila proizvedena poslije 1.1.2002. koriste se podaci dobiveni iz OBD-a , (OBD - On Bord Diagnostics)	Vrši se ispitivanje zacrnjenja, k faktora prema zakonskim graničnim vrijednostima. Vrši se i kontrola preko OBD-a, ako je vozilo opremljeno njime	Ne provodi se eko test
Njemačka	Mjeri se količina CO (granična vrijednost CO = 3,5%) kod praznog hoda	Provede se ispitivanja kao u HR uz iznimku korištenja OBD-a za vozila opremljena njime. U slučaju zadovoljavanja OBD provjere vozilo ne mora pristupiti ispitivanju IP	Ispituje se zacrnjenje. Granična vrijednost K faktora uzima se prema pločici na vozilu, ako ne postoji onda zakonske vrijednosti. Vrši se OBD provjera	Ne provodi se eko test na vozilima s jednim sustavom goriva.
Velika Britanija	Provjerava se CO. Granične vrijednosti su CO = 4,5% i HC = 1200 ppm za vozila proizvedena 31.7.1975. - 31.7.1985. Vozila kasnijeg datuma imaju graničnu vrijednost CO = 3,5% i HC = 1200 ppm.	Ispituje se količina CO i lambda prema vrijednostima karakterističnim za vozilo, ako ne postoje: 1.8.1992. - 31.8.2002. povišen hod CO=0,3 %, HC=200 ppm, $\lambda=0,97-1,03$; prazan hod CO = 0,5 % noviji: povišen hod CO=0,2 %, HC=200 ppm, $\lambda=0,97-1,03$; prazan hod CO = 0,3 %	Ispituje se zacrnjenje prema zakonskim vrijednostima, a one iznose 8.1979. - 6.2008. za motor s prednabijanjem $k = 3.0 \text{ m}^{-1}$, motor bez prednabijanja $k = 2.0 \text{ m}^{-1}$. Za novija vozila granična vrijednost zacrnjenja je $k = 1.5$	Vrši se ispitivanje CO. Granične vrijednosti su: LPG - CO = 3,5 %, CNG - CO = 3,5 %.
Mađarska	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova kod visokih okretaja. Granične vrijednosti su: - za vozila do 1978 CO = 6,0 % - CO 1977. – 1987. = 4,5 % - CO 1987. + = 3,5 %	Granične vrijednosti su: - vozila do 2002. CO = 0,5 % za prazan hod CO = 0,3 % za visoki hod - vozila od 2002. CO = 0,3 % za prazan hod CO = 0,5 % za visoki hod $\lambda = 0,97 - 1,03$ Provjerava se i OBD.	Granične vrijednosti su: $k = 2.5 \text{ m}^{-1}$ (bez prednabijanja), $k = 3.0 \text{ m}^{-1}$ (s prednabijanjem). Za vozila proizvedena poslije 2006: $k = 1.5 \text{ m}^{-1}$	Isto kao za vozila s OTTO motorom
Irska	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova, ispituje se količina CO i HC prema zakonskim vrijednostima	Ispituje se količina HC, CO i λ prilikom praznog hoda i povišenog hoda prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima za zacrnjenje, k faktor	Isto kao za vozila s OTTO motorom

	OTTO bez KAT.	OTTO REG KAT.	Dizel	ALTER. GORIVA
Italija	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema direktivi 2009./40/EC uz 2010./48 i za vozila L kategorije prema 97/24/EC poglavlje 5. Sve prema zakonskim graničnim vrijednostima za CO	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema direktivi 2009/40/EC uz 2010/48 i za vozila L kategorije prema 97/24/EC poglavlje 5. Isključivo ispitivanje ispušnih plinova bez OBD i MIL provjere	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema direktivi 2009/40/EC uz 2010/48 i za vozila L kategorije prema 97/24/EC poglavlje 5. Isključivo ispitivanje ispušnih plinova bez OBD i MIL provjere. Koeficijent zacrnjenja k uzima se prema pločici, ako nije poznata uzimaju se zakonske vrijednosti	Ne provodi se eko test
Latvia	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova. Granične vrijednosti su: HC 1200 ppm (HC = 3000 ppm za 4 cilindra) i CO = 4,5 %. Za vozila 1988. i dalje granična vrijednost za CO = 3,5 %, HC 1200 (3000 4 cilindra)	Vozila 2001.-2003. imaju graničnu vrijednost CO = 0,5 % kod praznog hoda, a CO = 0,3 % kod povišenih okretaja. Granična vrijednost za HC = 100 ppm. Vozila proizvedena poslije 1.1.2003. imaju graničnu vrijednost CO = 0,3 % kod prznog hoda. CO = 0,2 % kod povišenog hoda i HC = 100	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova kao u HR, $k = 3.0 \text{ m}^{-1}$, 2.5 m^{-1} (turbo, ne turbo), poslije 1.1.2008. $k = 1.5 \text{ m}^{-1}$	ispitivanje kao za OTTO. Granične vrijednosti za vozila do 1.1.2001. CNG, LPG sustavima, CO = 1,5 % i HC=1200 (3000 za 4 cilindra). Za vozila proizvedena nakon tog datuma vrijednosti su CO = 0,5 % prazni hod/0,3 % povišeni prazni hod)
Litva	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova uz provjeru OBD (ako je dostupan) i MIL. Sve prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova. Ako je dostupan provjerava se OBD i MIL. Sve prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova jednako kao za benzinske ili dizel
Luksemburg	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima
Sjeverna Irska	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima bez provjere OBD-a	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima bez provjere OBD-a	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima
Rumunjska	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema 2010/48/EC	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema 2010/48/EC uz provjeru MIL-a	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema 2010/48/EC uz provjeru MIL-a	ispitivanje kao i za OTTO motore
Slovačka	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova. Koriste se proizvođačke granične vrijednosti, ako nisu poznate uzimaju se zakonske	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova, koriste se proizvođačke granične vrijednosti, ako ih nema uzimaju se zakonske. Provjerava se i OBD. OBD provjera obvezna je za vozila proizvedena poslije 1.1.2005., za kategorije vozila M1, N1.	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova, provjerava se k vrijednost uz OBD provjeru (OBD obvezan za vozila M1, N1 nakon 1.1.2008.)	ne provodi se eko test
Slovenija	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima.	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova, granične vrijednosti za CO kao i za vozila opremljena OTTO motorom

	OTTO bez KAT.	OTTO REG KAT.	Dizel	ALTER. GORIVA
Španjolska	Granične vrijednosti za CO = 5 % kod praznog hoda za vozila proizvedena do 1.10.1986., nakon tog datuma granična vrijednost CO = 3.5%	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima. U slučaju da su proizvođačke granične vrijednosti strožije onda su one mjerodavne. OBD se može koristiti umjesto testiranja na povišenom hodu	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema zakonskim vrijednostima za CO
Švicarska	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova prema proizvođačkim vrijednostima, ako nisu poznate onda zakonske.	Provjera se vrši preko OBD-a isključivo, ako vozilo nema OBD onda jednako kao OTTO motor bez katalizatora	Provjera se vrši preko OBD-a, ako vozilo nema OBD, uzimaju se proizvođačke/ zakonske vrijednosti i vrši se ispitivanje ispušnih plinova.	Vrši se ispitivanje ispušnih plinova kao i za vozila opremljena OTTO motorom.

5. POKAZATELJI EKOLOŠKIH UTJECAJA NA LPG

5.1. Mjere za smanjenje stakleničkih plinova

Sekundarna istraživanja su definirala jedinstvenu strukturu metodologije, uključujući pritom visoke mjere za smanjenje emisije stakleničkih plinova iz područja usluga logistike. Tijekom istraživanja, primarni cilj je bio biti u korak s ciljevima Europske unije za smanjenje ugljika (tj. smanjenje emisije ugljika za 20 % do 2020. godine) i strukturiran je paket od otprilike 15 različitih mjera za smanjenje emisije stakleničkih plinova korištenih u REACT⁶ [132]: goriva, poboljšana učinkovitost vozila, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti promjene, širi utjecaj okoliša, pravičnost i dostupnost, informiranost i osviještenost, infrastruktura, određivanje cijena, oporezivanje i regulacija.

Transportna goriva, kao izvor emisije stakleničkih plinova, bila su primarna meta istraživanja te su opsežno zabilježena kao npr. u [7,12]. Glavni fokus istraživanja je zamijeniti konvencionalna goriva sa sintetičkim gorivom, LNG/LPG/plin, gorive ćelije/hidrogen, biogorivo, električna energija, solarna i energija vjetra te čak i nuklearna energija za pomorski transport. Poboljšanje učinkovitosti vozila je temeljeno na tehnološkim inovacijama za naprednu učinkovitost goriva, iz razloga što poboljšana tehnologija sagorijevanja te optimiziran sustav goriva mogu smanjiti ekonomičnost goriva [90, 106].

Tehnologija vozila se može grupirati u napredni motor s unutarnjim izgaranjem, novi sustav izgaranja, dizajn od lakih materijala i aerodinamičnog/hidrodinamičnog oblika, sustav smanjene emisije vozila, obnovljiva energija vozila i sustav upravljanja energijom vozila. Tehnologija vozila je također zanimljiva zbog hibridno-električnih

6 REACT (Supporting research on climate friendly transport) – podrška istraživanju klimatski – prijateljskog transporta, djelomično utemeljena od strane Europske komisije

i plug-in hibridno-električnih vozila⁷ koji mogu značajno unaprijediti ekonomičnost goriva, zamjenjujući konvencionalna goriva. Ovo područje istraživanja ima za cilj učiniti baterije prihvatljivijim poboljšanjem raspona baterije, trajanjem i performansom [15, 56, 59].

Učinkovitost prijevoza je značajna mjera smanjenja stakleničkih plinova, s obzirom da danas otprilike 30 % kamiona koji voze po europskim prometnicama su prazni. Dodajući na to LTL⁸ prijevoz i činjenicu da kamioni nisu uvijek optimizirani prema težini i obujmu, učinkovitost prijevoza je sve uočljivija kao značajan čimbenik smanjenja troškova i emisije stakleničkih plinova [28, 36]. Iz tog razloga, bolje upravljanje prometom ima potencijal omogućiti značajno smanjenje CO₂.

Pretrpanost i gužva su glavni problemi u upravljanju prometnom infrastrukturom, posebice u gradovima. INRIX (2015) [84] tvrdi da osobe u Europi i SAD-u trenutačno potroše u prosjeku 111 sati godišnje u gužvi te da će to porasti za otprilike 50 % u narednih 35 godina. Projekti LPG-a su jedan od glavnih rezultata ovog problema [2, 5, 60, 72, 79]. Danas, 50 % gradova u Europi s više od 100.000 stanovnika je implementiralo ovu inicijativu.

Integracija sustava transporta uključuje aplikacije “vrata do vrata” i promjenu načina transporta. Aplikacije vrata do vrata, kako je logistika usavršava, su u porastu te također uključuju intermodalni prijevoz [103, 138]. Modalni prijevoz se mijenja uslijed toga što je emisija stakleničkih plinova dala prednost priobalnoj morskoj dostavi i željezničkom prijevozu.

Mjere sigurnosti i zaštite smanjenja emisije stakleničkih plinova su povezane sa sustavom vozila koji ima za cilj poboljšati cestovnu sigurnost i udobnost vozača te zaštitu i sigurnost zračnog i plovnog prijevoza [64].

7 Plug-in hibrid, kao vrsta hibridnog vozila, može biti izveden i sa serijskim i s paralelnim pogonskim sustavom. Sadrži baterije povećanog kapaciteta (od običnih hibrida) kako bi vozilu bilo omogućen veći domet vožnje samo na električnu energiju. Plug-in hibridi se mogu spajati utičnicom na mrežu kako bi izbjegli korištenje motora s unutarnjim izgaranjem za kraća putovanja (ovisno o veličini baterije). Koncept plug-in hibrida zanimljiv je onima koji svakodnevno putuju manjim udaljenostima te na taj način mogu potpuno ili djelomično izbjeći korištenje motora s unutarnjim izgaranjem. Na taj se način također smanjuje emisija štetnih plinova ako električna energija kojom se vozilo puni dolazi iz čistih izvora energije.

8 Less than Truck Load (LTL) – manje od kamiona dostave, prijevoz relativno malog tereta.

Ekonomski aspekti promjene su značajni iz razloga što mnoge mjere izmjene u sektoru prijevoza relativno povoljne uspoređujući sa sektorima energije te stambenih i poslovnih zgrada. Ipak, kapitalni troškovi brojnih tehnoloških inovacija sektora prijevoza se očekuje da budu unaprijeđeni te je to prepreka komercijalizaciji, jer primarni troškovi imaju nerazmjerni utjecaj na rezultate uzimajući u obzir energetske učinkovitost [73].

Mjera šireg učinka na okoliš je uglavnom povezana sa zračnim i pomorskim oblicima prijevoza, jer oni stvaraju dodatnu emisiju. Samo neki od primjera su emisija letjelice na visokim nadmorskim visinama ili emisija sumpora u plovnom prijevozu [24].

Prijevozni sustav treba osigurati dostupnost svim ljudima, posebno onima s ograničenom mobilnosti, invalidima, starijima, siromašnjima i onima koji žive u dislociranim područjima. Pravičnost i dostupnost su značajne mjere, posebice kada postoji predviđanje značajne promjene u logistici i sustavu prijevoza.

Pravičnost i dostupnost su građanska i ljudska prava od velikog značaja. Pristup dostupnim i pouzdanim oblicima prijevoza proširuje mogućnosti neprivilegiranim osobama te je od esencijalne važnosti onima sa smanjenom mobilnošću, nemoćnim i starijim osobama, nezaposlenima, siromašnima te onima koji žive u nedostupnim područjima. Europski dokumenti, poput Srednjoročnog izvješća iz 2001., Bijele knjige o transportu te Akcijskog plana EU komisije o urbanoj mobilnosti [23, 41] su postavili rastući značaj na kvalitetu pristupa koju imaju ljudi i poslovni sektor na urbani sustav mobilnosti kao i na zaštitu prava putnika kroz sve načine putovanja [43].

Mjere informiranosti i osviještenosti su odgovorne za podršku korisnicima o dostupnim instrumentima za smanjenje emisije CO₂ u sektoru prijevoza. Nekoliko instrumenata politike koji se uzimaju u obzir su planiranje putovanja, personalizirano planiranje putovanja, opće ili druge kampanje o osviještenosti, informacije o javnom prijevozu, informacije o prijevoznim operaterima, poticanje učinkovitog prijevoza i potrošnje goriva kroz obuku vozača te CO₂ oznake [55, 120].

Prometna infrastruktura je izložena klimatskim promjenama, posebice promjeni razine mora, taloženju, temperaturi te učestalosti vjetrova i oluja. Tehničke norme i tradicija upravljanja infrastrukturom bi trebale biti modificirane kako bi uzele u obzir goleme promjene u okolišu [76, 131].

Mjere određivanja cijena i oporezivanja uključuju cestarine, oporezivanje goriva, naplatu zagušivanja te subvencije za vozila s niskom emisijom štetnih plinova. Ove su mjere usko povezane s mjerama regulacije. Naplata i oporezivanje ugljika u teoriji nudi troškovno efektivne metode smanjenja emisije stakleničkih plinova, s obzirom da potpomaže u uočavanju problema začetnika stakleničkih plinova te pritom ne povećava troškove socijalne politike [17, 98, 129].

U posljednjem desetljeću, zakonodavstvo je prepoznato kao neizmjerljivo efektivno instrument politike u smanjenju štetnih emisija. Ove mjere obuhvaćaju europsko zakonodavstvo o emisiji plinova, integraciji prometa u sheme trgovine emisijom, globalna regulacija trgovine emisijom stakleničkih plinova te regulacije financijskog sektora u poticanju održivog prometa. Zakonodavni okvir smanjenja emisije CO₂ u prometu bi trebao biti tehnološki neutralan, dozvoljavajući elastičnost za proizvođače kako bi bili u skladu s ciljevima te zaštićeni od neželjenih tržišnih promjena [18, 99, 130].

5.2. Goriva

Sva kemijska goriva smjesa su različitih spojeva ugljikovodika ili čistog vodika. Pri njihovom izgaranju atomi vodika i ugljika oksidiraju s kisikom iz zraka i pritom nastaju H₂O i CO₂. Samo dio stvorene energije u kemijskoj reakciji pokreće motorno vozilo – u dizelskom motoru najviše 46 %, a u benzinskom motoru do 35 %. To znači da veći dio energije dobivene izgaranjem zagrijava okoliš. Zbog toga je sve intenzivnije traženje alternativnih rješenja klasičnom motoru s izgaranjem goriva.

Promocija alternativnih goriva u prometu je važan dio strategije smanjenja emisije štetnih plinova koji uzrokuju klimatske promjene. Najvažnija alternativna goriva za teretna vozila i logistički sektor su biodizel, prirodni plin, biometan, hidrogen i električna energija.

S tim u vezi razvija se inovativno svjetsko tržište i veliki dio međunarodnog kapitala i napora se ulaže u razvoj i proizvodnju alternativnih goriva i vozila koja ih koriste. Međunarodne mjere koje promoviraju korištenje alternativnih goriva ciljaju na proizvođače vozila, opskrbljivače goriva i vlasnike vozila. Studije o nabavi vozila

i goriva pokazuju da je potrebna državna potpora korištenju alternativnih goriva u prometu (Savvanidou et al., 2010). Tržište je podijeljeno i raste u različitim smjerovima za osobna i teretna vozila. Cestovni prijevoz privlači najveću pozornost, s rješenjima koja ciljaju na prijevoz tereta električnom željeznicom, solarnom teglenicom (barže), biokerozin za avione, biogoriva ili vodik za brodove i velika plovila.

Iako mnoge zemlje kao Velika Britanija razvijaju strategije za niskougljični teretni prijevoz, nedavni pregled mjera pokazuje da povećanjem broja vozila na niskougljična goriva izgleda kao metoda koja nije popularna među poduzetnicima [40].

Prepreke u ovom tržištu su visoki ulazni troškovi, manjak postaja za opskrbu tim gorivima i nesigurnost po pitanju uloženo/dobiveno. Iako se testiranje vrši na modelima, povećava se i broj testova s alternativnim gorivima u pravim poslovnim uvjetima. Takvi testovi pomažu odrediti troškove i prednosti krajnjem korisniku i time pomažu ovom tržištu da raste. Neki testovi se održavaju u velikim razmjerima od početka, koji sadrže izvješće o održivosti od strane DHL-a gdje je do 2013. godine oko 1100 njihovih vozila pogonjeno alternativnim gorivima, i to je brojka koja nastavlja rasti [42].

Unatoč dugogodišnjem testiranju različitih opcija, korištenje alternativnih goriva u teretnim vozilima je još u začecima, ali prema literaturi, može se očekivati porast ako se gore navedene zapreke uklone ili smanje [39]. Ovdje ćemo analizirati korištenje različitih alternativnih goriva u teretnom prijevozu i prikazati njihov utjecaj na okoliš i poslovanje s ciljem da se olakša donošenje odluka u poslovnom i javnom sektoru. Počet ćemo s analizom primjene biogoriva, plinovitih goriva (prirodnog plina, ukapljenog prirodnog plina i komprimiranog prirodnog plina) i vodika. Također, analizirati će se korištenje električnih i hibridnih vozila, koja se sve više koriste u voznim parkovima za manja teretna vozila.

5.2.1. Stanje razvoja alternativnih goriva za teretna vozila

U ovom dijelu donose se značajke glavnih vrsta alternativnih goriva zajedno s razvojem inovativnih teretnih vozila. Pored toga uzima se u obzir njihova primjena u logistici i prijevozu namirnica.

5.2.1.1. Biogoriva

Termin biogoriva se odnosi na tekuća i plinovita goriva proizvedena od organskih tvari biljaka ili životinja. Svjetska proizvodnja biogoriva porasla je sa 16 milijardi litara u 2000. godini na više od 100 milijardi litara u 2010. godini [91, 92]. Prema IEA [92], iako je usavršavanje efikasnosti najvažniji način jeftinijeg smanjivanja CO₂ emisije u prijevozu, biogoriva će morati odigrati važnu ulogu u zamjeni tekućih fosilnih goriva povoljnima za avione, brodove i druge teške načine prijevoza koji ne mogu biti pogonjeni električnom energijom.

Postoje tri vrste biogoriva koja se značajno koriste u teretnom prijevozu: biodizel, bioetanol i bioplin. Ova biogoriva obuhvaćaju zajedno 3 % sveukupne potrošnje goriva u cestovnom prijevozu u Velikoj Britaniji (za putnički i teretni prijevoz) u 2010-2011 [40, 159,160].

- a) **Biodizel.** Biodizel je proizveden od ulja biljaka i životinja procesom zvanim transesterifikacijom (odnosno proizvodnjom estera od ulja ili masti). U ovom postupku, mast ili ulje reagira s alkoholom u prisutnosti katalizatora kako bi se dobio biodizel i glicerol. Glavni sastojci ulja korišteni u proizvodnji biodizela razlikuje se u svakoj zemlji ovisno o lokalnim uvjetima. U Aziji se koristi palmovo ulje, u SAD sojino ulje dok se u Europi koristi ulje uljane repice. Druge biljke koje se mogu koristiti su suncokret, sjeme pamuka, sjeme gorušice, kokos i ulje konoplje. U 2006. godini SAD su proizvele milijardu litara biodizela, porast od 8 milijuna litara u 2000. godini, ali ovo je još uvijek samo 1 % dizela iskorištenog na autocestama (Union of concerned scientists, 2012). U 2010./2011. u Velikoj Britaniji, prodano je 853 milijuna litara biodizela [40].
- b) **Bioetanol.** Bioetanol može biti proizveden od različitih bioloških sirovina koje sadrže šećer ili materijale kao što su škrob i celuloza od kojih se može dobiti šećer [92]. Glavni izvori šećera za bioetanol su pšenica, kukuruz, šećerna trska/repa, razne trave, Jeruzalemske artičoke, miscanthus, kineska šećerna trska, piljevina drveća vrbe i topole, iako se iz šećerne repe i kukuruza dobiva 80 % proizvodnje bioetanola u svijetu 2007. godine [92]. Bioetanol se koristi kao gorivo već destilacijom. Brazil koristi bioetanol proizveden od šećerne trske od 1930-ih, i od 1980-ih

počeli su prodavati automobile koji voze isključivo na ta goriva. SAD također koriste bioetanol proizveden od kukuruza već mnogo godina. U Velikoj Britaniji, u 2010. godini prodano je 610 milijuna litara bioetanola [40, 159, 160].

- c) **Biometan.** Biometan je bioplin proizveden iz otpada ili organskih izvora. Bioplin je unprijeđen u biometan u prijevozu, komprimiran i koncentriran, i korišten u motorima na prirodni plin. Od 2007., postoji niz razvojnih projekata u Europi koji vode povećanom korištenju biometana u prometu, iako je udio u ukupnoj prodaji goriva zanemariv. CO₂ plinovi su smanjeni za 60 % kada ga uspoređujemo sa standardnim dizelskim gorivom [134].

5.2.1.2. Vozila na plin

- a) **Prirodni plin (NG).** Vozila na prirodni plin (NGV) se pokreću metanom. Metan je izveden iz fosilnih izvora ili biometana (sirov bioplin poboljšan za korištenje u automobilima). Prema podacima sa Instituta za vozila na bioplin [119] u 2011 bilo je 13.4 milijuna vozila na prirodni plin na cijelom svijetu, od kojih 220,000 su vozila srednje i teške nosivosti. Kada se koristi metan dobiven od fosilnih goriva, vozila na prirodni plin ispuštaju malo manje CO₂ emisije u usporedbi s vozilima na benzin i približno iste količine CO₂ kao kamioni na dizel. Neki proizvođači proizvode teretna vozila koja se kreću isključivo na prirodni plin. Vozila se mogu napuniti preko noći na odgovarajućim postajama s potrebnim kompresorima. Postoje vozila na dvojna goriva gdje se koriste benzin ili dizel zajedno s prirodnim plinom. Prirodni plin je ovisan o fosilnim zalihama tako da se ne smatra čistim gorivom. Metan se smatra stakleničkim plinom, a bioplin, zapravo smanjuje emisije metana koji nastaje kao nuspojava odlaganja otpada i pretvara ga u energiju. Anaerobne bakterije mogu izdvojiti i obraditi metan iz gradske kanalizacije i otpada s farmi.
- b) **Ukapljeni naftni plin (LPG) i komprimirani prirodni plin (CNG).** LPG je mješavina propana i butana s tragovima drugih plinova, koja se održava u tekućem stanju pri visokom pritisku u metalnim spremnicima. CNG je prirodni plin (metan) komprimiran na 1% svog volumena pri atmosferskom pritisku, i većinom je korišten u plinovitom stanju u benziskim/CNG

motorima. LPG je većinom korišten u automobilima, s udjelom od 0,5 % sveukupne potrošnje goriva u EU (stanje nije isto u svim zemljama EU), ali je u padu zadnjih nekoliko godina [160]. Kao primjer puno većeg udijela u tržištu, u Hong Kongu 99,8 % taksija i većina novih mini autobusa vozi na LPG. Međutim, ovo zahtijeva neke preinake na vozilu. Iako postoji zanimanje za LPG crpnim stanicama, one nisu dostupne u velikom broju, a u nekim zemljama uopće ne postoje. Glavne prednosti LPG i CNG su velika smanjivanja dušikovih oksida u ispušnim plinovima i znatno manja buka. To čini vozila na prirodni plin primjerenim za dostave u gradskim centrima. Međutim, kako LPG i CNG potječu od fosilnih goriva, a ne od biometana, štetne emisije su znatno veće.

5.2.1.3. Vodik

Zahvaljujući neograničenoj raspoloživosti u prirodi, količini sadržane energije i svojstvima izgaranja (čista voda H_2O kao produkt izgaranja), vodik predstavlja idealno gorivo. Međutim, njegova je primjena otežana uglavnom zbog tehnički zahtjevnog skladištenja i zahtjevnog punjenja spremnika.

Nadalje, zbog složene regulacije stvaranja smjese i još uvijek male korisnosti motora nisu stečeni uvjeti za primjenu vodika u procesu izgaranja na visokim temperaturama. Za pogon gorivih članaka (hladno izgaranje vodika) i elektromotora, vodik se trenutno dobiva iz metanola u samom vozilu (on-board), čime se izbjegavaju neriješeni problemi s pohranjivanjem vodika.

5.2.2. Trenutna upotreba alternativnih goriva u teretnim vozilima

Ovdje donosimo niz aktualnih kretanja na tržištu i utjecaj na teretni prijevoz i logistički sektor. Biogoriva se učestalo miješaju sa standardnim gorivima da bi se mogli koristiti. Većinom se miješaju biodizel s dizelom i bioetanol s benzinom, iako se bioetanol može miješati s dizelom nakon nekih izmjena. Iz toga proizlaze oznake, B7 znači da se sadrži 5 % biodizela u standardnom dizelu, E5 znači da se sadrži 5 % bioetanola u standardnom benzinu. Kako postotak etanola raste, tako i korozivni utjecaj raste, i ako premaši 10 % većina gumenih komponenti na vozilima bi trebala biti izmijenjena s onim otpornim na etanol. Međutim, kod biodizela ovaj problem je smanjen. U SAD,

najučestalija mješavina je B20, dok u Njemačkoj, Austriji i Švedskoj, 100 % čisti biodizel koristi se s minimalnim izmjenama u vozilima za prijevoz robe i autobusima. Vozila koja mogu koristiti standardna goriva ili bilo koju mješavinu biogoriva su poznata kao FLEX vozila. Glavni razlog zbog kojeg su biogoriva postigla veliku važnost je da se mogu u niskom postotku koristiti u postojećim vozilima bez preinaka na motoru i benzinske crpke ostaju iste kao i kod standardnih goriva. Zbog toga korištenje vozila na biogoriva je veoma povoljno i jeftino u usporedbi sa drugim obnovljivim gorivima (vodik, električna energija ili LNG/CNG), koja zahtijevaju znatne izmjene na vozilima i benzinskim crpkama.

Smjernice prema biogorivima u EU, prihvaćene u svibnju 2003. imaju za cilj unaprijediti korištenje goriva proizvedenih iz bioizvora i drugih obnovljivih izvora u prijevozu robe.

Kao dio britanskog programa klimatskih promjena iz 2006. ciljana vrijednost od 5 % (prema količini goriva prodanog u VB) postavljena je kao razmjer prema gorivu za cestovni promet kojeg treba proizvesti iz obnovljivih izvora do 2013. Da bi se ostvario taj kvantitativni cilj, osnovana je agencija za promicanje obnovljivih izvora u prometu RTFO-a (Renewable Transport Fuel Obligation) u travnju 2008. Pod utjecajem RTFO, velike tvrtke za dobavljanje goriva moraju miješati biogoriva sa standardnim gorivima, u postotku koji se povećava za 0,5 % godišnje dok se ne dostigne ciljana vrijednost od 5 %, tj. do 2013. Od dobavljača se također zahtijeva praćenje i izvještavanje o prodaji biogoriva, porijeklu i kvaliteti, i koliko ugljika je to gorivo uštedjelo. RTFO dodjeljuje nagrade za goriva prema uštedi ugljika, da bi se povećalo njihovo prihvaćanje. Također otkriva porijeklo uvezenih biogoriva, povećava održivost njihove proizvodnje i vrijednosti na tržištu. Nedavni podaci pokazuju da je cilj od 5 % biogoriva nije ostvaren 2013. u Velikoj Britaniji.

Korištenje alternativnih goriva u vozilima, za prijevoz robe, mora zadovoljiti određene uvjete da bi postalo komercijalno uspješno. Vozila koja su učestalo snabdijevana gorivom, garažirana i vožena fiksnim svakodnevnim smjerovima su posebno prilagođena prema alternativnim gorivima. Šira primjena alternativnih goriva morat će pričekati razvoj infrastrukture javnih postaja za opskrbu i njihovih mreža. Bez obzira na to, danas, pojedine tvrtke moraju osmisliti svoja rješenja. Najustrajnije tvrtke surađuju sa proizvođačima vozila na individualnim osnovama kako bi se razvile prilagođenim rješenjima. Ovdje su prikazana neka rješenja.

Howard Tenens, logistička tvrtka iz Velike Britanije, je ostvarila pokus u velikom razmjeru u svojem voznom parku pogonjenom s prirodnim plinom i dizelom. Tvrtka je stvorila mrežu postaja za opskrbu u trima skladištima da bi podržala uvođenje vozila na dvojna goriva u svojem teretnom voznom parku. Dvije postaje su povezane mrežom, paralelno s krajnjim ciljem osiguranja direktne opskrbe plina za korištenje kao prijevoznog goriva. Održivost ovog izbora će se povećati u budućnosti u skladu rasta biometana u opskrbi plina. Pristup opskrbnim postajama je omogućen ugovornim djelatnicima, dozvoljavajući drugim prijevoznicima da uđu na tržište vozila na plinski pogon bez velikih troškova gradnje privatnih opskrbnih postaja.

Green Link, je započeo svoje djelovanje u 2009. sa 100 % električnim vozilima u centru Pariza, dostavljajući pakete poslovnim klijentima. Početne godine pokazale su snažan porast i njihov vozni park se sada sastoji od 60 električnih tricikala i kombi vozila. Vozni park je kupljen u početnoj fazi, ali tricikle proizvode sami. Ovaj uspjeh je sada kopiran po cijeloj Francuskoj i mnoge druge tvrtke u Europi razvijaju poslovne ideje koje uključuju mala vozila i električne vozne parkove za gradski prijevoz. Nedavni slučajevi gdje se koriste električna kombi vozila i tricikli za dostavu do vrata u Londonu prikazuju očigledne prednosti u smanjenim kilometrima, smanjenju štetnih emisija i manjem zauzimanju parkirnog prostora, bez dodatnih troškova za klijente ili prijevoznike. U takvim pokusima, korištena su posebna poslovna pravila, što uključuje veličinu i težinu paketa, mogućnosti korištenja prostora u lokalnim pretovarnim skladištima, nabavu zelene električne energije i visoki nivo zahtjeva klijenata.

5.2.3. Troškovi i prednosti

Razmatrana alternativna goriva i tehnologije vozila imaju različite značajke. Također, opseg takvih značajki mijenja se ovisno o unosnosti posla na smanjenje emisija ili vanjskih troškova. Prema literaturi [134] bioplin se može proizvesti s istom cijenom kao i CNG za razliku od biodizela koji je višestruko skuplji od standardnog dizela. Ovisno o izvorima i proizvodnji, CO₂ emisija biodizela (W2W) može biti negativna (gdje se povećavaju ekološki troškovi u usporedbi s dizelom) ili može ostvariti uštedu od 65 % [134]. Troškovi i prednosti električnih vozila su se do sada mjerila u neovisnim istraživanjima samo za ograničen broj poslova [13]. Prema sveobuhvatnoj procjeni ostvarenoj sa strane [134] svako rješenje za smanjenje ugljika kod teretnih vozila i

alternativnim gorivima može pokazati pozitivne ili negativne učinke, i nijedno se ne može smatrati korisno u svim segmentima svoje unosnosti, razini usluge, sigurnosti, ekološkog i socijalnog utjecaja.

Unosnost i nesigurnost o ukupnim vlasničkim troškovima (svi troškovi uključujući kupovinu i održavanje) za tvrtke logističkih usluga su važna pitanja. Razni projekti europskih istraživanja kao SMARTFUSION, STRAIGHTSOL i BESTFACT skupili su podatke kako bi pomogli poslodavcu donijeti odluku o investiciji. Stvaraju se pravila za podršku razvoju i rastu tržišta alternativnih goriva, nažalost do sada su imala ograničen utjecaj. Neki od primjera poslovne dobiti korištenjem alternativnih goriva su gradski električni voznici parkovi, ali su rijetke potpune studije o analizi troškova i dobiti prije i poslije korištenja alternativnih goriva u teretnom prijevozu. Studija koju je proveo Leonardi et al., (2012) skupila je ekološke i logističke podatke, i prikazala prednosti korištenja bicikala i električnih kombi vozila, na osnovi primjera Office Depot i Gnewt Cargo tvrtki aktivne u dostavi paketa u centru Londona [105]. U 2014. godini napravljene su i studije o analizi dobiti i troškova za električna teretna vozila u Belgiji, Njemačkoj, Francuskoj i Nizozemskoj (Lebeau, 2014; Gruber, 2014; Jorna and Jongsma, 2014).

Tablica 5.1. pruža pregled prednosti i troškova za svako pojedino gorivo, pokriva ekološke i poslovne značajke, ali izostavlja uvjete koji se moraju primijeniti da bi se postigle te prednosti.

Tablica 5.1. *Usporedba primjene alternativnih goriva za pogon vozila u logistici*

Alternativno gorivo	Troškovi	Prednosti
Biodizel (biljna ulja)	– Ukupni CO₂ može biti veći, ovisno o načinu proizvodnje – Nema dodatnih troškova ukoliko se miješa s dizelom, ali se povećavaju troškovi održavanja vozila, ako se koristi 100 % biodizel	– Do 65 % manje CO₂ – Kompatibilan s postojećom infrastrukturom – Za krajnjeg korisnika cijena biodizela može biti znatno niža od dizela zbog poreznih olakšica
CNG/LPG	– Troškovi nabavke vozila trenutno 20-25 % veći nego vozila na diesel – Ograničena infrastruktura – Curenje plina može dovesti do eksplozije	– 10-15% manje emisije CO₂, – Znatno niži onečišćujućih tvari u zraku i emisija buke – Za krajnjeg korisnika cijena goriva je niža od dizela

Alternativno gorivo	Troškovi	Prednosti
Biogas	– Zahtijeva razvoj proizvodnje goriva i infrastrukture spremnika opskrbe gorivom. – Znatno više cijene malih kamiona i kombija koji voze na biogas od cijene istih koji voze na dizelsko gorivo – Cijene goriva slična CNG	– Do 60% manje CO₂ u odnosu na dizelska vozila – Dobar imidž
Vodik	– Infrastruktura goriva i kamioni još nisu komercijalno dostupni – Proizvodnja treba biti iz obnovljivih izvora energije	– Nema emisije iz ispušnih cijevi – Srednji raspon udaljenosti i autonomija
Hibridni/električni	– Studija isplativosti je pokazala isplativost samo gradskih autobusa i malih kamiona (HGVs iznad 12 tona nisu dostupni na tržištu)	– Smanjenje emisije uvelike ovisi o udjelu električnog / dizelskog pogona – Međugradski raspon i autonomija
Potpuno/električni	– Skupe baterije povećavaju nabavnu cijenu vozila – Dugo vremijeme punjenje preko noći – Kratki domet ograničava primjenu na korištenje u gradu za prijevoz tereta manje težine	– Nema emisije iz ispušnih cijevi – Velike uštede jer su troškovi električne energije mali – Niska razina buke – Dobro prihvaćanje od kupaca – Potencijalno izuzeti od taksi za prometovanje u gradskim zonama gdje je ograničenje niska emisija (npr London)

U smislu poslovnih prednosti, trenutni trendovi tržišta čine se povoljnima za razvoj električnih teretnih vozila. U Velikoj Britaniji, električna vozila ne plaćaju; trošarine za nabavu vozila, takse za prometovanje centrom Londona i takse za emisije štetnih plinova. Za dostave u centru Pariza, logistička tvrtka Deret, tvrdi da električni kamion na baterije težine 6 tona, troši 4-5 eura za svakih 100 km za njihovo električno napajanje, mnogo niže 20 - 25 eura po 100 km potrebnih za dizelsko gorivo za iste kamione i gradsku dostavu. Međutim, cijena takvog vozila je dvostruka uspoređujući s dizelskim vozilima.

5.2.4. Mogućnost napretka

Stvaranje globalnog tržišta za ekološki održiva goriva je složeno. Mnoga tehnološka postignuća su veoma ovisna o industriji proizvodnje automobila i autobusa, također i industriji biogoriva gdje proizvođači kamiona i kombija trebaju imati manje utjecaja. U 2015., Europska komisija pokrenula je strategiju za gradnju postaja za opskrbu alternativnim gorivima. Zamišljeno je da će ta strategija, nakon izvedbe, biti popraćena snažnim ulaganjima u svima državama Europske unije. Ali u vrijeme ograničenih državnih sredstava, takva podrška privatnim investicijama će ostati vrlo ograničena.

Unatoč činjenici da se sada više zna o troškovima i prednostima alternativnih goriva, mnoge nepoznanice još uvijek ostaju za krajnje korisnike. Trenutno, samo mali broj sektora i nekoliko tvrtki raspolažu kvalitetnim informacijama o troškovima i prednostima korištenja alternativnih goriva u logistici, i takve nesigurnosti o alternativnim gorivima i vozilima koja ih koriste odbijaju mnoge poduzetnike od ulaganja u njih. Mnogi čekaju da se uvede službeni sustav ekoloških poticaja i tada bi se mogli odlučiti za korištenje alternativnim gorivima. Mnogi proizvođači alternativnih goriva kao što su biodizel i biometan povećavaju svoju proizvodnju sporo i nedostaju im zalihe za nagli porast potražnje. Stoga, postoje zastoji na oba dijela tržišta, proizvodnji i potražnji. Zanimljivo je da u pokušaju rješavanja ovog pitanja, jedan od zaključaka studije uvjetovanja budućeg niskougljičnog prijevoza je da uvjeti koji utječu na oba, proizvodni i potrošački dio imaju najbolje rezultate [10].

Goriva kao što su prirodni plin (CNG i LPG), vodik i biogoriva suočeni su s preprekama koje ometaju njihov daljnji razvoj i koje moraju biti otklonjene uvođenjem poticajnih javnih mjera i strategija privatnih ulagača. U zemljama poput Brazila, tržišna vrijednost biogoriva u teretnom sektoru ima mogućnost velikog rasta do 2030, najviše korištenjem flex kombi vozila [139].

Sve više pažnje se usmjerava prema tzv. biogorivima druge generacije. To su goriva koja se mogu proizvesti iz otpadnih materijala (otpadno ulje ili komunalni otpad) i celuloznih usjeva (usjevi za energiju). Prema EU, korištenjem sirovina od celulozne biomase otvaraju se nove metode proizvodnje biogoriva od proizvoda, nusproizvoda i otpada iz poljoprivrede, šumarstva i drva, papira s više sofisticiranih kemijskih reakcija. Royal Society (2008) tvrdi [140], kako biogoriva mogu tvoriti mali dio rješenja za budućnost, i stoga će biti potrebna druga rješenja za problem klimatskih promjena. Čini se da gorive ćelije vodika više ne predstavljaju univerzalno rješenje problema kako se nedavno očekivalo. CNG se uvelike smatra prijelaznom tehnologijom koja vodi do značajnog smanjenja zagađivanja i buke, i kompatibilna je s bioplinom. Stoga je moguće da uskoro vidimo dugoročan rast upotrebe biometana u teretnom prijevozu.

Postoji značajan razvoj alternativni goriva u proteklm godinama, koji se većinom odnosi na ulaganja u električna teretna vozila. Na primjer DHL je nastavio povećavati svoj vozni park na alternativna goriva, i dosegao je brojku od oko 3000 vozila u 2013. od kojih je 300 potpuno električnih kombija. Ovo je ipak mali dio njihova

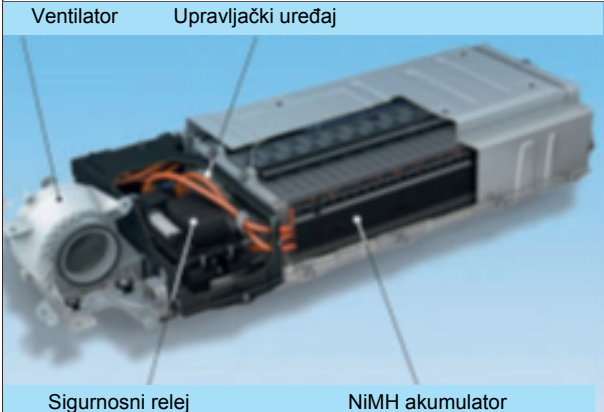
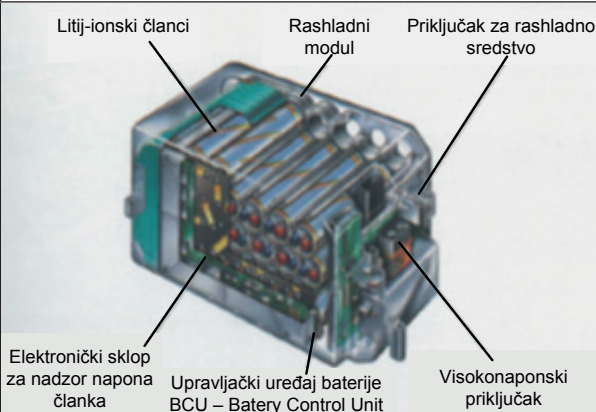
voznog parka koje se sastoji od 89 000 kamiona i kombija u cijelom svijetu. Unutar EU naklonjenost električnim vozilima je pojačana europskom inicijativom zelenog automobila i podržana velikom mrežom lokalnih vlasti, opskrbljivača električnom energijom, proizvođača vozila, logističkih tvrtki i državnih odnosno regionalnih agencija. Međutim, naklonjenost prema električnim vozilima u logistici je veoma niska i većina vozila na tržištu su veoma skupa. Ove razlike u cijenama će se morati smanjiti, ili izjednačiti s državnim poticajima, ako se očekuje stvaranje globalnog tržišta električnim vozilima.

5.3. Sustavi pohrane energije

5.3.1. Akumulatori

Trenutno se kao baterije za pogon hibridnih i električnih vozila koriste: nikal-metal hibridni i litij-ionski akumulatori. Značajke obaju sustava prikazane su u tablici 5.2.

Tablica 5.2. Značajke baterijskih sustava (punjive baterije nazivaju se akumulatori)

Nikal-metal hibridni akumulatori (NiMH)	Litij-ionski akumulatori (Li-ion)
– veća težina – razmjerno niski troškovi proizvodnje – manje zahtjevan elektronički upravljački uređaj baterije, hlađenje i zaštitni omotač – moćuća izmjena neispravnih pojedinačnih članaka	– u odnosu na NiMH, veća gustoća energije i snage (zahvaljujući višem naponu članka) – veća korisnost – manjesamopražnjenje – osjetljivost pri niskim temperaturama, osjetljive na prepunjavanje i duboku pražnjenje – osjetljive na mehanička oštećenja
	

5.3.2. Električna i hibridna vozila

Dok su potpuno električna vozila pogonjena samo električnim motorom na bateriju, konfiguracije hibridnih vozila koriste razne kombinacije pogona gdje su dizelski motori spojeni na električne motore.

Potpuno električna vozila ovise o baterijama, koje su još uvijek velike, teške i imaju ograničen domet. Nedavni napredak u dometu (sada većem od 500 km) je doveo do šireg iskorištenja ove tehnologije za dostave koje se oslanjaju na kombi vozila i dostavu do gradskih sredina i kuća [103]. Iako potpuno električni kamioni s velikim baterijama nisu još dostupni, ima mnogo hibridnih kamiona na cestama koji kombiniraju električnu i dizelsku energiju. Konvencionalni izvori energije mogu se zamijeniti električnim diferencijalnim jedinicama koje stvaraju električnu energiju da bi pomogle vozilu uzbrdo i u isto vrijeme pune baterije kada se ne koriste. Veliki broj vozila također koristi kočenje kao izvor energije za punjenje baterija s energijom proizvedenom usporavanjem mase vozila. Električna vozila se koriste već dugi niz godina u dostavi, gdje su najbolji primjer britanska kola za razvoz mlijeka. Tehnologija je sada dodatno razvijena s primjerom novih hibridnih autobusa testiranih u Gothenburgu, koji koriste značajno manji dizelski motor, sposoban napuniti baterije u svega 7 minuta te smanjiti potrošnju dizela za 81 % ako usporedimo sa standardnim dizelskim autobusima. Kako pritisak na logističke tvrtke raste da bi postale ekološki sve prihvatljivije, očekuje se da će zanimanje za električna vozila porasti. Za sada, se samo mala električna vozila koja uspijevaju održati minimalne troškove poslovanja prodaju na tržištu.

Glavne ekološke prednosti električnih vozila su gotovo potpuna eliminacija štetnih plinova i buke motora. Ove prednosti su neosporive, ali ako sve ovisi o načinu dobivanja električne energije koja puni baterije, te ako ta energija nije proizvedena iz obnovljivih izvora, ekološki utjecaj se jednostavno pomiče s vozila na elektrane. U 2014., ukupan broj električnih teretnih vozila korištenih u Europi je veoma nizak, ispod 0,1 % ukupnog broja vozila.

5.3.3. Gorive ćelije

Pogoni na vodik i gorive ćelije

Vodik je još jedan izvor alternativne energije za prijevoz s potencijalom korištenja u teretnom prijevozu i logistici. U 2003. godini je osnovano međunarodno udruženje za vodikovu ekonomiju (IPHE) koje podržava idejne projekte i promjene u tržištu prema vozilima na vodik [94]. Poticaj za ovu promjenu se smanjio zbog različitih problema koji su se pojavili. Do danas, većina istraživanja i prezentacija o vodiku kao alternativnom gorivu su se zadržala na automobilima i autobusima, a ne teretnim vozilima, iako postoji mnogo zanimanja za korištenje vodika u prijevozu lakih tereta. S budućim razvojem tehnologije i iskustvom dobivenim korištenjem vodika u kombi vozilima, stvaraju se uvjeti za korištenje ovog oblika energije i u većim vozilima.

Kod primjene vodika u prometu koriste se vodikove gorive ćelije. Na ovaj način pretvara se vodikov plin i kisik u vodu postupkom koji stvara električnu energiju. Vozila na gorive ćelije su većinom pogonjena čistim vodikom, koji dolazi u stanju komprimiranog plina vodika, pohranjenog u spremnike kao tekući vodik. Vodikove gorive ćelije su efikasan način proizvodnje energije i zamalo je potpuno reciklirajuća.

Najveća ekološka prednost vodika je da iz ispušne cijevi izlazi samo vodena para. Glavna prednost u djelovanju je da električni motori mogu biti napajani s ćelijama neovisno o električnoj mreži. Nedavna istraživanja su potvrdila veliki potencijal vodika, ali također potvrđuju razne prepreke koje sprječavaju njegovo korištenje u teretnom prijevozu i logistici u ovome trenutku. Glavne prepreke su glavni izvori energije koji se koriste za dobivanje vodika moraju biti obnovljivi da bi se postigla prednost s obzirom na CO₂; pogoni na gorive ćelije nisu dostupni za komercijalnu upotrebu na kombi i laganim teretnim vozilima; spremanje takve energije zahtjeva puno mjesta; zahtjeva se poseban trening pri punjenju ćelija [134].

5.4. Tehnologija vozila

Tehnologija vozila se može grupirati u napredni motor s unutarnjim izgaranjem, novi sustav izgaranja, dizajn od lakih materijala i aerodinamičnog/hidrodinamičnog oblika, sustav smanjene emisije vozila, obnovljiva energija vozila i sustav upravljanja

energijom vozila. Tehnologija vozila je također zanimljiva zbog hibridno-električnih i plug-in hibridno-električnih vozila koji mogu značajno unaprijediti ekonomičnost goriva, zamjenjujući konvencionalna goriva. Ovo područje istraživanja ima za cilj učiniti baterije prihvatljivijima poboljšanjem raspona baterije, trajanjem i snagom. [15, 56, 59].

5.4.1. Postupci za smanjivanje štetnih tvari

Količina štetnih tvari može se smanjiti primjenom odgovarajućih goriva (što manji udio sumpora, bez olova), zahvatima na motoru i/ili naknadnom obradom ispušnih plinova (katalizator, SL5, EGR) [50].

Zahvati na motoru. Manje sirovih štetnih tvari u ispušnim plinovima nastaje pri boljem i potpunijem izgaranju te manjoj specifičnoj potrošnji goriva. Mjere kojima se može smanjiti emisija štetnih tvari su:

- **povoljna konstrukcija motora.** Optimiranje prostora izgaranja i omjera kompresije, varijabilne usisne cijevi, varijabilno upravljanje ventilima, isključivanje prigušne zaklopke iz procesa usisa
- **vrsta i kvaliteta pripremljene smjese.** Vanjska i unutarnja priprema smjese; homogena smjesa, slojevito punjenje
- **povrat ispušnih plinova.** Unutarnji povrat prekrivanjem ventila, vanjskim EGR sustavom
- **sustav vođenja motora.** Upravljanje sustavom paljenja i ubrizgavanja na temelju mapa vrijednosti, isključivanje ubrizgavanja goriva u slučaju kotrljanja vozila (gibanje zbog inercije), regulacija tlaka nabijanja, selektivno isključivanje pojedinih cilindara, provjera rada dijelova koji utječu na ispušne plinove (λ -sonde, katalizator)
- **punjač s hlađenjem zraka.** Povišenje specifične snage motora uz istodobno sniženje najviših temperatura izgaranja, što vodi sniženju NO_x udjela.

5.4.2. Produkti i procesi izgaranja

5.4.2.1. Produkti izgaranja i proces izgaranja kod benzinskih motora

Zbog najveće zastupljenosti među svim tipovima benzinskih motora, ovdje se govori o četverotaktnom benzinskom motoru. Princip izgaranja je zapaljenje smjese zraka i benzina iskrom svjećice. Kod novijih motora to se događa izravnim ubrizgavanjem u prostor izgaranja, dok se kod starijih smjesa priprema izvan prostora izgaranja. Da bi nastupilo izgaranje, u motor je potrebno dovesti gorivo i zrak. Stehiometrijska masa zraka potrebna za izgaranje **1 kg** benzina iznosi **14,7 kg** što ukupno daje **15,7 kg** ispušnog plina. Odnos između stvarno usisane količine zraka u motor i teoretski potrebne količine se naziva faktor zraka ili lambda faktor (λ)⁹. Kako je λ najvažnija veličina prema kojoj se određuje radno stanje, faktor zraka može biti:

- $\lambda < 1$ - usisna masa je manja od teoretske, pa motor dobiva previše gorive i govori se o **bogatoj smjesi**. Motor ostvaruje najveću snagu uz povećanu potrošnju, a donja granica zapaljivosti smjese je $\lambda < 0,7$
- $\lambda > 1$ - usisna masa je veća od teoretske, pa motor dobiva premalo gorive i govori se o **siromašnoj smjesi**. Motor ostvaruje najmanju potrošnju uz smanjenje tehničkih značajki motora. Granica zapaljivosti smjese je $\lambda > 1,3$
- $\lambda = 1$ - stvarna usisna masa i teoretska su jednake. U ovom omjeru se dobivaju optimalne značajke izgaranja. Tolerancija iznosi 0, 03. Raspon optimalnog faktora zraka λ je od 0,97 do 1,03.

Sastav ispušnih plinova

Kao posljedica izgaranja benzina nastaju ispušni plinovi, koji se temeljno mogu podijeliti na dvije kategorije:

- neškodljive ispušne plinove
- škodljive ispušne plinove.

Neškodljivost je u ovome slučaju uvjetna, jer koncentracija neškodljivog plina indirektno utječe na prirodne procese (efekt staklenika) ili ukazuje na neispravan rad

9 Stručni bilten 107: *Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila – ekotest*, Centar za vozila Hrvatske, Zagreb, rujan 2004., str. 5

motora (npr. velika koncentracija O_2). Stoga se pri ispitivanju sastava ispušnog plina analizatorima mjeri sadržaj slijedećih plinova:

- CO_2 – ugljični dioksid
- CO – ugljični monoksid
- HC – ugljikovodik
- O_2 – kisik
- NO_x – dušikovi oksid.

Neškodljivi ispušni plinovi

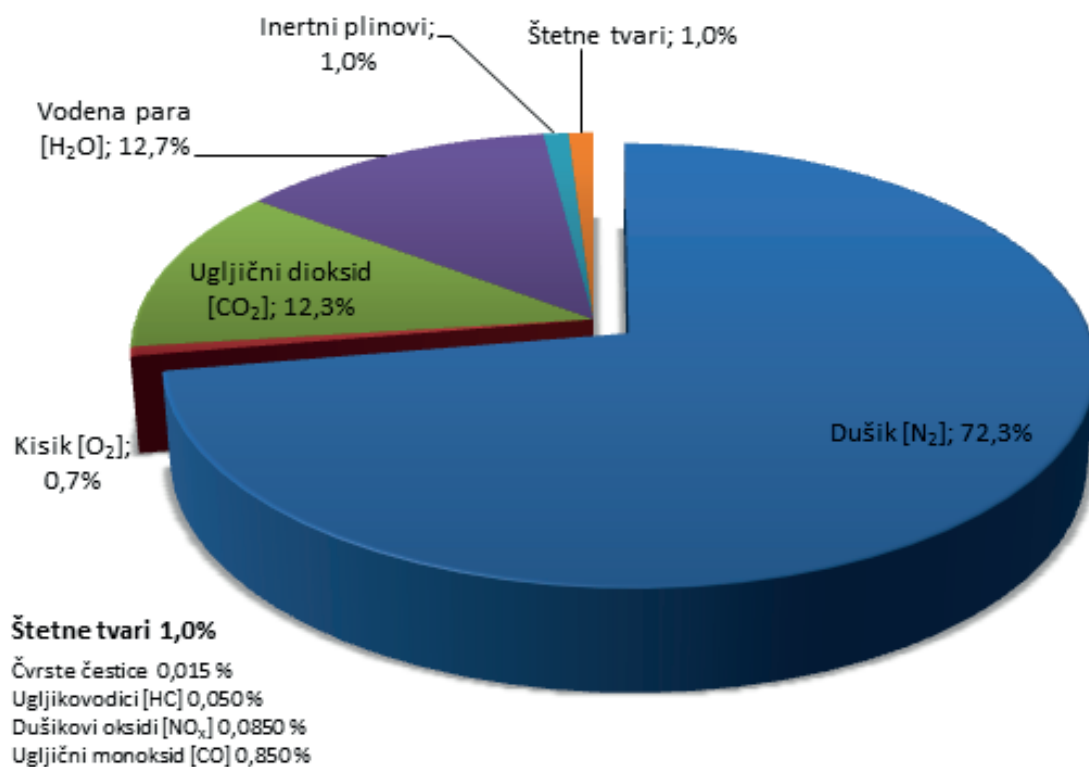
Bez obzira na neškodljivost plinova kao što je **ugljični dioksid [CO_2]**, koji bi uz **vodenu paru [H_2O]** ujedno bio jedini produkt potpunog izgaranja, veliki je značaj djelovanja CO_2 na okolinu zbog njegovog učinka staklenika i time direktnog utjecaja na globalno zatopljenje i promjenu klime, kao i na stvaranje kiselih kiša koje nepovoljno djeluju na biljni svijet. On se mjeri i homologacijskim ispitivanjem motora, a direktno ne utječe na prolaznost ekotesta. Najveća mu je koncentracija pri faktoru zraka $\lambda = 1$, što ukazuje na dobro izgaranje. Kod nepotpunog izgaranja u ispuhu se povećava i koncentracija **kisika [O_2]**. Posljedica je presiromašna smjesa te tako sav kisik ne sudjeluje u izgaranju.

Škodljivi plinovi

Najznačajniji škodljivi plin, te ujedno i jedini sastav ispuha koji direktno utječe na prolaznost na ekotestu je **ugljični monoksid [CO]**. Produkt je nepotpunog izgaranja i izuzetno otrovan plin, bez boje i mirisa. Njegova prevelika koncentracija u krvi izaziva gubitak svijesti i smrt, a direktno je odgovoran za sprječavanje prenošenja kisika krvotokom. Zastupljenost mu je gotovo linearno ovisna o smanjenju λ faktora (bogata smjesa).

Ugljikovodici [HC] se također pojavljuju kao produkt nepotpunog izgaranja, a može se pojaviti i kao posljedica veće količine ulja u motoru. Ovaj se plin, za razliku od svih ostalih plinova koji se mjere na ekotestu ne izražava u postotku % nego u bezdimenzijskoj matematičkoj veličini [ppm] ($1\% = 10^{-2}$; $1\text{ ppm} = 10^{-6}$).

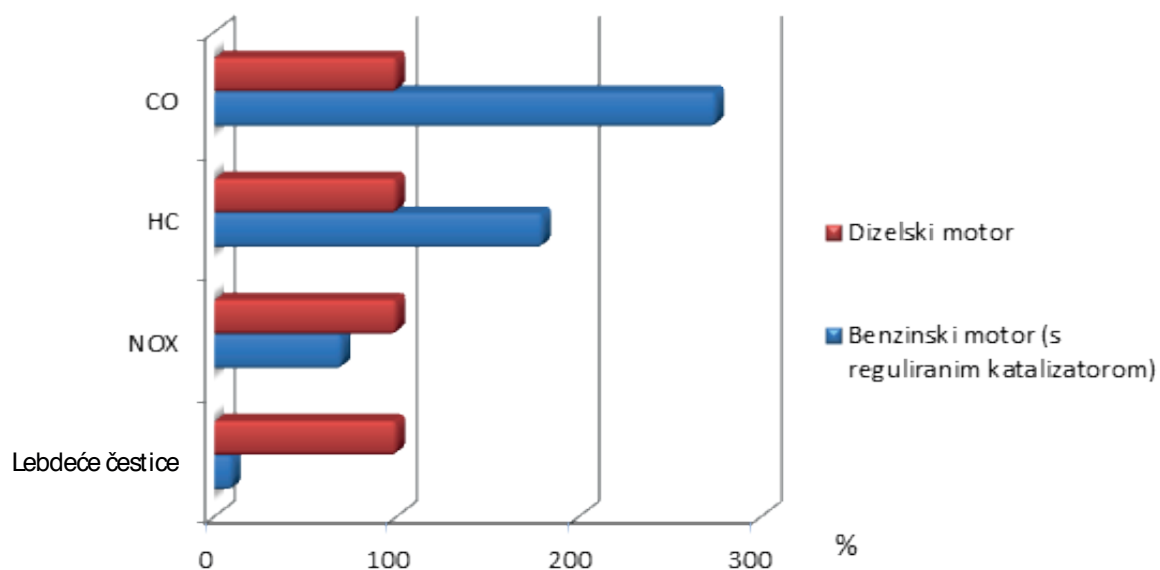
Dušikov oksid [NO_x] je štetni plin, pogotovo za dišne organe. Najzastupljeniji je u intervalu $\lambda = 1,0$ do $1,1$.



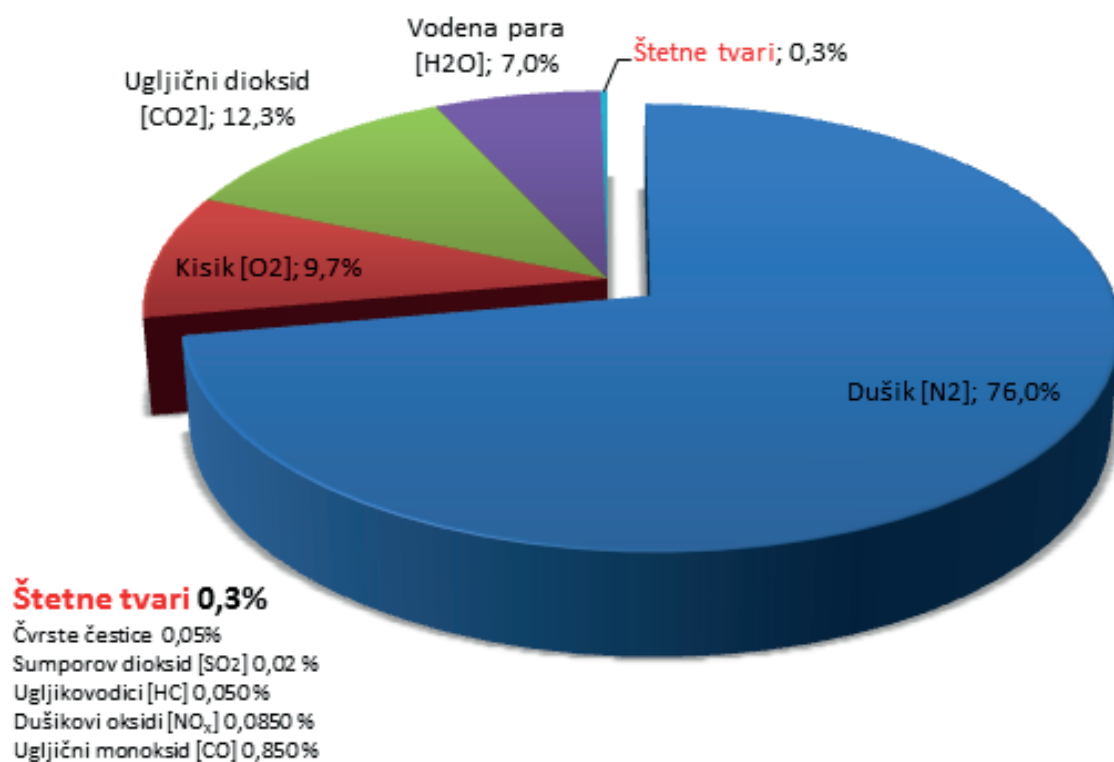
Slika 5.1. Sadržaj ispušnih plinova benzinskog motora [50]

5.4.2.2. Produkti izgaranja i proces izgaranja kod dizelskih motora

Isto kao i kod benzinskog motora i kod dizelskog motora je općeprihvaćeni model onaj četverokružnog procesa, ali pogonjen plinskim uljem gdje se izgaranje odvija uz znatno veći faktor zraka. Za optimalno izgaranje smjese kod današnjih dizelskih motora, a time i smanjenje štetnih plinova u ispuhu potrebna je brza i precizna priprema smjese goriva i zraka elektroničkom regulacijom ubrizgavanja. Smanjenje koncentracije ispušnih plinova se pospješuje i raznim konstrukcijskim dodacima. Uspoređujući sastav ispušnih plinova s benzinskim motorom, dizelski motor u atmosferu ispušta veću količinu dušičnih oksida [NO_x], kao i znatno veću količinu krutih čestica, no značajnije manju koncentraciju ugljičnog monoksida [CO] i neizgorenih ugljikovodika [HC].



Slika 5.2. Relativna usporedba koncentracije pojedinačnih ispušnih plinova iz dizelskog motora s ispušnim plinovima iz benzinskog motora [50]



Slika 5.3. Sadržaj ispušnih plinova dizelskog motora [50]

5.4.3. Smanjenje sadržaja štetnih ispušnih plinova benzinskih motora

U svrhu smanjenja štetnih ispušnih plinova u današnje motore se ugrađuju dodaci od kojih su najčešće zastupljeni:

- katalizatori
- lambda sonda
- napredni sustavi za paljenje smjese
- poboljšano napajanje
- upuhivanje sekundarnog zraka u ispušnu granu
- povrat ispušnih plinova u usisnu granu
- skupljanje para goriva i njihov povrat u usisnu granu.

Iako svi ovi dodaci direktno utječu na sastav ispušnih plinova, ovdje će biti riječi o prva dva navedena dodatka, **katalizatorima** i **lambda sondama**.

Katalizatori

Uloga katalizatora je naknadno obrađivanje ispušnih plinova koji kemijskim reakcijama pretvaraju štetne tvari u neotrovne bez samotrošenja – katalizatori se regeneriraju. Danas su praktično svi moderni motori cestovnih vozila opremljeni katalizatorom. Svaki katalizator sastoji se od keramičkog ili metalnog nosača, međusloja (wash-coat) i katalitičkog aktivnog sloja. Nosač čine više tisuća sitnih kanalića kroz koje struje ispušni plinovi. Kanalići kod keramičkog nosača, odnosno metalnog prevučeni su vrlo poroznim međuslojem, čime se aktivna površina povećava približno 7000 puta. Na međusloj je napanjanjem nanesen katalitički aktivni sloj određen udjelima štetnih tvari, koji ovise o vrsti motora i sastavu smjese ($\lambda \sim 1$, $\lambda \gg 1$). Redovito je smješten u prvom ispušnom loncu do motora.

λ -sonda

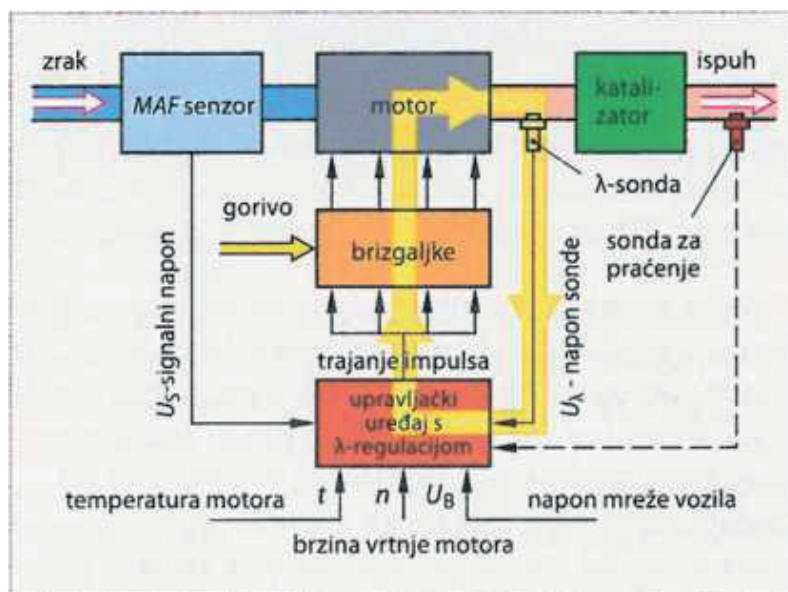
Osjetnik (senzor) ugrađen ispred katalizatora je λ -sonda. Regulacijski krug s λ -sondom prikazan je na slici 5.4. U ovisnosti o količini slobodnog kisika, λ -sonda daje odgovarajući naponski signal kojeg šalje upravljačkom uređaju. Pri malom udjelu slobodnoga kisika u ispušnim plinovima (bogatija smjesa), upravljački uređaj skraćuje trajanje ubrizgavanja. Ako je sadržaj slobodnoga kisika visok (siromašna smjesa), računalo produžuje ubrizgavanje. Regulacija, proces obogaćivanja i osiromašivanja

smjese, ponavlja se definiranom frekvencijom. Što je učestalost viša, to su manja odstupanja od referentne vrijednosti i motor radi ugađenije.

Uvjeti potrebni za djelovanje λ -regulacije su:

- temperatura λ -sonde viša od 300 °C
- motor u praznom hodu ili u području djelomičnog opterećenja
- temperatura motora viša od 40 °C.

Druga λ -sonda (*monitor*), ugrađena iza katalizatora, služi za nadzor rada katalizatora.



Slika 5.4. Shema sustava s intermitirajućim ubrizgavanjem i λ -regulacijom [50]

Adaptivna λ -regulacija. Ako je npr. na određenom režimu rada udio slobodnoga kisika premali, tj. smjesa prebogata, za ovaj se režim određuje manja osnovna količina goriva te se kao predupravljačka veličina pohranjuje u računalu. Time se mogu korigirati poremećajne veličine, npr. pogrešan sistemski tlak goriva, netočne vrijednosti temperatura, starenje dijelova motora, sekundarni zrak u regulacijskom krugu. Primjenom adaptivne λ -regulacije skraćuje se odziv sustava i manje je štetnih tvari u ispuhu.

5.4.4. Redukcija sadržaja štetnih ispušnih plinova dizelskih motora

Da bi se postigle granične vrijednosti emisije štetnih tvari prema europskim propisima, moraju se sve mjere za sniženje emisije štetnih tvari međusobno optimalno prilagoditi.

Mjere na motoru i naknadna obrada ispušnih plinova:

- Mjere na motoru mogu biti sljedeće: optimiranje prostora izgaranja, upravljanje radom žarnih svjećica, viši tlakovi ubrizgavanja, upravljanje usisnim kanalima, regulacija tlaka nabijanja, optimiranje predubrizgavanja, glavnog i naknadnog ubrizgavanja i EGR.
- Za naknadnu obradu ispušnih plinova primjenjuju se sljedeći sustavi: oksidacijski katalizator, SCR katalizator, DPNR filter, filter lebdećih čestica i NO_x adsorpcijski katalizator.

Mjere koje vode sniženju jedne štetne tvari, u pravilu povisuju emisiju ostalih štetnih tvari. Tako npr. mjere za redukciju dušičnih oksida (NO_x) većinom povisuju udjele ugljikovodika (HC), ugljičnog monoksida (CO) i krutih čestica.

Optimalnom prilagodbom svih mjera na motoru moguće je ispuniti zahtjeve Euro 4 propisa. Kako se Euro 5 propis ne može zadovoljiti bez naknadne obrade ispušnih plinova, mogu se zahvati na motoru tako odabrati da se npr. ranijim ubrizgavanjem štedi na gorivu. Veći udio dušičnih oksida koji pritom nastaje može se sniziti SCR sustavom.

Tablica 5.3. Mjere za redukciju štetnih tvari i njihovo djelovanje i način uklanjanja [50]

Mjera	CO	HC	NO_x	PM	CO_2	Pomoću
EGR količina – visoka	↑	↑	↓	↑	↑	DP filter
Vrijeme ubrizgavanja – rano	↓	↓	↑↑	↓↓	↓	SCR
Vrijeme ubrizgavanja – kasno	↑	↑	↓↓	↑↑	↑	DP filter
Temperatura izgaranja – visoka	↓	↓	↑	↑	↓↓	DP filter, SCR

5.4.5. Hibridni pogoni

Hibridni pogon imaju ona motorna vozila koja za svoje kretanje koriste više od jednog pogonskog izvora. U pravilu se u hibridnim pogonima kombiniraju motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor.

5.4.5.1. Podjela hibridnih pogona

Sustavi mikro (*micro*), umjereni i srednji (*mild/medi-um*) te potpuni (*full*) hibridni pogon razlikuju se po snazi i naponu električnog pogonskog sustava, funkciji start-stop, regenerativnom kočenju (tzv. *rekuperaciji*), podršci okretnog momenta te električnoj vožnji, **tablica 5.3.**

Tablica 5.3. Hibridni pogoni

Mikrohibridi (<i>micro hybrid</i>)	Umjereni i srednji hibridi (<i>mild hybrid/medium hybrid</i>)	Potpuni hibridi (<i>full hybrid</i>)
Električna snaga ~ 3 - 5 kW	Električna snaga ~ 10 - 15 kW	Električna snaga ~ 30 - 170 kW
Električni napon ~ 14 V	Električni napon ~ 42 - 150 V	Električni napon ~ 150 - 650V
Start-Stop	Start-Stop	Start-Stop
	Regenerativno kočenje	Regenerativno kočenje
	Podrška okretnog momenta	Podrška okretnog momenta
		Električna vožnja

5.4.5.2. Funkcije hibridnog pogona

Start-stop funkcija. Motor vozila automatski se zaustavlja (gasi) čim se vozilo zaustavi. Pomicanjem pedale gasa, odnosno otpuštanjem kočnice, motor se opet pokreće (starta). Motor se može samostalno pokrenuti i pri promjeni parametara u stop fazi kad sustav zaključa da je nužno pokretanje motora. Motor se pokreće integriranim starter generatorom (ISG), koji je spojen s motorom preko remenskog pogona ili je ugrađen u prijenosu snage. Start-stop funkcija može biti izvedena i s klasičnim elektropokretačem koji zbog češćih procesa pokretanja mora biti jače dimenzioniran.

Vozila koja su opremljena samo start-stop sustavom su mikrohibridna vozila, iako imaju samo jedan pogonski izvor, motor s unutarnjim izgaranjem.

Za izvođenje start-stop funkcije motora, upravljačkom uređaju sustava potrebni su različiti parametri, npr. stanje baterije, zahtjevi klimatskog uređaja, temperatura motora itd. Koji će parametri biti uključeni, ovisi o proizvođaču. Na primjeru automatskog zaustavljanja motora predstavljeni su potrebni uvjeti u tablici 5.4. Start-stop funkcija prikazuje se na upravljačkoj ploči (displeju) vozila.

Tablica 5.4. Parametri vozila za start-stop funkciju (primjer)

1.	Brzina vozila	< 3 km/h
2.	Brzina vozila od posljednjeg zaustavljanja motora	> 5 km/h
3.	Položaj ručice mjenjača	U praznom hodu
4.	Položaj pedale spojke	Neaktivirana
5.	Temperatura motora	> 35 °C
6.	Brzina vrtnje praznog hoda	< 900 1/min
7.	Spremnik s aktivnim ugljenom	Nema procesa ispiranja
8.	Stanje baterija	Nekritično
9.	Razlika tlaka u pojačalu kočne sile	< 500 hPa
10.	Pokretanje upravljača	Ne postoji
11.	Zahtjev za klimatizacijom	Nema grijanja i hlađenja
12.	Vanjska temperatura zraka	3 – 30 °C

Pogonsko stanje. Senzorom baterije mjere se ovi parametri:

- stanje napunjenosti
- temperatura baterije
- vrijednost pada napona baterije u posljednjem procesu pokretanja
- potreba za strujom uključenih trošila
- opterećenje generatora.

Start-stop automatika je aktivna ako je stanje baterije u redu. Na pragu kritičnog stanja, motor se ne isključuje, odnosno isključeni se motor opet pokreće.

Automatsko pokretanje isključenog motora

Tijekom faze isključenog motora, motor se automatski pokreće, ako je ispunjen jedan od ovih uvjeta:

- stanje baterije u fazi isključenog motora poprima kritičnu vrijednost
- podtlak u pojačalu kočne sile niži je od zadane granične vrijednosti
- vozilo se kreće (brzina viša od 5 km/h)
- senzor stanja vjetrobranskog stakla ustanovio zamagljivanje stakla
- temperatura isparivača klimatskog uređaja povisila se iznad granične vrijednosti
- odstupanje stvarne i zadane temperature putničkog prostora nalazi se ispod utvrđene vrijednosti.

Automatsko pokretanje motora vozačevom voljom

Motor se pokreće ako vozač pokrene pedalu spojke, odnosno otpusti kočnicu (automatski mjenjač). Kontaktni prekidač motornog prostora i brava sigurnosnog pojasa moraju biti zatvoreni.

Isključivanje automatskog zaustavljanja motora Automatsko zaustavljanje motora isključuje se u ovim pogonskim stanjima:

- baterija je blizu kritičnog stanja
- klimatski uređaj je u modu grijanja ili radi u modu odmrzavanja (MAX-AC, *Defrost-Taste*)
- istodobno odabrana velika brzina ventilatora i niska temperatura
- senzor vjetrobranskog stakla ustanovio zamagljeno staklo.

Ovisno o proizvođaču, mogu biti uključeni i ostali parametri, npr. zakretanje upravljača. Time se sprječava automatsko zaustavljanje motora tijekom parkiranja kad vozilo ima malu brzinu gibanja. Također se blokira automatsko zaustavljanje motora pri uključenoj automatskoj pomoći pri parkiranju (*ParkAssist*).

Regenerativno kočenje. Generator usporava vozilo pri čemu se baterije dopunjavaju. Integrirani pokretač-generator (ISG – Integrated Starter Generator) tijekom kočenja pogoni se u generatorskom modu. Pojedini proizvođači primjenjuju generator u klasičnoj izvedbi koji se odgovarajućom regulacijom (IGR – Intelligent Generator Regulation, IGC – Intelligent Generator Controller) uključuje samo pri kočenju, odnosno kočenju motorom (isključenom ubrizgavanju), ovisno o zadanom stanju napunjenosti baterije. Tijekom pogonske faze motora generator se ne pobuđuje. U toj fazi generator ne troši energiju, odnosno gorivo.

Inteligentna regulacija rada generatora (IGR) definira za bateriju dva stanja napunjenosti (SOC – State of Charge). U ovisnosti o stanju napunjenosti baterije regulacijski proces odvija se na različite načine.

Na temelju potrebne izdržljivosti zbog velikog broja ciklusa punjenja, u pravilu se primjenjuju baterije u AGM izvedbi (AGM – Absorbing Glas Mat). Ove baterije imaju i veći kapacitet. Stanje napunjenosti baterije neprekidno se nadzire senzorom baterije. Senzor je povezan s upravljačkim uređajem motora i generatorom.

Podrška okretnog momenta. Okretni moment motora s unutarnjim izgaranjem može se u određenim režimima rada, npr. pri pokretanju vozila ili punom opterećenju, podržati elektromotorom (Torque Support). Elektromotori su osobito pogodni za pokretanje jer u području niskih brzina vrtnje imaju velik okretni moment.

Djelotvorna podrška okretnog momenta može biti ostvarena samo primjenom sustava pohrane velikog kapaciteta, npr. nikal-metal hibridnih ili litij-ionskih akumulatora. Sustavi se, k tomu, napajaju višim naponima pa se mogu smanjiti jakosti struje i potrebni presjeci vodiča. S većim razinama snage može se povećati količina rekuperirane energije kočenja. Integrirani pokretači-generatori ugrađeni su u sustav prijenosa snage (*Powertrain, Antriebsstrang*). *Mild* hibridi podržavaju motor s unutarnjim izgaranjem u području nižih brzina vrtnje, dok *medium* hibridi mogu raditi i u područjima viših brzina.

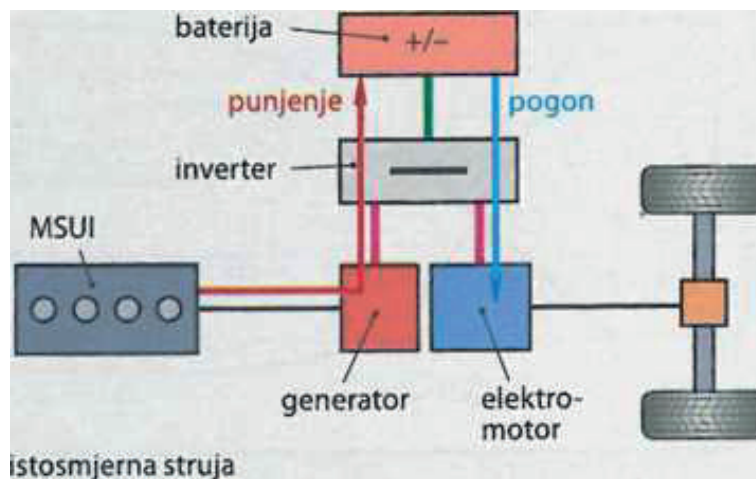
Električni pogon. Pri pogonu električnom energijom, pogon vozila je isključivo pomoću jednog ili više elektromotora. Ova je funkcija izvediva samo s potpunim hibridnim pogonima s brzinama vozila do približno 50 km/h.

Potpuni hibridni pogon

Razlikujemo serijske i paralelne hibridne sustave. Oba sustava mogu se međusobno kombinirati. Kombinacija serijskog i paralelnog sustava naziva se hibridni sustav s razdijeljenom snagom (*Power Split Hybrid System*).

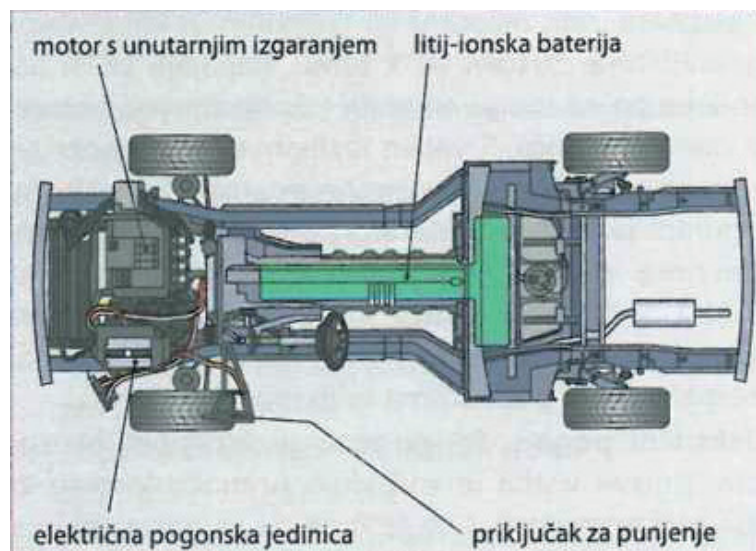
Serijski hibridni sustav. U serijskom hibridnom sustavu motor s unutarnjim izgaranjem pogoni generator. Proizvedena električna energija u elektromotoru se pretvara u pogonski okretni moment.

Električna se energija preko invertera pohranjuje u baterijama i po potrebi, npr. pri isključivo električnom pogonu, opet preuzima, slika 5.5. Inverter pretvara izmjeničnu struju generatora u istosmjernu, koju se može pohraniti u kemijskom obliku u bateriji. Za pogon elektromotora, inverter pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu.



Slika 5.5. Serijski hibridni sustav [50]

U serijske hibride ubrajamo i električna vozila koja imaju dodatni motor s izgaranjem, slika 5.6.



Slika 5.6. Serijski hibridni sustav s dodatnim motorom s izgaranjem [50]

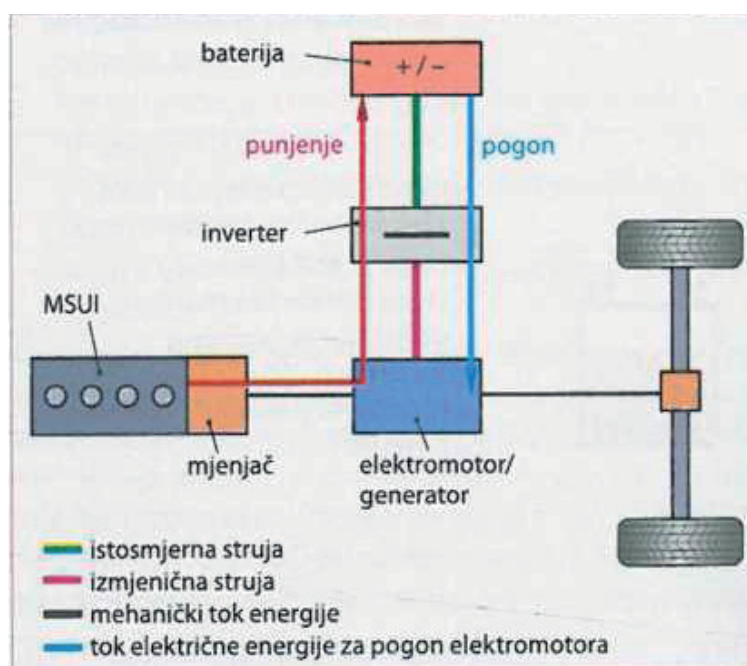
Range Extender. Elektronički uređaj po potrebi uključuje motor s unutarnjim izgaranjem kako bi se povećao doseg vozila. Isključiva namjena motora s izgaranjem opskrba je električnog pogona električnom energijom (*On Board* proizvodnja struje). Pritom elektronički uređaj uzima u obzir navigacijske podatke, npr. profil cilja i puta na uzbrdicama i nizbrdicama.

Motori s unutarnjim izgaranjem mogu biti Ottovi, Dieselovi i Wankelovi. Autobusi, npr., koriste Dieselove motore. Velika prednost Wankelovih motora je rad gotovo bez vibracija, male dimenzije i težina. Volumen spremnika goriva osobnog vozila obično je 10–30 litara.

Hibridna vozila kod kojih se baterije mogu puniti preko električnog priključka iz mreže nazivaju se *Plug-In* hibridi

Paralelni hibridni sustav

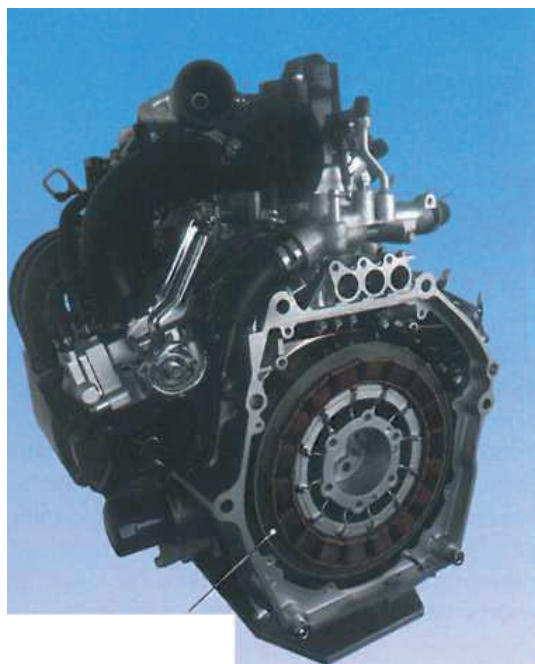
Kod paralelnog hibridnog sustava motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor zajednički pogone kotače. Elektromotor može raditi i kao generator te se naziva *motor-generator*. Baterija se puni, pri čemu se motor-generator može uključiti tijekom vožnje s motorom s unutarnjim izgaranjem ili pri kočenju (rekuperacija), slika 5.7.



Slika 5.7. Paralelni hibridni sustav [50]

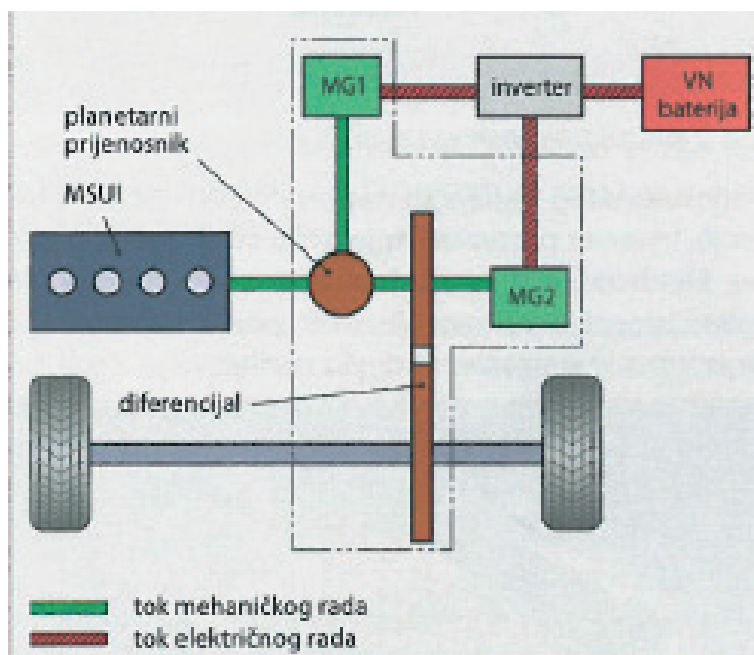
U ovome je sustavu veza između motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora čvrsta, npr. priрубnicom koja spaja koljenasto vratilo s rotorom elektromotora. Zato elektromotor može imati ulogu elektropokretača. Zahvaljujući uskim ugradbenim dimenzijama, moguća je ugradnja elektromotora između motora i mjenjača.

Elektromotor (trofazni sinkroni motor s permanentnom uzбудom) istodobno preuzima i ulogu zamašnjaka, **slika** 5.7. i 5.8. Mjenjač je u pravilu kontinuirani, CVT (*Continuous Variable Transmission*).



Slika 5.8. Ugradnja elektromotora između motora i mjenjača [50]

Pogonski moment MSUI dijeli se na planetarnom prigonu pri čemu se dio momenta vodi na pogonske kotače, a ostatak na motor-generator MG1 za proizvodnju struje. Kako su pogonski kotači spojeni s MG2, to se MG2 mora pogoniti jer bi u protivnom kočio kotače. Elektromotori MG1 i MG2 mogu se, ovisno o pogonskoj situaciji, uključivati i kao generatori. MG2 i diferencijal pogonskih kotača povezani su preko pogonskog lanca i lančanika.



Slika 5.9. Ustroj hibridnog sustava [50]

Konstrukcija pogonskog sklopa. Sastoji se iz motor – generatora MG1 i MG2, planetarnog prijenosnika i diferencijala, slika 5.9. Na sklopu se nalazi i priključak za inverter, odnosno bateriju.

Pogonski sklop napaja se naponom 200 – 300 V s baterije. Inverter pretvara izmjeničnu struju u istosmjernu. Elektromotori su spojeni s inverterom preko visokonaponskih vodova. Visokonaponska VN baterija smještena je u stražnjem dijelu vozila.

Dijelovi hibridnog pogona

Motor s unutarnjim izgaranjem i oba motor-generatora MG1 i MG2 međusobno su spregnuti preko planetarnog mjenjača.

Sprega pogona i planetarnog prijenosnika,

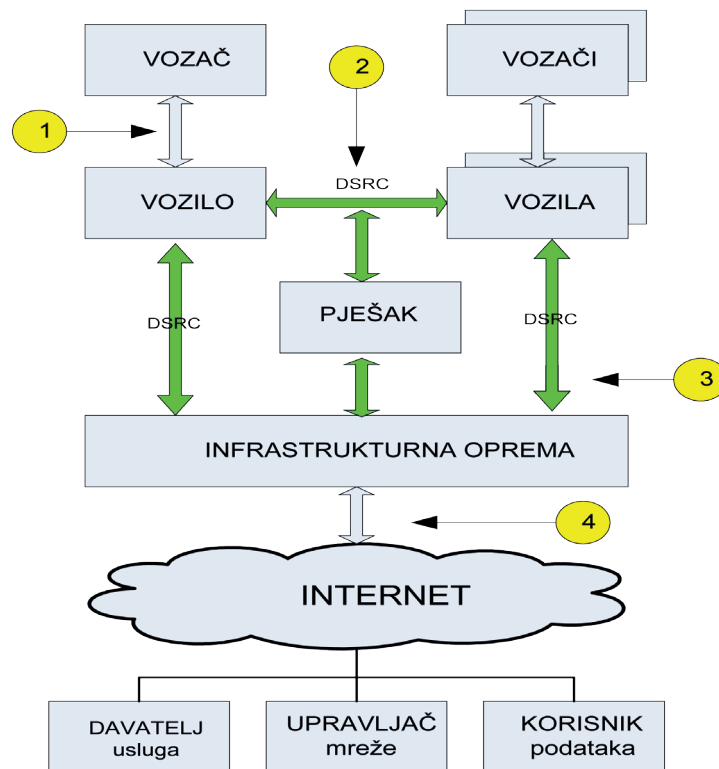
- MG1 — sunčani zupčanik (sunčanik)
- MG2 — kolutni zupčanik s pogonskim lancem
- MSUI — planetarni zupčanik.

Upravljački uređaj prepoznaje preko senzora pedale gasa želju vozača. Nadalje dobiva informacije o brzini vozila i položaju ručice mjenjača. Na temelju ovih informacija, upravlja tokovima energija i pogonskim silama.

5.5. Infrastruktura — kooperativni sustavi u prometu i transportu

Poseban pristup u suvremenim ITS-ima predstavljaju kooperativni sustavi [109]. To su sustavi u kojima vozilo (ili neki drugi prometni entitet) bežično komunicira s drugim vozilima, infrastrukturom (prometnica i prateća oprema) te drugim korisnicima (pješaci, VRU i dr.), slika 5.10. Na slici su prikazane različite komunikacije koje se odvijaju u kooperativnim sustavima:

1. Komunikacija vozač-vozilo (D2V)
2. Komunikacija vozilo-vozilo (V2V)
3. Komunikacija vozilo-infrastruktura (V2I)
4. Komunikacija infrastruktura-WAN (I2W).



Slika 5.10. Komunikacije u kooperativnim sustavima [111]

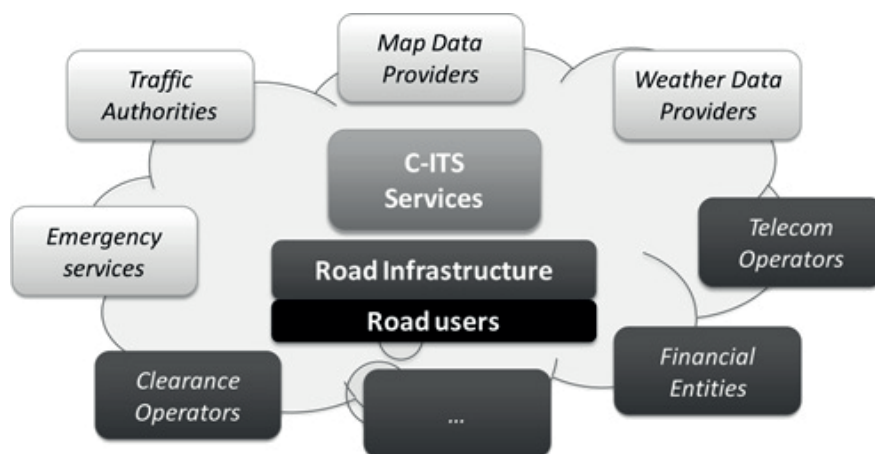
Predstavljanjem kooperativnog koncepta, stvorila se potreba za proširenjem europske ITS arhitekture, te je 2011. godine predstavljena proširena europska ITS arhitektura (engl.: *Extended FRAME architecture*).

Proces proširenja postojeće ITS arhitekture mora se provesti pažljivo budući da se nove funkcionalnosti i potrebe korisnika moraju uskladiti sa postojećima. Tri glavna projekta pratila su razvoj i proširenje europske ITS arhitekture:

- COOPERS – definiranje korisničkih zahtjeva u kooperativnom okruženju (fokus na međugradske brze ceste – pružanje upozorenja ili sugestija vozaču iz glavnog prometnog centra putem sučelja u vozilu) [26]
- CVIS – definiranje korisničkih zahtjeva te usluga vezanih uz prijevoz roba, usluga vezanih uz međugradsku prometnu mrežu i razvoj sustava za nadzor i prikupljanje podataka iz prometne mreže [31]
- SAFESPOT – izrada arhitekture sustava upozorenja o stanju prometa na gradskoj i međugradskoj razini [136].

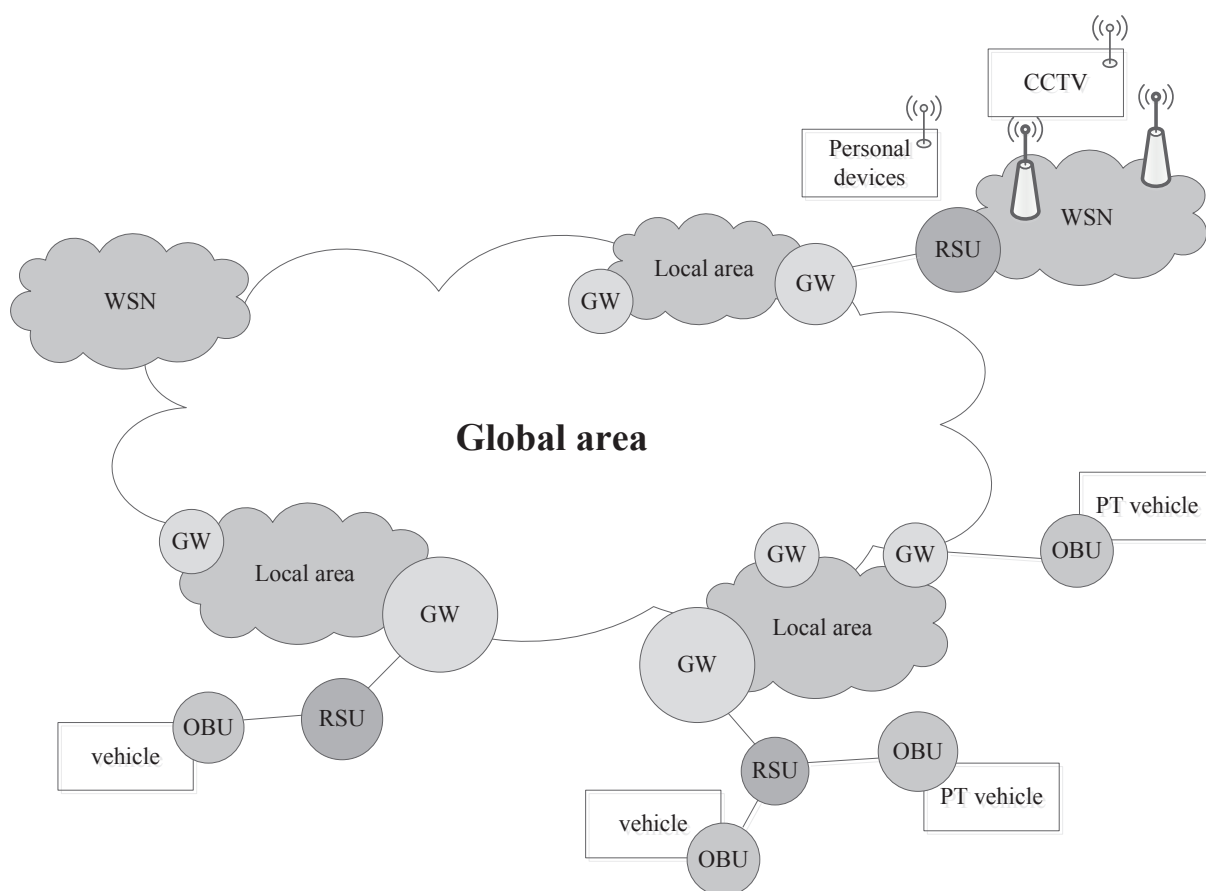
Najvažnija faza izrade proširene kooperativne ITS arhitekture (osim dobrog definiranja korisničkih zahtjeva) čini definiranje i izrada komunikacijske ITS arhitekture budući da je nužno definirati komunikacijske veze između sudionika prometnog sustava (vozila,

vozača i infrastrukture). Na slici 5.11. predstavljena je pojednostavljena shema okruženja kooperativnih usluga.



Slika 5.11. Prikaz okruženja i veza u kooperativnom okruženju [110]

Prema slici 5.11. vidljivo je da različite vrste kooperativnih usluga zahtijevaju različite “potporne” tehnologije. Kroz projekt ICSI – Intelligent Cooperative Sensing for Improved Traffic Efficiency definirana je arhitektura kooperativnih sustava na globalnoj razini (Slika 5.12.).



Slika 5.12. Arhitektura ICSI sustava na globalnoj razini [109]

Podaci koji su prikupljeni iz prometnog sustava obrađuju se u kooperativnom okruženju, ali na više razina. Npr. podaci o protoku vozila na određenoj prometnici prikupljaju se i pohranjuju lokalno, ali glavnom prometnom centru šalju se statistički i obrađeni podaci na zahtjev.

Također, prilikom definiranja svake ITS usluge potrebno je definirati i arhitekturu proširenog sustava te dobro definirati komunikacijsku arhitekturu i veze između pojedinih dijelova sustava.

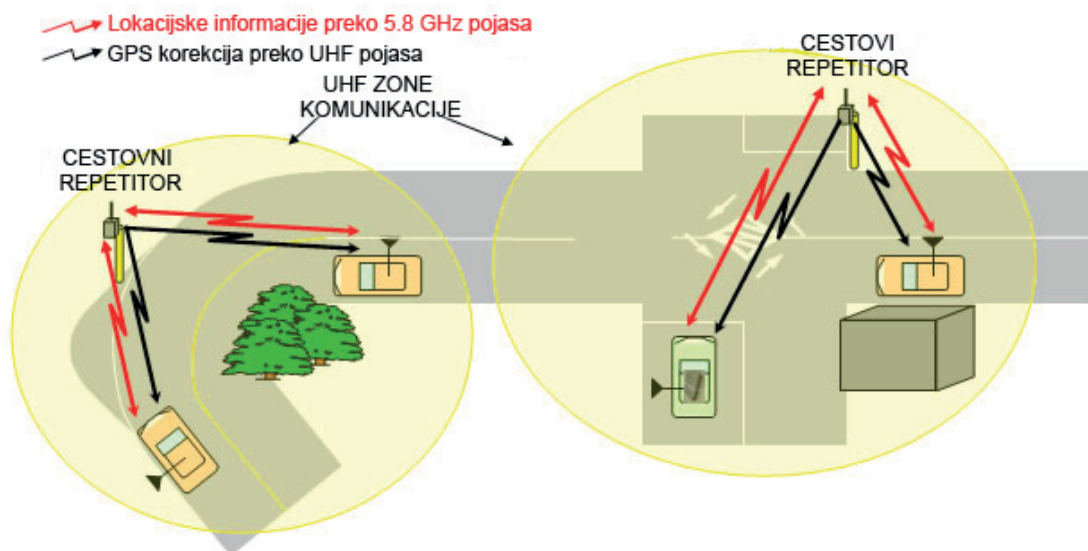
Normizacija u području kooperativnih sustava

U području normizacije kooperativnih inteligentnih transportnih sustava združeno rade ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), CEN (*European Committee for Standardization*) i ISO (*International Organization for Standardization*) te su osnovale TC ITS, CEN TC278 i ISO TC204 tehničke komitete kako bi razvile komplementarne standarde za ovo područje. Također, ETSI ima zaseban fokus u kojem razvija standarde za testiranje kooperativnih inteligentnih transportnih sustava.

Konkretna zadaća kooperativnih inteligentnih transportnih sustava je razmjena podataka, bilo da se radi o aplikacijama na istoj ITS stanici ili više ITS stanica prilikom čega je potrebno osigurati zatvoreno, sigurno i nadzirano komunikacijsko okruženje.

A. Namjenski kratkodometni sustavi komunikacije

Namjenski kratkodometni sustavi komunikacije – DSRC (engl. Dedicated Short-Range Communications) osiguravaju komunikacije između vozila i infrastrukture te je normiran prema CEN TC 278 porodici standarda: EN 12253, EN 12795, EN 12834 [ISO 15628] i EN 13372 za DSRC. Ovu vrstu komunikacije mogu upotrebljavati različite aplikacije ITS-a kao što je elektronička naplata cestarine i sl. DSRC sustavi omogućavaju isključivo podatkovnu komunikaciju i rade unutar radijskog frekvencijskog pojasa od 5,725 MHz do 5,875 MHz. Trenutno neke države dozvoljavaju jedino kanale 1 i 2 s razmakom od 10 MHz i središnjim frekvencijama 5.800 GHz i 5.810 GHz. Brzina prijenosa podataka prema vozilu je 500 kbps, a od vozila je 250kbps, uz domet od 3 do 15 metara i s vremenom uspostava veze od 5 do 12 [ms]. Budući da je sustav utemeljen na baznim stanicama koje moraju biti tzv. master node, mogućće su međusobne interferencije te je prilikom postavljanja infrastrukture potrebno paziti na raspored baznih stanica, što se može vidjeti na slici 5.13.



Slika 5.13. Kratkodometni sustavi komunikacije – DSRC [26]

Ovaj frekvencijski pojas naziva se još i *ISM pojas* (engl. *Industrial, Scientific and Medical band*). Cestovne ITS postaje (engl. *Road Side Unit – RSU*) i ITS postaje u vozilu (engl. *On Board Units – OBU*) najčešće koriste ovu vrstu komunikacije uz odgovarajuće primopredajnike i transpondere. DSRC standard određuje radne frekvencije i frekvencijske pojase, ali ostavlja i mogućnost da pojedine zemlje članice EU odaberu dodatni (opcionalni) frekvencijski pojas i uvrste ga u nacionalnu regulativu. DSRC sustavi već su u upotrebi u nekim članicama Europske unije, ali takvi sustavi za sada još nisu u potpunosti interoperabilni. Ovo ukazuje na potrebu da se u ovom dijelu pojačaju normizacijske aktivnosti, kako bi se postigla potpuna interoperabilnost DSRC sustava unutar Europske unije, budući da više direktiva Europske unije zahtijeva paneuropsku interoperabilnost ove vrste sustava. Bolja normizacija DSRC sustava pridonijela bi razvoju šireg spektra ITS aplikacija te osigurala kompatibilnost i interoperabilnost za veći broj proizvođača opreme.

B. Europski sustav ITS-a 5.9 GHz

Europski sustav ITS-a 5.9 GHz zasnovan na bežičnom standardu WLAN i usmjeren je na *ad hoc* komunikaciju između vozila i vozila te vozila i pametne prometne infrastrukture (cestovne sigurnosne opreme). Da bi se ostvario prijenos podataka između različitih prometnih sudionika nije nužno postojanje baznih stanica. Unutar ITS-a 5.9 GHz programa trenutno se prvenstveno testiraju aplikacije prevencije sudara, iako se do sada u Europi i Japanu koristio u sustavu elektroničke naplate cestarine. Taj sustav dobro je rješenje za razmjenu trenutnih informacija o uvjetima na

prometnici i izvanrednim događajima, kao što je izbjegavanje sudara na križanjima, automatsko kočenje i drugo.

C. Europski sustav WLAN-a 5.9 GHz

Brzi, *ad hoc* prijenos informacija između sudionika u prometu utemeljen je na bežičnoj lokalnoj računalnoj mreži (Wireless Local Area Network – WLAN). Ova mreža radi na frekvencijama oko 5 GHz, pa često nosi oznaku WLAN 5 GHz. WLAN 5 GHz koristi se za slične aplikacije kao i standard ITS-a od 5.9 GHz (5,850-5,925 GHz), osim korištenja drugog frekvencijskog kanala. WLAN 5.9 GHz je radijski sustav koji se može uspješno koristiti za razvoj kooperativnih ITS aplikacija, on podržava velike brzine vozila, otporan je na ekstremne vremenske uvjete (npr. kiša, magla, snijeg itd.). WLAN 5.9 GHz ima jedan podatkovni kanal širine 20MHz za ITS aplikacije i ostale primjene koje doprinose unaprjeđenju europskog ITS sustava od 5.9 GHz. Domet europskog sustava WLAN 5.9 GHz je 500 m pri maksimalnoj snazi i minimalnoj količini podataka [152].

D. Čelijske mobilne mreže

Za prijenos informacija koje mogu podnijeti manja kašnjenja mogu se koristiti i GSM/GPRS/3G/4G sustavi. Tamo gdje je velik broj baznih stanica (gradska područja) ovi sustavi imaju dobre performanse. U područjima gdje je manja gustoća baznih stanica i općenito lošija pokrivenost ovi sustavi imaju lošije performanse i komunikacija između sustava u vozilima, osobnih sustava te sustava implementiranih u infrastrukturu odvija se manjima brzinama.

Normizacijske aktivnosti u području inteligentnih transportnih sustava su prioritetno područje Europske komisije kao način postizanja europske i globalne suradnje i koordinacije. Normizacijske aktivnosti za kooperativne ITS sustave već su pokrenute kroz ETSI i ISO (engl.: *International Standards Organisation*) kao i nekih drugih međunarodnih normizacijskih organizacija. Pojedine norme za kooperativne sustave su već usvojene, a cilj je da se u nastavku napravi koherentan skup normi, specifikacija i pojedinih smjernice, a kao potpora jedinstvene europske provedbe i buduće implementacije kooperativnih ITS sustava na razini EU. To se posebno odnosi na one koje djeluju u 5 GHz frekvencijskom pojasu.

5.6. Pravna regulativa zaštite okoliša

Mjere određivanja cijena i oporezivanja uključuju cestarine, oporezivanje goriva, naplatu zagušivanja te subvencije za vozila s niskom emisijom štetnih plinova. Ove su mjere usko povezane s mjerama regulacije. Naplata i oporezivanje ugljika u teoriji nudi troškovno efektivne metode smanjenja emisije stakleničkih plinova, s obzirom da potpomaže u uočavanju problema začetnika stakleničkih plinova te pritom ne povećava troškove socijalne politike [17, 98, 129].

Očuvanje prirode i čovjekova okoliša je Ustavom Republike Hrvatske propisana kao najviša vrednota ustavnog poretka. Članak 70. Ustava propisuje obvezu države da osigurava uvjete za zdrav okoliš.

Različite porezne obveze i druga davanja uvedene su u suvremenim državama radi utjecanja na ponašanje gospodarskih subjekata i fizičkih osoba, a sve s ciljem očuvanja okoliša. Uvođenje poreza i drugih davanja ima za posljedicu povećanje cijene, odnosno veće financijske izdatke pa se time utječe na odluke potencijalnih zagađivača o proizvodnji, prodaji, kupnji i konzumiranju proizvoda koji direktno ili indirektno utječu na okoliš.

S obzirom na cilj koji se tim poreznim instrumentarijom nastoji postići nazivani su ekološki, ekoporezi ili “zeleni porezi”. Ekološki porezi imaju tri uloge: ulogu internalizacije eksternih troškova, odgojnu ulogu i ulogu financiranja. Možemo ih podijeliti u tri skupine:

- a) Pigou porezi ili specifični porezi – ovu grupu poreza čine porezi čija se visina opterećenja mjeri u izravnom odnosu prema jedinici emitiranog zagađenja. Cilj ovih poreza je smanjenje emisije štetnih tvari zagađivača na način da njihov trošak pada na zagađivača koji bi radi toga trebao povesti više računa o čovjekovom okolišu.
- b) Para-Pigou porezi su neizravni porezi (carine, trošarine, opći porez na promet i dr.). Ove poreze karakterizira prilagodba poreznih stopa onim dobrima i uslugama koji nemaju štetan utjecaj na okoliš, odnosno imaju manje štetan utjecaj na način da se na njih primjenjuje niža stopa, nego na proizvode i usluge koji imaju štetniji utjecaj na okoliš.
- c) Dvostrano korisni porezi su namjenski porezi koji su usmjereni na financiranje aktivnosti i mjera zaštite okoliša.

5.6.1. Ekološki porezi na svjetskoj razini i u Europskoj uniji

Prema podacima Fonda za zaštitu okoliša, promet u ukupnoj energetske potrošnji ima udjel od 30 %, a u emisijama stakleničkih plinova u EU od oko 25 %, od čega 71,3 % generira cestovni promet.

Prema definiciji EU/OECD-a ekološki porez je oblik poreza kod kojeg je porezna osnovica izražena u fizičkim jedinicama materije i dokazan je njezin negativni utjecaj na okoliš [151].

Postoje tri osnovne kategorije ekoloških poreza u EU [150]: porez na energente (pogonsko gorivo, gorivo za grijanje, električna energija itd.), porez na transport (na registraciju i korištenje motornih vozila, uvoz i prodaju motornih vozila, za korištenje cesta itd.) te porez na zagađenja i prirodne izvore (npr. pesticidi i umjetna gnojiva, pakiranja plastike, metala, stakla, baterije, gume, plastične vrećice itd.).

Dva najvažnija propisa o smanjenju emisije stakleničkih plinova su Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) iz 1992. godine i Protokol iz Kyota koji je donesen 11. 12. 1997. godine, a stupio na snagu 16. 02. 2005. godine nakon što su ga ratificirale države koje su odgovorne za 55 % emisija stakleničkih plinova. Njime su uspostavljeni mehanizmi koji omogućuju smanjenje emisija stakleničkih plinova uz minimalne troškove. Kyotskim protokolom države potpisnice su preuzele obvezu smanjenja emisija stakleničkih plinova za ukupno 5 % u razdoblju od 2008. do 2012. godine u odnosu na razinu emisija u baznoj 1990. godini. Državama potpisnicama su internom shemom određene različite kvote. U prosincu 2012. godine usvojen je amandman na Protokol iz Kyota. Budući da SAD nikad nije potpisao Protokol, a Japan, Rusija, Kanada i Novi Zeland su se povukli, potpisnice Protokola iz Kyota II su države koje emitiraju samo 15 % štetnih plinova.

Glavni ciljevi energetske-klimatskog paketa EU do 2020. godine su: korištenje manje energije, korištenje obnovljive energije i unaprjeđenje učinkovitosti prometa. Planirano je smanjenje emisije stakleničkih plinova do 85 % u odnosu na baznu godinu 1990. godine. Promet je jedini sektor u EU u kojem su emisije stakleničkih plinova još uvijek u porastu. U razdoblju od 1990. do 2010. godine emisije CO₂ iz cestovnog prometa povećale su se za gotovo 23 %. U ukupnim emisijama ugljičnog dioksida 15 % dolazi od osobnih vozila, koja su najveći izvor emisija iz sektora prometa u EU. Stoga se

Kyotskim protokolom uspostavio sveobuhvatni pravni okvir za smanjenje emisija ugljičnog dioksida koje emitiraju osobna vozila. Osobna vozila proizvedena 1995. godine imala su prosječnu emisiju CO₂ oko 180 g CO₂/km, a 2003. godine oko 164 g CO₂/km. Europski parlament i Vijeće su 23. 04. 2009. godine donijeli Uredbu br. 443/2009 o utvrđivanju standardnih vrijednosti emisija za nova osobna vozila kojom su proizvođači bili obvezni poštivati maksimalno emitiranje od oko 130 g CO₂/km do 2015. g., odnosno 95 g CO₂/km do 2021. godine. U pogledu potrošnje goriva, cilj u 2015. godini je bio otprilike ekvivalent od 5,6 l/100 km benzina, odnosno 4,9 l/100 km dizela. Cilj čije ostvarenje je planirano do 2021. godine je potrošnja oko 4,1 l/100 km benzina, odnosno 3,6 l/100 km dizela [166].

5.6.2. Pravna regulativa zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj

Kao punopravna članica EU, Republika Hrvatska je obvezna izravno primjenjivati uredbe i implementirati direktive EU vezane za klimatske primjene i očuvanje okoliša te provoditi mjere kojima će postići zadane ciljeve.

Republika Hrvatska potpisnica je i Okvirne konvencije UN-a i Kyotskog protokola te je imala obvezu smanjenja emisija u visini od 5 % u razdoblju zadanom Protokolom u odnosu na razinu emisija 1990. godine. Osim obveze smanjenja emisija, RH je preuzela i obveze iz EU energetske-klimatskog paketa, dakle sustav trgovanja emisijskim jedinicama, ciljeve za obnovljive izvore energije, energetske učinkovitosti te ciljeve iz sektora prometa. Jedan od ciljeva Plana zaštite zraka, ozonskog sloja i ublažavanja klimatskih promjena u RH donesenom za razdoblje od 2013. do 2017. godine je "dodatno smanjivanje i ograničavanje emisija stakleničkih plinova sukladno odlukama i strateškim dokumentima EU i putu niskougljičnom gospodarstvu i razvoju zelenog gospodarstva u Republici Hrvatskoj" [125]. Ostvarenjem tog cilja, dodatnog smanjenja emisija, postići će se ograničenje emisija stakleničkih plinova veće od iznosa nacionalne godišnje kvote.

U skladu sa smjernicama prometne strategije EU (White paper – Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system od 2011. godine) te smjernicama 3. nacionalnog akcijskog plana energetske učinkovitosti od 2014. godine Ministarstvo zaštite okoliša i prirode je izradilo Nacionalni program mjera smanjenja emisija iz prometa za razdoblje od 2013. do

2020. godine. Navedenim programom su predviđene mjere za smanjenje emisija iz prometa. Neke od tih mjera su: program poticanja nabave električnih i hibridnih vozila, razvitak mreže punionica za punjenje vozila na električni pogon ili pogon na stlačeni prirodni plin na javnim površinama, izmjena sustava plaćanja naknade za okoliš na motorna vozila, promjena trošarina – uvođenje ekološkog kriterija, donošenje Zakon o promicanju čistih i energetski učinkovitih vozila u cestovnom prijevozu, program poticanja nabave ekološki prihvatljivijih vozila za javni prijevoz – *Zeleni javni transport*, uspostava sustava izobrazbe vozača cestovnih vozila za ekovožnju itd. U nastavku ovoga poglavlja razradit ćemo neke od njih.

5.6.2.1. Mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova

Informiranje potrošača o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih osobnih vozila

Sukladno Zakonu o zaštiti okoliša (NN 80/2013, 153/2013) i Pravilniku o dostupnosti podataka o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih osobnih vozila (NN 7/2015) Ministarstvo unutarnjih poslova obvezno je jedanput godišnje, najkasnije do 31. ožujka tekuće godine izraditi Vodič o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂. Vodič mora sadržavati: popis svih modela novih osobnih vozila koji su u tekućoj godini dostupni za kupovinu na tržištu RH, a za svaki model naveden u vodiču navodi se: vrsta motornog goriva, brojčana vrijednost potrošnje goriva te brojčana vrijednost emisije CO₂. Također, deset modela koji se odlikuju najekonomičnijom potrošnjom goriva moraju biti posebno istaknuti, savjeti vozačima kako pravilno koristiti i redovito održavati osobno vozilo, napomene koje vozačke navike poboljšavaju potrošnju goriva i smanjuju emisiju CO₂, pojašnjenje učinaka emisija stakleničkih plinova na moguće klimatske promjene itd.

Osim toga, Pravilnik o dostupnosti podataka o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih osobnih vozila propisuje obvezu dobavljačima vozila da izrade oznaku ekonomičnosti potrošnje goriva i emisije CO₂ za svaki model novog osobnog vozila. Također, propisana je obveza prodavačima da bez naknade na prodajnom mjestu pruže potrošačima zadnje izdanje Vodiča.

Izmjena sustava plaćanje posebne naknade za okoliš na motorna vozila

Ministarstvo zaštite okoliša je 2014. godine iniciralo uspostavu novog sustava plaćanja

naknade za emisije CO₂ motornih vozila koji se temelji na principu “onečišćivač plaća” što podrazumijeva prilagodbu visine naknade ovisno o emisijama CO₂ koje vozila ispuštaju, čime se utječe na odluke kupaca na način da su manje opterećeni ovim godišnjim obveznim davanjem ukoliko se odluče na kupnju učinkovitijih novih vozila s manjom emisijom CO₂. Donošenjem nove Uredbe o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon (NN 114/14, 147/14) te Pravilnika o načinu i rokovima obračunavanja i plaćanja posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon (NN 156/2014) uređen je novi sustav posebne naknade za okoliš u kojem se naknadno obračunava s obzirom na emisije CO₂ i onečišćujućih tvari u zrak iz vozila, za razliku od dosadašnjeg sustava u kojem je obračun posebne naknade ovisio o vrsti motora i pogonskog goriva, radnom obujmu motora te starosti vozila.

Posebna naknada za okoliš na vozila na motorni pogon obračunava se i plaća jednom godišnje prilikom registracije vozila, odnosno produženja važenja prometne dozvole. Naplata se vrši temeljem rješenja Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, a u skladu s odredbama Zakona o Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost i Uredbe o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon.

Članak 16., stavak 4. Zakona o Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost propisuje formulu za izračun posebne naknade za okoliš:

$$PN = N_o \times K_k , \quad (5.1)$$

pri čemu su:

PN – iznos posebne naknade u kunama

N_o – osnovna naknada za pojedinu vrstu vozila (jedinična naknada)

K_k – korektivni koeficijent ovisan o vrsti motora i pogonskog goriva, radnom obujmu, vrsti vozila, emisiji CO₂ i starosti vozila.

Dakle, iznos posebne naknade za okoliš je umnožak jedinične naknade za pojedinu vrstu vozila s korektivnim koeficijentom.

Uredba o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon

određuje da je jedinična naknada (N_o) za pojedine vrste vozila ovisna o vrsti vozila i broju prijeđenih kilometara te se izračunava prema sljedećoj formuli:

$$N_o = n_o \times k_o , \quad (5.2)$$

pri čemu su:

n_o – početna naknada ovisna o vrsti vozila

k_o – korektivni koeficijent ovisan o godišnje prijeđenom broju kilometara.

Korektivni koeficijent (K_k) ovisan je o vrsti motora i pogonskog goriva, radnom obujmu, vrsti vozila, emisiji CO_2 i starosti vozila.

Korektivni koeficijent se za svako pojedino motorno vozilo M1 kategorije (osobna vozila) izračunava prema sljedećoj formuli:

$$K_k = K_1 \times K_2 \times K_3 , \quad (5.3)$$

pri čemu su:

K_1 – korektivni koeficijent koji se odnosi na emisijski razred vozila

K_2 – korektivni koeficijent ovisan je o radnom obujmu motora

K_3 – korektivni koeficijent ovisan je o vrsti goriva.

Značajna izmjena u sustavu obračuna posebne naknade za okoliš je članak 9., stavak 3. koji propisuje da je korektivni koeficijent za osobna vozila proizvedena nakon 1. 1. 2010. godine određen na temelju podataka o emisiji CO_2 za pojedino vozilo i iznosi:

Tablica 5.5. Određivanje korektivnog koeficijenta

Emisija CO_2 [g/km]	K_k
< 90	0,5
91–100	0,7
101–110	0,9
111–120	1
121–130	1,1
131–140	1,3
141–160	1,6
161–180	2
181–200	2,5
201–225	3,5
226–250	5
251–300	8
> 300	15

Osim što se ovakvim izračunom “kažnjavaju onečišćivači” s plaćanjem većih iznosa naknada za okoliš, sverazmjerno emitiranim emisijama CO₂, za vozila na električni pogon propisan korektivni koeficijent iznosi 0,2 čime se potiče kupnja te vrste vozila.

Za ostale kategorije vozila korektivni koeficijent se određuje i izračunava prema sljedećoj formuli:

$$K_k = K_{1a} \times K_{2a} \times K_{3a} , \quad (5.4)$$

pri čemu su:

K_{1a} – korektivni koeficijent ovisan je o vrsti motora i pogonskog goriva

K_{2a} – korektivni koeficijent ovisan je o radnom obujmu motora

K_{3a} – korektivni koeficijent ovisan je o starosti vozila.

Uspostava sustava izobrazbe vozača cestovnih vozila za ekovožnju

Prema izvješću Agencije za zaštitu okoliša RH od lipnja 2015. g. provedeni su pilot projekti te se provodi sustavna izobrazba vozača cestovnih vozila za ekovožnju čime se utječe na ponašanje vozača dajući im znanja o prednostima ekološki prihvatljivijeg načina vožnje.

Poticanje proizvodnje i korištenje biogoriva u prometu

Direktiva 2009/28/EZ o promicanju korištenja energije iz obnovljivih izvora donesena 2009. godine obvezuje države članice na način da im postavlja cilj udjela energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj energiji utrošenoj za potrebe prijevoza od 10 % do 2020. godine. Direktiva je implementirana u odredbe Zakona o biogorivima (NN 65/09, 145/10, 26/11, 144/12) i Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15), na temelju kojih je izrađen Nacionalni akcijski plan poticanja, proizvodnje i korištenja biogoriva u prijevozu za razdoblje od 2011. do 2020. godine. Nacionalni akcijski plan sadrži prikaz i ocjenu stanja na tržištu goriva za prijevoz u području zaštite zraka, usporedne analize, dugoročne ciljeve, uključujući nacionalni cilj stavljanja na tržište biogoriva, mjere za poticanje povećanja proizvodnje i korištenja biogoriva u prijevozu te druge potrebne podatke.¹⁰

10 Nacionalni akcijski plan poticanja, proizvodnje i korištenja biogoriva u prijevozu za razdoblje 2011.– 2020.

Poticanje kupnje hibridnih i električnih vozila

Električna i hibridna vozila su skuplja od konvencionalnih vozila s unutarnjim izgaranjem, no ona su mnogo efikasnija glede potrošnje primarne energije i gotovo neutralna u odnosu na emisije CO₂ (ukoliko je električna energija koja se koristi za njihov pogon proizvedena korištenjem obnovljivih izvora). Zbog svega navedenog iz prihoda Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost isplaćuju se subvencije za kupnju spomenute vrste vozila na način da se dodjeljuju bespovratna sredstva. Također, na električna i hibridna vozila ne obračunava se poseban porez na motorna vozila čime se dodatno potiče njihova nabava.

Osim poticanja kupnje hibridnih i električnih vozila subvencioniranjem, nužno je razviti infrastrukturu za tu vrstu vozila u urbanim sredinama. Prvenstveno to znači izgradnju stanica za punjenje i stanica za izmjenu električnih baterija. Prema iskustvima drugih država da bi se osigurali isti ili slični uvjeti kao za konvencionalna vozila s unutarnjim izgaranjem trebalo bi omogućiti stanicu za punjenje baterija na svaka četiri vozila na električni pogon.¹¹

5.6.2.2. Poseban porez na motorna vozila

U 2014. godini u Hrvatskoj je registrirano 1.899.538 motornih vozila, od čega su 77,6 % (1.473.018) osobna vozila, 4,9 % mopedi i 3,1 motocikli. Na električni pogon je registrirano 849 osobnih vozila, 1 moped, 1 motocikl i 6 teretnih vozila.

Ulaskom u Europsku uniju Republika Hrvatska je uvela sustav oporezivanja motornih vozila na temelju emisija CO₂ i to donošenjem Zakona o posebnom porezu na motorna vozila (NN 15/13, 108/13) i provedbenog Pravilnika o posebnom porezu na motorna vozila (NN 52/13, 90/13, 140/13, 116/14, 152/14, 31/15) kojima je implementirana u hrvatsko zakonodavstvo Direktiva Vijeća 82/182/EEZ o oslobođenju od poreza unutar zajednice za određena prijevozna sredstva koja se privremeno uvoze iz jedne države članice u drugu.

11 Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o provedbi politike i mjera za smanjenje emisija i povećanje odliva stakleničkih plinova – dopuna, Zagreb, lipanj 2015. str. 21

Predmet oporezivanja posebnim porezom na motorna vozila su motorna vozila na koje nije obračunat i plaćen posebni porez u Republici Hrvatskoj koja se registriraju sukladno posebnim propisima:

1. osobni automobili i ostala motorna vozila konstruirana prvenstveno za prijevoz osoba, uključujući motorna vozila tipa karavan, kombi i trkaće automobile, osim sanitetskih vozila, dostavnih "van" vozila i vozila posebno prilagođenih za prijevoz osoba s invaliditetom
2. motocikli, bicikli i slična vozila s pomoćnim motorom
3. "pick-up" vozila s dvostrukom kabinom
4. "ATV" vozila
5. druga motorna vozila prenamijenjena u motorna vozila iz točke 1., 2., 3. i 4.

Izuzeće oporezivanja su motorna vozila koja se isključivo pokreću na električni pogon što je još jedan mehanizam kojim se potiče na kupnju vozila koja ne utječu negativno na čovjekov okoliš.

Posebni porez utvrđuje se na temelju prodajne, odnosno tržišne cijene motornog vozila, emisije ugljičnog dioksida (CO_2) izražene u gramima po kilometru, obujma motora u kubičnim centimetrima i razini emisije ispušnih plinova. Uvođenjem odredbe kojom se propisuje da je porezna osnovica za utvrđivanje posebnog poreza za nova motorna vozila prodajna cijena, a za rabljena motorna vozila tržišna cijena napušta se podjela novih i rabljenih vozila na linearan, diskriminirajući način. Prema formuli obračuna posebnog poreza može se zaključiti da je zakonodavac vodio računa o vrijednosnom kriteriju (postotak od prodajne/tržišne cijene), kao i o ekološkom kriteriju (vezanje visine poreza ovisno o emisiji CO_2).

Prema članku 12. stavku 1. posebni porez na motorna vozila koja su navedena kao predmet oporezivanja pod točkama 1., 3. i 5. plaća se u postotku od porezne osnovice na temelju cijene motornog vozila prema tablici 5.6. i u postotku od porezne osnovice na temelju cijene motornog vozila ovisno o prosječnoj emisiji ugljičnog dioksida (CO_2) izraženoj u gramima po kilometru prema tablicama 5.7. i 5.8., ovisno o vrsti goriva koje vozilo koristi za promet, na način da se tako dobiveni iznosi zbrajaju.

Tablica 5.6. Iznos posebnog poreza na temelju cijene za motorna vozila – postotak od porezne osnovice

Porezna osnovica u kn	%		
0,00	do	100.000,00	1
100.000,01	do	150.000,00	2
150.000,01	do	200.000,00	4
200.000,01	do	250.000,00	6
250.000,01	do	300.000,00	7
300.000,01	do	350.000,00	8
350.000,01	do	400.000,00	9
400.000,01	do	450.000,00	11
450.000,01	do	500.000,00	12
500.000,01	do		14

Tablica 5.7. Posebni porez ovisan o prosječnoj emisiji CO₂ za dizelsko gorivo

Emisija CO ₂ (g/km)	%		
86	do	100	1,5
101	do	110	2,5
111	do	120	3,5
121	do	130	7
131	do	140	11,5
141	do	160	16
161	do	180	18
181	do	200	20
201	do	225	23
226	do	250	27
251	do	300	29
301	do		31

Tablica 5.8. Posebni porez ovisan o prosječnoj emisiji CO₂ za benzin, ukapljeni naftni plin, prirodni plin i dizelsko gorivo s razinom emisije ispušnih plinova EURO VI

Emisija CO ₂ (g/km)	%		
91	do	100	1
101	do	110	2
111	do	120	3
121	do	130	6
131	do	140	10
141	do	160	14
161	do	180	16
181	do	200	18
201	do	225	21
226	do	250	23
251	do	300	27
301	do		29

U istom članku su predviđena i umanjjenja, odnosno oslobođenja plaćanja posebnog poreza na motorna vozila. Oslobođena su plaćanja motorna vozila koja za pogon koriste dizelsko gorivo i čija prosječna emisija CO₂ iznosi do najviše 85 g/km i motorna vozila koja za pogon koriste benzin, ukapljeni naftni plin ili prirodni plin i čija prosječna emisija CO₂ iznosi do najviše 90 g/km. Iznos posebnog poreza utvrđen na gore opisan način se umanjuje za “plug-in” hibridna električna vozila za postotni iznos koji odgovara doseg u vozila u potpuno električnom načinu rada, a za kamper vozila za 85 %.

Dosad prikazan način izračuna posebnog poreza odnosi se na motorna vozila koja su navedena kao predmet oporezivanja pod točkama 1., 3. i 5. dok članak 13. Zakona o posebnom porezu na motorna vozila propisuje način izračuna posebnog poreza na motorna vozila navedena kao predmet oporezivanja pod točkama 2., 4. i 5. te se isti plaća u postotku od porezne osnovice na temelju cijene motornog vozila ovisno o obujmu motora u kubičnim centimetrima i u postotku od porezne osnovice na temelju razine emisije ispušnih plinova na način da se tako dobiveni iznosi zbrajaju.

Ulaskom Hrvatske u EU, zakonodavac je implementirao direktive EU u nacionalno zakonodavstvo. Vodeći se ciljevima i obvezama smanjenja emisija CO₂ u Zakon o posebnom porezu na motorna vozila unio je odredbe prema kojima će vozila koja

emitiraju veće količine CO₂ plaćati veći iznos poreza, kao što je i predvidio oslobođenje plaćanja poreza za vozila na električni pogon. Međutim, detaljnijom analizom odredbi Zakona o posebnom porezu na motorna vozila uočavamo da je granica emisije CO₂ za oslobođenje plaćanja posebnog poreza iznimno nisko postavljena. Članak 12., stavak 2. predviđa oslobođenja plaćanja posebnog poreza za motorna vozila koja za pogon koriste dizelsko gorivo i čija prosječna emisija CO₂ iznosi do najviše 85 g/km i motorna vozila koja za pogon koriste benzin, ukapljeni naftni plin ili prirodni plin i čija prosječna emisija CO₂ iznosi do najviše 90 g/km. U drugim državama članicama EU navedeni prag je prilično niži pa se postavlja pitanje hoće li prenisko određen ekološki prag za oslobođenje plaćanja posebnog poreza ispuniti cilj uvođenja citirane odredbe, a to je poticanje na donošenje odluke na kupnju ekološki inteligentnijih i prihvatljivijih vozila.

5.6.2.3. Trošarine

U trošarinskom sustavu u 2013. godini hrvatsko zakonodavstvo je značajno prilagođeno pravnoj stečevini EU. Zakonom o trošarinama (NN 22/13, 32/13, 100/15, 120/15) usvojen je novi sustav oporezivanja osobnih vozila, ostalih motornih vozila te plovila i zrakoplova. Također, u cilju postizanja minimalne trošarine koju propisuje EU od 1. 1. 2013. godine prilagođene su trošarine za energente i električnu energiju. Najveći udio u ukupno naplaćenim trošarinama imaju trošarine na energente. Međutim, osim fiskalnih razloga, ekološki utjecaj je sve važniji cilj koji se postiže oporezivanjem energenata.

Tablica 5.9. Stope trošarina na energente u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji ¹²

Predmet oporezivanja	Visina trošarine	Provedbeni propis	Minimalna trošarina u EU	Minimalna trošarina u EU izražena u kn
Motorni benzini koji se koriste kao pogonska goriva:				
Olovni benzin iz tarifnih oznaka KN 2710 11 31, 2710 11 51, 2710 11 59	4.500,00 kn/1000 l	Uredba o izmjeni Uredbe o visini trošarine na motorne benzine, plinsko ulje i kerozin za pogon, NN 43/15	421 €/1000 l	3.126kn/1000 l
Bezolovni benzin iz tarifnih oznaka KN 2710 11 31, 2710 11 41, 2710 11 45, 2710 11 49	3.860,00 kn/1000 l	Uredba o izmjeni Uredbe o visini trošarine na motorne benzine, plinsko ulje i kerozin za pogon, NN 43/15	359 €/1000 l	2.666 kn/1000 l
Plinsko ulje iz tarifnih oznaka KN 2710 19 41 do 2710 19 49				
– za pogon	3.060,00 kn/1000 l	Uredba o izmjeni Uredbe o visini trošarine na motorne benzine, plinsko ulje i kerozin za pogon, NN 43/15	330 €/1000 l	2.450 kn/1000 l
– za grijanje	423,00 kn/1000 l	Uredba o visini trošarine na motorne benzine, plinsko ulje i kerozin za pogon, NN 109/13	21 €/1000 l	156 kn/1000 l
Kerozin – petrolej iz tarifnih oznaka KN 2710 19 21 i 2710 19 25				
– za pogon	2.660,00 kn/1000 l	Uredba o visini trošarine na motorne benzine, plinsko ulje i kerozin za pogon, NN 109/13	330 €/1000 l	2.450 kn/1000 l
– za grijanje	1.752,00 kn/1000 l	Zakon o trošarinama	0 €	0 kn
UNP – ukapljeni naftni plin iz tarifnih oznaka KN 2711 12 11 do 2711 19 00				
– za pogon	100,00 kn/1000 kg	Zakon o trošarinama	125 €/1000 kg	928 kn/1000 kg
– za grijanje	100,00 kn/1000 kg	Zakon o trošarinama	0 €	0 kn
Teško loživo ulje iz tarifnih oznaka KN 2710 19 61 do 2710 19 69	160,00 kn/1000 kg	Zakon o trošarinama	15 €/1000 kg	111 kn/1000 kg
Prirodni plin iz tarifnih oznaka KN 2711 11 00, 2711 21 00 i ostali plinovi iz tarifne oznake KN 2711 29 00				
– za pogon	0,00 kn/MWh	Zakon o trošarinama	2,6 €/GJ	19 kn/GJ
– za grijanje za poslovnu uporabu	4,05 kn/MWh	Zakon o trošarinama	0,15 €/GJ	1,11 kn/GJ
– za grijanje za neposlovnu uporabu	8,10 kn/MWh	Zakon o trošarinama	0,3 €/GJ	2,23 kn/GJ
Biogoriva iz članka 83. stavka 6. Zakona	0,00 kn	Zakon o trošarina	0 €	0 kn

Izvor: European Commision (siječanj 2016.), Ministarstvo financija, Carinska uprava

¹² http://ec.europa.eu/taxation_customs/taxation/excise_duties/energy_products/rates/index_en.htm, posjećeno 12. 05. 2016. g.
<https://carina.gov.hr/pristup-informacijama/propisi-i-sporazumi/trosarinsko-postupanje/visine-i-nacin-obracuna-trosarina-posebnih-poreza/energenti-i-elektricna-energija-3632/3632>, posjećeno 12. 05. 2016. g.

U tablici 5.9. prikazane su minimalne stope trošarine na energente u Europskoj uniji i stope trošarina propisane u Republici Hrvatskoj. Države članice EU mogu nacionalnim propisima propisati i više stope, u odnosu na minimalne stope na koje obvezuju propisi EU. Trošarine u Republici Hrvatskoj većinom su usklađene s minimalnim stopama direktiva EU.

Konačno, bitno je spomenuti i da je formiranje maloprodajnih cijena naftnih derivata do veljače 2014. godine bilo propisano Pravilnikom o utvrđivanju najviših maloprodajnih cijena naftnih derivata. Donošenjem Zakona o tržištu nafte i naftnih derivata (NN 19/14) ukinut je spomenuti Pravilnik i omogućeno je slobodno formiranje cijena.

6. ANALIZA SKUPA POKAZATELJA

U dvadeset prvom stoljeću, s obzirom na zabrinutost društva i zajednice zbog emisije stakleničkih plinova, poduzeća postaju svjesnija potrebe, da moraju prihvatiti i ukalkulirati troškove ekološke prirode u ukupne troškove poslovanja. U logistici, prijevoz je primarni uzrok zagađenja, iako i sve ostale komponente logistike (skladištenje i upravljanje dobrima od proizvođača do krajnjeg korisnika) imaju značajan učinak. Intenzitet prometa, osobito za cestovni promet, kako je prikazano prema Cascade Policy Institute¹³ [29], povezan je s BDP-om zemlje te se može koristiti kao nacionalni indikator blagostanja. Metode, u cilju smanjenja emisije stakleničkih plinova, imaju za izazov promjenu ove korelacije potičući manji intenzitet korištenja prijevoza koji nije na štetu ekonomskom razvoju.

6.1. Analiza prikupljenih podataka

U ovome poglavlju predstavljene su mjere za smanjenje CO₂ u području logistike, posebice prijevoza. Prepoznati su i analizirani temeljni pokazatelji ekoloških utjecaja na logistiku pametnoga grada (goriva, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti, širi utjecaj na okoliš, pravičnost i dostupnost, informiranost i osvještenost, infrastruktura, određivanje cijena, oporezivanje i regulacija). Podaci su dobiveni kroz anketiranje značajnog broja stručnjaka te statistički obrađeni. Koristeći se dubinskom obradom podataka, izdvojene su informacije iz grupe podataka te konvertirani u razumljivu strukturu za daljnju upotrebu. Korištena je regresijska analiza, višerazinska hijerarhija te analiza osnovnih faktora. Završno je korišten Bayesov klasifikator kako bi se definirala Bayesova mreža u cilju prikazivanja međupovezanosti između odabranih faktora.

13 Cascade Policy Institute – neprofitna istraživačka organizacija sa sjedištem u Portlandu, država Oregon, SAD. Istražuju državnu i lokalnu problematiku te napredne javne politike s fokusom na društvenu odgovornost i ekonomske prilike. Cascade objavljuje studije politike, tromjesečne biltene te komentare o raznim temama, uključujući obrazovanje, okoliš, upravljanje rastom, prijevoz, fiskalnu politiku, zdravstvo, socijalne usluge itd.

Sekundarna istraživanja su definirala jedinstvenu strukturu metodologije, uključujući pritom visoke mjere za smanjenje emisije stakleničkih plinova iz područja usluga logistike. Tijekom istraživanja, primarni cilj je bio, biti u korak s ciljevima Europske unije za smanjenje ugljika, tj. smanjenje emisije ugljika za 20% do 2020. godine i strukturiran je paket od otprilike 15 različitih mjera za smanjenje emisije stakleničkih plinova korištenih u REACT¹⁴ [132]: goriva, poboljšana učinkovitost vozila, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti promjene, širi utjecaj okoliša, pravičnost i dostupnost, informiranost i osvještenost, infrastruktura, određivanje cijena, oporezivanje i regulacija.

Transportna goriva, kao izvor emisije stakleničkih plinova, bila su primarna meta istraživanja, te su opsežno zabilježena kao npr. u [7, 12]. Glavni fokus istraživanja je zamijeniti konvencionalna goriva sa sintetičkim gorivom, LNG/LPG/plin, gorive ćelije/ hidrogen, biogorivo, električna energija, solarna i energija vjetra te čak i nuklearna energija za pomorski transport. Poboljšanje učinkovitosti vozila je temeljeno na tehnološkim inovacijama za naprednu učinkovitost goriva, iz razloga što unaprijeđena tehnologija izgaranja te optimiziran sustav goriva mogu smanjiti ekonomičnost goriva [90, 106].

Tehnologija vozila se može grupirati u napredni motor s unutarnjim izgaranjem, novi sustav izgaranja, dizajn od lakih materijala i aerodinamičnog/ hidrodinamičnog oblika, sustav smanjene emisije vozila, obnovljiva energija vozila i sustav upravljanja energijom vozila. Tehnologija vozila je također zanimljiva zbog hibridno-električnih i plug-in hibridno-električnih vozila koji mogu značajno unaprijediti ekonomičnost goriva, zamjenjujući konvencionalna goriva. Ovo područje istraživanja ima za cilj učiniti baterije prihvatljivijima, poboljšanjem raspona baterije, trajanjem i snagom [15, 56, 59] .

Učinkovitost prijevoza je značajna mjera smanjenja stakleničkih plinova, s obzirom da su danas otprilike 30 % kamiona koji voze po europskim prometnicama prazni. Dodajući na to LTL¹⁵ prijevoz i činjenicu da kamioni nisu uvijek optimizirani prema težini i obujmu, učinkovitost prijevoza je sve uočljivija kao značajan čimbenik smanjenja

14 REACT (Supporting research on climate friendly transport) – podrška istraživanju klimatski – prijateljskog transporta, djelomično utemeljena od strane Europske komisije

15 Less than truckload shipping (LTL) – manje od kamiona dostave, prijevoz relativno malog tereta.

troškova i emisije stakleničkih plinova [28, 36]. Iz tog razloga, bolje upravljanje prometom ima potencijal omogućiti značajno smanjenje CO₂.

Pretrpanost i gužva su glavni problemi u upravljanju prometnom infrastrukturom, posebice u gradovima. INRIX (2015) [84] tvrdi da osobe u Europi i SAD-u trenutačno potroše u prosjeku 111 sati godišnje u gužvi te da će to porasti za otprilike 50 % u narednih 35 godina. Projekti pametnih gradova su jedan od glavnih rezultata ovog problema [2, 5, 60, 72, 79]. Danas, 50 % gradova u Europi s više od 100.000 stanovnika je implementiralo ovu inicijativu.

Integracija sustava transporta uključuje aplikacije “vrata do vrata” i promjenu načina transporta. Aplikacije vrata do vrata, kako je logistika usavršava, su u porastu te također uključuju intermodalni prijevoz [103, 138]. Modalni prijevoz se mijenja uslijed toga što je emisija stakleničkih plinova dala prednost priobalnoj morskoj dostavi i željezničkom prijevozu.

Mjere sigurnosti i zaštite smanjenja emisije stakleničkih plinova su povezane sa sustavom vozila koji ima za cilj poboljšati cestovnu sigurnost i udobnost vozača te zaštitu i sigurnost zračnog i plovnog prijevoza [64].

Ekonomski aspekti promjene su značajni iz razloga što mnoge mjere izmjene u sektoru prijevoza su relativno povoljne uspoređujući sa sektorima energije, te stambenih i poslovnih zgrada. Ipak, kapitalni troškovi brojnih tehnoloških inovacija sektora prijevoza se očekuje da budu unaprijeđeni te je to prepreka komercijalizaciji, jer primarni troškovi imaju nerazmjerni utjecaj na rezultate uzimajući u obzir energetska učinkovitost [73].

Mjera šireg učinka na okoliš je uglavnom povezana sa zračnim i pomorskim oblicima prijevoza, jer oni stvaraju dodatnu emisiju. Samo neki od primjera su emisija letjelice na visokim nadmorskim visinama ili emisija sumpora u plovnom prijevozu [24].

Prijevozni sustav treba osigurati dostupnost svim ljudima, posebno onima s ograničenom mobilnosti, invalidima, starijima, siromašnjima i onima koji žive u dislociranim područjima. Pravičnost i dostupnost su značajne mjere, posebice kada postoji predviđanje značajne promjene u logistici i sustavu prijevoza.

Pravičnost i dostupnost su građanska i ljudska prava od velikog značaja. Pristup dostupnim i pouzdanim oblicima prijevoza proširuje mogućnosti neprivilegiranim

osobama te je od esencijalne važnosti onima sa smanjenom mobilnošću, nemoćnim i starijim osobama, nezaposlenima, siromašnima te onima koji žive u nedostupnim područjima. Europski dokumenti, poput Srednjoročnog izvješća iz 2001., Bijele knjige o transportu te Akcijskog plana EU komisije o urbanoj mobilnosti [23, 41] su postavili rastući značaj na kvaliteti pristupa koju imaju ljudi i poslovni sektor na urbani sustav mobilnosti kao i na zaštitu prava putnika kroz sve načine putovanja [145].

Mjere informiranosti i osviještenosti su odgovorne za podršku korisnicima o dostupnim instrumentima za smanjenje emisije CO₂ u sektoru prijevoza. Nekoliko instrumenata politike koji se uzimaju u obzir su planiranje putovanja, personalizirano planiranje putovanja, opće ili druge kampanje o osviještenosti, informacije o javnom prijevozu, informacije o prijevoznim operaterima, poticanje učinkovitog prijevoza i potrošnje goriva kroz obuku vozača te CO₂ oznake [55, 120].

Prometna infrastruktura je izložena klimatskim promjenama, posebice promjeni razine mora, taloženju, temperaturi te frekvenciji vjetrova i oluja. Tehničke norme i tradicija upravljanja infrastrukturom bi trebale biti modificirane kako bi uzele u obzir goleme promjene u okolišu [76, 131].

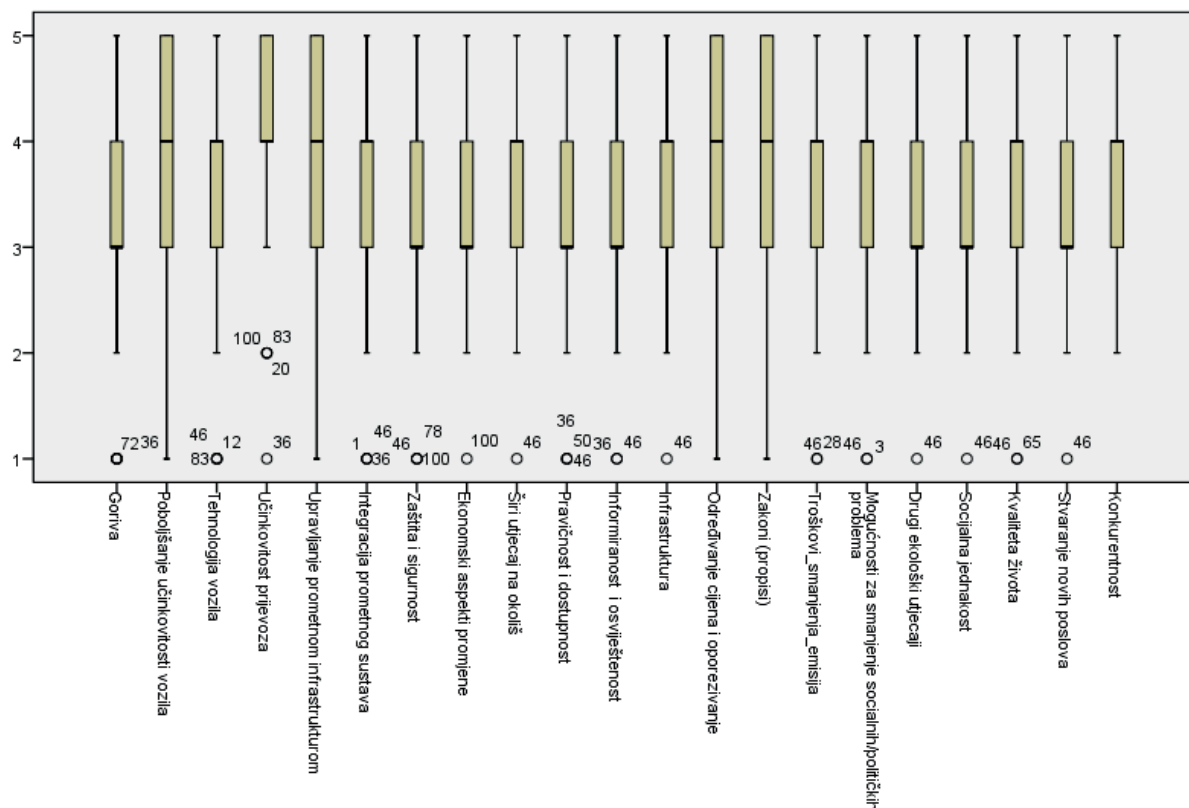
Mjere određivanja cijena i oporezivanja uključuju cestarine, oporezivanje goriva, naplatu zagušivanja te subvencije za vozila s niskom emisijom štetnih plinova. Ove su mjere usko povezane s mjerama regulacije. Naplata i oporezivanje ugljika u teoriji nudi troškovno efektivne metode smanjenja emisije stakleničkih plinova, s obzirom da potpomaže u uočavanju problema začetnika stakleničkih plinova te pritom ne povećava troškove socijalne politike [17, 129, 98].

U posljednjem desetljeću, zakonodavstvo je prepoznato kao neizmjerljivo efektivno instrument politike u smanjenju štetnih emisija. Ove mjere obuhvaćaju europsko zakonodavstvo o emisiji plinova, integraciji prometa u sheme trgovine emisijom, globalna regulacija trgovine emisijom stakleničkih plinova te regulacije financijskog sektora u poticanju održivog prometa. Zakonodavni okvir smanjenja emisije CO₂ u prometu bi trebao biti tehnološki neutralan, dozvoljavajući elastičnost za proizvođače koji bi bili u skladu s ciljevima te zaštićeni od neželjenih tržišnih promjena [18, 99, 130].

6.2. Statistička analiza podataka

Ovdje prikazani rezultati su dio rezultata provedenog istraživanja u sklopu rada na projektu EU FP7 REACT. Dodatno su istraženi i obrađeni ulazni podaci iz [33]. Cilj istraživanja bio je, kao što je već istaknuto, utvrditi mišljenja eksperata. Na temelju odgovora ispitanika provedeno je empirijsko istraživanje. U obradi rezultata korišten je SPSS statistički alat i programski jezik R. Najčešće korištena matematička metoda je prosjek mišljenja eksperata (Simola Mengolini i Bolado-Lavin, 2005). Iako jednostavna metoda, mnoge složenije metode često ne daju bolje rezultate (Clemen, 1989; Genre, Kenny, Meyler i Timmermann, 2013). Za potrebe postavljanja modela, udjeli pojedinih varijabli izraženi su na skali od 1 do 5. Rezultati ankete pokazuju da postoji pouzdanost od 95% da prosječna vrijednost izračunatih pitanja upitnika varira od -8 % do + 8% od realne prosječne vrijednosti cjelokupne veličine populacije.

Podaci iz slike 6.1. ukazuju kako postoji mali broj značajnih razlika između percepcije različitih mjera.



Slika 6.1. Rezultati anketiranja stručnjaka o značaju mjera za smanjenje stakleničkih plinova

Tablica 6.1. pokazuje percepciju redoslijeda mjera razvrstanih prema prosjeku od najvećeg do najmanjeg. Pozornost dobiva činjenica da su stručnjaci definirali kako učinkovitost prijevoza, tehnologija vozila i poboljšanje učinkovitosti vozila imaju glavni značaj. Prema stručnjacima, značaj transportnih goriva zauzima 8. mjesto, iako je opće mišljenje kako je promjena prijevoznih goriva glavna ideja zelenog prijevoza. Razlog je što stručnjaci zaključuju kako se u kratkom roku mogu dobiti bolji rezultati smanjenja stakleničkih plinova kroz poboljšanje prijevozne učinkovitosti, tehnologijom vozila te poboljšanjem ukupne učinkovitosti vozila.

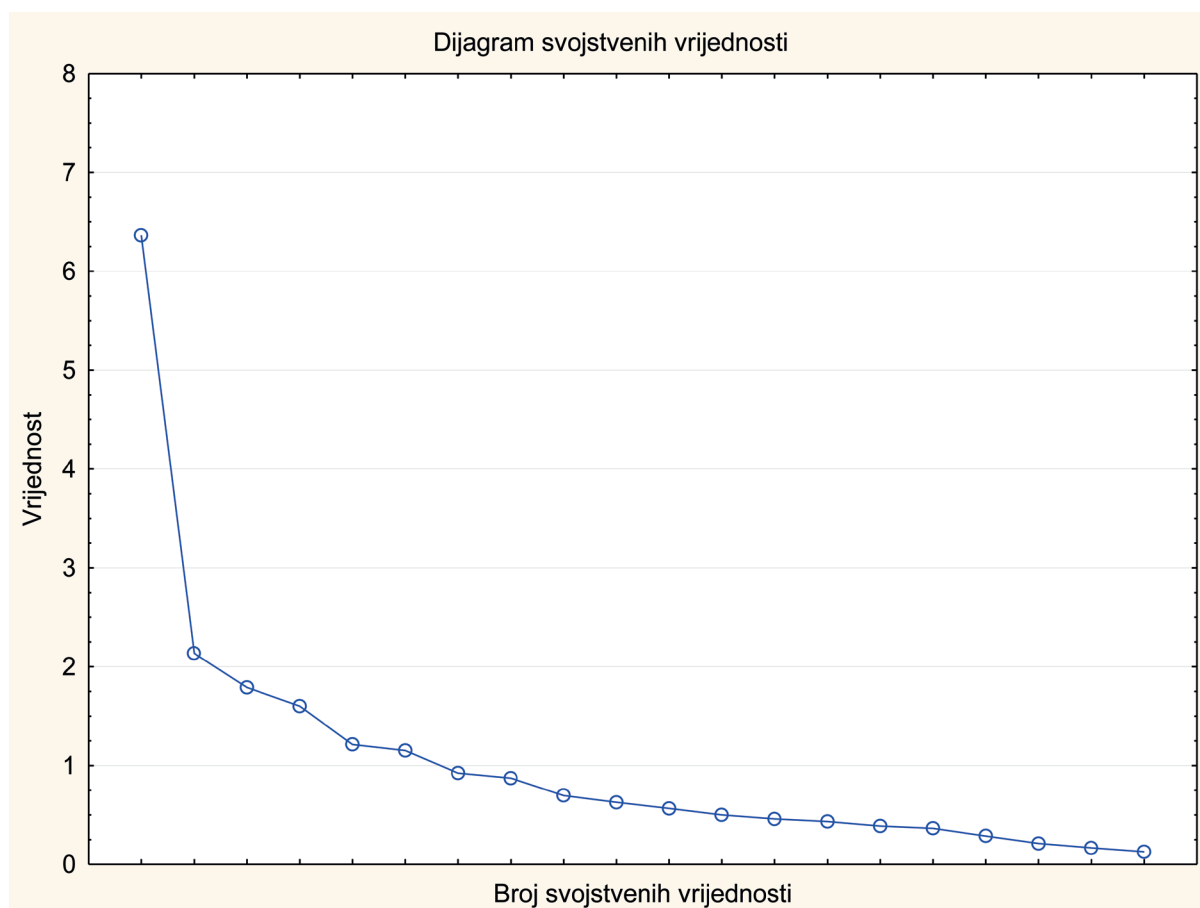
Tablica 6.1. Značaj mjera za smanjenje stakleničkih plinova

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Goriva	101	1,0	5,0	3,564	1,0901
Poboljšanje učinkovitosti vozila	106	1,0	5,0	3,764	1,1089
Tehnologija vozila	106	1,0	5,0	3,774	1,0716
Učinkovitost prijevoza	100	1,0	5,0	3,970	0,9688
Upravljanje prometnom infrastrukturom	102	1,0	5,0	3,686	1,1079
Integracija prometnog sustava	104	1,0	5,0	3,692	1,0801
Zaštita i sigurnost	105	1,0	5,0	3,343	1,0726
Ekonomski aspekti promjene	105	1,0	5,0	3,410	1,1068
Širi utjecaj na okoliš	103	1,0	5,0	3,495	1,0373
Pravičnost i dostupnost	98	1,0	5,0	3,153	1,0087
Informiranost i osviještenost	103	1,0	5,0	3,330	0,9841
Infrastruktura	101	1,0	5,0	3,525	0,9756
Određivanje cijena i oporezivanje	101	1,0	5,0	3,673	1,1499
Zakoni (propisi)	102	1,0	5,0	3,765	1,0547
Troškovi smanjenja emisija	100	1,0	5,0	3,700	0,9796
Mogućnosti za smanjenje socijalnih/političkih problema	100	1,0	5,0	3,500	0,9692
Drugi ekološki utjecaji	100	1,0	5,0	3,490	0,8102
Socijalna jednakost	99	1,0	5,0	3,354	0,7994
Kvaliteta života	100	1,0	5,0	3,670	0,9107
Stvaranje novih poslova	104	1,0	5,0	3,356	0,9022
Konkurentnost	103	1,0	5,0	3,544	0,9780

Također je izraženo kako su mnoge mjere u međusobnoj korelaciji, kako je i prikazano u tablici 6.2.

Korelacije u tablici 6.2. prikazuju kako postoji značajna interakcija između različitih mjera te da su one čvrsto povezane. Kod pojave slične situacije, postoji mogućnost i nada da se broj mjera može smanjiti. Korištena je analiza glavnih čimbenika kako bi se smanjile mjere te uočila struktura u odnosima između varijabli, odnosno klasificirala mjera.

Istraživanje vektora svojstvenih vrijednosti prikazano je na slici 6.2.



Slika 6.2. Vektor svojstvenih vrijednosti

Nažalost, rezultati su pokazali da iako su mjere visoko korelirane, nije moguće smanjiti broj varijabli, jer sve svojstvene vrijednosti ekstenzivno uključuju sve mjere.

Prema dijagramu iz tablice vidljivo je da prva četiri vektora svojstvenih vrijednosti zadovoljavaju kumulativno samo 56 % svih vrijednosti.

Vrijednost	Osnovne komponente			
	Svojstvena vrijednost	% Ukupne vrijednosti	Kumulativna svojstvena vrijednost	Kumulativne %
1	6,3650	30,309	6,365	30,309
2	2,1352	10,168	8,500	40,477
3	1,7904	8,526	10,291	49,003
4	1,6002	7,620	11,891	56,623

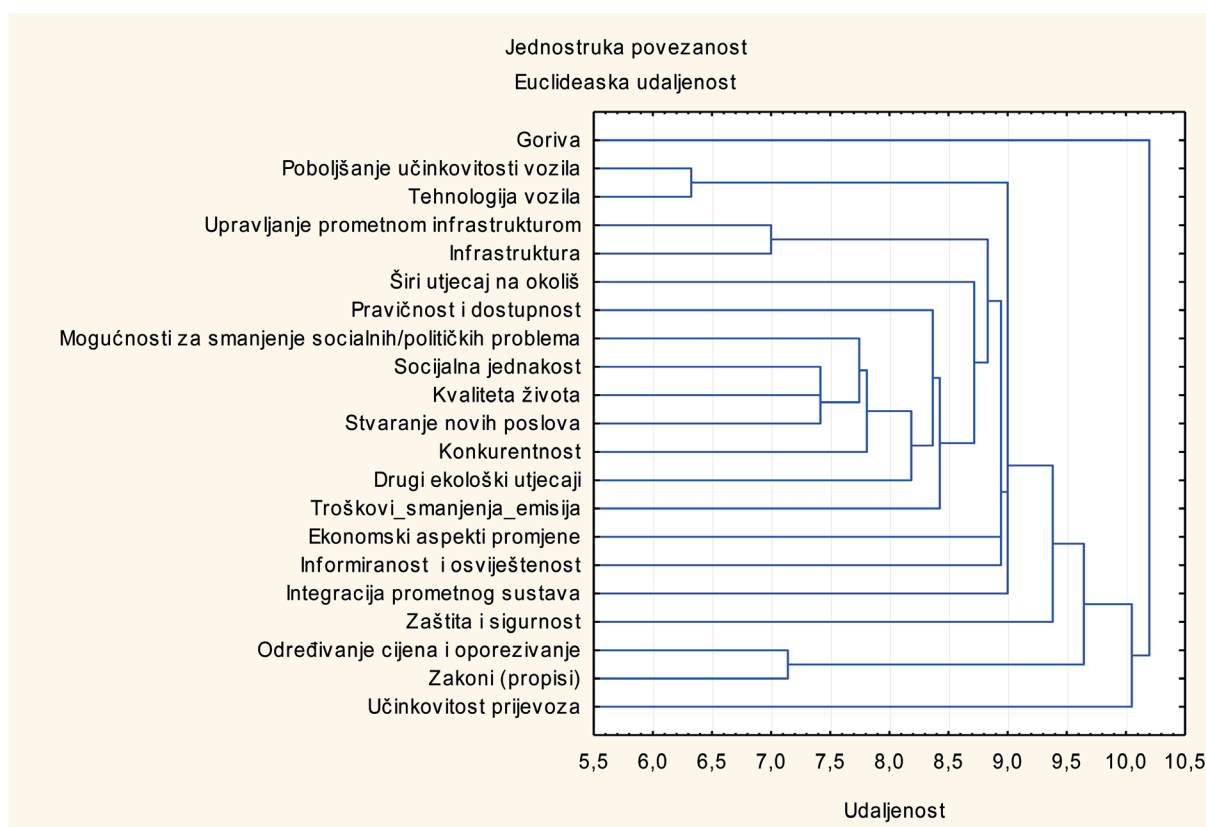
Stoga, to znači da su mjere za smanjenje stakleničkih plinova studiozno odabrane, te da predstavljaju karakterističnu kolekciju opisanih mjera.

Tablica 6.2. Korelacija među mjerama. Označene (*) su značajne po $p < 0,05$

Variable	Correlations (Marked correlations are significant at p < ,05000 N=74 (Casewise deletion of missing data))																						
	Means	St.Dev.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1.Goriva	3,39	1,12	1,00	0,47	0,44	0,22	0,25	0,22	0,33	0,00	0,27	0,19	0,07	0,12	0,25	0,17	0,38	0,27	0,11	-0,02	0,14	0,11	0,25
2.Poboljšanje učinkovitosti vozila	3,66	1,14	0,47	1,00	0,78	0,37	0,24	0,19	0,42	0,24	0,33	0,31	0,20	0,20	0,15	0,09	0,51	0,37	0,19	-0,02	0,32	0,37	0,35
3.Tehnologija vozila	3,74	1,07	0,44	0,78	1,00	0,32	0,26	0,21	0,38	0,22	0,27	0,24	0,20	0,27	0,21	0,17	0,36	0,41	0,05	0,11	0,27	0,45	0,36
4.Učinkovitost prijevoza	4,03	0,89	0,22	0,37	0,32	1,00	0,26	0,25	0,07	0,18	0,36	0,21	0,33	-0,07	0,13	0,02	0,14	0,03	-0,02	-0,18	0,09	0,08	0,20
Upravljanje prometnom infrastrukturom	3,72	1,05	0,25	0,24	0,26	0,26	1,00	0,49	0,35	0,17	0,15	0,24	0,24	0,68	0,43	0,45	0,36	0,28	0,08	0,22	0,28	0,24	0,31
Integracija prometnog sustava	3,73	1,02	0,22	0,19	0,21	0,25	0,49	1,00	0,20	0,28	0,29	0,48	0,36	0,38	0,32	0,05	0,10	0,22	0,06	0,23	0,22	0,18	0,29
Zaštita i sigurnost	3,42	1,11	0,33	0,42	0,38	0,07	0,35	0,20	1,00	0,31	0,17	0,24	0,14	0,30	0,07	0,16	0,41	0,23	0,28	0,28	0,43	0,41	0,40
Ekonomski aspekti promjene	3,41	1,02	0,00	0,24	0,22	0,18	0,17	0,28	0,31	1,00	0,28	0,36	0,44	0,21	0,31	0,24	0,26	0,36	0,02	0,33	0,32	0,34	0,11
Širi utjecaj na okoliš	3,55	1,01	0,27	0,33	0,27	0,36	0,15	0,29	0,17	0,28	1,00	0,43	0,28	0,01	0,13	-0,01	0,40	0,19	0,39	0,08	0,26	0,20	0,29
Pravičnost i dostupnost	3,16	0,98	0,19	0,31	0,24	0,21	0,24	0,48	0,24	0,36	0,43	1,00	0,46	0,25	0,29	0,17	0,20	0,34	0,18	0,41	0,32	0,27	0,30
Informiranost i osviještenost	3,38	0,99	0,07	0,20	0,20	0,33	0,24	0,36	0,14	0,44	0,28	0,46	1,00	0,25	0,35	0,24	0,27	0,30	0,13	0,19	0,29	0,21	0,16
Infrastruktura	3,57	0,95	0,12	0,20	0,27	-0,07	0,68	0,38	0,30	0,21	0,01	0,25	0,25	1,00	0,40	0,43	0,19	0,27	0,13	0,31	0,19	0,36	0,27
Određivanje cijena i oporezivanje	3,68	1,15	0,25	0,15	0,21	0,13	0,43	0,32	0,07	0,31	0,13	0,29	0,35	0,40	1,00	0,73	0,15	0,36	0,08	0,21	0,17	0,19	0,21
Zakoni (propisi)	3,77	1,10	0,17	0,09	0,17	0,02	0,45	0,05	0,16	0,24	-0,01	0,17	0,24	0,43	0,73	1,00	0,23	0,32	0,11	0,25	0,22	0,36	0,22
Troškovi smanjenja emisija	3,65	0,97	0,38	0,51	0,36	0,14	0,36	0,10	0,41	0,26	0,40	0,20	0,27	0,19	0,15	0,23	1,00	0,45	0,42	0,12	0,43	0,35	0,31
Mogućnosti za smanjenje socijalnih/političkih problema	3,57	0,92	0,27	0,37	0,41	0,03	0,28	0,22	0,23	0,36	0,19	0,34	0,30	0,27	0,36	0,32	0,45	1,00	0,29	0,46	0,34	0,37	0,22
Drugi ekološki utjecaji	3,42	0,79	0,11	0,19	0,05	-0,02	0,08	0,06	0,28	0,02	0,39	0,18	0,13	0,13	0,08	0,11	0,42	0,29	1,00	0,23	0,36	0,21	0,23
Socijalna jednakost	3,35	0,75	-0,02	-0,02	0,11	-0,18	0,22	0,23	0,28	0,33	0,08	0,41	0,19	0,31	0,21	0,25	0,12	0,46	0,23	1,00	0,55	0,42	0,33
Kvaliteta života	3,66	0,93	0,14	0,32	0,27	0,09	0,28	0,22	0,43	0,32	0,26	0,32	0,29	0,19	0,17	0,22	0,43	0,34	0,36	0,55	1,00	0,51	0,45
Stvaranje novih poslova	3,28	0,85	0,11	0,37	0,45	0,08	0,24	0,18	0,41	0,34	0,20	0,27	0,21	0,36	0,19	0,36	0,35	0,37	0,21	0,42	0,51	1,00	0,51
Konkurentnost	3,51	0,93	0,25	0,35	0,36	0,20	0,31	0,29	0,40	0,11	0,29	0,30	0,16	0,27	0,21	0,22	0,31	0,22	0,23	0,33	0,45	0,51	1,00

6.3. Regresijska analiza

Problem je kako spojiti mjere u suvislu strukturu, tj. taksonomiju. Kao analitički alat korištena je klaster analiza želeći pritom organizirati različite mjere u grupe na način da ako dvije mjere pripadaju istoj grupi, stupanj povezanosti između njih je ili maksimalan ili minimalan. Klaster analiza je korištena kako bi se otkrila strukturu u podacima bez obrazloženja razloga njihova postojanja. Rezultati ovog postupka su prikazani na slici 6.3. Mjere tehnologija vozila i poboljšanja učinkovitost vozila su jako povezane, nakon čega slijedi infrastruktura i upravljanje prometnom infrastrukturom kao druga grupa te mjere propisi i određivanje cijena i oporezivanje kao treća grupa. Iako je ovo objašnjenje mišljenje stručnjaka, ova činjenica pokazuje kvalitetu obrađenih podataka iz upitnika, s obzirom da je metoda klaster analize usko povezala mjere samo iz ispunjenih oznaka od 1 do 5, koje su u studiji dali stručnjaci iz sektora prometa.



Slika 6.3. Dijagram klasteriranja

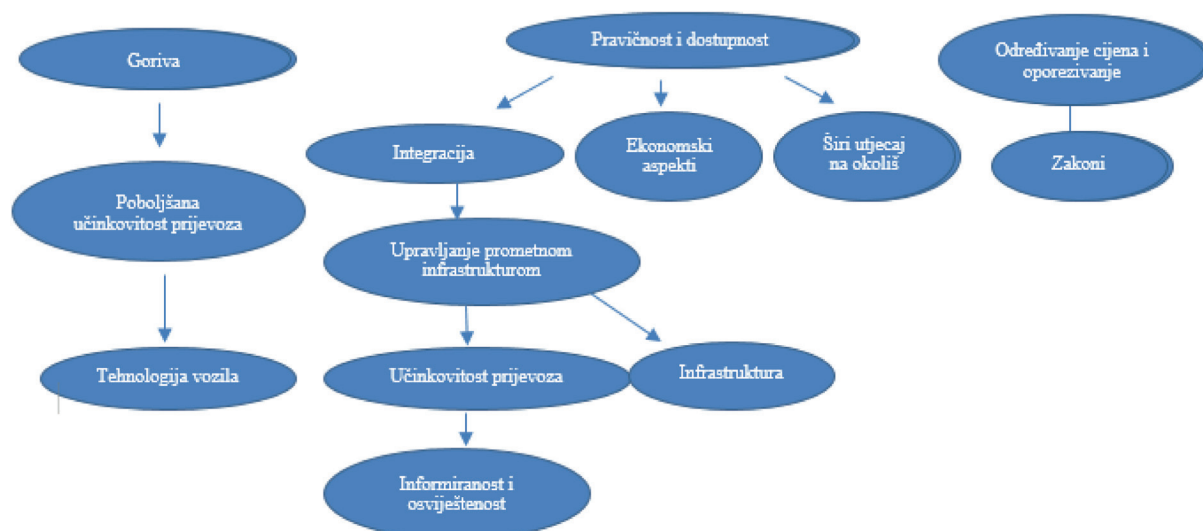
6.4. Hijerarhijska analiza upotrebom Bayesovih mreža

Kako bi se iz istraživanja podataka, uključujući taksonomiju, kreirao model, korištene su Bayesove mreže, kao grafički model koji predodređuje vjerojatne veze među varijablama (mjerama u našem slučaju). Kada se grafički model koristi u kombinaciji s prethodno opisanim statističkim metodama, postoji niz prednosti u analizi podataka. Bayesove mreže omogućavaju dobivanje rezultata iz podataka gdje jedan podatak nedostaje i poučavaju kauzalne veze te se iz tog razloga mogu koristiti u proširenju tumačenja o domeni problema i predvidjeti ishode posredovanja. Nadalje, Bayesove statističke metode u kombinaciji s Bayesovim mrežama nude efikasne i ispravne metode kojima se izbjegava pretrpavanje podacima.

Bayesove mreže imaju za svrhu pomoći stručnjacima kod proučavanja uzroka i posljedica u problemima koji se modeliraju.

Najjednostavniji slučaj je, dakako, učenje mreže ako je zadana struktura i ako su sve varijable uvijek vidljive. Tada možemo primijeniti **direktnu metodu**, odnosno procijeniti tablice uvjetnih vjerojatnosti prosječnim vrijednostima u primjerima za učenje, kao kod jednostavnog Bayesovog klasifikatora.

Ishod iz Bayesovog klasifikatora je stvorio Bayesovu mrežu koja definira vezu između mjera za smanjenje stakleničkih plinova, slika 6.4. Prisutna su četiri zasebna stabla u mreži počevši od prijevoznih goriva, pravičnosti i dostupnosti, određivanju cijena i oporezivanju te zaštiti i sigurnosti. Sve ostale mjere se nalaze u naknadnim granama koje prate početne mjere. Ovaj rezultat u kombinaciji s prethodno opisanim statističkim metodama daje nam opsežan grafički model, grupirajući mjere u strukture i specificirajući taksonomiju iz istraživanih podataka.



Slika 6.4. Bayesova mreža mjera za smanjenje stakleničkih plinova

Predstavljena je analiza glavnih mjera za smanjenje CO₂ u području logistike. Osnovna grupa mjera je prepoznata i zabilježena. Mjere su analizirane koristeći se rezultatima iz REACT upitnika. Istraživanje je pokazalo značajnu korelaciju među mjerama. Hijerarhijsko klasteriranje je korišteno kako bi se grupirali podaci generiranjem klsterskog stabla. Podaci su zatim korišteni kako bi se kreirala Bayesova mreža koja definira vezu između mjera za smanjenje stakleničkih plinova. Postoje tri različita stabla, s obzirom da su mjere grupirane u tri različite grupe, tehnološku, regulatornu te društveno-ekonomsku, te jedna mjera, zaštita i sigurnost koja nije grupirana. Tehnološka grupa sadrži prijevozna goriva, učinkovitost vozila te tehnologiju vozila. Druga grupa, regulatorna, sadrži određivanje cijena, oporezivanje te regulaciju. Treća, najveća grupa, sadrži sve ostale mjere, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integraciju prometnog sustava, ekonomske aspekte promjene, širi utjecaj na okoliš, pravičnost i dostupnost, informiranost i osviještenost te infrastrukturu.

7. MODEL ANALIZE EKOLOŠKOG UTJECAJA VOZILA

7.1. Ekološki utjecaj osobnih vozila

7.1.1. Praćenje prometa sustavom za vizualno uočavanje u realnom vremenu

Praćenje stanja prometa na prometnicama postaje sve važniji čimbenik u upravljanju zagušenjem prometa. Današnji sofisticirani uređaji za upravljanje prometom su u stanju obraditi kako statična, tako i vozila u pokretu. Osim tipičnih prometnih podataka o protoku, gustoći, prosječnoj brzini prometa, sada postoji i veliki interes za čimbenike koji utječu na okoliš, kao što su staklenički i štetni plinovi, te produkti sagorijevanja pogonskog goriva. To je omogućeno korištenjem računalnog sustava za vizualno uočavanje prometa, koji svoj rad bazira na prepoznavanju kategorija vozila [139].

U Americi se posljednjeg desetljeća razvijaju sustavi vizualnog uočavanja vozila pomoću kamera, koji se počinje primjenjivati umjesto postojećih sustava induktivnih petlji, s relativno niskim postotkom iskoristivih podataka. Vizualno praćenje je napredna metoda kojom se ostvaruju i dodatni podaci o putanji i klasifikaciji vozila, čime se ostvaruje kompletnija slika prometa na autocestama [139].

7.1.2. VECTOR

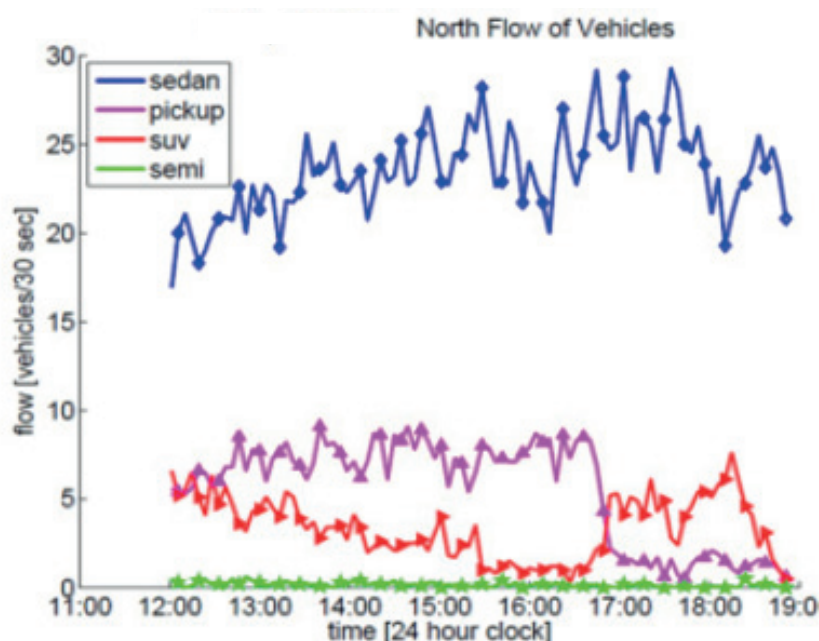
Naziv VECTOR je nastao kombinacijom slova iz *VEhicle Classifier and Traffic flOw analyzeR* (Klasifikator vozila i analizator toka prometa) čiji je zadatak obavljanja sljedećih funkcija [139]:

1. Uočavanje i praćenje vozila
2. Mjerenje protoka prometa
3. Klasifikacija vozila.

VECTOR klasificira vozila prema osam različitih kategorija: Sedan, Pickup, SUV, Van, Tegljači, Kamioni, Motocikli i Kamioni s prikolicom. Princip klasifikacije se bazira na analizi binarnih objekata nakon detekcije vozila kamerom, koristeći se pritom morfološkim operacijama. Pomoću informacija o tipu vozila, VECTOR omogućuje detaljnu analizu načina korištenja prometnica, prikazano na slici 7.1.



Slika 7.1. *Primjer slike klasifikaciji vozila po metodi VECTOR [139]*



Slika 7.2. Protok vozila na praćenoj autocesti po tipovima vozila [139]

7.1.3. Modeli za izračun emisije ispušnih plinova za pojedinačno vozila

Da bi se što preciznije odredio iznos emisije ili potrošnje goriva pojedinog vozila, neophodno je poznavati izvjesne karakteristike kao što su težina, tip goriva, zapremina motora, vrsta katalizatora, starost vozila, kao i načina upravljanja vozilom. Svi ti parametri, uglavnom nisu dostupni koristeći se konvencionalnim kamerama, iz čega proizlazi potreba za korištenjem dodatnih tehnologija kao što su RF-oznake (*Radio Frequency Tags*) ili softvera za prepoznavanje registarskih pločica LPR (*License Plate Recognition*). U ovom slučaju prikazujemo kako se trenutna vrijednost emisije onečišćenja (E_{pol}) procjenjuje za svako pojedino vozilo bazirano na klasi vozila i specifičnoj snazi vozila VSP (*Vehicle Specific Power*) [139].

$$E_{pol} = f(\text{klasa vozila}, VSP).$$

7.1.4. Specifična snaga vozila – VSP (*Vehicle Specific Power*)

Postoje različiti pristupi za procjenu emisije vozila, u ovisnosti o području analize i dostupnim podacima. Prateći stanje svakog pojedinog vozila u svakom video okviru, sustav VECTOR omogućuje informacije o brzini, ubrzanju, te identifikaciju vozila u praćenom području na frekvenciji od 1 Hz ili više.

Tradicionalne metode izračuna emisije su ograničene na primjenu stopa emisija na osnovu prosječnih nivoa zagušenja i prosječne brzine. Osnovni nedostatak ove metode je činjenica da će izračun za određenu brzinu kretanja, pri različitim nivoima ubrzanja rezultirati širokim spektrom različitih emisija. Ubrzanje je važan faktor procjene tereta vozila koji je u uskoj korelaciji s potrošnjom goriva i posljedično, različitim emisijama.

VSP se definira kao trenutna snaga potrebna za pokretanje vozila po jediničnoj masi vozila. Izražava se u kW/T prema sljedećoj formuli [139]:

$$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + gC_r) + \frac{\rho_a C_d A_f v^3}{2M}, \quad (7.1)$$

gdje su:

v = brzina vozila u m/s

a = akceleracija vozila u m/s²

g = gravitacija (m/s²)

θ = stupanj

C_r = koeficijent otpora okretanja kotača

ρ = gustoća zraka (kg/m³); (~1.2 kg/m³ na razini mora pri 20^o C)

C_d = koeficijent aerodinamičkog otpora

A_f = prednja površina vozila (m²)

M = masa vozila (kg).

Tablica 7.1. prikazuje VSP za 7 VECTOR klasa vozila:

Tablica 7.1. Aproximacija karakteristika za VECTOR kategorizaciju vozila

Type	Mass (kg)	Frontal Area (m2)	C_r	C_d
Sedan	1360	2.0	0.0135	0.34
Pickup	2340	3.3	0.0135	0.43
SUV	3035	3.44	0.0135	0.41
Van	2270	3.46	0.0135	0.38
Motocikli	230	0.65	0.0250	0.9
Kamioni	11360	6.6	0.0094	0.7
Šleperi	27300	10.0	0.0094	0.85

Koristeći podatke koje prikazuje Tablica 7.2, jednadžbu 7.1. možemo pojednostavljeno prikazati kao u tablici n za 7 VECTOR kategorija vozila.

Tablica 7.2. VSP jednadžbe za VECTOR kategorije vozila

Type	VSP Equation (kW/metric ton)
Sedan	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.1323) + 0.000300v^3$
Pickup	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.1323) + 0.000364v^3$
SUV	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.1323) + 0.000279v^3$
Van	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.1323) + 0.000348v^3$
Motocikli	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.24500) + 0.001526v^3$
Kamioni	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.09212) + 0.000244v^3$
Šleperi	$VSP = v(1.1a + g \sin(\theta) + 0.09212) + 0.000187v^3$

7.2. Ekološki utjecaj teretnih vozila

7.2.1. Metode mjerenja i upravljanje emisijom CO₂ transportnim operacijama

Putnički i teretni promet sudjeluje čak s 20 % u cjelokupnoj emisiji stakleničkih plinova Europske unije, te je u konstantnom porastu, pa bi ovakvim rastom do 2020. godine mogao doseći i 30 % [115]. Dosadašnji naponi da se smanji emisija stakleničkih plinova (GHG – *greenhouse gases*) uzrokovanih transportom tereta, nisu zadovoljavajući, te industrijski sektor u sljedećih nekoliko godina mora razviti dodatnu strategiju za smanjenje emisije GHG-a.

Prema podacima iz 2012. godine, bez obzira što su razvijene brojne metode mjerenja i izvješćivanja emisija GHG-a, nije još uvijek bila razvijena standardna metoda koja bi se mogla primjenjivati i u kemijskoj industriji i transportnim kompanijama. Međutim međunarodne organizacije CEFIC (*Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique* – Europska trgovačka organizacija za kemijsku industriju) i ECTA (*European Chemical Transport Association* – Europsko udruženje kemijskog transporta) razvile su jednostavnu, ali dovoljno preciznu metodu za izračun emisije CO₂. U slučaju da su poznati podaci o potrošnji goriva, metoda je bazirana na principu energije, a slučaju da oni nisu poznati (*outsourcing*), metoda se bazira na principu aktivnosti [115].

7.2.2. Kalkulacijska metoda bazirana na principu aktivnosti

Metoda je nastala kao posljedica nedostatka podataka o potrošnji goriva transportnih vozila, a s obzirom da su poslovi transporta ustupljeni transportnim tvrtkama, pa kemijska industrija čije je zaduženje evidencija emisije GHG-a nije u mogućnosti pristupiti metodi na bazi potrošnje goriva. Ova metoda koristi sljedeću formulu (podrazumljiv način prijevoza u ovom slučaju je cestovni):

$$\text{Emisija CO}_2 = \text{teret} \times \text{transportna udaljenost} \times \text{koeficijent emisije CO}_2 \text{ za tona po km} \\ [t \text{ CO}_2 = (\text{tone} \times \text{km} \times \text{g CO}_2 \text{ po tona-kilometru}) / 1000].$$

7.2.3. Kalkulacijska metoda bazirana na principu energije

Najčešći i najjednostavniji način izračuna emisije CO₂ kao posljedica prijevoza tereta za transportne kompanije je evidencija potrošnje goriva i primjena prosječnih faktora emisije CO₂ za pretvorbu energije ili goriva u CO₂ emisiju. Ova je metoda prikazana sljedećom formulom:

$$\text{Emisija CO}_2 = \text{potrošnja goriva} \times \text{prosječni faktor emisije CO}_2 \\ [t \text{ CO}_2 = l \times \text{kgCO}_2 \text{ po litri goriva} / 1000].$$

Tablica 7.3. Konverzijska tablica emisije CO₂ za vrste goriva

Tip goriva	kg CO ₂ /l	kg CO ₂ /kg
Benzin	2,8	
Dizel	2,9	
Plin	2,9	
LPG (Liquefied Petroleum Gas)	1,9	
CNG (Compressed Natural Gas)		3,3
Kerozin		3,5
Teška ulja (Residual Fuel Oil)		3,5
Biobenzin	1,8	
Biodizel	1,9	

Izvor: CEN/TC 320/ WG 10 Methodology for calculation and declaration of energy consumptions and GHG emissions in transport services

Tvrtke koje koriste vlastitu flotu kao i onu vanjskih suradnika (*outsourcing*) koriste metodu baziranu na principu energije, a ukoliko im podaci vanjskih suradnika nisu dostupni, pristupa se metodi na principu aktivnosti.

7.2.4. Koeficijenti za izračun prosječne emisije CO₂ u cestovnom prijevozu tereta prema McKinnonu

Profesor Alan McKinnon sa Heriot-Watt univerziteta je za CEFIC pripremio studiju “Mjerenje i upravljanje emisijom CO₂” u kojoj je opisana metoda za izračun emisije CO₂ bazirana na zapremini, udaljenosti i poznatim koeficijentima emisije za pojedino gorivo. Za ovu metodu važni su parametri nosivost, udio puta koji vozilo prođe bez tereta, energetska učinkovitost vozila (karakteristike vozila, dizajn motora) i intenzitet CO₂ za vrstu goriva (Tablica 7.3.).

Po McKinnonu prosječna emisija CO₂ u cestovnom prijevozu tereta iznosi **62g CO₂/tona-km**. Ova vrijednost je proizašla iz prosječnog koeficijenta za 80 % od maksimalne nosivosti vozila i 25 % prijeđenih kilometara vozila bez tereta [115].

Sljedećom tablicom su prikazani detaljnije razrađeni koeficijenti prema specifičnim parametrima kojima se tvrtke mogu poslužiti pri izračunu.

Tablica 7.4. Koeficijent emisije CO₂ u gCO₂/tona-km s različitim vrijednostima nosivosti i postotkom vožnje bez tereta

Nosivost	Postotak vožnje bez tereta										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
10	81.0	84.7	88.8	93.4	98.5	104.4	111.1	118.8	127.8	138.4	151.1
11	74.8	78.2	81.9	86.1	90.8	96.1	102.1	109.1	117.3	127.0	138.6
12	69.7	72.8	76.2	80.0	84.3	89.2	94.7	101.1	108.6	117.5	128.1
13	65.4	68.2	71.4	74.9	78.9	83.4	88.5	94.4	101.3	109.5	119.3
14	61.7	64.4	67.3	70.6	74.2	78.4	83.2	88.7	95.1	102.7	111.8
15	58.6	61.0	63.8	66.8	70.3	74.2	78.6	83.7	89.7	96.8	105.3
16	55.9	58.2	60.7	63.6	66.8	70.5	74.6	79.5	85.1	91.7	99.7
17	53.5	55.7	58.1	60.8	63.8	67.2	71.2	75.7	81.0	87.2	94.7
18	51.4	53.5	55.8	58.3	61.2	64.4	68.1	72.4	77.4	83.3	90.4
19	49.6	51.5	53.7	56.1	58.8	61.9	65.4	69.5	74.2	79.8	86.5
20	48.0	49.8	51.9	54.2	56.8	59.7	63.0	66.9	71.4	76.7	83.0
21	46.6	48.3	50.3	52.5	54.9	57.7	60.9	64.5	68.8	73.9	80.0
22	45.3	47.0	48.8	50.9	53.3	55.9	59.0	62.5	66.5	71.4	77.2
23	44.2	45.8	47.6	49.6	51.8	54.3	57.2	60.6	64.5	69.1	74.7
24	43.2	44.7	46.4	48.3	50.5	52.9	55.7	58.9	62.7	67.1	72.4
25	42.3	43.8	45.4	47.3	49.3	51.7	54.3	57.4	61.0	65.2	70.3
26	41.5	42.9	44.5	46.3	48.3	50.5	53.1	56.0	59.5	63.6	68.5
27	40.8	42.2	43.7	45.4	47.3	49.5	52.0	54.8	58.1	62.1	66.8
28	40.2	41.5	43.0	44.6	46.5	48.6	51.0	53.7	56.9	60.7	65.3
29	39.7	41.0	42.4	44.0	45.7	47.8	50.1	52.7	55.8	59.5	63.9

Izvor: Alan McKinnon, koeficijenti bazirani na podacima iz Coyle, 2007.

8. ANALIZA PODATAKA IZRAČUNA EKOLOŠKOG UTJECAJA VOZILA

8.1. Analiza prikupljenih podataka

Analiza strukture voznog parka te emisije ispušnih plinova obavljena je nad podacima informacijskog sustava Centra za vozila Hrvatska (CVH). CVH je za ovu prigodu stavio na raspolaganje MS Office Excel (XLS) datoteke kao izlazne podatke svojeg informacijskog sustava i to za svaku godinu pregleda od 2009. godine do 2015. godine s odvojenim tablicama za vozila s dizelskim motorom od onih s benzinskim. Struktura dostavljenih podataka se razlikuje, s obzirom da se na ekotestu vozila s dizelskim motorom ne evidentira zastupljenost pojedinih plinova u ispuhu, već tri mjerenja zacrnjenja.

Tablica 8.1. Struktura podataka analize ekotesta za benzinske i dizelske motore CVH-a.

STRUKTURA PODATAKA	
BENZIN	DIZEL
Vrsta vozila	Vrsta vozila
Motor	Motor
Marka	Marka
god	god
kW	Kw
ccm	ccm
masa	masa
km	km
CO – Prazni hod	Zacrnjenje 1
CO ₂ – Prazni hod	Zacrnjenje 2
HC – Prazni hod	Zacrnjenje 3
O ₂ – Prazni hod	Rezultat
CO – Povišeni hod	
CO ₂ – Povišeni hod	
HC – Povišeni hod	
O ₂ – Povišeni hod	
Lambda – Povišeni hod	
Rezultat	

Struktura voznog parka Republike Hrvatske

U 2015. godini u Republici Hrvatskoj je tehničkom pregledu pristupilo sveukupno 1.627.318 vozila, kojima je napravljen ekotest, grupiranih u kategorije prema tablici 8.2.

Tablica 8.2. Struktura voznog parka Republike Hrvatske po homologacijskim kategorijama vozila za 2015. godinu

KATEGORIJA VOZILA	BENZIN	DIZEL
M1 – OSOBNI AUTOMOBIL	838.757	637.472
M2 – AUTOBUS	3	671
M3 – AUTOBUS	95	4.593
N1 – TERETNI AUTOMOBIL	5.076	98.532
N2 – TERETNI AUTOMOBIL	44	16.526
N3 – TERETNI AUTOMOBIL	2	25.547
UKUPNO	843.977	673.046
SVEUKUPNO	1.627.318	

8.2. Statistička analiza podataka

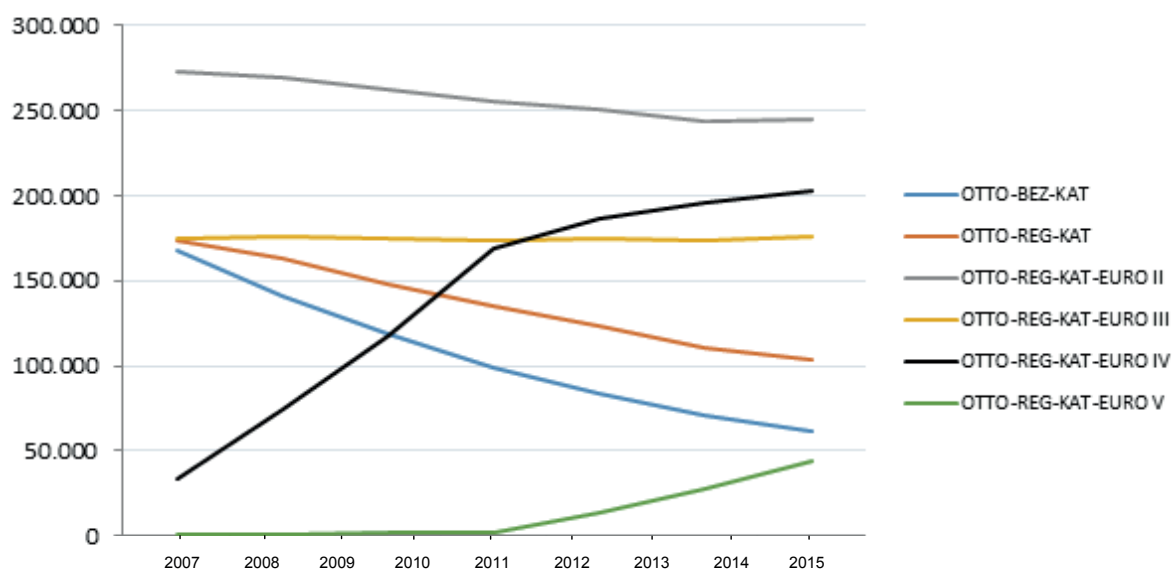
Ovdje ćemo provesti statističku analiza podataka emisije štetnih plinova lakih vozila na području Republike Hrvatske. S obzirom da se na ekotestu dizelskih vozila evidentira samo zacrnjenje, a ne i sastav ispušnih plinova, za potrebe analize i praćenje trendova emisija štetnih plinova, analiza je rađena nad vozilima na benzinski pogon kategorije M1.

U sljedećoj tablici se može vidjeti broj vozila za pojedinu godinu pregleda prema odgovarajućim kataloškim podjelama motora.

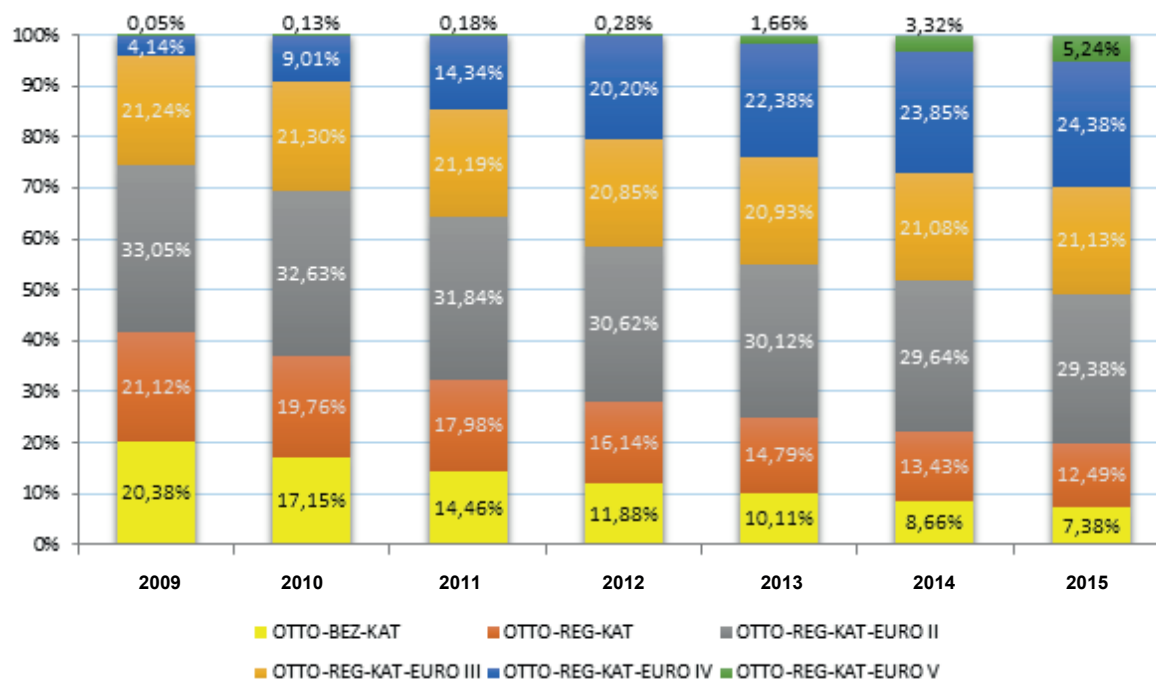
Tablica 8.3. Broj vozila na ekotestu u RH u razdoblju 2009.-2015. prema kataloškim podjelama motora

Motor/ Godina pregleda	OTTO- BEZ-KAT	OTTO- REG-KAT	OTTO- REG-KAT- EURO II	OTTO- REG-KAT- EURO III	OTTO- REG-KAT- EURO IV	OTTO- REG-KAT- EURO V	Ukupno vozila
2009	168.038	174.126	272.493	175.093	34.115	451	824.316
2010	141.350	162.864	268.949	175.523	74.251	1.106	824.043
2011	119.028	148.049	262.172	174.428	118.034	1.481	823.192
2012	99.187	134.750	255.725	174.138	168.687	2.367	834.854
2013	84.154	123.199	250.843	174.255	186.335	13.805	832.591
2014	71.227	110.480	243.825	173.368	196.134	27.323	822.357
2015	61.437	104.002	244.698	175.975	203.037	43.626	838.757
	744.421	957.470	1.798.705	1.222.780	980.593	90.159	5.794.128

Na grafičkom prikazu se jasno uočava trend smanjenja broja vozila s tzv. “crnim motorom”, odnosno OTTO-BEZ-KAT motorom, kao i prvih motora s reguliranim katalizatorom OTTO-REG-KAT, dok se vidi vrlo strmi rast OTTO-REG-KAT-EURO IV motora do pojave OTTO-REG-KAT-EURO V motora, koji također bilježi linearni porast. OTTO-REG-KAT-EURO II i OTTO-REG-KAT-EURO III su u stagnaciji.

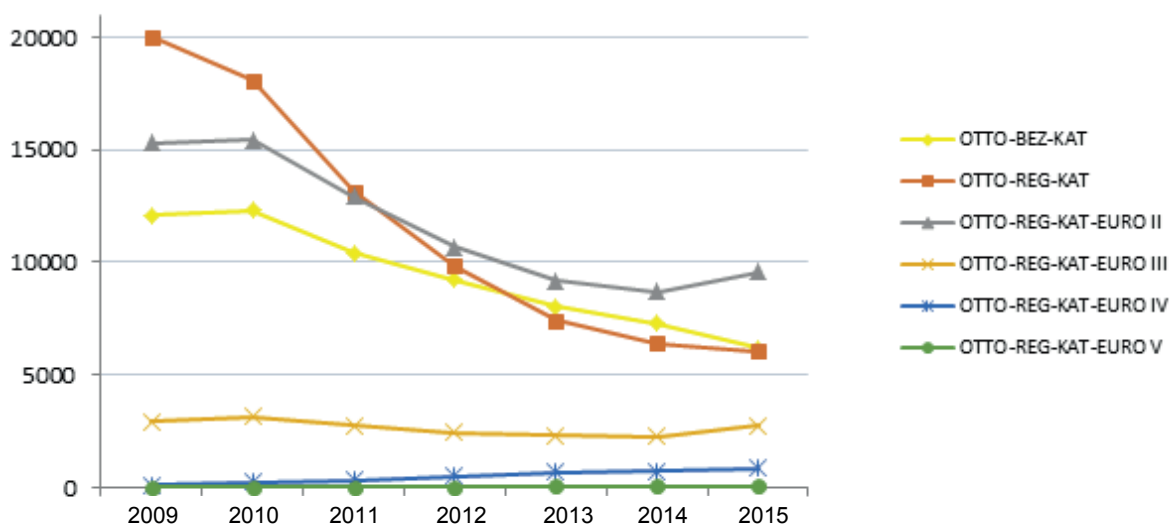


Slika 8.1. Broj vozila prema vrsti motora i godini pregleda



Slika 8.2. Udio vozila prema vrsti motora za godinu

Ovakav omjer vozila svrstanih u grupe po vrsti motora, odnosno uočeni trend smanjenja broja vozila s “crnim motorom” direktno utječe na ukupan broj vozila koja ne zadovoljavaju norme o emisiji štetnih plinova što direktno utječe na prolaznost vozila na tehničkom pregledu.



Slika 8.3. Broj vozila čija emisija CO prelazi dozvoljenu granicu

8.2.1. Analiza emisije CO₂ (staklenički plinovi)

Za potrebu analize emisije ispušnih plinova, na području grada Rijeke, korišteni su podaci Centra za vozila Hrvatske za razdoblje od 2007. do 2015. godine. Prateći podatke za 2015, na svim stanicama riječkog područja, tehničkom pregledu, odnosno ekotestu je pristupilo **60.237** vozila kategorije M1-osobna vozila s benzinskim motorom i **29.274** s dizelskim motorima. Podaci koji su dostupni za analizu emisije CO₂ su sljedeći:

- motor
- marka
- godina proizvodnje
- snaga motora u kilovatima
- zapremina motora
- masa vozila
- stanje kilometar sata
- CO₂ u praznom hodu
- CO₂ u povišenom hodu.

8.2.2. Analiza emisije CO₂ lakih vozila s područja grada Rijeke

8.2.2.1. Primijenjena metoda analize

Kako je već ranije navedeno u opisu VECTOR metode mjerenja trenutne emisije ispušnih plinova, parametri koji su važni za ovu vrstu mjerenja su brzina vozila, stupanj ubrzanja, koeficijent otpora, gustoća zraka, koeficijent aerodinamičnog otpora, prednja površina vozila i masa vozila. Ovi bi parametri, a poznavajući i podatke o tipu goriva, zapremini motora, vrsti katalizatora, starosti vozila, kao i način upravljanja vozilom mogli vrlo precizno dati podatke o trenutnoj emisiji ispušnih plinova. Nažalost, bez sofisticirane hardverske i softverske opreme to nije moguće.

8.2.2.2. Cilj analize

Zadatak je napraviti statičnu analizu i prikazati ukupnu količinu emitiranih ispušnih stakleničkih plinova vozila registriranih na području grada Rijeke tijekom jedne godine. Osnova za analizu je broj ekotestova vozila, bazirajući se na podacima o marki vozila, zapremini motora i godini proizvodnje. Podaci o količini ispušnih plinova izraženih u g/km su homologacijski podaci proizvođača, a kao izvor informacije korišten je katalog novih i rabljenih vozila Centra za vozila Hrvatske (<https://kat.cvh.hr>).

8.2.2.3. Problematika pri izradi analize

Ekotest vozila za vozila s reguliranim katalizatorom se radi u praznom hodu do maksimalno 800 o/min, te u povišenom hodu do 3000 o/min. Emisija CO₂ u praznom i povišenom hodu bitno se ne razlikuju, gledajući ukupni postotak, kao u primjeru.

Tablica 8.4. *Primjer omjera CO₂ u praznom i povišenom hodu*

Motor	Marka	god	kW	ccm	masa	km	CO ₂ PrHod	CO ₂ PovHod
OTTO-REG-KAT-EURO II	CITROEN	1998	37	954	705	241699	14,44%	14,50%

Problem kod izračuna je zastupljenost CO₂ u ukupnom volumenu ispušnih plinova, pa premda se u postotku on bitno ne razlikuje u promjeni brzine vrtnje motora, značajno se mijenja sagorjela količina goriva, a time i ukupni volumen CO₂. Preciznija metoda

za izračun mase emitiranog CO₂ bi bila formula za izračun emisije ispušnog plina primjenom stehiometrijske količine zraka po kojoj za sagorijevanje **1 kg** goriva treba **14,7 kg** zraka što daje **15,7 kg** ispušnih plinova [143], no pristupačni podaci nam ne govore koliko je pojedino vozilo potrošilo goriva ili koja mu je prosječna potrošnja po prijeđenom kilometru.

Ograničavajući se na dostupne podatke nije moguće izvesti analizu VECTOR metodom prema izrazu 7.1. Najizgledniji način izračuna ukupne emisije ugljičnog dioksida je na osnovi poznatog stanja kilometar sata, godini pregleda i godištu vozila, te homologacijskih podataka o emisiji CO₂ za svako pojedino vozilo.

Primarni problem ove metode je što su homologacijski podaci dostupni za vozila starosti do 10 godina, pa se ona može primijeniti samo na tu grupu vozila.

Ovim načinom na površinu izlazi i problem nastao činjenicom da se kod starijih vozila nakon 100.000 prijeđenih kilometara brojač resetira, tako da za tu kategoriju nemamo podatke o prijeđenim kilometrima, no postotak učešća takvih vozila je dovoljno mali da nije presudan za krajnji rezultat proračuna.

Još jedan problem, a vezano za povezivanje podataka ekotestova s homologacijskim je u velikoj količini marki i modela vozila. U podacima EKO testova čak niti nema podatke o modelima.

8.2.2.4. Elementi i rezultati analize

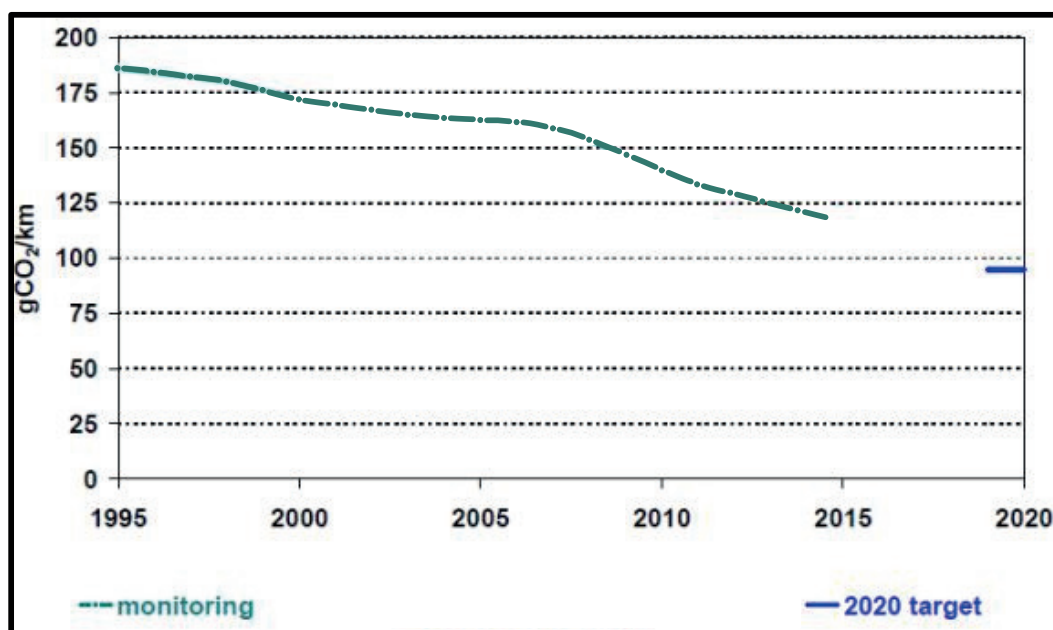
Da bi se premostili ovi problemi, pristupilo se određenim aproksimacijama. Problem nedostatka informacije o modelu vozila napravljen je grupirajući vozila u skupine na osnovi zapremine motora u koracima od po 200 ccm. Ovo su bile nužne pretpostavke da se pristupi pretraživanju kataloga CVH i pridruživanju homologacijskih podataka, podacima s ekotesta.

Od svake marke vozila uzeto je po nekoliko modela da se dobije zastupljenost svih skupina motora, pa je u konačnici prosječna emisija za navedene marke s benzinskim motorom iznosila:

Tablica 8.5. Prosječna emisija CO₂ za benzinske i dizelske motore u koracima po 200 ccm prema kataloškim podacima rabljenih vozila CVH-a

SKUPINA MOTORA	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	3.0	4.0
PROSJEK CO ₂ g/km (benzin)	109	126	145	150	160	175	203	217	238	314
PROSJEK CO ₂ g/km (dizel)	90	119	115	129	139	164	169	183	229	247

Prema podacima Europske komisije, vidljivo je da je trend smanjenja emisije CO₂ linearan u razdoblju od 1995. do 2007. godine, dok je za razdoblje od 2007. do 2015. godine bitno izraženije.



Izvor: <http://www.businessspectator.com.au/article/2016/2/14/smart-energy/eu-car-standards-have-weight-problem>

Slika 8.4. Praćenje smanjenja emisije CO₂ novoprodučenih vozila u EU prema ciljanim godinama

Uvažavajući ove podatke, pri izračunu prosječne emisije korišteni su koeficijenti povećanja emisije CO₂ u odnosu na referentne vrijednosti za vozila prema njihovoj starosti, razvrstana prema starosnim skupinama:

- novija od 2012. – koeficijent 0
- 2007. do 2012. – koeficijent 0,10
- 2004. do 2007. – koeficijent 0,15
- 1997. do 2004. – koeficijent 0,20
- 1985. do 1997. – koeficijent 0,25
- starija od 1985. – koeficijent 0,30.

Ovakvim pristupom, dolazi se do sljedećih rezultata analize emisije CO₂ na području grada Rijeke za laka vozila:

Tablica 8.6. Prosječna emisija CO₂ i prosječne karakteristike lakih vozila na području grada Rijeke s tehničkog pregleda vozila 2015. godine

2015 M1-OSOBNNA VOZILA	Benzinski motori	Dizelski motori	Ukupno
Broj vozila	60.237	29.274	89.511
Prosječna starost	7	11	9
Prosječna snaga [kW]	67	74	71
Prosječna zapremina motora [ccm]	1.405	1.879	1.642
Prosječna težina vozila	1108	1.332	1.220
Ukupna emisija CO₂ u 2015. [t]	106.206	83.652	189.858

Prosječna emisija dizelskih vozila, kako se vidi iz tablice veća je za 1,151 T, a tome je razlog što su dizelska vozila robusnija i po pitanju zapremine motora, u prosjeku za 447 ccm, te su teža za prosječno 224 kg.

Tablica 8.7. Prosječna emisija CO₂ i prosječne karakteristike lakih vozila na području grada Rijeke sa tehničkog pregleda vozila 2009. godine

2009 M1-OSOBNNA VOZILA	Benzinski motori	Dizelski motori	Ukupno
Broj vozila	60.075	23.537	83.612
Prosječna starost	11	10	10,5
Prosječna snaga [kW]	57	68	62
Prosječna zapremina motora [ccm]	1.369	1.868	1.619
Prosječna težina vozila	1012	1.276	1.144
Ukupna emisija CO₂ u 2013. [t]	112.073	72.724	184.797

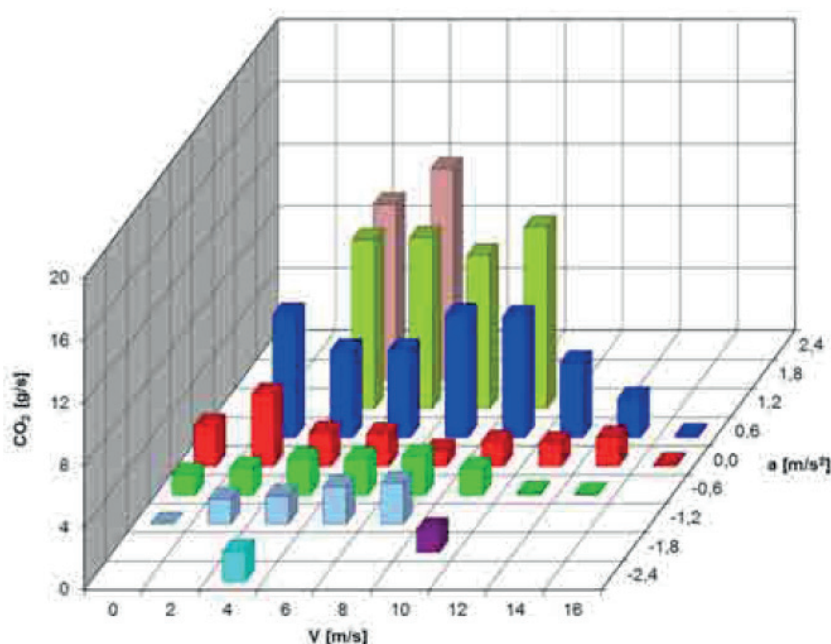
Uspoređujući 2015. godinu s 2009. godinom uočava se porast emisije CO₂ od 5.061 T, uz porast od 5.195 vozila i to gotovo isključivo s dizelskim motorom. Činjenica da je prosječna emisija smanjena s 2.210 kg na 2.137 kg po vozilu posljedica premalene razlike u vremenu usporedbe te činjenici da se na ukupnom broju vozila još uvijek ne mogu uočiti rezultati smjernica Uredbe o utvrđivanju standardnih vrijednosti emisija za nove osobne automobile u okviru smanjenja emisija CO₂ iz lakih vozila. Krajnji cilj tih smjernica je ukupno smanjenje od 25 % emisije CO₂.

8.2.3. Analiza emisije CO₂ teških vozila s područja grada Rijeke

Kategorije vozila koje su uvrštene u ovu analizu su:

- M2 – autobusi (preko 8 sjedala plus vozač, dopuštene mase do 5 t)
- M3 – (preko 8 sjedala plus vozač, dopuštene mase iznad 5 t)
- N1 – teretna vozila (najveće dopuštene mase do 3,5 t)
- N2 – teretna vozila najveće dopuštene mase preko 3,5 t, ali manje od 12 t)
- N3 – teretna vozila (najveće dopuštene mase preko 12 t).

Vršenje analize emisije CO₂ kod autobusa je bazirano na mnogim parametrima koji je teško uzeti u obzir s obzirom na specifičnost obavljanja usluge prijevoza za pojedinu autobusnu tvrtku, a to su uz uobičajene parametre za izračun emisije i podaci o rutama – prosječna prijeđena udaljenost između dviju stanice, prosječna učestalost zaustavljanja, prosječna brzina kretanja, broj prevezenih putnika, itd. Istraživanje u literaturi [120] jasno prikazuje varijacije emisije CO₂ u ovisnosti o brzini kretanja, te ubrzanjima i usporavanjima.



Izvor: [www.balticbiogasbus.eu/Emission measurements of the retrofitted biogas buses in the real road conditions.pdf](http://www.balticbiogasbus.eu/Emission%20measurements%20of%20the%20retrofitted%20biogas%20buses%20in%20the%20real%20road%20conditions.pdf)

Slika 8.5. Emisija CO₂ iz autobusa s dizelskim motorom u ovisnosti o brzini kretanja i akceleraciji

Zbog jednostavnosti izrade proračuna, uzeti su u obzir podaci o prosječnoj potrošnji autobusa koja iznosi 35,1 l/100 km [115].

Analiza emisije ispušnih plinova teretnih vozila također je bitno složenije od one lakih vozila. Razlog tome je vrlo promjenjiva ukupna masa teretnog vozila koja varira s obzirom na količinu ispunjenosti teretom, a što direktno utječe na potrošnju goriva, time i na emisiju CO₂.

Najpogodnija, ujedno i najjednostavnija metoda analize za ovu vrstu vozila se pokazala metoda profesora Alana McKinnona razrađena u studiji za CEFIC, po kojoj emisija CO₂ u cestovnom prijevozu tereta iznosi 62g CO₂/tona-km, proizašla iz prosječnog koeficijenta za prijevoz 80 % tereta od maksimalne nosivosti vozila i 25 % prijeđenih kilometara vozila bez tereta [115].

Naravno do se ovakvom metodom dolazi do aproksimativnih podataka, međutim da bi se u svrhu preciznije analize primijenili koeficijenti (Tablica 7.4), neophodni su podaci o nosivosti, i ono najvažnije, količina prevezenog tereta, podaci koji, nažalost, nisu raspoloživi. Podatak o nosivosti vozila nad kojem je primijenjena McKinnonova metoda je podatak do kojeg se došlo provjerom dvadesetak najzastupljenijih vozila iz kataloga CVH-a novih i rabljenih vozila, pa je tako prosječna nosivost teretnog vozila dva i pol puta veća od njegove mase, ukoliko se ne radi o specijalnim teretnim vozilima koja nisu namijenjena prijevozu tereta (npr. radni strojevi).

Tablica 8.8. Prosječna emisija CO₂ teških vozila na području grada Rijeke 2015. godine

KATEGORIJA VOZILA	Broj vozila	CO ₂ /god [t]
M2 - AUTOBUSI (preko 8+1 sjedala, dopuštene mase < 5 t)	24	803
M3 - AUTOBUSI (preko 8+1 sjedala, dopuštene mase > 5 t)	251	14.054
N1 - TERETNA VOZILA (do 3,5 t) – dizelska	5.522	25.124
N1 - TERETNA VOZILA (do 3,5 t) – benzinska	352	550
N2 - TERETNA VOZILA (od 3,5 t do 12 t)	1.089	18.483
N3 - TERETNA VOZILA (preko 12 t)	1.248	29.478
Ukupno:	8.486	88.492

8.2.4. Rezultati analize emisije CO₂ svih vozila s područja grada Rijeke u 2015. g.

Gledajući na sve kategorije vozila s područja grada Rijeke koja su u 2015. godini obavila ekotest na stanicama za tehnički pregled vozila u Rijeci, dolazimo da krajnjeg rezultata koji iznosi 278.350 tona CO₂.

Tablica 8.9. Sveukupna emisija CO₂ cestovnih vozila s područja grada Rijeke u 2015. godini

KATEGORIJA VOZILA	Broj vozila	CO ₂ /god [t]
M1 - OSOBNA VOZILA	88.807	189.858
M2 - AUTOBUSI (preko 8+1 sjedala, dopuštene mase < 5 t)	24	803
M3 - AUTOBUSI (preko 8+1 sjedala, dopuštene mase > 5 t)	251	14.054
N1 - TERETNA VOZILA (do 3,5 t) – dizelska	5.522	25.124
N1 - TERETNA VOZILA (do 3,5 t) –benzinska	352	550
N2 - TERETNA VOZILA (od 3,5 t do 12 t)	1.089	18.483
N3 - TERETNA VOZILA (preko 12 t)	1.248	29.478
Ukupno:	97.293	278.350

Usporedbom ovih rezultate s onima koje je objavila PGŽ na osnovi analize iz 2006. godine, gdje se vidi ukupna emisija CO₂ od cestovnog prometa u iznosu od 547.027 t [124], dolazimo do zaključka da vozila s područja grada Rijeke sudjeluju s 50 % u ukupnoj emisiji CO₂ na području Županije.

Tablica 8.10. Emisije u zrak iz plošnih (kolektivnih) stacionarnih i mobilnih izvora za 2006. godinu, [124]

Plošni/kolektivni izvori	SO _x (t/god)	NO _x (t/god)	CO (t/god)	CO ₂ (t/god)	Čestice (t/god)
Neindustrijsko izgaranje	380	268	8.440	-	295
Cestovni promet	294	5.641	4.868	547.027	199
UKUPNO	674	5.909	13.803	547.027	494

Bez obzira na glasne i sve argumentiranije stavove kako je čovjekovo djelovanje minorno u odnosu na prirodne uzročnike povećane emisije stakleničkih plinova, ova analiza ima afirmativan stav prema nastojanju čovjeka da svojim djelovanjem smanji utjecaj na loše trendove u prirodi vezano uz globalno zatopljenje, kisele kiše i sve ostale prirodne fenomene uzrokovane povećanom emisijom stakleničkih plinova.

Naročito se daje bezrezervna podrška nastojanju industrije motornih vozila da maksimalno smanji emisiju štetnih plinova uvodeći nove tehnologije, a čiji su rezultati u par zadnjih desetljeća vidljivi u pedesetorostrukom smanjenju emisije štetnih plinova.

Cilj ove analize je na osnovi dostupnih podataka i primjenjivih metoda, doći do aproksimativnog izračuna emisije štetnih i stakleničkih plinova na mikrolokaciji (u usporedbi s ukupnom emisijom plinova u svijetu). Tako se je došlo do ukupnog iznosa od 278.350 tona CO₂ koje su tijekom 2015. godine u atmosferu emitirala sva vozila s područja grada Rijeke, na osnovi podataka o rezultatima ekotesta vozila Centra za vozila Hrvatske, a izmjerena na stanicama za tehnički pregled vozila s područja grada Rijeke.

Emisija štetnih plinova obrađena je na osnovi podataka za Republiku Hrvatsku, ne sa željom da se pokažu apsolutne vrijednosti, već da se prikažu trendovi smanjenja emisije upotrebom novih tehnologija.

U nedostatku podataka za precizniju analizu i s obzirom da se mjerenja na ekotestu rade u stacionarnim uvjetima, koji su bitno drugačiji od režima rada vozila u vožnji gdje se mogu primijeniti metode vizualnog uočavanja kao što je VECTOR, za izračun su se koristili homologacijski podaci proizvođača i linearno povećanje emisije sa starošću vozila, što je omogućilo aproksimaciju emisije CO₂ iz lakih vozila. Kod izračuna emisije teretnih vozila koristila se metodologija europskih organizacija CEFIC i ECTA, čija su istraživanja išla dovoljno daleko da bi se pokušalo primijeniti i na općim primjerima prijevoza tereta, po McKinnonovim metodama.

Kod izračuna emisije autobusa M2 i M3 išlo se najdalje s aproksimacijom, iz razloga što bez preciznih informacija autobusnih prijevoznika o broju prevezenih putnika, broju i učestalosti zaustavljanja itd., nije moguće preciznije izračunati potrošnju goriva, a samim time i emisiju CO₂, pa se je za ovu kategoriju vozila uzela prosječna potrošnja od 35,1 l/100km.

Ova zadnja rečenica, korelacija potrošnje goriva i emisije CO₂ zapravo govori o biti problema, odnosno većina nastojanja proizvođača vozila da smanje emisiju CO₂ se svodi na smanjenje potrošnje pogonskog goriva.

I na kraju o izračunu emisije CO₂ vozila s područja grada Rijeke. Izračunatih 278.350

tona možemo usporediti s podacima istraživanja PGŽ-a iz 2006. godine, gdje se navodi da je emisija nastala cestovnim prijevozom vozila s područja Županije 547.027 tona godišnje, a što predstavlja 50 % emisije. Ako gledamo udio vozila s područja Grada u odnosu na vozila s područja Županije, participacija iznosi 60 %. Još bi kao relevantan pokazatelj mogao poslužiti omjer broja stanovnika, koji iznosi 43,4 % stanovnika Grada u odnosu na ukupno stanovništvo Županije.

Ovi su omjeri, s obzirom na različite metodologije u okviru očekivanog. Praćenje trendova smanjivanja moći će se primijeniti nakon 2015. godine kada se očekuje 100 postotna proizvodnja vozila s gornjom granicom od 130 g/km emisije CO₂, ili u potpunosti 2020. godine, ciljane godine smanjenja emisije iz lakih vozila na 95 g/km.

8.3. Regresijska analiza

Regresijska se analiza koristi za donošenje zaključaka o vrijednostima koje ovise o drugim nezavisnim varijablama. U statističkom modeliranju, regresijska analiza je statistički postupak za procjenu odnosa među nepoznanicama. To uključuje mnoge tehnike modeliranja i analize više nepoznanica, kada je fokus istraživanja usmjeren na odnos između zavisne nepoznanice i jedne ili više nezavisnih nepoznanica (nazvanih "prediktori"). Regresijska analiza pomaže razumjeti kako se tipična vrijednost zavisne nepoznanice mijenja kod promjene vrijednosti samo jedne od nezavisnih nepoznanica, dok ostale nezavisne nepoznanice ostaju jednake. Najčešće, regresijska analiza procjenjuje uvjetno očekivanje promjene zavisne nepoznanice u odnosu na vrijednosti nezavisnih nepoznanica.

"Rudarenje podataka (engl. data mininig) je proces pronalaženja novog i potencijalno korisnog znanja iz podataka, odnosno kao otkrivanje ili rudarenje znanja iz velike količine podataka".¹⁶ Možda bi bilo bolje postupak nazvati rudarenje znanja iz podataka, budući da je cilj odrediti skrivena pravila po kojima se promatrani sustav ponaša. Rudarenje podataka pomaže u razumijevanju znanja, koje se krije u podacima, a kojih najčešće nismo svjesni. Vrlo često znalci intuitivno otkrivaju pravila, ali ih ne

16 Čačić, V. i Varga, M. (2004). Informacijska tehnologija u poslovanju. Zagreb: Element, str. 39

mogu objasniti, što se u stručnom engleskom jeziku naziva “rule of thumb”.

Metoda stabla odlučivanja zasniva se temeljem odlučivanja zasnovanih na odlukama, čime se tvori stablo odlučivanja. U postupku rudarenja podataka, a u cilju definiranja klasifikacije i predviđanja u većini slučajeva se koristi stablo odlučivanja i to za rješavanje problema vezanih uz pretkazivanje uzroka i posljedica. Pretkazujući problemi uključuju predviđanje buduće vrijednosti odredišnih značajki, prepoznavanje uzoraka, regresiju više atributa, analizu razlika, procjenu multivarijabilnih funkcija. Stabla odluke se najviše koriste za razrješavanje problema predviđanja kod kojih se anticipira vrijednost binarne odredišne osobine. U tom se slučaju sustav stabla upotrebljava za rješavanje nelinearnih problema, u čemu je efikasniji od ostalih metoda rudarenja podataka.

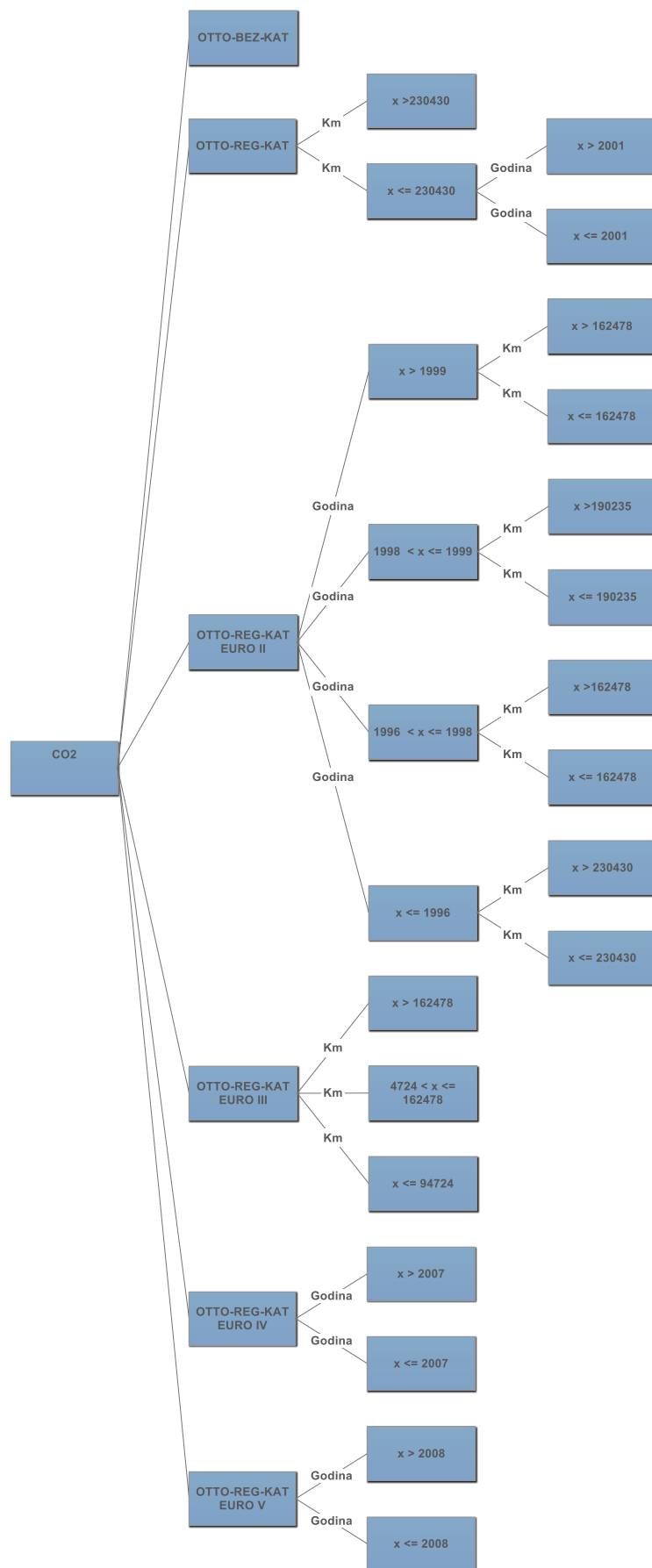
Pri analizi podataka koji su prikupljeni na ekotestu pri tehničkom pregledu upotrebljava se metoda rudarenja podataka CHAD. Kao zavisne nepoznanice postavljeni su rezultati mjerenja na ekotestu, količine CO, CO₂, O₂ i faktor zraka lambda, dok su ulazni podaci bili vrsta motora, godina proizvodnje, kilometraža, snaga i zapremina motora. Ishod procesa rudarenja podataka je očekivano pokazao da osnovna podjela na grane u stablu zavisi primarno o vrsti motora. U sljedećoj glavi prikazani su puni rezultati koji prikazuju utjecaj primarnih faktora: vrsta motora, godina proizvodnje, kilometraža, snaga i zapremina motora pri rezultatima mjerenja na ekotestu.

Zanimljivi su rezultati koji prikazuju da za benzinske motore OTTO-REG-kategorije Euro V i Euro IV rezultati za sva mjerenja na ekotestu ovise isključivo o godini proizvodnje. Prijelomna godina (ona kod koje dolazi do znatne promjene u rezultatima testa) je 2008. kod Euro V i 2007 kod Euro IV motora. Za motore EURO III do promjene dolazi kad prijeđena kilometraža prijeđe približno 94 000 km te 162 000 km. Za motore kategorije Euro II rezultati ekotesta ovise o godini proizvodnje (prijelomi kod 1999., 1998. i 1996. godine te nakon toga nakon 162 000 km, 190 000 km, 162 000 i 230 000 km respektivno).

Rezultati regresijske analize – stablo odlučivanja

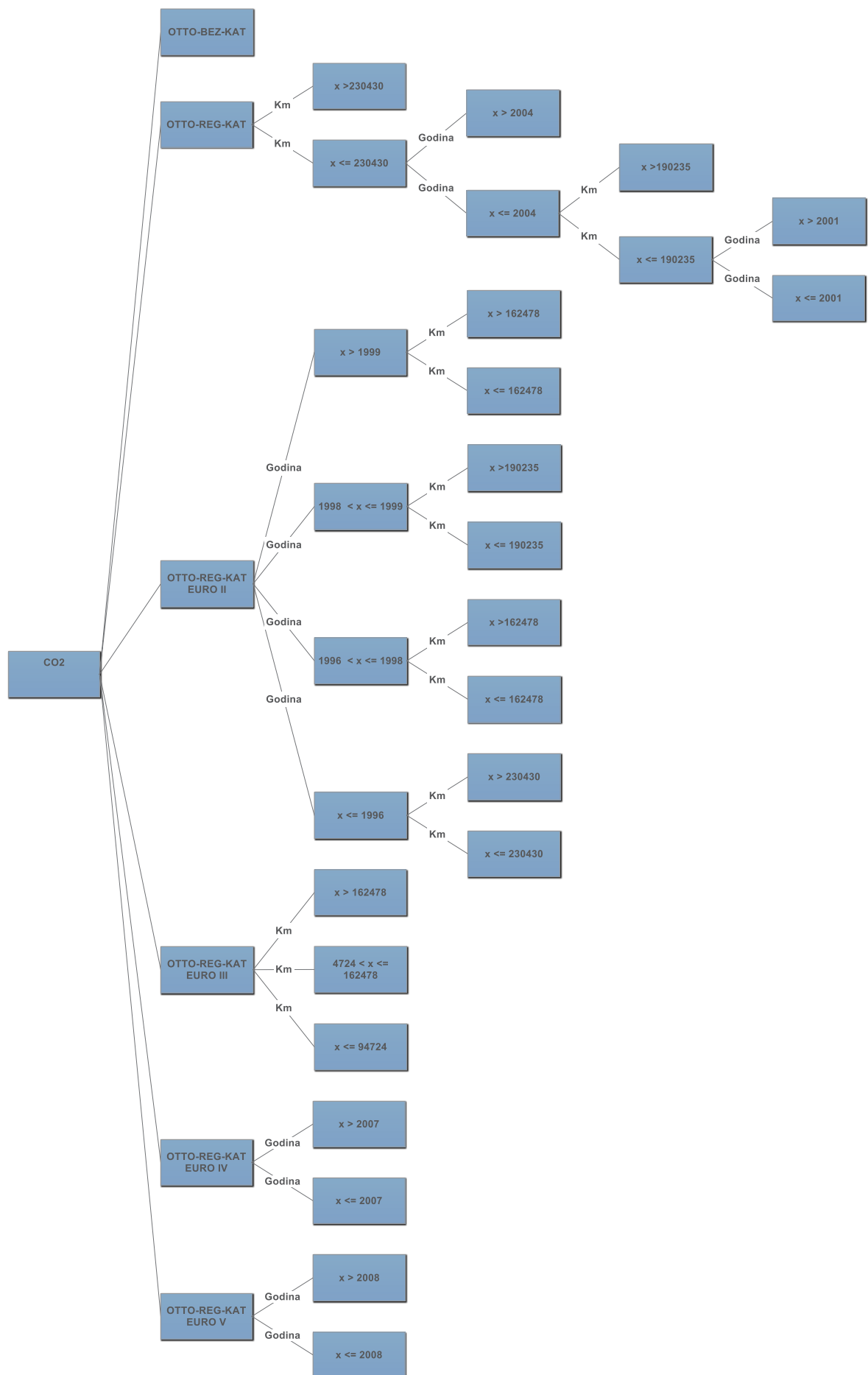
Tablica 8.11. Struktura stabla odlučivanja za CO kod tehničkog pregleda

	Number of nodes	Size of node	Node mean	Node variance	Split variable	Criterion for child 1	Criterion for child 2	Criterion for child 3	Criterion for child 4	Criterion for child 5	Criterion for child 6	Child node 1	Child node 2	Child node 3	Child node 4	Child node 5	Child node 6
1	6	832742	22,7640	613,1405	Motor	E5	E4	E3	E2	E0	NK	2	3	4	5	6	7
2	2	43626	15,1659	6,4929	god	x <= 2008	x > 2008					8	9				
8		2283	15,4042	34,1826													
9		41343	15,1527	4,9613													
3	2	203036	15,2820	17,8669	god	x <= 2007	x > 2007					10	11				
10		123219	15,3493	23,9324													
11		79817	15,1782	8,4855													
4	3	175973	16,0027	86,2684	km	x <= 94724	94724 < x <= 162478	x > 162478				12	13	14			
12		58879	15,6189	49,9726													
13		81231	16,0067	86,6189													
14		35863	16,6240	144,4416													
5	4	244680	17,2510	201,0145	god	x <= 1996	1996 < x <= 1998	1998 < x <= 1999	x > 1999			15	16	17	18		
15	2	35863	18,3426	299,8011	km	x <= 230430	x > 230430					23	24				
23		27673	18,0518	278,0359													
24		8190	19,3251	372,1346													
16	2	106122	17,4301	215,7077	km	x <= 162478	x > 162478					25	26				
25		49973	16,9412	171,9812													
26		56149	17,8653	254,2261													
17	2	45777	16,8533	166,4048	km	x <= 190235	x > 190235					27	28				
27		33542	16,5708	140,6235													
28		12235	17,6278	236,2823													
18	2	56918	16,5492	137,7918	km	x <= 162478	x > 162478					29	30				
29		37423	16,2592	111,4875													
30		19495	17,1059	187,8231													
6	2	103990	18,7527	338,8506	km	x <= 230430	x > 230430					19	20				
19	2	71301	18,3493	293,4283	god	x <= 2001	x > 2001					21	22				
21		69348	18,4305	300,2730													
22		1953	15,4652	41,8569													
20		32689	19,6325	436,8081													
7		61437	100,9972	0,2418													



Slika 8.6. Stablo odlučivanja za indikator CO₂ kod tehničkog pregleda

Struktura stabla odlučivanja za CO kod tehničkog pregleda																	
	Number of nodes	Size of node	Node mean	Node variance	Split variable	Criterion for child 1	Criterion for child 2	Criterion for child 3	Criterion for child 4	Criterion for child 5	Criterion for child 6	Child node 1	Child node 2	Child node 3	Child node 4	Child node 5	Child node 6
1	6	832742	9,2559	838,4437	Motor	E5	E4	E3	E2	E0	NK	2	3	4	5	6	7
2	2	43626	0,0963	7,2483	god	x <= 2008	x > 2008					8	9				
8		2283	0,3952	35,6399													
9		41343	0,0798	5,6761													
3	2	203036	0,2710	23,1260	god	x <= 2007	x > 2007					10	11				
10		123219	0,3657	32,0343													
11		79817	0,1249	9,3386													
4	3	175973	1,2711	117,9730	km	x <= 94724	94724 < x <= 162478	x > 162478				12	13	14			
12		58879	0,7356	68,3298													
13		81231	1,2774	118,2310													
14		35863	2,1361	197,6799													
5	4	244680	2,9337	270,5863	god	x <= 1996	1996 < x <= 1998	1998 < x <= 1999	x > 1999			15	16	17	18		
15	2	35863	4,2685	393,5361	km	x <= 230430	x > 230430					27	28				
27		27673	3,8997	359,7822													
28		8190	5,5146	505,6318													
16	2	106122	3,1780	292,2955	km	x <= 138640	x > 138640					29	30				
29		34128	2,3982	220,8963													
30		71994	3,5476	325,7202													
17	2	45777	2,4386	224,3694	km	x <= 190235	x > 190235					31	32				
31		33542	2,0827	190,9196													
32		12235	3,4144	314,7949													
18	2	56918	2,0354	187,5890	km	x <= 162478	x > 162478					33	34				
33		37423	1,6498	151,5769													
34		19495	2,7756	255,8965													
6	2	103990	4,8287	442,7604	km	x <= 230430	x > 230430					19	20				
19	2	71301	4,3371	398,6752	god	x <= 2004	x > 2004					21	22				
21	2	70338	4,3944	403,7453	km	x <= 190235	x > 190235					23	24				
23	2	50253	4,1871	384,9899	god	x <= 2001	x > 2001					25	26				
25		49320	4,2486	390,4303													
26		933	0,9375	86,7410													
24		20085	4,9131	450,3165													
22		963	0,1515	10,6100													
20		32689	5,9008	537,2573													
7		61437	100,9967	0,3313													



8.4. Modeli razdiobe vjerojatnosti

Za potrebe simulacijske analize, kao i budućih istraživanja izrađeni su modeli razdiobe vjerojatnosti za pojedine faktore koje imamo u modelu. Izbor porodice razdiobe predstavlja vrlo složen postupak, budući da postoje mnoge razdiobe vjerojatnosti. Ponekad poznavanje karakteristika procesa pomaže u shvaćanju i izboru porodice razdiobe vjerojatnosti, ali to je vrlo rijedak slučaj. Najčešće se upotrebljavaju računalni sustavi koji pokušavaju predvidjeti i procijeniti parametre pojedine razdiobe i stvarnog skupa podataka koji se istražuje.

Računalni sustavi najčešće rade upotrebom histograma. Histogrami se izračunavaju tako da se skup parametara koje istražujemo, podijeli na intervale jednake širine, te da se izračuna broj opažanja nepoznanice koji pripada pojedinom intervalu. Ova tehnika je relativno jednostavna, ali postoji gubitak točnosti uslijed grupiranja podataka. Zatim se uspoređuju teorijske vrijednosti pojedine razdiobe podataka i stvarnih podataka, te se radi procjena parametara razdioba. Procjena je numerička funkcija podataka kojom se dobivaju parametri razdiobe podataka. Najčešće korištena metoda za procjenu parametara razdiobe je procjena maksimalne vjerodostojnosti (maximum likelihood estimation). Općenito, za fiksni set podataka i temelje statističkog modela, metoda maksimalne vjerodostojnosti odabire skup vrijednosti parametara modela koji maksimiziraju funkciju vjerojatnosti.

Treba napomenuti da se u teoriji definiraju i greške prilikom određivanja razdiobe vjerojatnosti za pojedini stvarni skup podataka. Najčešće greška je da se stvarni podaci ne slažu u potpunosti s podacima iz teorijske razdiobe, pa se uslijed toga koriste testovi slaganja, koji testiraju kako se dobro odabrana prilagođena razdioba slaže sa stvarnim podacima. U tu svrhu se rabe hi-kvadrat test i Kolmogorov-Smirnov test.

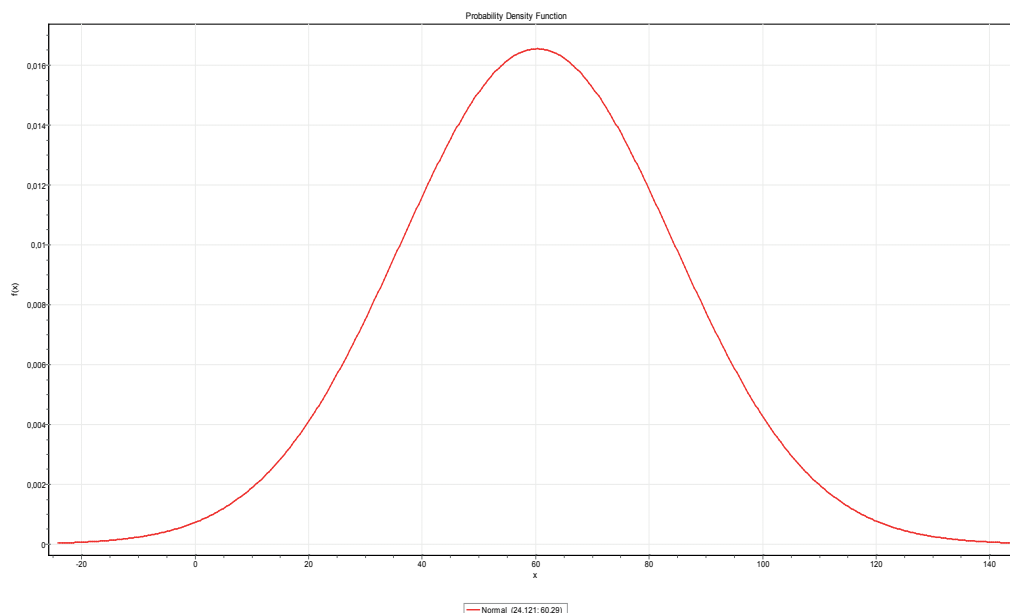
U slučaju podataka o vozilima, za potrebe budućih istraživanja upotrebom simulacijskih modela, upotrebom statističkih računalnih alata određene su razdiobe za snagu automobila, obujam motora, masu automobila, prijeđene kilometre i starost vozila. Za svaki parametar izrađena je prvo osnovna statistička analiza, pa su se zatim definirale razdiobe te su procijenjeni parametri svake razdiobe. Upotrebom testova slaganja posebice Kolmogorov-Smirnov testa za svaki parametar su izabrane

po dvije razdiobe koje su imale najbolji rang u testovima. Rezultati su prikazani na sljedećim stranicama. U tablicu rezultata testova slaganja, radi pojednostavljenja prikaza, nisu upisani podaci iz hi-kvadrat testa, iako je napravljen za svaku stavku, te je potvrđeno slaganje. Svi prikazani rezultati pokazuju da je slaganje izabrane razdiobe i stvarnih podataka s pouzdanošću većom od 95 %.

8.4.1. Snaga automobila

Variable	Descriptive Statistics										
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
kW	832845	60,28962	8,000000	557,0000	581,8356	24,12127	0,026431	3,608518	0,002684	27,75568	0,005368

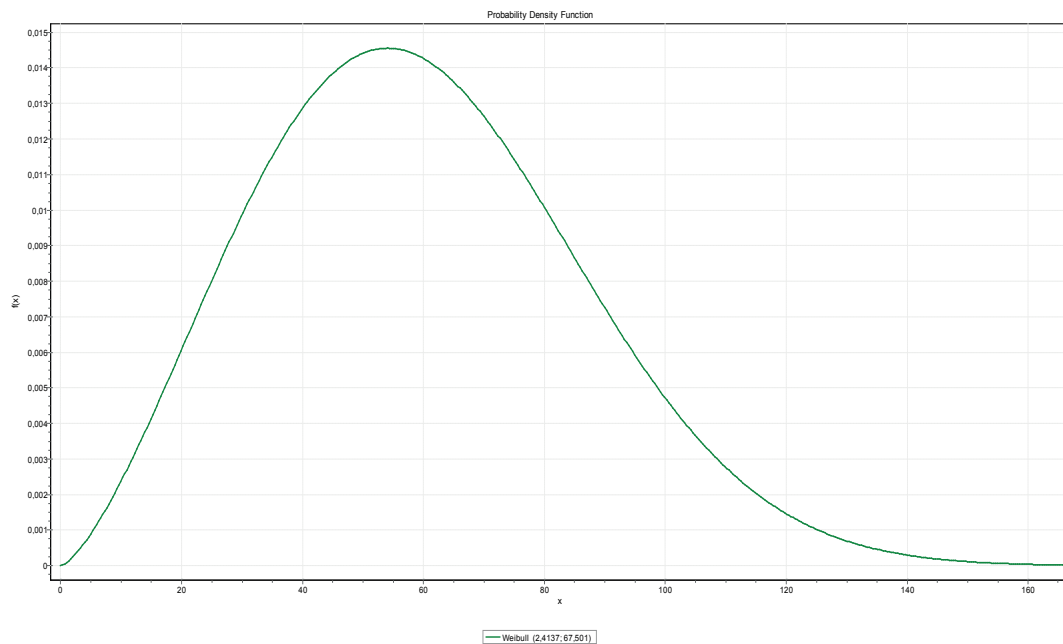
	Distribution summary Variable: kW Ranked by: Kolmogorov-Smirnov						
	K-S d	K-S p-value	AD Stat	AD p-value	Offset (threshold /location)	Param 1	Param 2
Normal	0,1647	0,00	34402,13	0,00		60,289	24,12127
Weibull (scale,shape)	0,17548	0,00	40719,51	0,00	0,00	67,501	2,4137
Rayleigh (scale)	0,2448	0,00	63595,17	0,00	0,00	45,916	



Slika 8.7. Snaga automobila – Normalna razdioba

$$\mu = 60,29 \quad \sigma = 24,121$$

$$P(kW) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{60,46} e^{-\frac{(x-60,29)^2}{1163,64}}$$



Slika 8.8. Snaga automobila – Weibullova razdioba s parametrima

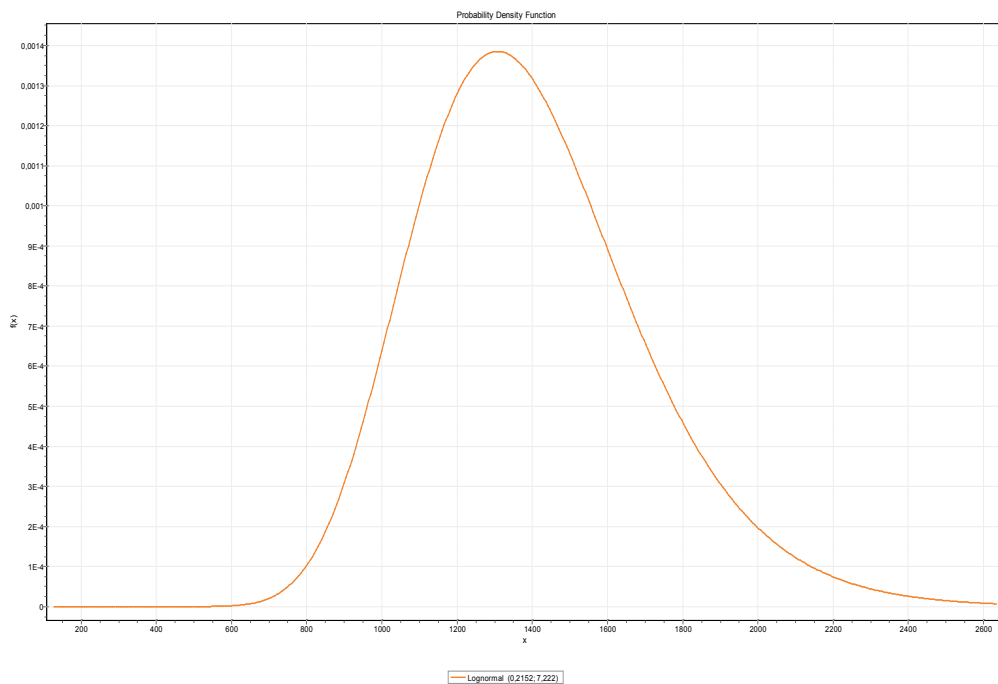
$\alpha=2,4137$ i $\beta= 67,501$

$$P(KW) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} = 61750 x^{1,4137} e^{-\left(\frac{x}{67,501}\right)^{2,4137}}$$

8.4.2. Obujam motora

Variable	Descriptive Statistics										
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
ccm	832845	1403,479	120,0000	12820,00	131000,5	361,9399	0,396601	3,976080	0,002684	34,54163	0,005368

	Distribution summary Variable: ccm Ranked by: Kolmogorov-Smirnov						
	K-S d	K-S p-value	AD Stat	AD p-value	Offset (threshold /location)	Param 1	Param 2
Log Normal (scale,shape)	0,15662	0,00	12644	0,00	0,00	7,222	0,2152
Normal (location,scale)	0,20238	0,00	33701	0,00		1403,47	361,939
Weibull (scale,shape)	0,21541	0,00	66300	0,00	0,00	1535,36	3,1780
Rayleigh (scale)	0,35915	0,00	145939	0,00	0,00	1024,87	
Half Normal (scale)	0,47164	0,00	248294	0,00	0,00	1449,39	

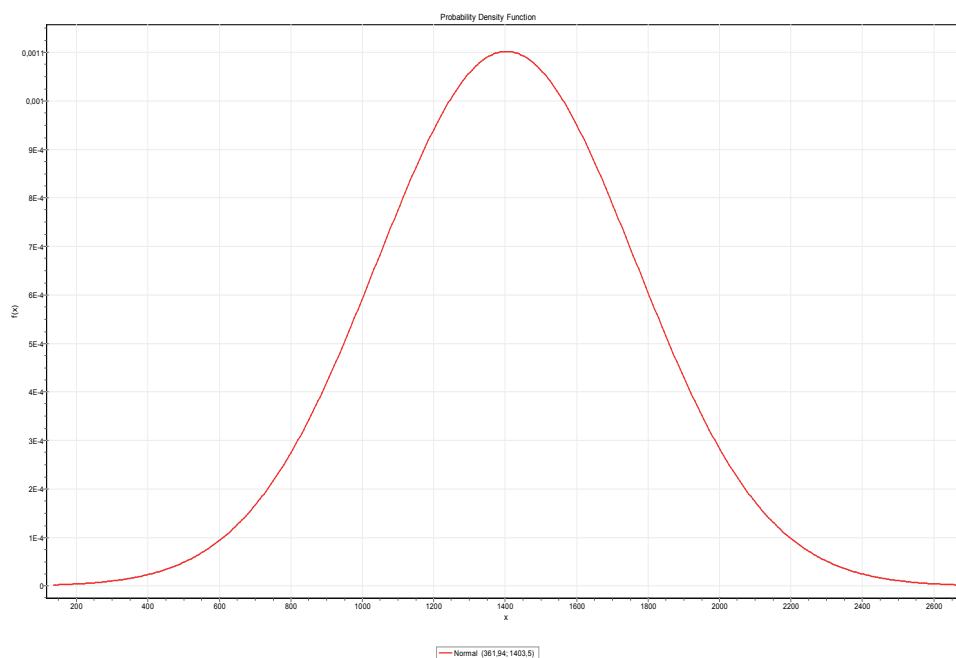


Slika 8.9. Obujam motora – Lognormalna razdioba

$M=7,222$

$S=0,2152$

$$P(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-M)^2}{2S^2}} = \frac{1}{18,09} e^{-\frac{(\ln(x)-7,22)^2}{104,2}}$$



Slika 8.10. Obujam motora – Normalna razdioba

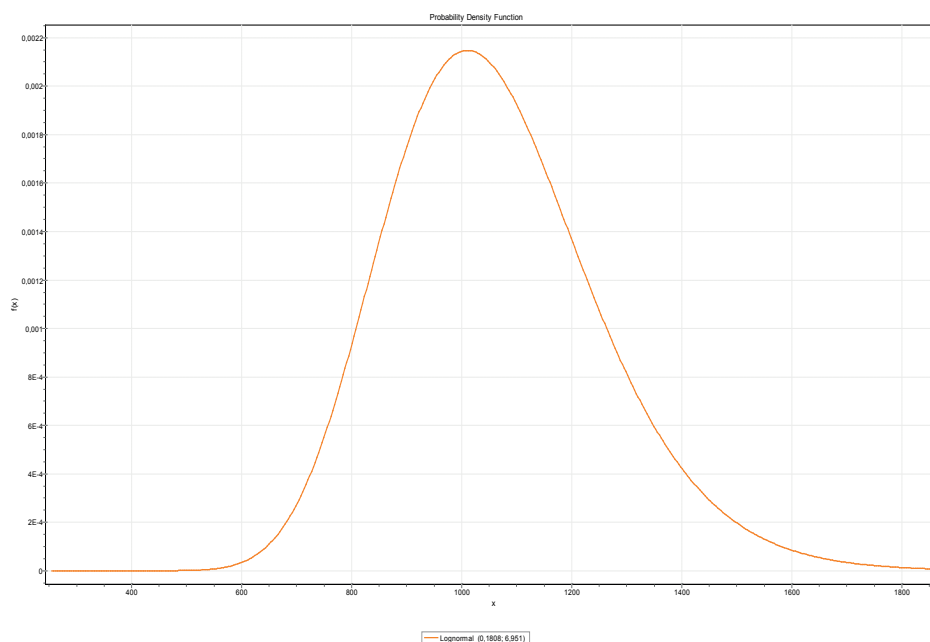
$\mu= 1403,47 \sigma=361,939$

$$P(kW) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{906,91} e^{-\frac{(x-1403,47)^2}{262000}}.$$

8.4.3. Masa automobila

Variable	Descriptive Statistics											
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
masa	832845	1061,457	100,0000	14100,00	39564,29	198,9077	18,73913	0,217956	1,469944	0,002684	28,53345	0,005368

	Distribution summary Variable: masa Ranked by: Kolmogorov-Smirnov								
	K-S d	K-S p-value	AD Stat	AD p-value	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5
Log Normal (scale,shape)	0,111559	0,00	10414,8	0,00	6,951	0,1808			
Normal (location,scale)	0,138735	0,00	13713,6	0,00	1061,45	198,907			
Johnson SU(type, Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,178870	0,00	30082,7	0,00	2,000	-0,2044	1,0426	118,989	1024,27
Weibull (scale,shape)	0,208782	0,00	43735,7	0,00	1133,39	4,0571			
Rayleigh (scale)	0,399143	0,00	167841,4	0,00	763,62				
Half Normal (scale)	0,517983	0,00	272037,9	0,00	1079,93				

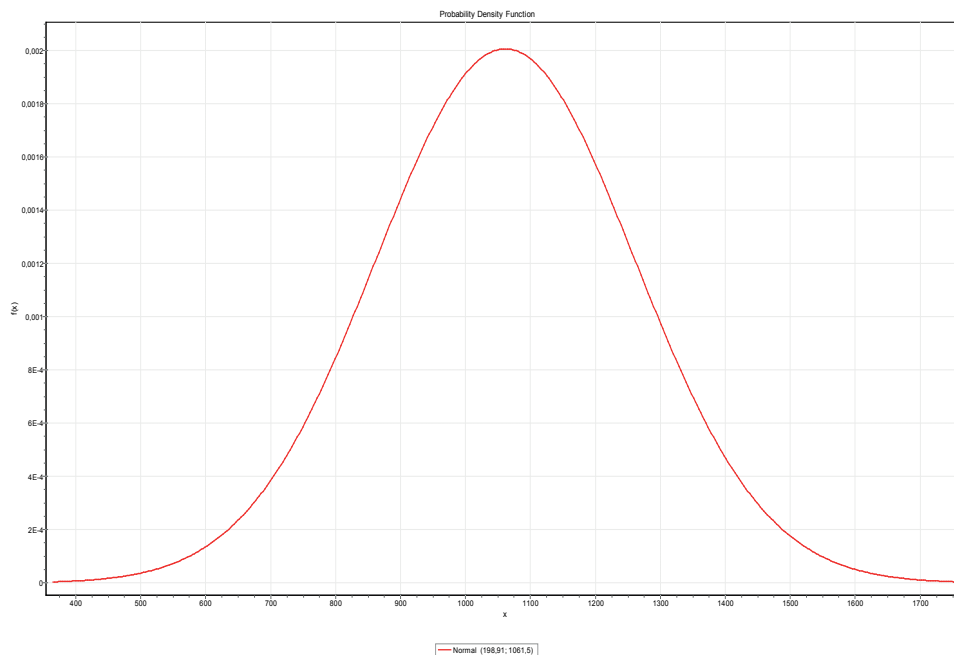


Slika 8.11. Masa automobila – Lognormalna razdioba

M = 6,951

S = 0,1808

$$P(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\ln(x)-M)^2}{2S^2}} = \frac{1}{0,453} e^{\frac{-(\ln(x)-6,951)^2}{0,0653}}$$



Slika 8.12. Masa automobila – Normalna razdioba

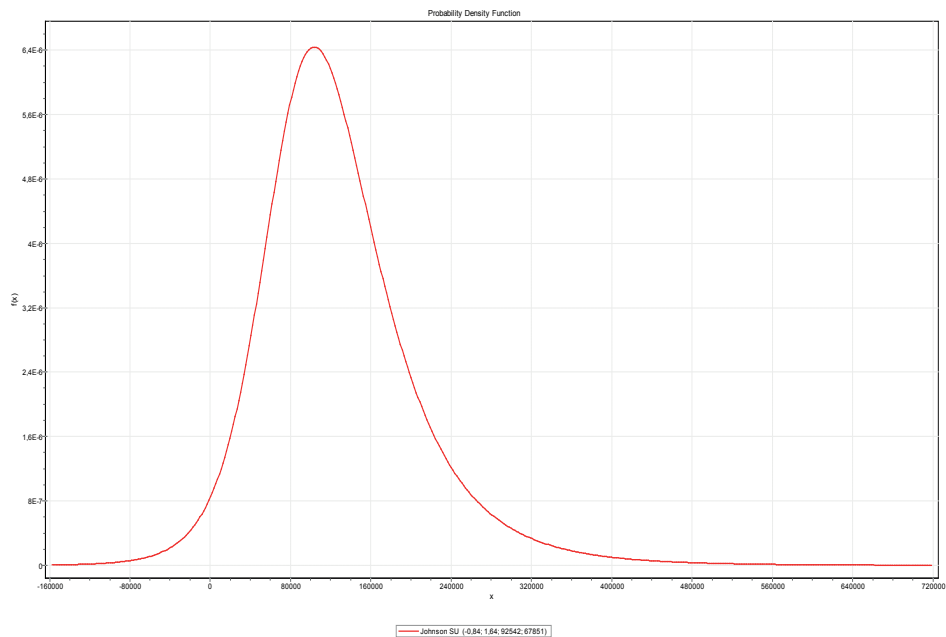
$$\mu = 1061,45 \quad \sigma = 198,907$$

$$P(kW) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{60,46} e^{\frac{-(x-60,29)^2}{1163,64}}.$$

8.4.4. Prijeđeni kilometri

Variable	Descriptive Statistics										
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
km	832845	126964,5	0,00	1000000	78926,90	62,16455	86,48543	1,205216	0,002684	4,899424	0,005368

	Distribution summary Variable: km Ranked by: Kolmogorov-Smirnov								
	K-S d	K-S p-value	AD Stat	AD p-value	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5
Johnson SU(type, Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,062189	0,00	6334,53	0,00	2,0	-0,84	1,646698	92542,65	67851,68
Normal (location,scale)	0,062941	0,00	7503,80	0,00	126964,5	78926,90			
Half Normal (scale)	0,096310	0,00	18806,64	0,00	149497,2				



Slika 8.13. Prijeđeni kilometri – Johnson SU razdioba

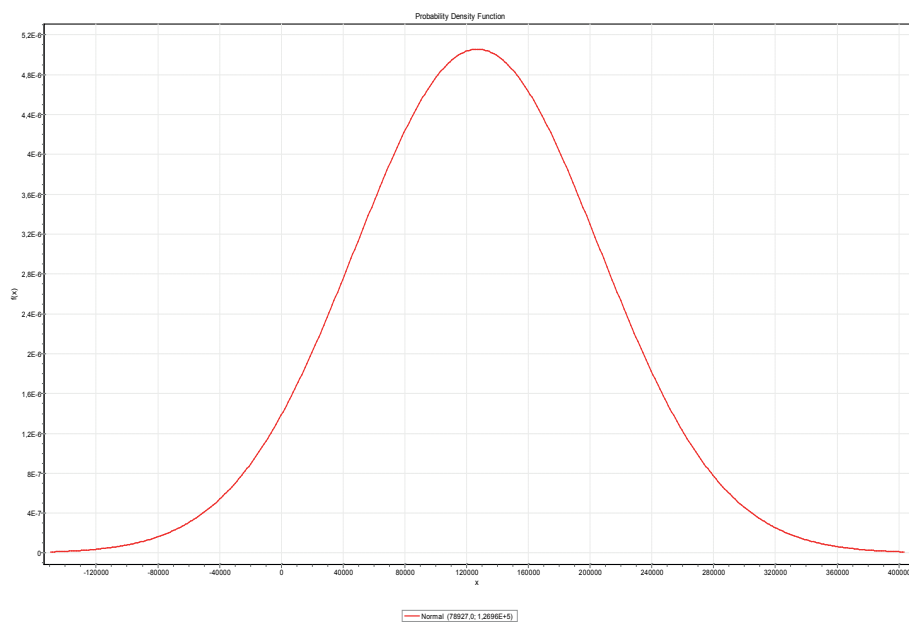
$$\gamma = -0,84$$

$$\delta = 1,6467$$

$$\lambda = 92542,65$$

$$\xi = 67851,68$$

$$P(x) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-\xi}{\lambda}\right)^2}} e^{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \sinh^{-1}\left(\frac{x-\xi}{\lambda}\right)\right]^2} = \frac{1}{141,409} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-67851,68}{92542,65}\right)^2}} e^{-\frac{1}{2}\left[0,84 + 1,6467 \sinh^{-1}\left(\frac{x-67851,68}{92542,65}\right)\right]^2}$$



Slika 8.14. Prijeđeni kilometri – Normalna razdioba

$$\mu = 126964,5$$

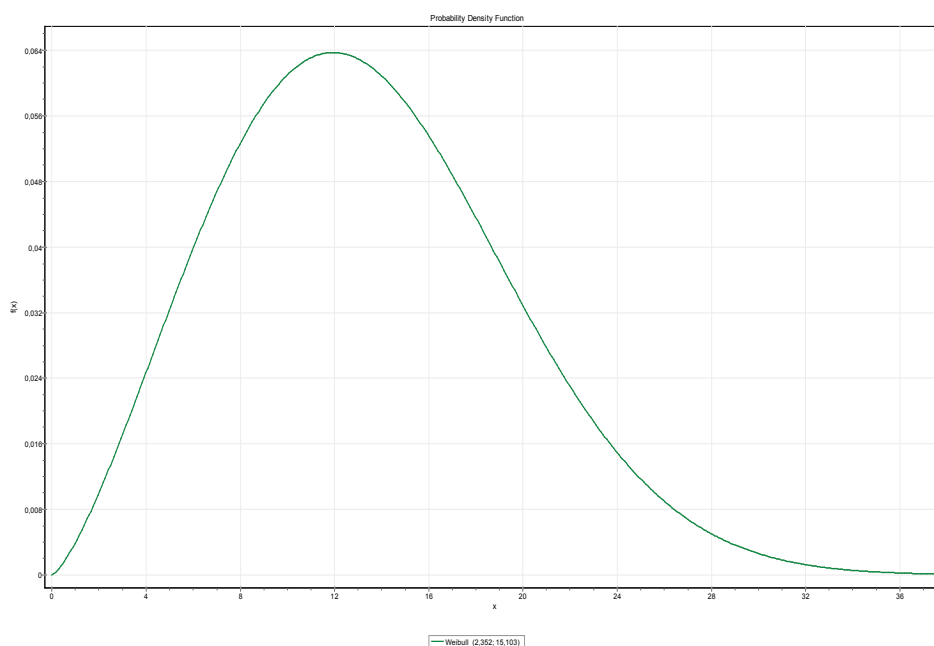
$$\sigma = 78926,90$$

$$P(kW) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{1978797} e^{\frac{-(x-126964,5)^2}{12458911087,22}}$$

8.4.5. Starost

Variable	Descriptive Statistics											
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
Starost	832845	13,37061	1,000000	44,00000	36,62865	6,052161	45,26467	0,006632	0,577197	0,002684	0,745471	0,005368

	Distribution summary Variable: km Ranked by: Kolmogorov-Smirnov								
	K-S d	K-S p-value	AD Stat	AD p-value	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5
Weibull (scale,shape)	0,056590	0,00	2701,58	0,00	15,10347	2,35243			
Normal (location,scale)	0,065971	0,00	4037,10	0,00	13,37061	6,05216			
Johnson SU(type, Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,068945	0,00	4065,02	0,00	2,00000	-3,41655	3,877162	15,91396	-3,07751
Rayleigh (scale)	0,096672	0,00	9387,54	0,00	10,37790				
Log Normal (scale,shape)	0,120875	0,00	12523,24	0,00	2,47551	0,51420			
Half Normal (scale)	0,235441	0,00	81439,97	0,00	14,67657				

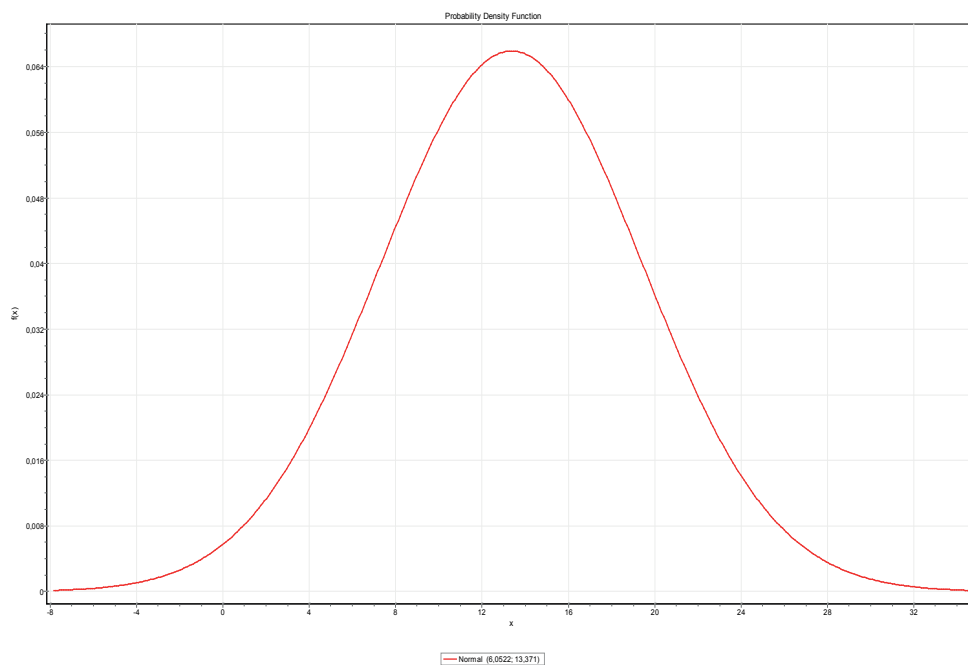


Slika 8.15. Starost – Weibullova razdioba s parametrima

$$\alpha=2,35243$$

$$\beta= 15,10347$$

$$P(KW) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} = 1386,86 x^{1,35243} e^{-\left(\frac{x}{15,10347}\right)^{2,352437}} .$$



Slika 8.16. Starost – Normalna razdioba

$$\mu = 13,37061$$

$$\sigma=6,05216$$

$$P(kW) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2 \sigma^2}} = \frac{1}{1978797} e^{\frac{-(x-126964,5)^2}{12458911087,22}} .$$

9. MODEL ANALIZE PROMETNE MREŽE METODAMA ANALIZE SOCIJALNIH MREŽA

9.1. Analiza socijalnih mreža

Socijalne mreže pružaju snažnu apstrakciju strukture i dinamike različitih vrsta mreža. Analiza socijalnih mreža postala je moćna metodologija koja nadopunjuje standardne statističke pristupe [16]. Mrežni pojmovi su definirani, i testirani, a primjenjuju se u istraživačkim tradicijama širom društvenih znanosti, od antropologije do poslovne administracije i povijesti. Analiza socijalnih mreža u početku je bila fokusirana na tumačenje modela društvenih odnosa među ljudima, grupama ljudi, organizaciji ili zemlji, ali je poslije utvrđeno da je ovu analizu moguće upotrijebiti za različite mreže. Ideja ovog istraživanja je iskoristiti tehnike socijalnih mreža u području prometnih mreža. Prijedlog autora je da se izračuni socijalnih mreža iskoriste kao mjere koje bi mogle ukazivati na razumijevanje mogućih prednosti koje proizlaze iz zemljopisnih mreža gradskog prometa. Iako je to istraživanje u primarnoj fazi, rezultati pokazuju da bi mogli biti značajni za prikazivanje novih trendova

Glavna jedinica analize je mreža [146]. Mreža se može promatrati na više načina. Jedan od najkorisnijih pogleda je kao graf, koji se sastoji od čvorova spojenih usmjerenim vezama. Graf Γ sastoji se od dvaju skupova informacija: skup čvorova $\mathbf{N} = \{n_1, n_2, \dots, n_g\}$, i skup veza $\mathbf{A} = \{l_1, l_2, \dots, l_L\}$ koje povezuju čvorove. Postoji g čvorova i L veza. U grafu svaki redak je uređeni par različitih čvorova $l_k = \langle n_i, n_j \rangle$.

Refleksivna veza, ili petlja, između svakog čvora i sebe $\langle n_i, n_i \rangle$ se isključuje iz razmatranja. Graf sa skupom čvorova $\mathbf{N}$ i skupom veza $\mathbf{A}$ je označen kao $\mathbf{A}$.

Graf također predstavlja dijagram u kojem točke predstavljaju čvorove, a veza je nacrtana između dviju točaka. Dakle, postoji veza između odgovarajućih dvaju čvorova u skupu veza.

Podaci u grafu $\Lambda (N, \Lambda)$ mogu se izraziti na različite načine u obliku matrice. Posebno korisne su matrice susjedstva Ξ veličine $g \times g$. Podaci u matrici x_i postoje ako su čvorovi susjedni, tj $x_{i,j} = 1$, ako postoji $l_k = \langle n_i, n_j \rangle$, i $x_{j,i} = -1$, ako postoji $l_k = \langle n_i, n_j \rangle$ i ne postoji $l_k = \langle n_j, n_i \rangle$, inače $x_{j,i} = 0$. Moguće je da ćelija $x_{j,i}$ ima vrijednost različitu od $\{0, -1, 1\}$, ali u tom slučaju učestalost matrica postaje atribut-incidencija matrica Z s ćelijama definiranim kao $z_{i,j}$.

Dohvaćajući mrežnu perspektivu, a ne pojedinačne odnose, nudi se značajan uvid uz povećani trošak uslijed složenosti. Kako se nositi sa složenošću, transportni sustav je definiran kao niz žarišnih mreža koje sadrže tijekomove ljudi, vozila i materijala.

Struktura i ponašanje mreže temelji se na lokalnim interakcijama među sudionicima [146]. Unatoč jednostavnosti ideje i definicije, postoje dobri teoretski razlozi za vjerovanje da ta osnovna svojstva svih mreža imaju vrlo važne posljedice.

Drugo, blisko su povezani, a pristup u ovom radu ima veze s idejom hijerarhije u mreži. Razina hijerarhije u mreži je usko povezana s ponašanjem sudionika obuhvaćenih u strukturi mreže.

Veličina mreže je često vrlo važna. Za mrežu koja se sastoji od nekoliko sudionika može se pretpostaviti postojanje svih međusobnih veza. Za mrežu koja se sastoji od tisuća sudionika, bilo bi teško da svaki sudionik ima veze prema svima u mreži [146].

9.2. Metrika

Veličina je kritična za strukturu mreže zbog ograničenih resursa i kapaciteta koju svaki sudionik troši za izgradnju i održavanje veza. Kako mreža postaje sve veća, gustoća – kao udio svih prisutnih veza, postaje sve manja. Gustoća veza u mreži se definira kao kvocijent veza, a također i svih mogućih veza u mreži. Formule za gustoću mreže je:

$$d_n = \frac{\sum_{i=1}^g d(n_i)}{g}, \quad (9.1)$$

uz standardnu devijaciju od:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g (d(n_i) - \bar{d}_n)^2}{g}}. \quad (9.2)$$

Standardna devijacija gustoće je mjera ujednačenosti veza u mreži. Varijabilnost stupnjeva čvorova znači, da se sudionici u predstavljenim čvorovima razlikuju u aktivnosti, mjereno prema broju veza. Potpuno zasićene mreže, tj. one gdje su prisutne sve logično moguće veze su empirijski rijetke, posebno tamo gdje je u populaciji više sudionika

Druga mjera strukture je stožernost (Centrality) [146]. Stožernost se odnosi na ukupne integracije i kohezije mrežnog grafa. Stožernost pokazuje u kojoj mjeri je graf organiziran oko svoje središnje točke.

Primjene uključuju identificiranje najutjecajnije osoba(e) u društvenoj mreži, ključnih infrastrukturnih čvorova u internetu ili gradskim prometnim mrežama i super-rasprostiranje bolesti. Stožernost je koncept koji je razvijen prvotno u analizi društvenih mreža, pa mnogi korišteni izrazi odražavaju njihovo sociološko podrijetlo. Postoji nekoliko različitih mjera stožernosti u mreži, budući da su vrlo važan alat u analizi mreža. U društvenim, biološkim, komunikacijskim i transportnim mrežama, podjednako je važno poznavati relativnu strukturnu izrazitost čvorova ili veza kojom se identificiraju ključni elementi u mreži. Ograničenja mjere stožernosti očituju se u činjenici da, ako su optimalne za jednu primjenu, u drugoj primjeni su često suboptimalne. Zbog toga se pojavljuje više mjera stožernosti.

U analizi socijalnih mreža dvije najčešće korištene mjere su stožernost (stupanj) posredništva (betweenness centrality) i stožernost blizine (closeness centrality). Oni se temelje na pretpostavci da se za prijenos među čvorovima koriste najkraći putovi. Dok stupanj posredništva mjeri najkraće putove koji prolaze kroz čvor, stožernost blizine je obrnuto proporcionalna vrijednost prosječne udaljenosti od drugih vrhova.

Čvorovi koji imaju više veza posjeduju veće mogućnosti, jer imaju mogućnost izbora. Autonomija ih čini manje ovisnim o bilo kojem drugom čvoru, pa time postaju snažniji. Čim je više veza povezano s čvorom tada ima i više snage (moći). Mjera stožernosti svojstvenih vektora uzima zato ne samo broj povezanih čvorova, već i njihove težine.

Osnovna mjera stožernosti je stožernost (stupanj) čvora (degree centrality) i predstavlja broj čvorova koji se mogu dosegnuti iz naznačenog čvora.

Jednadžba za izračun stožernosti čvora je:

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_k p_i) \quad (9.3)$$

uz $a(p_k, p_i) = 1$ ako su p_k i p_i povezani, odnosno 0 ako nisu povezani.

Snaga (moć) se može postići pomoću izravnog pregovaranja i razmjene, ali može također doći kao posljedica djelovanja poput “referentne točke”, prema kojoj se drugi akteri sami presuđuju, ili time što je središte pozornosti s utjecajem na velik broj sudionika. Čvorovi koji najkraćim putem dolaze do većeg broja drugih ili koji su dohvatljivi od strane drugih sudionika imaju favoriziranu poziciju. Ta strukturna prednost može se prevesti u moć, odnosno snagu unutar mreže.

Jednadžba za izračun stožernost blizine jednaka je:

$$\bar{C}_{DU}(p_k) = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n u(p_k p_i)} \quad (9.4)$$

gdje su:

$d(p_i, p_k)$ broj čvorova koji povezuju p_i i p_k .

Čvor koji se nalazi između ostalih parova čvorova, i djeluje kao posrednik ima velike prednosti. Ukoliko je jedini posrednik i jedina moguća veza između druga dva čvora, onda ima mogućnost potpuno prekinuti vezu među njima.

Stožernost posredništva je mjera koja mjeri koliko najkraćih veza ima preko čvora za koji se izračunava. Formula je:

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{g_{ij}(p_k)}{g_{ij}} \quad (9.5)$$

gdje je: g_{ij} – broj najkraćih veza između p_i i p_j .

Najsloženija mjera stožernosti je stožernost svojstvenog vektora koja predstavlja mjeru utjecaja pojedinog čvora u mreži. Ona se temelji na činjenici da povezivanje s čvorovima visoke stožernosti ima veći utjecaj od povezivanja s čvorovima koji imaju malu stožernost.

Phillip Bonacich je predložio modifikaciju pristupa stožernosti, koja je potom široko prihvaćena kao superiorna u odnosu na izvorne mjere [7]. Bonacicheva je ideja,

kao i većina dobrih, prilično jednostavan. Izvorni pristup stožernosti tvrdi da su moćniji čvorovi s više veza, jer oni mogu izravno utjecati na više drugih aktera. To ima smisla, ali isti stupanj nužno ne znači jednaku važnost. Bonachich je predložio da su stožernost i moć (snaga) funkcije veza pojedinog čvora sa svojim okruženjem. Stožernost svojstvenog vektora pokušava generalizirati mjeru stožernosti, ugrađujući važnost ostalih čvorova s kojima je povezan čvor za koji se računa.

Formula za stožernost svojstvenog vektora je

$$Ce_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in M(i)} p_j = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n A_{j,i} Ce(x_j), \quad (9.6)$$

gdje su: $M(i)$ skup čvorova povezanih s čvorom i , λ je konstanta, $Ce(v_i)$ je stožernost svojstvenog vektora za čvor x_i , a A je matrica blizine (adjacency matrix) grafa.

Uz vektor stožernosti svih čvorova Ce , jednadžba se može zapisati u vektorskom obliku:

$$\lambda C_e = A^T C_e \quad (9.7)$$

To znači da je C_e svojstveni vektor matrice blizine A^T (ili A za neusmjereni graf, budući da je za neusmjereni graf $A = A^T$), a λ je svojstvena vrijednost.

Jedan od najčešćih interesa za analitiku mrežnih struktura je postojanje “podstruktura” koje mogu biti prisutne u mreži. Parovi, trijade, i krugovi se mogu shvatiti kao podstrukture. Mreže su izgrađene ili su se razvile iz kombiniranje pojedinih parova i trijada u veće, ali još uvijek usko povezane strukture [3].

Identifikacija kohezivnih područja mreže bio je cilj mnogih analiza mreža. Tehnike su preuzete iz multivarijantne statističke analize (MDS, grupiranje i sl.), kao i iz teorije grafova.

Mnogi od pristupa razumijevanju strukture mreže naglašavaju gustoću veza koja se širi i razvija veće “klike” ili podskupine. Ideja “klike” je relativno jednostavna. U najopćenitijem nivou, klika je podskup mreže u kojoj su čvorovi pobjliže i intenzivnije međusobno povezani od drugih čvorova u mreži. Klika je definirana kao maksimalno kompletni podgraf.

Druga mjera se zove višedimenzionalno skaliranje. Pojednostavljeno, svrha

multidimenzionalnog skaliranja (MDS) je pružiti vizualni prikaz uzorka bliskosti, tj. sličnosti ili udaljenosti između objekata u skupu. Cilj je MDS algoritma staviti svaki objekt u N-dimenzionalnom prostoru tako, da se među objektima očuva udaljenost što je više moguće. Svakom se objektu potom dodjeljuju koordinate svake od N dimenzija. Cilj MDS analize je pronaći skup vektora u p-dimenzionalnom prostoru tako da matrica euklidske udaljenosti među njima odgovara što je više moguće određenoj funkciji ulazne matrice prema kriteriju funkcije nazvane stres, koja predstavlja rezidualni zbroj kvadrata udaljenosti [2].

Pojednostavljeni pogled algoritma je kako slijedi:

1. Dodjela točaka proizvoljnim koordinatama u p-dimenzionalni prostor.
2. Izračunavanje euklidske udaljenosti između svih parova točaka, kako bi se dobilo Dhat matricu.
3. Uspoređivanje Dhat matrice s ulaznom D matricom procjenom funkcije stresa. Što je vrijednost manja, to je veća podudarnost među njima.
4. Podešavanje koordinate svake točke u smjeru koji daje najveću funkciju stresa.
5. Ponavljanje korake 2 do 4 do stresa dok se ne dobije najmanji iznos stres funkcije.

Normalno, MDS se koristi za pružanje vizualnog prikaza kompleksnog skupa odnosa koji mogu biti vidljivi na prvi pogled. Kako se najčešće koristi papir kao dvodimenzionalni objekt, optimalna konfiguraciju točaka grafa se najčešće radi u 2-dimenzionalnom prostoru.

9.3. Model analize prometne mreže upotrebom socijalnih mreža

Analiza prometnih mreža je aktivno područje istraživanja. De Montis et al., proveli su analizu za međugradske prometne mreže koja uključuje 375 gradova te 1,6 milijuna putnika. U svom radu, za model su koristili ponderiranu mrežu prometnih tokova među gradovima s nekoliko svojstava primjerice, ponderirana distribucija stožernosti, klaster koeficijenata, heterogenost prigradskih tijekova i sl. Čišić et al. je analizirao linijsku pomorsku prometnu mrežu, dok je Guimera et al. analizirao prometnu mrežu za zračni

promet. Njegova istraživanja su zanimljiva jer pokazuju da se prometne mreže razvijaju organski vrlo slično socijalnim mrežama. Za potrebe gradskog planiranja i izgradnje, Sevtsuk i Mekonnen su osim tradicionalnih predložili niz mjera mrežnih stožernosti, uključujući stožernost dosega i stožernost težinskih udjela u svrhu utvrđivanja mjere za jednostavnost dosega druge lokacije iz trenutnog položaja unutar grada.

Za potrebe analize bit će potrebno definirati novu mjeru stožernosti – stožernost protoka, koja bi trebala zadovoljiti potrebe analize gradskih prometnih mreža.

Model definira protok iz izvora x_i u ponor x_j . Protok je ograničen samo kapacitetom kanala i s još dva uvjeta: (1) protok iz x_i mora biti jednak protoku u x_j , i (2) izlazni protok iz svake točke x_k , koja bilo kojim posrednim putem povezuje x_i i x_j , mora biti jednak ulaznom protoku u tu točku.

Kod proširenja modela stožernosti za vrijednosne grafove čvor x_i stoji između drugih čvorova do te mjere da je maksimalni protok između tih točaka ovisan o x_i . Ako je m_{jk} maksimalni protok između čvorova x_j i x_k , a $m_{jk}(x_i)$ maksimalni protok iz x_j u x_k , koji prolazi čvorom x_i , onda je mjera maksimalnog protoka između bilo kojih dvjua čvorova koji prolaze kroz čvor x_i , uz $j < k$ i $i \neq j \neq k$:

$$C_v(x_i) = \sum_j^n \sum_{<k}^n m_{jk}(x_i). \quad (9.8)$$

Ako se protok podijeli s ukupnim protokom u mreži gdje x_i nije ni izvor ni ponor, dobit ćemo dio ukupnog tijeka koji ovisi o x_i , te predstavlja stožernost protoka:

$$C_p(x_i) = \frac{\sum_j^n \sum_{<k}^n m_{jk}(x_i)}{\sum_j^n \sum_{<k}^n m_{jk}}. \quad (9.10)$$

Za ovako definiranu stožernost možemo definirati novi ekološki utjecaj LPG sustava modelom rasipanja potražnje, analizom socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

Za definiciju ekološkog utjecaja u mrežnom sustavu pretpostavimo sljedeći model:

$$\begin{aligned} P_1 &= \xi_{12} P_2 + \xi_{13} P_3 + \dots + \xi_{1n} P_n + \mu_1 \\ P_2 &= \xi_{21} P_1 + \xi_{23} P_3 + \dots + \xi_{2n} P_n + \mu_2 \\ P_n &= \xi_{n1} P_1 + \xi_{n2} P_2 + \dots + \xi_{nn} P_n + \mu_n, \end{aligned} \quad (9.11)$$

gdje su: p ekološki utjecaj, a ξ_{ij} je parametar koji predstavlja matricu ekološkog utjecaja uslijed strukturnog položaja pojedinog čvora u mreži, dok μ_i predstavlja ekološki utjecaj uslijed protoka vozila čvorom i .

Model se također u matričnoj formi može prikazati i kao:

$$P = \xi P + \mu. \quad (9.12)$$

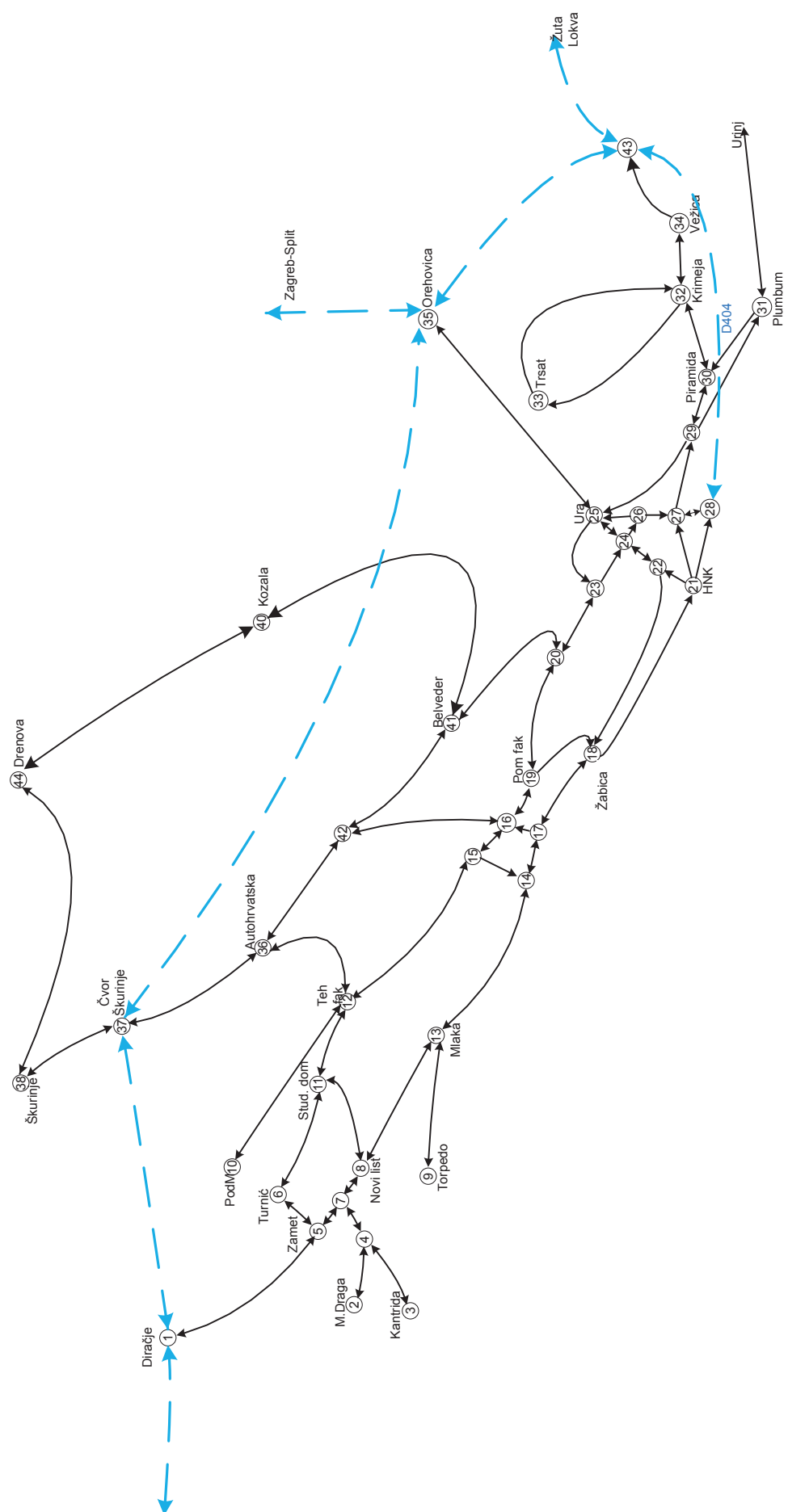
Uz pretpostavku da je ekološki utjecaj u čvoru i jednak zbroju ekoloških utjecaja drugih čvorova, umanjenih za faktor koji je obrnuto proporcionalan udaljenosti između čvorova i faktorom dobivenim iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila, odnosno

$$\xi_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} C_p(x_j) \psi, \quad (9.13)$$

gdje su d_{ij} – geodezijska udaljenost između čvorova i i j , C_p je stožernost protoka, dok je ψ faktor dobiven iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila iz poglavlja 7.

9.4. Primjena na modelu prometne mreže grada Rijeke

Graf osnovnih cesta u gradu Rijeci, prikazan je na slici 9.1. Točke predstavljaju raskrižja, koji u teoriji grafova predstavljaju čvorišta, dok su ceste linije koje ih povezuju. Za potrebe ove analize osnovne ceste i raskrižja u gradu Rijeci predstavljaju one ceste koje se nalaze na putu javnog prometa, dok su za čvorišta izabrana ona raskrižja kod kojih se spajaju ili razdvajaju linije gradskog prometa.



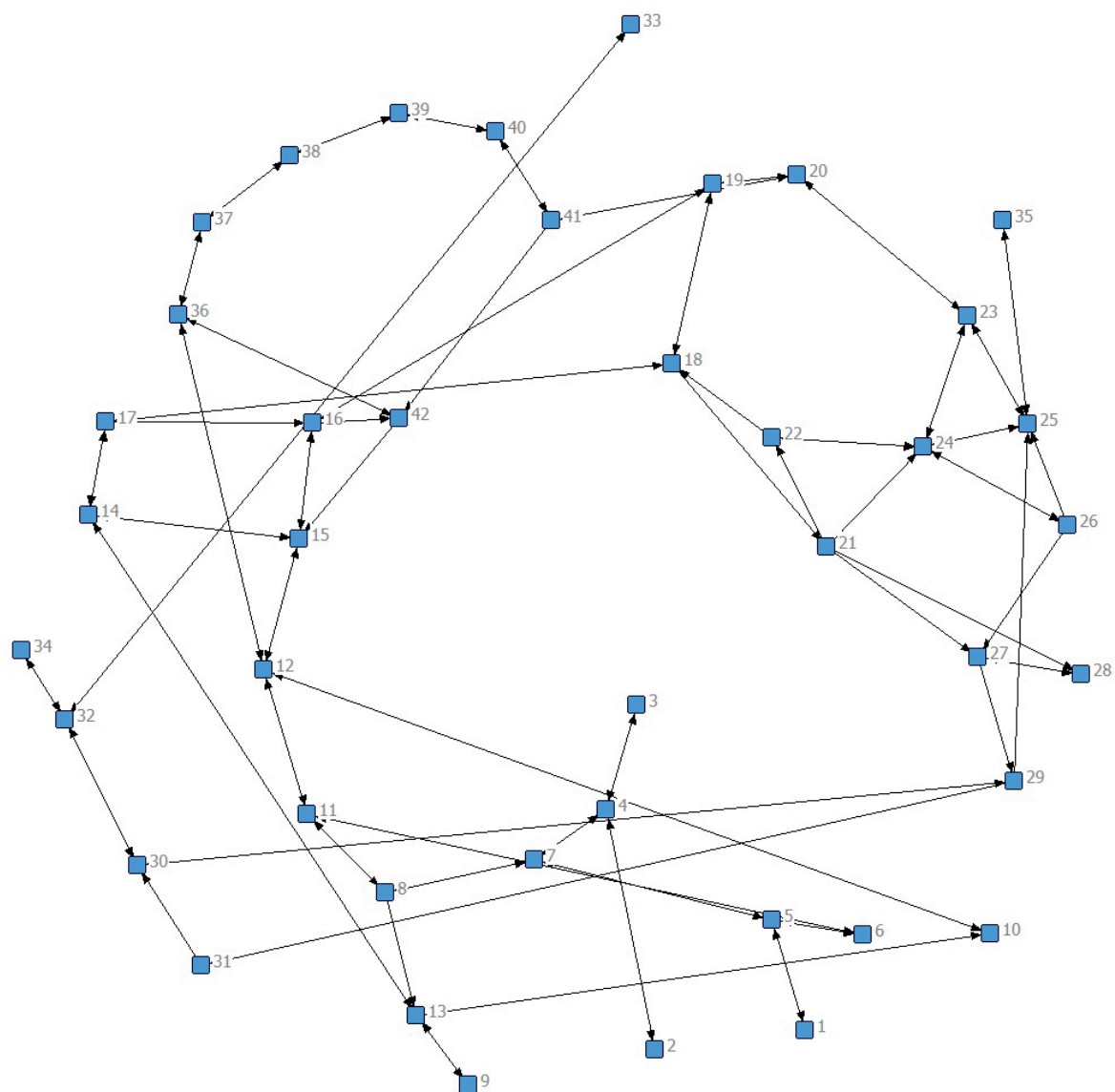
Slika 9.1. Pojednostavljeni model gradske mreže cesta u Rijeci

Osnovni podaci o mreži su:

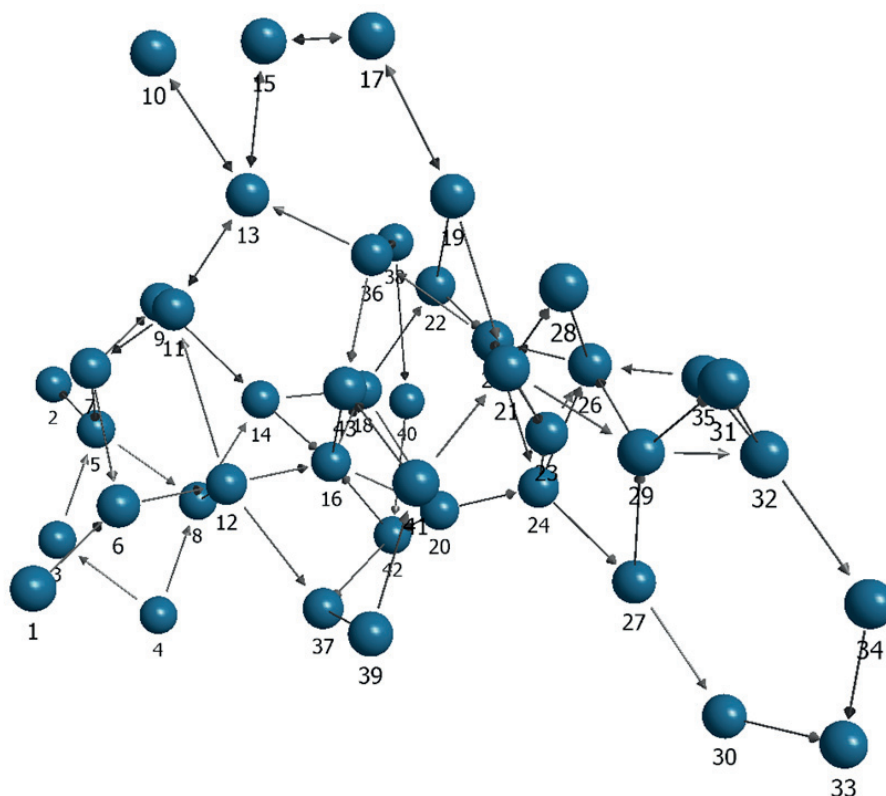
Broj čvorova: 23

Ukupni broj veza: 101 od mogućih 1722

Ukupna gustoća mreže je: 5,86 %



Slika 9.2. Prikaz pojednostavljenog modela gradske mreže cesta u Rijeci (izradio autor)



Slika 9.3. Trodimenzionalni prikaz mreže cesta u gradu Rijeci upotrebom mutidimenzionalnog skaliranja (MDS)

Iako su svi dijelovi mreže potpuno povezani, najveća udaljenost između čvorova je 15, odnosno od čvora 33 i 34 do čvorova 2 i 3 treba prijeći 15 čvorova. Prosječna udaljenost je 5,7 sa standardnom devijacijom od 3, odnosno prosječna udaljenost u mreži je 5,7 čvorova, što znači da je za prosječan put duž prometne mreže grada Rijeke potrebno prijeći skoro 6 raskrižja slika 9.4.



Slika 9.4. Razdioba udaljenosti između čvorova u modelu gradske mreže cesta u Rijeci

Dijagram udaljenosti koji definira faktore d_{ij} iz prethodnog poglavlja za cestovnu mrežu grada Rijeke prikazan je u tablici 9.1.

Tablica 9.1. Geodezijske udaljenosti među čvorovima za cestovnu mrežu grada Rijeke.

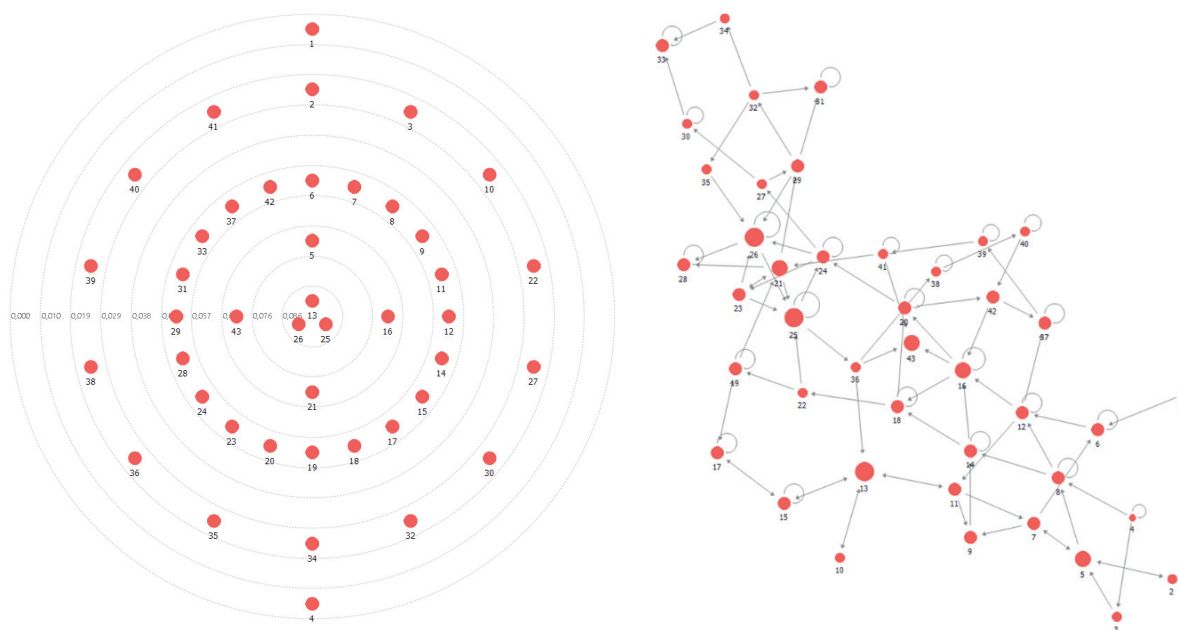
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
1	0	4	4	3	1	2	2	3	5	5	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	9	9	10	11	11	12	13	13	11	5	6	7	8	9	9	6
2	4	0	2	1	3	4	2	3	5	5	4	5	4	5	6	7	6	7	8	9	8	9	10	9	10	10	9	9	10	11	11	12	13	13	11	6	7	8	9	10	10	7
3	4	2	0	1	3	4	2	3	5	5	4	5	4	5	6	7	6	7	8	9	8	9	10	9	10	10	9	9	10	11	11	12	13	13	11	6	7	8	9	10	10	7
4	3	1	1	0	2	3	1	2	4	4	3	4	3	4	5	6	5	6	7	8	7	8	9	8	9	9	8	8	9	10	10	11	12	12	10	5	6	7	8	9	9	6
5	1	3	3	2	0	1	1	2	4	4	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	8	8	9	10	10	11	12	12	10	4	5	6	7	8	8	5
6	2	4	4	3	1	0	2	2	4	3	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6	7	8	7	8	8	9	8	8	9	10	10	11	12	12	9	3	4	5	6	7	7	4
7	2	2	2	1	1	2	0	1	3	3	2	3	2	3	4	5	4	5	6	7	6	7	8	7	8	8	7	7	8	9	9	10	11	11	9	4	5	6	7	8	8	5
8	3	3	3	2	2	2	1	0	2	2	1	2	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6	7	6	7	7	6	6	7	8	8	9	10	10	8	3	4	5	6	7	7	4
9	7	8	8	7	6	5	6	5	0	2	4	3	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6	7	6	7	7	6	6	7	8	8	9	10	10	8	4	5	6	7	8	7	5
10	5	6	6	5	4	3	4	3	5	0	2	1	4	3	2	3	4	5	4	5	6	7	6	7	7	8	7	7	8	9	9	10	11	11	8	2	3	4	5	6	6	3
11	3	4	4	3	2	1	2	1	3	2	0	1	2	3	2	3	4	5	4	5	6	7	6	7	7	8	7	7	8	9	9	10	11	11	8	2	3	4	5	6	6	3
12	4	5	5	4	3	2	3	2	4	1	1	0	3	2	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6	6	7	6	6	7	8	8	9	10	10	7	1	2	3	4	5	5	2
13	6	7	7	6	5	4	5	4	1	1	3	2	0	1	2	3	2	3	4	5	4	5	6	5	6	6	5	5	6	7	7	8	9	9	7	3	4	5	6	7	6	4
14	6	7	7	6	5	4	5	4	2	2	3	2	1	0	1	2	1	2	3	4	3	4	5	4	5	5	4	4	5	6	6	7	8	8	6	3	4	5	6	6	5	3
15	5	6	6	5	4	3	4	3	3	2	2	1	2	1	0	1	2	3	2	3	4	5	4	5	5	6	5	5	6	7	7	8	9	9	6	2	3	4	5	5	4	2
16	6	7	7	6	5	4	5	4	4	3	3	2	3	2	1	0	1	2	1	2	3	4	3	4	4	5	4	4	5	6	6	7	8	8	5	2	3	4	5	4	3	1
17	7	8	8	7	6	5	6	5	3	3	4	3	2	1	2	1	0	1	2	3	2	3	4	3	4	4	3	3	4	5	5	6	7	7	5	3	4	5	6	5	4	2
18	8	9	9	8	7	6	7	6	4	4	5	4	3	2	3	2	1	0	1	2	1	2	3	2	3	3	2	2	3	4	4	5	6	6	4	4	5	6	5	4	3	3
19	7	8	8	7	6	5	6	5	5	4	4	3	4	3	2	1	2	1	0	1	2	3	2	3	3	4	3	3	4	5	5	6	7	7	4	3	4	5	4	3	2	2
20	8	9	9	8	7	6	7	6	6	5	5	4	5	4	3	2	3	2	1	0	3	3	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	3	3	4	4	3	2	1	2
21	10	11	11	10	9	8	9	8	6	6	7	6	5	4	5	4	3	2	3	3	0	1	2	1	2	2	1	1	2	3	3	4	5	5	3	6	7	7	6	5	4	5
22	9	10	10	9	8	7	8	7	5	5	6	5	4	3	4	3	2	1	2	3	2	0	2	1	2	2	3	3	4	5	5	6	7	7	3	5	6	7	6	5	4	4
23	9	10	10	9	8	7	8	7	7	6	6	5	6	5	4	3	4	3	2	1	4	2	0	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	7	2	4	5	5	4	3	2	3
24	10	11	11	10	9	8	9	8	6	6	7	6	5	4	5	4	3	2	3	2	3	1	1	0	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	2	5	6	6	5	4	3	4
25	10	11	11	10	9	8	9	8	7	7	7	6	6	5	5	4	4	3	3	2	4	2	1	1	0	2	3	4	4	5	5	6	7	7	1	5	6	6	5	4	3	4
26	11	12	12	11	10	9	10	9	7	7	8	7	6	5	6	5	4	3	4	3	4	2	2	1	1	0	1	2	2	3	3	4	5	5	2	6	7	7	6	5	4	5
27	12	13	13	12	11	10	11	10	9	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	6	4	3	3	2	4	0	1	1	2	2	3	4	4	3	7	8	8	7	6	5	6
28	13	14	14	13	12	11	12	11	10	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	7	5	4	4	3	5	1	0	2	3	3	4	5	5	4	8	9	9	8	7	6	7
29	11	12	12	11	10	9	10	9	8	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	5	3	2	2	1	3	4	5	0	1	1	2	3	3	2	6	7	7	6	5	4	5
30	12	13	13	12	11	10	11	10	9	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	6	4	3	3	2	4	5	6	1	0	2	1	2	2	3	7	8	8	7	6	5	6
31	13	14	14	13	12	11	12	11	10	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	7	5	4	4	3	5	6	7	2	1	0	2	3	3	4	8	9	9	8	7	6	7
32	13	14	14	13	12	11	12	11	10	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	7	5	4	4	3	5	6	7	2	1	3	0	1	1	4	8	9	9	8	7	6	7
33	14	15	15	14	13	12	13	12	11	11	11	10	10	9	9	8	8	7	7	6	8	6	5	5	4	6	7	8	3	2	4	1	0	2	5	9	10	10	9	8	7	8
34	14	15	15	14	13	12	13	12	11	11	11	10	10	9	9	8	8	7	7	6	8	6	5	5	4	6	7	8	3	2	4	1	2	0	5	9	10	10	9	8	7	8
35	11	12	12	11	10	9	10	9	8	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	5	3	2	2	1	3	4	5	5	6	6	7	8	8	0	6	7	7	6	5	4	5
36	5	6	6	5	4	3	4	3	5	2	2	1	4	3	2	3	4	5	4	5	6	7	6	7	7	8	7	7	8	9	9	10	11	11	8	0	1	2	3	4	5	1
37	6	7	7	6	5	4	5	4	6	3	3	2	5	4	3	4	5	6	5	5	7	8	6	7	7	8	8	8	9	10	10	11	12	12	8	1	0	1	2	3	4	2
38	7	8	8	7	6	5	6	5	7	4	4	3	6	5	4	5	6	6	5	4	7	7	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	7	2	1	0	1	2	3	3
39	8	9	9	8	7	6	7	6	7	5	5	4	6	5	4	5	6	5	4	3	6	6	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	6	3	2	1	0	1	2	3
40	8	9	9	8	7	6	7	6	6	5	5	4	5	4	3	4	5	4	3	2	5	5	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	5	3	3	2	1	0	1	2
41	7	8	8	7	6	5	6	5	5	4	4	3	4	3	2	3	4	3	2	1	4	4	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	4	2	3	3	2	1	0	1
42	6	7	7	6	5	4	5	4	4	3	3	2	3	2	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6	6	7	6	6	7	8	8	9	10	10	7	1	2	3	4	5	5	0

Mjere stožernosti

Stožernost čvora je mjera koja definira broj linkova koji su povezani s čvorom (odnosno broj veza koje čvor ima). Stožernost čvora se dijeli na dvije vrijednosti: stožernost ulaza i stožernost izlaza, te je za primjer grada Rijeke prikazana u tablici. U gradu Rijeci vidljivo je da najveću stožernost imaju raskrižja br: 13, 25 i 26, vidljivo sa slike:

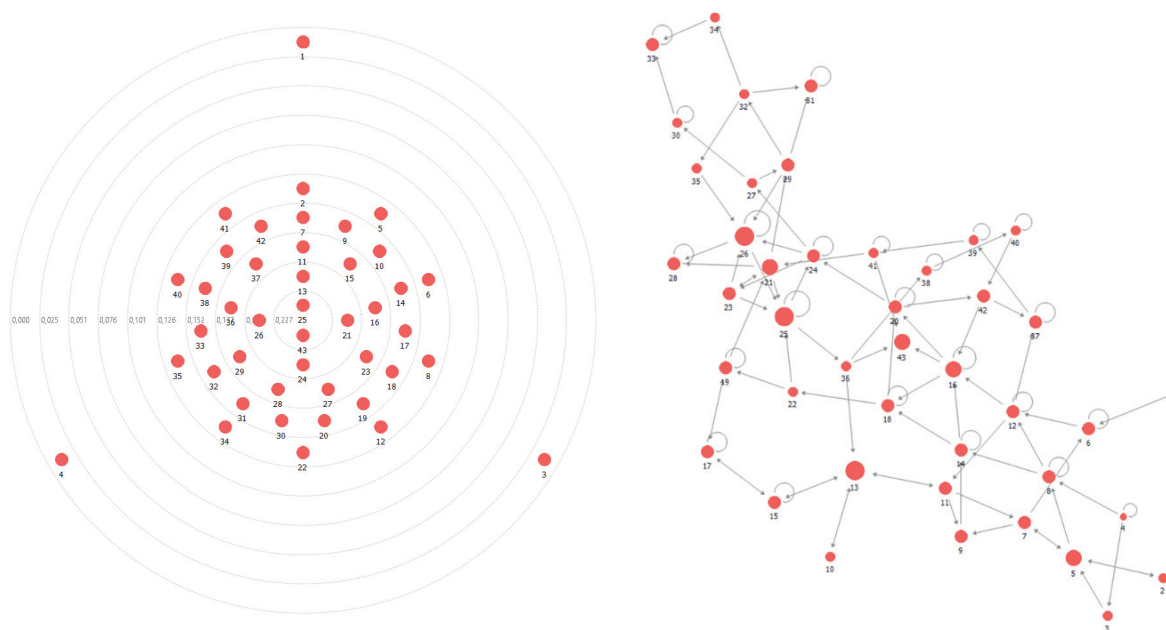
Tablica 9.2. Stožernost čvora za raskrižja grada Rijeke

Raskrižje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stožernost ulaza	0,024	0,024	0,024	0,073	0,073	0,049	0,073	0,073	0,024	0,024	0,073	0,098
Stožernost izlaza	0,024	0,024	0,024	0,073	0,073	0,049	0,073	0,049	0,024	0,049	0,073	0,098
Raskrižje	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Stožernost ulaza	0,073	0,073	0,073	0,098	0,073	0,073	0,073	0,073	0,098	0,049	0,073	0,098
Stožernost izlaza	0,073	0,073	0,098	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,024	0,049	0,073	0,122
Raskrižje	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Stožernost ulaza	0,073	0,049	0,024	0,073	0,049	0,024	0,073	0,024	0,024	0,024	0,073	0,049
Stožernost izlaza	0,024	0,073	0,049	0,049	0,073	0,024	0,073	0,024	0,024	0,024	0,073	0,049
Raskrižje	38	39	40	41	42	38	39	40	41	42		
Stožernost ulaza	0,049	0,049	0,049	0,073	0,049	0,049	0,049	0,049	0,073	0,049		
Stožernost izlaza	0,049	0,049	0,049	0,049	0,073	0,049	0,049	0,049	0,049	0,073		



Slika 9.5. Stožernost čvora za cestovnu mrežu grada Rijeke – kružni i MDS dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti čvora

Stožernost blizine je mjera koja prikazuje koliko je prosječno čvor blizu svim ostalim čvorovima. Udaljenost čvora je definirana kao zbroj ukupnih najkraćih puteva od ostalih čvorova, pa je stožernost blizine jednaka kao obrnuta vrijednost ukupne najkraće udaljenosti od ostalih čvorova. Ova mjera indicira da veća stožernost pojedinog čvora znači da čvor ima manju udaljenost od svih ostalih čvorova, odnosno da im je bliže. Rezultati izračuna stožernosti blizine za cestovnu mrežu grada Rijeke prikazani su na slici.



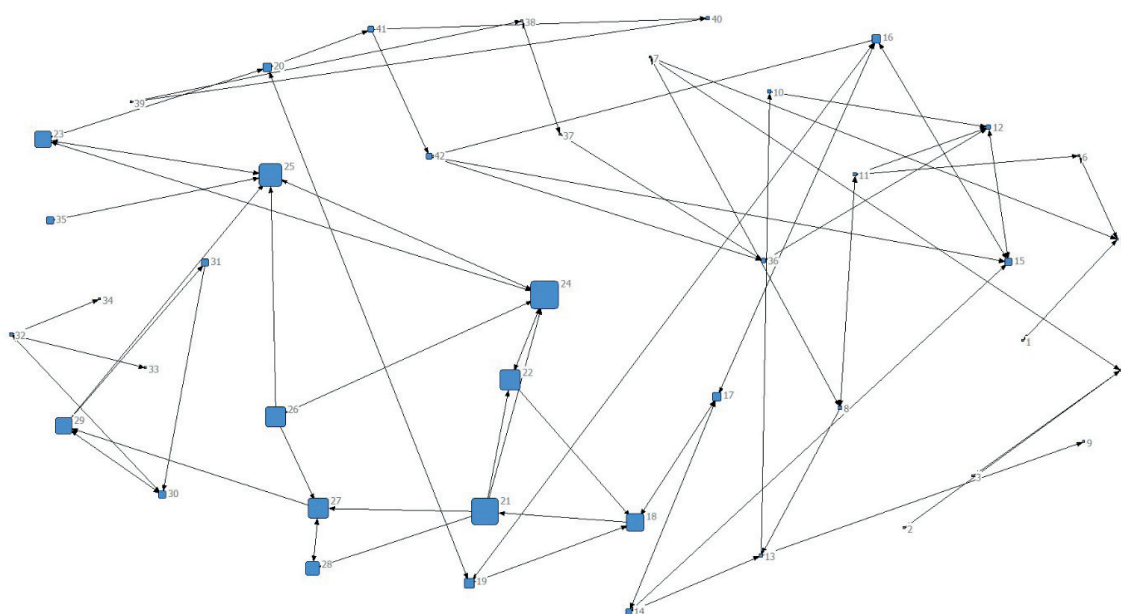
Slika 9.6. Stožernost blizine raskrižja grada Rijeke – kružni i MDS dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti čvora.

Iz slike 9.6. je vidljivo da je cestovna mreža grada Rijeke jako kompaktna, te da je stožernost blizine relativno jednoliko rasprostranjena, s izuzetkom raskrižja 1, 3 i 4, koji su znatno udaljeniji od ostalih čvorova.

Stožernost svojstvenog vektora koja prikazuje moć pojedinog čvora unutar mreže izračunata je za graf cestovne mreže grada Rijeke. Rezultati su prikazani u tablici 9.3. i na slici 9.7.

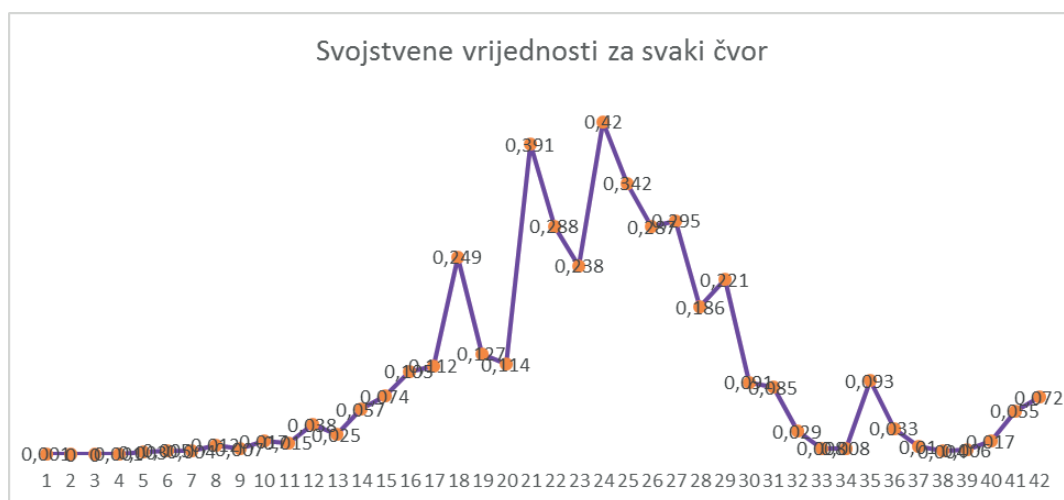
Tablica 9.3. Svojstvena vrijednost za svaki čvor

Čvor	Eigen	Čvor	Eigen	Čvor	Eigen	Čvor	Eigen	Čvor	Eigen	Čvor	Eigen
1	0,001	8	0,012	15	0,074	22	0,288	29	0,221	36	0,033
2	0	9	0,007	16	0,105	23	0,238	30	0,091	37	0,01
3	0	10	0,017	17	0,112	24	0,42	31	0,085	38	0,004
4	0,001	11	0,015	18	0,249	25	0,342	32	0,029	39	0,006
5	0,003	12	0,038	19	0,127	26	0,287	33	0,008	40	0,017
6	0,005	13	0,025	20	0,114	27	0,295	34	0,008	41	0,055
7	0,004	14	0,057	21	0,391	28	0,186	35	0,093	42	0,072



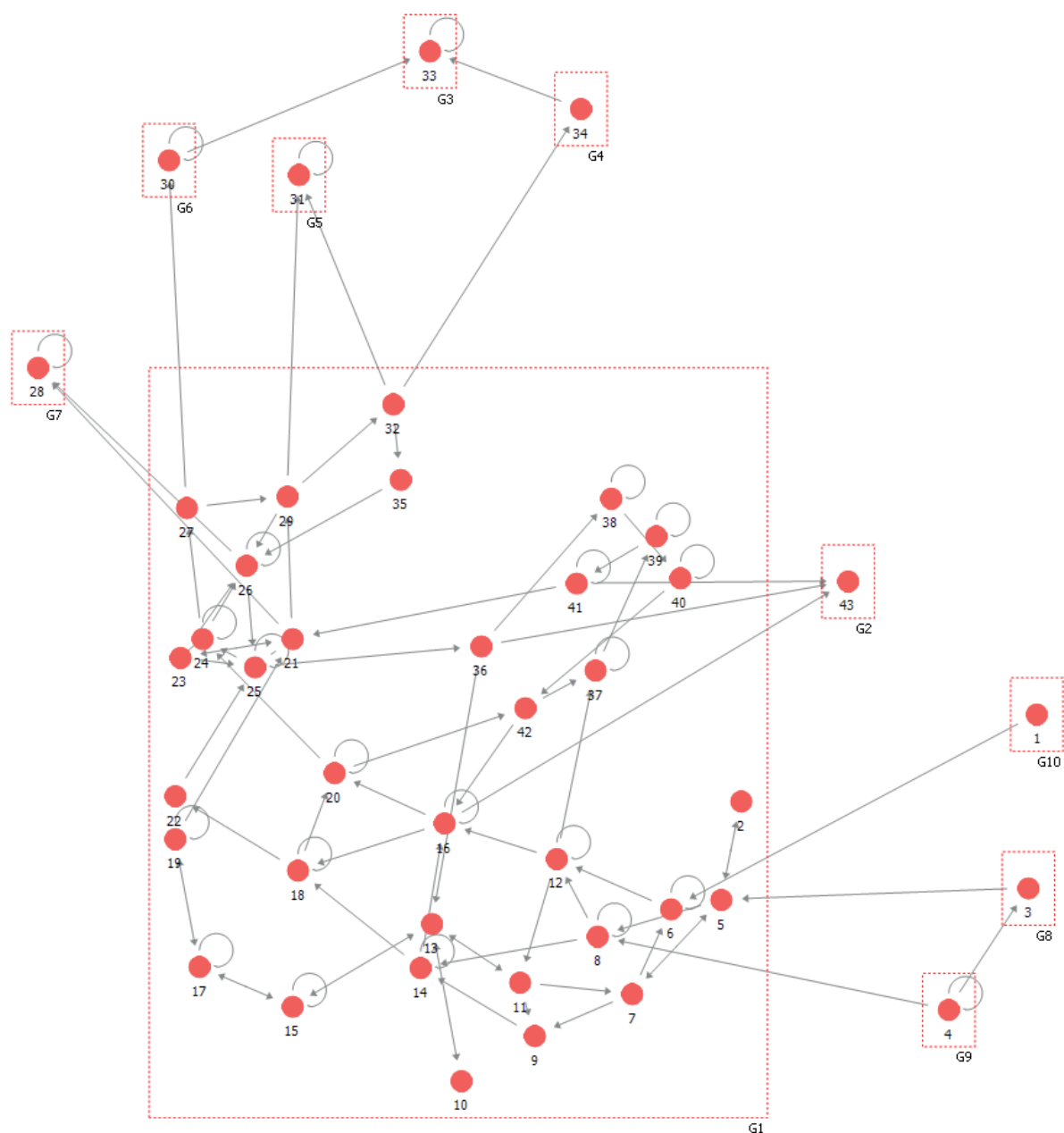
Slika 9.7. Cestovna mreža grada Rijeke – dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti svojstvene vrijednosti svakog čvora

Vidljivo je da najveću moć imaju raskrižja pod brojem 21 i 24, a slijede 25, 26, 27 i 22.



Slika 9.8. Graf svojstvenih vrijednosti za svaki čvor za cestovnu mrežu grada Rijeke

Jake i slabe veze su i relevantne i važne u interakcijama unutar socijalnih mreža. One obavljaju različite funkcije u odnosima, ali također mogu proširiti mrežu daleko izvan svog normalnog dosega. Poznavanje slabih i jakih veza unutar grafa može donijeti dalekosežne koristi. Kod usmjerenih mreža, kakav je slučaj za cestovni graf grada Rijeke, slaba veza je maksimalni podgraf kod kojeg je svaki od čvorova povezan poluputom (postoji samo jedan smjer veze), dok je jaka veza maksimalni podgraf u kojem su svi čvorovi povezani u oba smjera. Na slici 9.9. je prikazan dijagram jakih veza za cestovni sustav grada Rijeke, gdje je vidljivo grupiranje u jedan grozd.



Slika 9.9. Dijagram jakih veza za cestovni sustav grada Rijeke

Stožernost protoka za cestovni sustav grada Rijeke je izračunata i prikazana na slici 9.10, dok su normirane vrijednosti zapisane u tablici 9.4



Slika 9.10. Stožernost protoka za cestovni sustav grada Rijeke

Čvor	1	2	3	4	5	6	7
St. Protoka	0,0%	0,0%	0,0%	9,6%	6,6%	1,8%	15,7%
Čvor	8	9	10	11	12	13	14
St. Protoka	4,2%	0,0%	1,0%	20,3%	25,7%	9,6%	2,3%
Čvor	15	16	17	18	19	20	21
St. Protoka	1,5%	1,2%	1,2%	10,5%	0,7%	10,6%	4,7%
Čvor	22	23	24	25	26	27	28
St. Protoka	3,1%	6,7%	7,3%	22,0%	1,6%	15,8%	0,0%
Čvor	29	30	31	32	33	34	35
St. Protoka	26,5%	16,2%	0,0%	9,6%	0,0%	0,0%	0,0%
Čvor	36	37	38	39	40	41	42
St. Protoka	7,4%	5,7%	5,7%	5,7%	5,7%	6,6%	0,5%

Tablica 9.4. Normirane vrijednost stožernosti protoka za model cestovnog sustava grada Rijeke

Kada se jednadžba (9.13) koja glasi:

$$\xi_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} c_p(x_j) \psi \quad (9.13)$$

zamijeni s matičnim prikazom dobijemo:

$$\begin{bmatrix} P(1) \\ P(2) \\ \dots \\ P(n) \end{bmatrix} = \psi \begin{bmatrix} \frac{1}{d_{11}} & \frac{1}{d_{12}} & \dots & \frac{1}{d_{1n}} \\ \frac{1}{d_{21}} & \frac{1}{d_{22}} & \dots & \frac{1}{d_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{d_{n1}} & \frac{1}{d_{n2}} & \dots & \frac{1}{d_{nn}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_p(1) \\ C_p(2) \\ \dots \\ C_p(n) \end{bmatrix} + \psi \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_p(1) \\ C_p(2) \\ \dots \\ C_p(n) \end{bmatrix} \quad (9.14)$$

U jednadžbi se pojavljuje još jedan faktor, budući da matrica udaljenosti ima nultu vrijednost za udaljenost svakog čvora od samog sebe, pa je zato potrebno zbrojiti jediničnu matricu pomnoženu s vektorom stožernosti protoka.

Uvrštavanjem podataka iz tablica 9.1, 9.3 i 9.4 možemo izračunati koeficijente ekološkog utjecaja uslijed protoka vozila čvorovima modela grada Rijeke.

$$\begin{bmatrix} P(1) \\ P(2) \\ \dots \\ P(n) \end{bmatrix} = \psi \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{4} & \dots & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{4} & 0 & \dots & \frac{1}{9} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{7} & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0,523 \end{bmatrix} + \psi \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0,523 \end{bmatrix} =$$

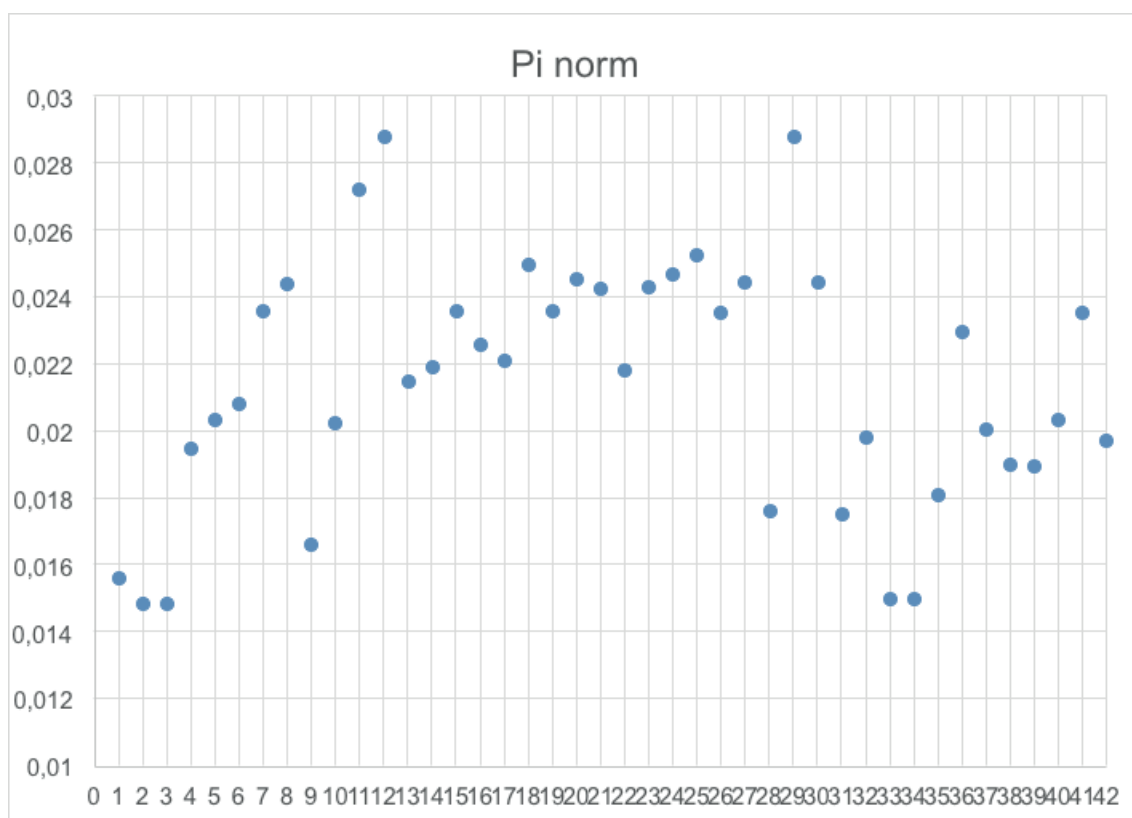
$$\begin{bmatrix} P(1) \\ P(2) \\ \dots \\ P(n) \end{bmatrix} = \psi \begin{bmatrix} P_{1 \text{ norm}} \\ P_{2 \text{ norm}} \\ \dots \\ P_{n \text{ norm}} \end{bmatrix}.$$

Izračunamo vektor Pnorm, kao umnožak D i Sv te ga normiramo tako da ukupni zbroj svih komponenta vektora iznosi 1.

Dobivena vrijednost predstavlja vektor ekološkog utjecaja u svakom raskrižju cestovnog sustava grada Rijeke i prikazana je u tablici 9.5, a iznosi za svako čvorište na slici 9.11.

Tablica 9.5. Vrijednosti vektora ekološkog utjecaja u svakom raskrižju modela cestovnog sustava grada Rijeke

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Pi	0,159447	0,15161	0,15161	0,198715	0,207639	0,212608	0,240559
Pi norm	0,015647	0,014878	0,014878	0,0195	0,020376	0,020864	0,023606
	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Pi	0,248898	0,169385	0,206622	0,277528	0,29363	0,219232	0,223599
Pi norm	0,024425	0,016622	0,020276	0,027234	0,028814	0,021513	0,021942
	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Pi	0,240479	0,230613	0,225643	0,254836	0,240707	0,250569	0,247584
Pi norm	0,023598	0,02263	0,022143	0,025007	0,023621	0,024589	0,024296
	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28
Pi	0,222592	0,247767	0,251689	0,257695	0,24016	0,249639	0,179941
Pi norm	0,021843	0,024314	0,024698	0,025288	0,023567	0,024497	0,017658
	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35
Pi	0,293739	0,24955	0,178744	0,202163	0,153074	0,153074	0,184403
Pi norm	0,028825	0,024489	0,01754	0,019839	0,015021	0,015021	0,018096
	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42
Pi	0,234226	0,204565	0,193702	0,193325	0,207548	0,240142	0,201192
Pi norm	0,022985	0,020074	0,019008	0,018971	0,020367	0,023565	0,019743



Slika 9.11. Prikaz vrijednosti vektora ekološkog utjecaja za svako raskrižje

Vrijednosti ovog vektora pomnože se s Ψ faktorom dobivenim iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila iz poglavlja 7.

10. ZAKLJUČAK

Za predviđanje utjecaja poticaja LPG-a, u svrhu procjene efikasnosti i uporabljivosti tijekom rada na doktorskoj disertaciji izrađeni su sljedeći modeli sustava koji opisuju ponašanje ključnih dionika u gradskom prometu:

1. Model ekoloških utjecaja na LPG
2. Model razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
3. Model rasipanja potražnje i socijalnih mreža te
4. Model rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

Na temelju definiranog problema i predmeta istraživanja, postavljena je radna hipoteza istraživanja koja glasi:

Upotrebom tehnologija i modela logistike pametnoga grada moguće je značajno smanjiti ekološki utjecaj urbane mobilnosti.

Ova hipoteza vrednovana je dokazivanjem pomoćnih hipoteza.

Prva pomoćna hipoteza koja je istražena u radu je:

PH 1: Analizom socijalnih utjecaja moguće je odrediti pokazatelje ekoloških utjecaja na LPG

Prvo su analizirani socijalni utjecaji ekoloških djelovanja na LPG. Definirani su osnovni faktori: goriva, poboljšanje učinkovitosti vozila, tehnologija vozila, učinkovitost prijevoza, upravljanje prometnom infrastrukturom, integracija prometnog sustava, zaštita i sigurnost, ekonomski aspekti promjene, širi utjecaj na okoliš, pravičnost i dostupnost, informiranost i osviještenost, infrastruktura, određivanje cijena i oporezivanje, zakoni (propisi), troškovi smanjenja emisija, mogućnosti za smanjenje socijalnih/političkih problema, drugi ekološki utjecaji socijalna jednakost, kvaliteta života, stvaranje novih poslova i konkurentnost.

Navedeni faktori istraženi su analizom rezultata ankete provedene tijekom rada na

europskom projektu REACT. U disertaciji je izvršena analiza rezultata, koji prikazuju koliki utjecaj, prema mišljenju više od 100 europskih znalaca iz područja prometa i logistike ima pojedini faktor.

Posebno je značajna činjenica da su znalci definirali kako učinkovitost prijevoza, tehnologija vozila i poboljšanje učinkovitosti vozila imaju glavni značaj. Prema stručnjacima, značaj transportnih goriva zauzima 9. mjesto, iako je opće mišljenje kako je promjena prijevoznih goriva glavna ideja zelenog prijevoza. Razlog je što stručnjaci zaključuju kako se u kratkom roku mogu dobiti bolji rezultati smanjenja stakleničkih plinova kroz poboljšanje prijevozne učinkovitosti, tehnologijom vozila te poboljšanjem ukupne učinkovitosti vozila.

Druga pomoćna hipoteza navodi :

PH 2: Upotrebom metode ispitivanja moguće je definirati model ekoloških utjecaja na LPG

Istraživanje je pokazalo veliku korelaciju između većine faktora u modelu, pa se pribjeglo pokušaju minimizacije broja faktora u modelu upotrebom metode određivanja glavnih čimbenika. No, rezultati su pokazali da iako su svi faktori visoko korelirani, nije ih moguće smanjiti, jer sve svojstvene vrijednosti ekstenzivno uključuju sve faktore. Drugim riječima, ovim je potvrđeno da su izabrani faktori u modelu, iako jako korelirani, nezavisni i da nijedan faktor nije moguće zamijeniti ikakvom kombinacijom drugih faktora.

Treća pomoćna hipoteza je:

PH 3: Upotrebom metode klasifikacije i rudarenja podataka moguće je otkriti hijerarhijsku strukturu faktora ekoloških utjecaja na LPG

Faktori iz prethodnog modela su bili neklasificirani i nije se mogla odrediti njihova međusobna veza. Korelacija, koja je prethodno navedena, nije bila dovoljan čimbenik za hijerarhijsku klasifikaciju faktora. Uslijed toga, pribjeglo se upotrebi rudarenja podataka, metodom Bayesove klasifikacije. Upotrebom ove metode dobiven je model hijerarhijske strukture ekoloških utjecaja i faktora.

Istovremeno metodom rudarenja podataka koji su prikupljeni na ekoestu pri tehničkom

pregledu, metodom CHAD analizirana je zavisnost podataka. Kao zavisne nepoznanice postavljeni su rezultati mjerenja na ekotestu, količine CO, CO₂, O₂ i faktor zraka lambda, dok su ulazni podaci bili vrsta motora, godina proizvodnje, kilometraža, snaga i zapremina motora. Ishod procesa rudarenja podataka je očekivano pokazao da osnovna podjela na grane u stablu ovisi primarno o vrsti motora. U sljedećem poglavlju prikazani su puni rezultati koji prikazuju utjecaj primarnih faktora: vrsta motora, godina proizvodnje, kilometraža, snaga i zapremina motora na rezultate mjerenja na ekotestu.

Zanimljivi su rezultati koji prikazuju da za benzinske motore OTTO-REG-kategorije Euro V i Euro IV rezultati za sva mjerenja na ekotestu ovise isključivo o godini proizvodnje. Prijelomna godina (ona kod koje dolazi do znatne promjene u rezultatima testa) je 2008 kod Euro V i 2007 kod Euro IV motora. Za motore EURO III do promjene dolazi kad prijeđena kilometraža prijeđe približno 94 000 km, te zatim 162 000 km. Za motore kategorije Euro II rezultati ekotesta ovise o godini proizvodnje (prijelomi kod 1999, 1998 i 1996 godine, te nakon toga nakon 162 000 km, 190 000 km, 162 000 i 230 000 km respektivno).

Četvrta pomoćna hipoteza je :

PH 4: Statističkom analizom moguće je definirati modele razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila

U slučaju podataka o vozilima, za potrebe budućih istraživanja upotrebom simulacijskih modela te upotrebom statističkih računalnih alata određene su razdiobe za snagu automobila, obujam motora, masu automobila, prijeđene kilometre i starost vozila. Za svaki parametar izrađena je prvo osnovna statistička analiza, pa su se zatim definirale razdiobe te su procijenjeni parametri svake razdiobe. Upotrebom testova slaganja posebice Kolmogorov-Smirnovog testa za svaki parametar su izabrane po dvije razdiobe koje su imale najbolji rang u testovima. Rezultati su prikazani u nastavku.

Svi prikazani rezultati pokazuju da su slaganja izabrane razdiobe i stvarnih podataka s pouzdanošću većom od 95 %.

Istodobno je na osnovi dostupnih podataka i primjenjivih metoda, izrađen model izračuna emisije štetnih i stakleničkih plinova na mikrolokaciji.

Peta pomoćna hipoteza je:

PH 5: Primjenom analize socijalnih mreža moguće je analizirati strukturu prometne mreže grada

Socijalne mreže pružaju snažnu apstrakcije strukture i dinamike različitih vrsta mreža. Analiza socijalnih mreža postala je moćna metodologija koja nadopunjuje standardne statističke pristupe. Istraživanjem literature je potvrđeno da se prometne mreže razvijaju organski vrlo slično socijalnim mrežama. U radu su definirane različite mjere koje pomažu u analizi strukture prometne mreže grada. Posebno se to odnosi na mjere stožernosti, koje su se pokazale značajnim u raščlambi socijalnih mreža za potrebe analize gradske prometne strukture. Ovdje se posebno navodi izračun stožernosti svojstvenog vektora koji upućuje na strukturnu određenost propusnosti pojedinih raskrižja u gradu. Ovom metodom moguće je kod izrade strukture prometa prethodno utvrditi kritična područja i raskrižja, te s promjenom tokova u mreži smanjiti strukturni pritisak na pojedina područja.

Šesta pomoćna hipoteza je :

PH 6: Moguće je izgraditi model rasipanja potražnje i upotrebe mreža metodama analize socijalnih mreža

Za potrebe povezivanja modela rasipanja potražnje na cijelu gradsku prometnu mrežu s metodama analize socijalnih mreža definirana je nova mjera stožernosti – stožernost protoka, koja bi trebala zadovoljiti potrebe analize gradskih prometnih mreža i omogućiti povezivanje s modelima rasipanja potražnje i modela socijalnih mreža.

Sedma pomoćna hipoteza je :

PH 7: Moguće je modelirati ekološki utjecaj LPG sustava modelom rasipanja potražnje, analizom socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila

Izrađen je model ekoloških utjecaja LPG sustava rasipanjem potražnje duž cijele prometne mreže objedinjene s metodologijom socijalnih mreža i razdiobom ekološkog utjecaja vozila. Model je izrađen uz pretpostavku da je ekološki utjecaj u čvoru i jednak zbroju ekoloških utjecaja drugih čvorova, umanjenih za faktor koji je obrnuto proporcionalan udaljenosti između čvorova i faktorom dobivenim iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja.

Osma pomoćna hipoteza je :

PH 8: Rezultati će se potvrditi na modelu LPG-a grada Rijeke

Svi rezultati su potvrđeni na modelu prometa grada Rijeke. Izrađen je model izračuna emisije štetnih i stakleničkih plinova temeljen na podacima s ekotesta. Pripremljen je pojednostavljeni model cestovne mreže za grad Rijeku, te su izračunati osnovni čimbenici, posebice upotrebom socijalnih mreža. Izračunata je stožernost svojstvenog vektora i rezultati su grafički prikazani, tako da je moguće vrlo brzo otkriti kritična područja u prometnom sustavu grada Rijeke. Prema modelu objedinjavanja rasipanja potražnje i metode socijalnih mreža izračunat je vektor stožernosti protoka. Na kraju je izračunat vektor ekološkog utjecaja za svaki pojedini čvor. U modelu je rabljena matrica udaljenosti temeljena na analizi socijalnih mreža, ali bi za praktičnu upotrebu bilo bolje koristiti stvarnu matricu udaljenosti pojedinih čvorova (raskrižja) gradske prometne mreže.

Temeljem dokaza svih pomoćnih hipoteza smatra se da je istovremeno potvrđena radna hipoteza istraživanja.

U radu je potvrđen očekivani znanstveni doprinos istraživanja definiran postavljenim i verificiranim modelima :

1. ekoloških utjecaja na LPG
2. razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
3. rasipanja potražnje i socijalnih mreža
4. rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

U odnosu na primjenu rezultata znanstvenih istraživanja očekuje se da će dobiveni rezultati utjecati na proces donošenja odluka na taktičko-operativnoj razini planiranja i modeliranja LPG-a.

Ukupni znanstveni doprinos u teorijskom smislu odnosi se na:

- postavljanje sustavnog prikaza dosadašnjih metoda i rezultata istraživanja na području LPG
- razvoj znanstvene misli o upravljanju tehnološkim procesima i donošenju odluka na strateškoj, taktičkoj i operativnoj razini LPG-a.

- Izradi modela:
 - ekoloških utjecaja na LPG
 - razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila
 - rasipanja potražnje i socijalnih mreža
 - rasipanja potražnje, socijalnih mreža i razdiobom vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila.

Očekivani doprinos u aplikativnom smislu odnosi se na podršku odlučivanju prilikom izrade modela, zasnivanja i analize LPG-a.

LITERATURA

1. Alebić-Juretić Ana; *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere of Rijeka (Croatia)*; Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 3, pp. 89-94, 1994.
2. Alhajj, Reda, Rokne, Jon (Eds); *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining*, 2014, Springer Reference
3. Batagelj, Vladimir; Doreian, Patrick; Keyzer, Natasa; Ferligoj, Anuška; *Understanding Large Temporal Networks and Spatial Networks: Exploration, Pattern Searching, Visualization and Network Evolution*, ISBN: 978-0-470-71452-2, 464 pages, November 2014. Wiley Series in Computational and Quantitative Social Science.
4. Bertsch, A. and Domes, W.; (1969), *CO₂-Exchange in amphistomatic leaves: I. The influence of the distribution of stomata on both leaf surfaces upon CO₂-transport*, Planta 85(2): 183-193.
5. Bigazzi, A. Y. and Figliozzi, M. A.; (2012). *Congestion and emissions mitigation: A comparison of capacity, demand, and vehicle based strategies*; Transportation Research, Part D (Transport and Environment) 17(7): 538–547.
6. Bizon, N., Dascalescu, L.; and Mahdavi, N.; *Tabatabaei Autonomous vehicles: intelligent transport systems and smart technologies*.
7. Bonacich, Phillip; (1987); *Power and Centrality: A Family of Measures*, American Journal of Sociology, Vol.92, No. 5 (Mar., 1987), pp.1170-1182 The University of Chicago Press.
8. Bošnjak Ivan; *Intelligentni transportni sustavi 1*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
9. Braess, Von Dietrich; *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung*, available; 1968. <http://homepage.ruhr-unibochum.de/dietrich.braess/paradox.pdf>
10. Brand, C, Tran, M and Anabk J. (2012) *The UK transport carbon model: An Integrated life cycle approach to explore low carbon futures*, Energy Policy/ 41, pp 107-24
11. Brauner, C. J., H. Thorarensen, P. Gallagher, A. P. Farrell and D. J. Randall (2000). *CO₂ transport and excretion in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) during graded sustained exercise*; Respir Physiol 119(1): 69-82.
12. Brinkschulte, H., E. Deksnis, A. S. Bransden, IEA and OECD (2001). *Saving oil and reducing CO₂ emissions in transport, options & strategies*. Paris Cedex, IEA.
13. Browne, M, Allen, J and Leona rdl, (2011) *Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London*, IATSS Research, 35 (1), pp 1-6
14. Cacciabue, P. C. (2007); *Modelling driver behaviour in automotive environments: critical issues in driver interactions with intelligent transport systems*. New York, Springer.
15. Calnan, P., J. P. Deane and B. P. Ó Gallachóir (2013); *Modelling the impact of EVs on electricity generation, costs and CO₂ emissions. Assessing the impact of different charging regimes and future generation profiles for Ireland in 2025*, Energy Policy 61: 230–237.
16. Carrington, E. G., Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. and Water Research Centre (Great Britain) (1998). *Review of the scientific evidence relating to the controls on the agricultural use of sewage sludge: final report to the Department of the Environment, Transport and the Regions, Department of Health, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, and UK Water Industry Research Limited*. Marlow, Buckinghamshire, WRC.
17. Changzheng, L., D. L. Greene and D. S. Bunch (2014); *Vehicle Manufacturer Technology Adoption and Pricing Strategies under Fuel Economy/Emissions Standards and Feebates*, Energy Journal 35(3): 71–89.

18. Chen, L., B. Zhang, H. Hou and A. Taudes (2013); *Carbon trading system for road freight transport: the impact of government regulation*, Advances in Transportation Studies: 49–60.
19. Ciemat and OECD (2007); *Cutting transport CO₂ emissions: what progress?* Paris, OECD.
20. Ciruber, 1 (2014); *Cargo cycles trials and initiatives in Berlin, experiences and growth potential*, <http://www.bestfact.net/events/smallscalesolutions/>
21. Colado García, S. (2013); *Smart city: hacia la gestión inteligente*. Barcelona, Marcombo.
22. Comisión Europea. Dirección General de Energía y Transportes (2009); *CO₂ capture and storage*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
23. Commission., E. (2006); *Keep Europe moving – Sustainable mobility for our continent Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper Communication from the commission to the council and the european parliament brussels*.
24. Committee for Environmental Conservation. Transport Subcommittee (1973); *Transport and the environment* [Transport Sub-Committee of the] Committee for Environmental Conservation. London, CoEnCo.
25. Committee of the Regions. (2001); *Regional and local powers in Europe: employment, social policy, environment, transport and vocational training*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
26. COOPERS D13, *Report on ITS Reference Architecture*, Deliverable D13-B-IR3100-2, COOPERS FP6 Project 026814, of IST-2004-2.4.12 eSafety – Cooperative systems for road transport, 2008.
27. Copeland, P. and D. Papadimitriou (2012); *The EU's Lisbon strategy: evaluating success, understanding failure*. Basingstoke; New York, Palgrave Macmillan.
28. Cowie, J., S. Ison, T. Rye and G. Riddington (2010); *The economics of transport: a theoretical and applied perspective*. London; New York, Routledge.
29. CPI (Cascade Policy Institute 2009); *Driving the Economy: Automotive Travel, Economic Growth, and the Risks of Global Warming Regulations*, available from <http://www.cascadepolicy.org/pdf/VMT%20102109.pdf>
30. Cucurull Bargalló, A. and P. Torres Mari (2009); *Identificació d'accions tècniques, econòmiques, polítiques i fiscals per corregir les emissions de CO₂ en el transport aeri*: 1 disc òptic (CD-ROM).
31. CVIS 2.1, *Use Cases and System Requirements*, Deliverable 2.1, CVIS FP6 Project 027293 of IST-2004-2.4.12 eSafety – Cooperative systems for road transport, 2006.
32. *Cycles and vans in Paris*, http://www.bestfact.net/best-practices/cil_urbanfreight/The Royal Society (2008), *Sustainable biofuels: Prospects and challenges*, London, royalsocietypublishing.org/ policy/pubbeatLons/2008/sustainablebiofuels/iaavvanidou, F, Zervas, F and Tsagarakis, KP 12010) Public acceptance of biofuels, *Energy Policy*, 38, pp 3482-88
33. Čišić, D., Perić-Hadžić, A., Tijan, E., Ogrizović, D. (2011); *Methods of Defining and Evaluating Future Research Priorities in Climate Friendly Transport: Preliminary Results from the REACT Open Consultation*. International Conference on Climate Friendly Transport "Shaping Climate Friendly Transport in Europe: Key Findings & Future Directions". Ed: Z. Radmilović, D. Čišić, Belgrade, University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering 2011: 346–349.
34. Dameri, R. P. (2014); *Smart city: how to create public and economic value with high technology in urban space*. New York [etc.], Springer.
35. Deem, S., M. K. Alberts, M. J. Bishop, A. Bidani and E. R. Swenson (1997); "CO₂ transport in normovolemic anemia: complete compensation and stability of blood CO₂ tensions." *J Appl Physiol* (1985) 83(1): 240-246.
36. Demir, E., T. Bektaş and G. Laporte (2014); *Invited Review: A review of recent research on green road freight transportation*; *European Journal of Operational Research* 237: pp. 775–793.

37. Department of the, E. (2001); *Transport statistics Great Britain*. London, The Stationery Office.
38. Deseret News (2002); 2002 *Salt Lake City: memorable photographs and stories from the games of 2002*. Salt Lake City, Deseret News.
39. DfT - Department for Transport (2014) *Recommendations on the use of methane and biomethane in HG Vs*, London
40. DfT - Department for Transport (2012a) *Freight Carbon Review London DfT - Department for Transport (2012b) RTFO {Renewable Transport Fuels Obligation} Quarterly Report 12:15 April 2010-14 April 2011* http://www.dft.gov.uk/to_pies/sustainable/biomethane/rtfo/
41. DG Energy and Transport. Transport. E. C. D. G. f. M. a. (2009); *Action Plan on Urban Mobility communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions in Brussels, Commission of the European Communities*.
42. DHL - Deutsche Post DHL (2014) *Corporate Sustainability Report 2013*, http://www.dhl.com/DE/Corporate_Sustainability/Reports/2013/index.jsp
43. Dray, L. M., A. Schafer and M. E. Ben-Akiva (2012). "Technology limits for reducing EU transport sector CO₂ emissions." *Environ Sci Technol* 46(9): 4734-4741.
44. Dyduch, J., M. Klimowicz and M. Michalewska-Pawlak (2012); *Selected policies of the European Union: evolution in the context of the Treaty of Lisbon and the Europe 2020 strategy*. Warsaw, Oficyna Wydawnicza "Aspra".
45. Ehmke, J. F. (2012); *Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics*. International Series in Operations Research & Management Science, Boston, Springer: v. digital (XIV, p. 197).
46. European Commission. Directorate General for Mobility and Transport. (2011); *Intelligent Transport Systems in action: action plan and legal framework for the deployment of Intelligent Transport Systems (ITS) in Europe*. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
47. European Communities-Commission (1994); *Assessment of the effect in EC member states of the implementation of policy measures for CO₂ reduction in the transport sector*. Luxembourg, Opoce.
48. European Conference of Ministers of Transport (1997); *CO₂ emissions from transport*. Paris, ECMT.
49. European Conference of Ministers of Transport (2007); *Cutting Transport CO₂ Emissions What Progress?* Paris, OECD Publishing: p. 264.
50. Fachkunde kraftfahrzeugtechnik, 30. neubearbeitete auflage 2013.
51. Figueroa, M., O. Lah, L. M. Fulton, A. McKinnon and G. Tiwari (2014); "Energy for Transport." *Annual Review of Environment & Resources* 39(1): 295-325.
52. Fordham, G. and Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1998); *Building partnerships in the English regions: a study report of regional and sub-regional partnerships in England: a report to the Department*. London, Dept. of the Environment, Transport and the Regions.
53. Frazer, H., E. Marlier, I. Nicaise and European Union. (2010); *A social inclusion roadmap for Europe 2020*. Antwerp/Apeldoorn, Garant.
54. FTA — Freight Transport Association (2013) *Biomethane supplies need to be secured for the freight transport sector*, www.fta.co.uk EC — European Commission (2008) *Renewables Make the Difference*, DG for Energy and Transport, Office for Official Publications for the European Communities, Luxembourg.
55. Gablentz, O. v. d. and L. Chisholm (2000); *Europe 2020: Adapting to a Changing World*. Baden-Baden, Nomos.

56. Galus, M. D., R. A. Waraich, F. Noembrini, K. Steurs, G. Georges, K. Boulouchos, K. W. Axhausen and G. Andersson (2012); *Integrating Power Systems, Transport Systems and Vehicle Technology for Electric Mobility Impact Assessment and Efficient Control*; IEEE Transactions on Smart Grid 3(2): pp. 934– 949.
57. Garnacho Pérez, J., E. Díaz-Plaza Sanz and Universidad Alfonso X el Sabio. *Escuela Politécnica Superior Sistema Inteligente de gestión de salud integrado en un centro de operaciones de Smart City*. Archivo de ordenador.
58. *General questionnaire 2012*, CITA (Comite international de l'inspection technique automobile).
59. Georges, G., F. Noembrini and K. Boulouchos (2012); *Technology Assessment of Plugin Hybrid Electric Vehicles with Respect to Energy Demand and CO₂ Emissions*; Procedia – Social and Behavioral Sciences 48: pp. 2415–2421.
60. Gibbs, D., R. Krueger and G. MacLeod (2013). *Planning smart city-regions in an age of market-driven urbanism*.
61. Gil Castiñeira, F., E. Costa Montenegro, F. J. González Castaño, C. López Bravo, T. Ojala and R. Bose (2011); *Experiences inside the Ubiquitous Oulu Smart City*.
62. Golubić Jasna; *Utjecaj zakonske regulative na redukciju stakleničkih plinova iz prometa*, Zbornik radova /Steiner, Sanja (ur.), Zagreb: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2011. pp. 161-169
63. Gray, S. (1997); *Special parking areas in London: prepared for UG15: local authority enforcement of on-street parking controls*, Traffic Policy Division, Department of the Environment, Transport and the Regions. England, Transport Research Laboratory.
64. Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions (1999). *Consultation document on transport safety*. London, The Dept.
65. Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. *Road goods vehicles travelling to mainland Europe*. Statistics bulletin. London, Dept. of the Environment: volumes.
66. Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1998). *Focus on roads*. London, Stationery Office.
67. Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1999). *A better quality of life: a strategy for sustainable development for the United Kingdom*. London, Stationery Office.
68. Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1999). *Quality of life counts: indicators for a strategy for sustainable development for the United Kingdom: a baseline assessment*. London, Dept. of the Environment Transport and the Regions.
69. Great Britain. Department of Transport. and Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. *London traffic monitoring report*. Transport statistics report. London, H.M.S.O.: volumes.
70. Great Britain. Department of Transport., Great Britain. Office of Passenger Rail Franchising. and Great Britain. Office of the Rail Regulator. (1994). *The Government's expenditure plans*. Transport. Cm. London, H.M.S.O.: 4 volumes.
71. Great Britain. Government Statistical Service., Great Britain. Department of Transport. and Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1987). *Transport of goods by road in Great Britain*. Transport statistics report. London, H.M.S.O.: volumes.
72. Grzybwska, H., J. Barceló and Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Estadística i Investigació Operativa (2013). *Combination of vehicle routing models and dynamic traffic simulation for city logistics applications*. [Barcelona], Universitat Politècnica de Catalunya: 1 recurs electrònic (p. 320).
73. Hackmann, B. (2012); *Analysis of the governance architecture to regulate GHG emissions from international shipping*; International Environmental Agreements: Politics, Law & Economics 12(1): pp. 85–103.

74. *Handbook of Air Pollution Analysis*, R. Perry and R.J. Young Eds., Chapman and Hall, London, 1977.
75. Harris, B., R. v. d. Hilst, T. Smart and D. Gibbon (1983); *New York: city of many dreams*. [New York], Crescent Books.
76. Harris, I., M. Naim, A. Palmer, A. Potter and C. Mumford (2011); *Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modelling on CO₂ emissions*; International Journal of Production Economics 131: pp. 313–321.
77. Hasan, S. F., N. H. Siddique and S. Chakraborty (2013); *Intelligent transport systems: 802.11-based roadside-to-vehicle communications*, New York, Springer.
78. Hatzelhoffer, L. (2012); *Smart city in practice: converting innovative ideas into reality: evaluation of the T-city Friedrichshafen*. Berlin, Jovis.
79. Hesse, M. (2008); *The city as a terminal: the urban context of logistics and freight transport*. Hampshire; Burlington, Ashgate.
80. Howard Tencns, (2014); *Cas Refuelling Stations*, Stroud
81. http://www.tenens.coni/envitonmcnt_gas_refurlling_stations.php Internationa] Energy Agency (2004) *Biofuels for Transport: An International Perspective*, OECD, Paris
82. <http://www.transportoffice.gov.uk/crt/repository/2006%20CITA%20General%20Questionnaire%20section%207.pdf>
83. IEA (2009), *Transport Energy and CO₂: Moving towards Sustainability*, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264073173-en>
84. INRIX (2014) available from <http://inrix.com/economicenvironment-cost-congestion>
85. Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2009); 2009 *9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2009)*: Lille, France, 20-22 October 2009. Piscataway, NJ, IEEE.
86. Institution of Electrical Engineers. (2006); IEE proceedings. *Intelligent transport systems*. Stevenage, UK, Institution of Electrical Engineers.
87. Institution of Engineering and Technology, (2007), *IET intelligent transport systems*. Stevenage, UK, Institution of Engineering and Technology.
88. Inter-Capital and Regional Rail Ltd. (1998); *Review of Regional Eurostar services*. England, Department of the Environment, Transport, and the Regions.
89. International Energy Agency (2000); *The Road from Kyoto: Current CO₂ and Transport Policies in the IEA*. Paris, OECD Publishing: 120 p.
90. International Energy Agency (2001); *Saving Oil and Reducing CO₂ Emissions in Transport Options and Strategies*. Paris, OECD Publishing: 200 p. A. Antoni et al. /Scientific Journal of Maritime Research 29 (2015), pp. 45-51.
91. International Energy Agency (2009); *Transport Energy and CO₂: Moving towards Sustainability*, Paris, OECD Publishing: 416 p.
92. International Energy Agency (2011) *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*, OECD, Paris.
93. International Energy, A., IEA and OECD (2009); *Transport, Energy And CO₂ : Moving Toward Sustainability*. Paris, IEA.
94. IPHE — International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (2012) *An International Vision for Hydrogen and Fuel Cells*, Herlin, www.iphe.net jorna, R and fongsma, 1 (2014) Delivery by e-cargo-bike in Groningen-Asseu and in the Pro-e-Bike project, www.bestfaet.net/events/sma llscaleso lutions/l.ebcau, P (2014) Electric vehicle use in the logistics chain, <http://www.bestfaet.net/evcnts/smal> lsc absolutions/
95. *Izvešće o provedbi politike i mjera za smanjenje emisija i povećanje odliva stakleničkih plinova*, dopuna, Agencija za zaštitu okliša, Zagreb, lipanj 2015.

96. Kahn Ribeiro, S. and Kobayashi, S.; (2007); *Transport and its infrastructure, in Fourth Assessment Report: Climate change 2007 – mitigation of climate change*, Inter-governmental Panel on Climate Change, Geneva.
97. Ketelsen, F., L. Toussaint, P. Czurak, K. Gundersen, P. Martí Colom, J. Farré and Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (2013); *Creating a new urban element to turn Vilanova i la Geltrú into a Smart City: 1 recurs electrònic*.
98. Kim, J., J.D. Schmöcker, S. Fujii and R. B. Noland (2013); *Attitudes towards road pricing and environmental taxation among US and UK students*. Transportation Research Part A 48: 50–62.
99. Kodjak, D.; (2011); *Global evolution of heavy-duty vehicle fuel economy and GHG regulations*, Carbon Management 2(3): 245–260.
100. Kopp, A. *Turning the right corner: ensuring development through a low-carbon transport sector*.
101. Kuliš Danijela; *Sustav trošarina u Hrvatskoj bliži europskom sustavu*, Institut za javne financije, Newsletter, povremeno glasilo Instituta za javne financije, travanj 2013.
102. *Kvaliteta zraka na području Primorsko-goranske županije* Objedinjeni izvještaj za razdoblje 01.01.-31.12.2014., Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije Zdravstveno-ekološki odjel Odsjek za kontrolu kvalitete vanjskog zraka, Rijeka, 2015.
103. Lättilä, L., V. Henttu and O.P. Hilmola (2013); *Hinterland operations of sea ports do matter: Dry port usage effects on transportation costs and CO₂ emissions*; Transportation Research Part E 55: pp. 23–42.
104. Leona Browne and Allen M., (2012) *Before—after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London*, Procedia:
105. Leonardi, Jacques; Browne, Michael; Allen, Julian; (2012); *Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London*, The seventh International Conference on City Logistics, Procedia – Social and Behavioral Sciences 39 (2012) 146-157.
106. Liimatainen, H. and M. Pöllänen (2013); *The impact of sectoral economic development on the energy efficiency and CO₂ emissions of road freight transport*; Transport Policy 27: 150–157.
107. London Research Centre., Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. and Great Britain. Department of Social Security. (1999). *Housing benefit and the private rented sector: a report to the DETR and the DSS*. London, Dept. of the Environment, Transport, and the Regions.
108. Maherali, H. and Delucia, E. H. (2000); *Interactive effects of elevated CO₂ and temperature on water transport in ponderosa pine*; Am J Bot 87(2): pp. 243-249.
109. Mandžuka S., Ivanjko E., Vujić M., Škorput P., Gregurić M.; *The Use of Cooperative ITS in Urban Traffic Management*, Intelligent Transport Systems: Technologies and Applications, NewYork : John Wiley & Sons, Inc, 2015. Str. 14.1-14.12.
110. Mandžuka S., Marijan Ž., Horvat B., Bičanić D., Mitsakis E.; *Directives of the European Union on Intelligent Transport Systems and their Impact on the Republic of Croatia*, Promet - Traffic & Transportation, 25, 3; 273-283, 2013.
111. Mandžuka Sadko; *Inteligentni transportni sustavi 2 – Izabrana poglavlja*, Zavod za inteligentne transportne sustave, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
112. Marlier, E. and Natali, D., (2010); *Europe 2020: towards a more social EU?* Bruxelles, P.I.E. Peter Lang.
113. Maroto-Valer, M. M. (2010); *Developments and innovation in carbon dioxide (CO₂) capture and storage technology*. Oxford [etc.], Woodhead [etc.].

114. Mateos Márquez, M. Á., M. Aguilar Igartua, C. Tripp Barba, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona and Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Telemàtica (2012). *Smart city design for vehicular networks: 1 recurs electrònic*.
115. McKinnon, Alan, Piecyk, Maja; (2011); *Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations*, March 2011, pp. 2-18, N.J., World Scientific.
116. Meyer, A. and Meyer, D., (2013); *City logistics research: a transatlantic perspective: summary of the first EU-U.S. Transportation Research Symposium*, May 30-31, 2013. Washington, D.C., Transportation Research Board of the National Academies.
117. Mokhtari, M., I. Khalil, J. Bauchet, D. Zhang, C. Nugent and SpringerLink (Online service) (2009). *Ambient Assistive Health and Wellness Management in the Heart of the City 7th International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, ICOST 2009, Tours, France, July 1-3, 2009. Proceedings. Lecture Notes in Computer Science,. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
118. Morrell, P.; (2009); *The Economics of CO₂ Emissions Trading for Aviation*. OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Papers,. Paris, OECD Publishing: 20 p.
119. NGVA — Natural Bio Gas Vehicle Association (2011) *KG V and Fuel Consumption Worldwide*, JVC V Statistics June 2011 update Brussels, www.ngvaeurope.eu/ngv-statistics-june-2011-update Pcmala. A and Eckhardr, (leds) (2014) BESTFACT Deliverable DI. 1 Recommendations and Policy tools, available online at http://www.bestfaet.net/wp-content/uploads/2014/03/BESTFACT_D3_1_RecommncationAndPolicyTools.pdf
120. Naviaux John D.; *From Cars to Buses: Using OCTA Ridership to Analyze the Emission Benefits of Bus Transportation*, Business Economics, Earth and Environmental, the UCI Research Journal, Volume XIV, 2011. in Geneva, Switzerland
121. *Određivanje taložne tvari* (Sediment), Smjernica SDČVJ 201 (Prijedlog), Sarajevo, 1987.
122. Organització de Cooperació i Desenvolupament Econòmic and International Transport Forum (2008). *Transport Outlook 2008 Focusing on CO₂ Emissions from Road Vehicles*. OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Papers,. Paris, OECD Publishing: 22 p.
123. Pearn Kandola Occupational Psychologists. (1998). *Department of the Environment, Transport and the Regions: an investigation of the 1997/98 appraisal system*. Oxford, Pearn Kandola Occupational Psychologists.
124. PGŽ, *Program zaštite i poboljšanja kakvoće zraka u Primorsko-goranskoj županiji*, Rijeka, 2008.
125. *Plan zaštite zraka, ozonskog sloja i ublaživanja klimatskih promjena u RH* (NN 139/2013).
126. *Pravilnik o dostupnosti podataka potrošačima o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisijama CO₂ novih osobnih vozila*, NN 7/15,
127. *Pravilnik o načinu i rokovima obračunavanja i plaćanja posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon*, Ministarstvo zaštite i prirode, NN 156/14,
128. Proost, S.; (2008); *Full Account of the Costs and Benefits of Reducing CO₂ Emissions in Transport*. OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Papers,. Paris, OECD Publishing: 20 p.
129. Proost, S., E. Delhay, W. Nijs and D. V. Regemorter; (2009); *Will a radical transport pricing reform jeopardize the ambitious EU climate change objectives?*; Energy Policy 37: 3863–3871.
130. Rajagopal, D., R. Plevin, G. Hochman and D. Zilberman; (2015); *Multi-objective regulations on transportation fuels: Comparing renewable fuel mandates and emission standards*; Energy Economics 49: pp. 359–369.
131. Rattanachot, W., Y. Wang, D. Chong and S. Suwansawas (2015). "Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate change." Transport Policy.
132. REACT (2011) FP7 Eu project results available from <http://www.react-transport.eu/>

133. Rehm, G.,H. *Uszkoreit and META Technology Council Strategic research agenda for multilingual Europe 2020*.
134. Ricardo (2009a) *Review of Low Carbon Technologies for Heavy Duty Vehicles*, Atmex, Department for Transport, London Ricardo (2009b) *Review of Low Carbon Technologies for Heavy Duty Vehicles*, Department for Transport, London
135. Rothman, R. (2007); *City schools: how districts and communities can create smart education systems*. Cambridge, MA, Harvard Education Press.
136. SAFESPOT SP2A, *Part A - Needs and Requirements of Infrastructure-based Sensing* (Final Report), Deliverable D2.2.2, SAFESPOT FP6 Project 026293 of IST-2004-2.4.12 eSafety – Cooperative systems for road transport, 2006
137. Samaras, Z. and Zierock, K. H., (1994); *Assessment of the effect in EC Member States of the implementation of policy measures for CO₂ reduction in the transport sector*. Luxemburgo, OPOCE.
138. Sanchez Rodrigues, V., A. Beresford, S. Pettit, S. Bhattacharya and I. Harris (2014); *Assessing the cost and CO₂ e impacts of rerouteing UK import containers*; Transportation Research Part A 61: pp. 53–67.
139. Scora George; Morris Brendan; Tran Cuong; Barth Matthew; Trivedi Mohan, *Real-Time Roadway Emissions Estimation using Visual Traffic Measurements*, IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, Vienna, Austria, June 29 - July 1, 2011, pp. 40.
140. *Selected Methods for Measuring Air Pollutants*, WHO offset Publication No 24, Geneva, 1976.
141. Siegemund, J. (2013); *Smart city concepts: konzepte für den energetischen stadtbau am Beispiel Köln*. Ludwigsburg, avedition.
142. Social and Behavioral Sciences, 39, pp 146—57 MacIjod, F (2007) *Parcels carriers: What they're doing for the world*, Fulfilment and ELogistixcs, 44, summer [accessed March 2012] <http://www.eogistiesmagazinr.com/maga/inc/44/parcc> Is-carriers-the-world, shtm I McKinnon. AC (2007) CO₂ Emissions from Freight Transport in the UK, report prepared for the Climate Change Working Group of the Commission for Integrated Transport.
143. Stručni bilten 107: *Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila – ekotest*, Centar za vozila Hrvatske, Zagreb, rujan 2004., str. 5
144. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 22th Edition, APHA. AWA. WPCF., Washington, 2012.
145. Stantchev, D. and Merat, N.; (2010); *Thematic Research Summary: Equity and Accessibility*, European Commission.
146. Scott John - University of Exeter, UK; *Social Network Analysis, 2013*; 216 pages, SAGE Publications Ltd.
147. Stewart, M., Office for Public Management (London England), University of the West of England. and Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (1999). *Cross-cutting issues affecting local government: final report to the Department of the Environment, Transport and the Regions*. London, Dept. of the Environment, Transport and the Regions.
148. Stough, R. (2001); *Intelligent transport systems: cases and policies*. Cheltenham, UK; Northampton, MA, Edward Elgar.
149. Swinglehurst, E., Smart, T. and Gibbon, D. (1984); *Los Angeles: a city of many dreams*. New York, Crescent Books.
150. Šimurina Nika; *Ekoloski porezi i noviji trendovi u medunarodnom oporezivanju*, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, http://web.efzg.hr/dok/fin/nsokol/Ekološki_porezi_pptx.pdf
151. Šinković Zoran; *Ekoloski porezi*, Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, god. 50, 4/2013, str. 953-976

152. Škorput Pero; *Stvarnovremensko upravljanje incidentnim situacijama u prometu*, MSc Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
153. Taniguchi, E. (2001); *City logistics: network modelling and intelligent transport systems*. Amsterdam ; New York, Pergamon.
154. Taniguchi, E. and R. G. Thompson (2004); *Logistics systems for sustainable cities: proceedings of the 3rd International Conference on City Logistics* (Madeira, Portugal, 25-27 June, 2003). Amsterdam, Elsevier.
155. Taniguchi, E. and R. G. Thompson (2004); *The Seven International Conference on City Logistics: Mallorca, Spain, 7-9 June 2011*. Amsterdam [etc.], Elsevier.
156. Taniguchi, E. and R. G. Thompson (2008). *Innovations in city logistics*. New York, Nova Science Publishers.
157. The Green Link (2014); *The Green Link: last mile deliveries with electric cargo*
158. TRaC. and Great Britain. Department of the Environment Transport and the Regions. (2000). *Social exclusion and the provision and availability of public transport: report*. London, The Dept.
159. UKPLA - United Kingdom Petroleum Industry Association (2011) *UKPIA statistical review 2011*, London, <http://www.ukpiaxom>
160. UKPLA - United Kingdom Petroleum Industry Association (2012) *UKPIA statistical review 2012*. London, <http://www.ukpiaxom>
161. Union of Concerned Scientists (2012) *Clean Vehicles*, Cambridge MA, www.ucsusa.org/clean_vehicles
162. *Uredba o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližnim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon*, NN 114/14, 147/14,
163. *Uredba o praćenju emisija stakleničkih plinova, politike i mjera za njihovo smanjenje u RH*, NN br. 87/12,
164. Vadić V.: *Zaštita atmosfere* 10 (3), 1982, 116.
165. Van Loon J. E.; *Selected Methods of Trace Analysis: Biological and Environmental Samples*, John Wiley & Son, New York, 1985.
166. *Vodič o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih osobnih vozila dostupnih za kupovinu u Republici Hrvatskoj*, Ministarstvo unutarnjih poslova, 2015.
167. Volvo Group (2014); *Sustainability Report 2013; Qne progress towards sustainable transport solutions*, www.volvogroup.com/sustainability-report
168. *Zakon o posebnom porezu na motorna vozila* NN 15/13, 108/13
169. Zamalloa Diaz A., Kohsel P. and Siegmundfeldt K.; (2011); *City logistics*. [S.l.] [s.n.]:1 disco compacto (CD-ROM).

POPIS KRATICA I AKRONIMA

A	– analizator trenutne koncentracije
AGM	– Absorbing Glas Mat
BDP	– bruto domaći proizvod
BESTUFS I i II	– Best Urban Feight Solution
BCR	– Benifit cost ratio
B2B	– Business to business
B2C	– Business to consumer
BSV	– trenutna vrijednost koristi od projekta
BTEX	– akronim za benzen, toluol, etilbenzen i ksilene.
CEFIC	– Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimiqu
CD	– Compact disk
CEN	– European Committee for Standardization
CHAD	– metoda rudarenja podataka
CITA	– Comite international de l'inspection technique automobile
CIVITAS	– Cleaner and better transport in cities
CNG	– Compressed natural gas
CSV	– trenutni iznos troškova
CV	– cilajna vrijednost
CVH	– Centar za vozila Hrvatske
CVT	– Continous Variable Transmission
D2V	– komunikacija vozač-vozilo
DBMS	– A database management system
DHL	– International shipping, courier, and packaging service
DPF	– Diesel particulate filter
DSRC	– Dedicated Short-Range Communications
E_{pol}	– trenutna vrijednost emisije onečišćenja
ECTA	– European Chemical Transport Association
EGR	– elektromagnetski ventil
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute
EU	– Europska unija
HGV	– Heavy goods vehicle
HPLC tehnika	– adsorpcijska kromatografska metoda
GHG	– greenhouse gases
GIS	– geografski informacijski sustavi
GPS	– Global Positioning System

GV	– granična vrijednost
GSM	– Global System for Mobile Communications
I2W	– komunikacija infrastruktura-WAN
ICSI	– Intelligent Cooperative Sensing for Improved Traffic Efficiency
ICT	– Information and communications technology
IEA	– International energy agency
IGC	– Intelligent Generator Controller
IGR	– Intelligent Generator Regulation
INRIX	– A global SaaS and DaaS company which provides a variety of Internet services and mobile applications pertaining to road traffic and driver services
IP	– ispušni plinovi
IPHE	– Međunarodno udruženje za vodikovu ekonomiju
ISG	– Integrated Starter Generator
ISM pojas	– Industrial, Scientific and Medical band
ISO	– International Standards Organisation
ISP	– kriterij interne stope prinosa
ITS	– inteligentni prometni sustavi
I2W	– sustavi komunikacije infrastruktura s mrežom širokog područja
K	– klasična kemijska ili fizička metoda prosječne dnevne koncentracije
Li-ion	– litij-ionski akumulatori
LNG	– Liquefied natural gas
LPG	– logistika pametnoga grada
LPR	– License Plate Recognition
LTL	– Less than truckload shipping
MDS	– multidimenzionalno skaliranje
MG1	– sunčani zupčanik (sunčanik)
MG2	– kolutni zupčanik s pogonskim lancem
MIL	– Malfunction Indicator Light
MSUI	– planetarni zupčanik
NG	– Natural gas
NiMH	– nikal-metal hibridni akumulatori
NGV	– vozila na prirodni plin
NGVA	– Institut za vozila na bioplin
NN	– Narodne novine
NPV	– Net present value
NSV	– kriterij neto sadašnje vrijednosti
OBD	– On Bord Diagnostics
OBU	– On Board Units
OECD	– The Organisation for Economic Co-operation and Development
PAU	– policiklički aromatski ugljikovodici

PH	– pomoćne hipoteze
PGŽ	– Primorsko-goranska županija
PN	– iznos posebne naknade u kunama
PO	– prag obavještanja
ppm	– bezdimenzijska matematička veličina
PU	– prag upozorenja
REACT	– Supporting research on climate friendly transport
RF-oznake	– Radio Frequency Tags
RSU	– Road Side Unit
RTFO	– Renewable Transport Fuel Obligation
RP	– kriterij razdoblja povrata investicije
SAD	– Sjedinjene američke države
SOC	– State of Charge
SPM	– koncentracije lebdećih čestica
TV	– tolerantna vrijednost
V2I	– sustavi komunikacije vozila s infrastrukturom
V2V	– sustavi komunikacije vozila s vozilom
UNP	– ukapljeni naftni plin
UTT	– ukupna taložna tvar
UV	– Ultraviolet radiation
V2I	– komunikacija vozilo-infrastruktura
V2V	– komunikacija vozilo-vozilo
VECTOR	– Vehicle classifier and traffic flow analyzer
VM	– visokonaponski
VSP	– Vehicle Specific Power
WAN	– Wide Area Network
WLAN	– Wireless Local Area Network

POPIS OZNAKA I SIMBOLA

A	– matrica blizine (adjacency matrix) grafa
a	– akceleracija vozila u m/s^2
α_d	– indeks slabljenja s udaljenosti u funkciji difrakcije (ogiba)
a_e	– efektivno ubrzanje pregledano s obzirom na ljudsku reakciju na vibracije
A_f	– prednja površina vozila (m^2)
α_m^k	– koeficijent uvjeta m za proizvod k
a_0	– referentno ubrzanje ($= 10^{-5} m/s^2$)
a_1	– veličina malih vozila
a_2	– udio velikih vozila
α_d	– indeks slabljenja s udaljenosti u funkciji difrakcije (dB(A))
α_i	– indeks ostalih utjecaja (dB(A))
α_σ	– indeks ravnosti površine ceste
α_r	– indeks dominantne frekvencije tla
α_s	– indeks cestovne strukture
α_1	– indeks prigušenja s udaljenosti od vibracija
B_i	– dobit za i -tu godinu
c_d	– koeficijent aerodinamičkog otpora
C_D	– stožernost čvora
C_{e_i}	– stožernost svojstvenog vektora
C_i	– trošak i -te godine
C_p	– stožernost protoka
C_r	– koeficijent otpora okretanja kotača
C_{SV}	– trenutni iznos troškova
$C_v(x_i)$	– mjera maksimalnog protoka
CH_4	– metan
CO	– ugljikov monoksid
CO_2	– ugljikov dioksid
C_6H_6	– benzen
d	– prosječno napredovanje vozila (m)
d_{ij}	– geodezijska udaljenost između čvorova i i j
d_n	– gustoća mreže
E_c	– emisija CO_2 (g-C)
f_c	– potrošnja goriva po jedinici udaljenosti
f_e	– ekonomija potrošnje (km/litri)
f_{ij}^k	– cijena proizvoda

g	– gravitacija (m/s^2)
g_a	– prosječni gradijent (%)
H	– visina izvora
HC	– ugljikovodici
HCl	– kloridna kiselina
HNO_3	– dušična kiselina
H_2O	– vodena para
H_2S	– Sumporovodik
l	– udaljenost od prometnice do predviđene točke
l_0	– referentni intenzitet zvuka ($= 10^{-12} W/m^2$)
K_k	– korektivni koeficijent
K_1	– korektivni koeficijent koji se odnosi na emisijski razred vozila
K_2	– korektivni koeficijent ovisan je o radnom obujmu motora
K_3	– korektivni koeficijent ovisan je o vrsti goriva
k_1	– konstanta – potrošeno gorivo po jedinici udaljenosti
k_2	– konstanta povezana s različitim vremenski ovisnim gubicima trenja
k_3	– konstanta – aerodinamični otpor
K_{1a}	– korektivni koeficijent ovisan je o vrsti motora i pogonskog goriva
K_{2a}	– korektivni koeficijent ovisan je o radnom obujmu motora
K_{3a}	– korektivni koeficijent ovisan je o starosti vozila
L_g	– gustoća plinova
L_N	– razina buke
L_{eq}	– ekvivalentna razina buke
L_v	– razina vibracija
L_W	– prosječna razina snage prouzročena od strane vozila dB(A)
L_{10}	– razina vibracija izazvanih prometom 10 % niže od maksimuma (dB)
L_{50}	– srednja vrijednost buke inducirane prometom dB(A)
L_{90}	– 90 % vremena iznad prosječna razina buke
M	– masa vozila u kilogramima (kg)
m_{jk}	– maksimalni protok između čvorova x_j i x_k
$M1$	– osobna vozila
$M2$	– autobusi preko 8 sjedala plus vozač, dopuštene mase do 5 t
$M3$	– autobusi preko 8 sjedala plus vozač, dopuštene mase iznad 5 t
n	– trajanje projekta
$NMHC$	– nemetanski ugljikovodici
NH_3	– amonijak
Ni	– nikal
NO_x	– ugljični oksidi
NO_2	– dušikov dioksid
$N1$	– teretna vozila najveće dopuštene mase do 3,5 t

N2	– teretna vozila najveće dopuštene mase preko 3,5 t ali manje od 12 t
N3	– teretna vozila najveće dopuštene mase preko 12 t
N ₀	– osnovna naknada za pojedinu vrstu vozila (jedinična naknada),
O ₂	– kisik
O ₃	– prizemni ozon
p	– ekološki utjecaj
Pb	– olovo
PM _{2.5}	– lebdeće čestice promjera manjeg od 2.5µm
PM ₁₀	– lebdeće čestice promjera manjeg od 10µm
Q*	– ekvivalentni volumen prometa na 500 sekundi po traci (vozila/500s/po traci)
Q	– prosječan volumen prometa (vozila/sat)
r	– socijalna diskontna stopa
r _g	– 1 za podlogu šljunka, 0 za podlogu asfalta
R-SH	– merkaptani (tioli)
S _d	– standardna devijacija
SO ₂	– sumporni dioksid
SO ₄	– sulfat
t	– vrijeme putovanja
t _s	– vrijeme zaustavljanja (min.)
u	– brzina vjetra
U _c	– CO ₂ emisija po jedinici potrošnje goriva (g-C/cm ³)
V	– prosječna brzina vozila (km/h)
v	– brzina vozila u m/s
v _m ^k	– nezavisna varijabla u koju je uključeno vrijeme transporta, vrijeme čekanja, neplanirane odgode, promjena vremena putovanja, vjerojatnosti gubitka ili oštećenja tereta
W	– širina ceste
ε	– poremećajna varijabla, izražava slučajna odstupanja od funkcionalnog odnosa
θ	– kut nagiba
λ	– omjer usisane količine zraka s obzirom na potrebnu teoretsku količinu faktor zraka ili lambda faktor
ρ _a	– gustoća zraka (kg/m ³); (~1.2 kg/m ³ na razini mora pri 20 ⁰ C)
ξ _{ij}	– parametar koji predstavlja matricu ekološkog utjecaja uslijed strukturnog položaja pojedinog čvora u mreži
μ _i	– ekološki utjecaj uslijed protoka vozila čvorom
Ψ	– faktor dobiven iz razdiobe vjerojatnosti ekološkog utjecaja vozila

POPIS SLIKA

Slika 1.1.	Modeli LPG-a (Taniguchi 2001).....	3
Slika 1.2.	Metodologija utvrđivanja problema i određivanja rješenja	6
Slika 2.1.	Sustavni pristup do LPG-a	22
Slika 3.1.	Okvir za modeliranje LPG-a	30
Slika 3.2.	Postupak razvoja modela	35
Slika 3.3.	Granice sustava.....	36
Slika 4.1.	Ovisnost emisije CO ₂ o masi vozila prema Odluci Vijeća EU o ograničenju emisije motornih vozila na 130 g/km	68
Slika 5.1.	Sadržaj ispušnih plinova benzinskog motora	101
Slika 5.2.	Relativna usporedba koncentracije pojedinačnih ispušnih plinova iz dizelskog motora s ispušnim plinovima iz benzinskog motora	102
Slika 5.3.	Sadržaj ispušnih plinova dizelskog motora	102
Slika 5.4.	Shema sustava s intermitirajućim ubrizgavanjem i λ -regulacijom	104
Slika 5.5.	Serijski hibridni sustav	110
Slika 5.6.	Serijski hibridni sustav s dodatnim motorom s izgaranjem.....	110
Slika 5.7.	Paralelni hibridni sustav.....	111
Slika 5.8.	Ugradnja elektromotora između motora i mjenjača	112
Slika 5.9.	Ustroj hibridnog sustava	112
Slika 5.10.	Komunikacije u kooperativnim sustavima	114
Slika 5.11.	Prikaz okruženja i veza u kooperativnom okruženju.....	115
Slika 5.12.	Arhitektura ICSI sustava na globalnoj razini	115
Slika 5.13.	Kratkodometni sustavi komunikacije – DSRC.....	117
Slika 6.1.	Rezultati anketiranja stručnjaka o značaju mjera za smanjenje stakleničkih plinova.....	137
Slika 6.2.	Vektor svojstvenih vrijednosti	139
Slika 6.3.	Dijagram klasteriranja	142
Slika 6.4.	Bayesova mreža mjera za smanjenje stakleničkih plinova.....	144
Slika 7.1.	Primjer slike klasifikaciji vozila po metodi VECTOR	146
Slika 7.2.	Protok vozila na praćenoj autocesti po tipovima vozila	147
Slika 8.1.	Broj vozila prema vrsti motora i godini pregleda.....	154
Slika 8.2.	Udio vozila prema vrsti motora za godinu.....	154
Slika 8.3.	Broj vozila čija emisija CO prelazi dozvoljenu granicu	155
Slika 8.4.	Praćenje smanjenja emisije CO ₂ novoprodučenih vozila u EU prema ciljanim godinama	158
Slika 8.5.	Emisija CO ₂ iz autobusa s dizelskim motorom u ovisnosti o brzini kretanja i akceleraciji	160
Slika 8.6.	Stablo odlučivanja za indikator CO ₂ kod tehničkog pregleda	167

Slika 8.7.	Snaga automobila – Normalna razdioba	171
Slika 8.8.	Snaga automobila – Weibullova razdioba s parametrima	172
Slika 8.9.	Obujam motora – Lognormalna razdioba.....	173
Slika 8.10.	Obujam motora – Normalna razdioba	173
Slika 8.11.	Masa automobila – Lognormalna razdioba	174
Slika 8.12.	Masa automobila – Normalna razdioba	175
Slika 8.13.	Prijeđeni kilometri – Johnson SU razdioba	176
Slika 8.14.	Prijeđeni kilometri – Normalna razdioba	176
Slika 8.15.	Starost – Weibullova razdioba s parametrima	177
Slika 8.16.	Starost – Normalna razdioba	178
Slika 9.1.	Pojednostavljeni model gradske mreže cesta u Rijeci.....	187
Slika 9.2.	Prikaz pojednostavljenog modela gradske mreže cesta u Rijeci.....	188
Slika 9.3.	Trodimenzijski prikaz mreže cesta u gradu Rijeci upotrebom mutidimenzijskog skaliranja (MDS)	189
Slika 9.4.	Razdioba udaljenosti između čvorova u modelu gradske mreže cesta u Rijeci	189
Slika 9.5.	Stožernost čvora za cestovnu mrežu grada Rijeke – kružni i MDS dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti čvora.....	191
Slika 9.6.	Stožernost blizine raskrižja grada Rijeke – kružni i MDS dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti čvora.....	192
Slika 9.7.	Cestovna mreža grada Rijeke – dijagram na kojem su veličine čvorova proporcionalne stožernosti svojstvene vrijednosti svakog čvora	193
Slika 9.8.	Graf svojstvenih vrijednosti za svaki čvor za cestovnu mrežu grada Rijeke.....	193
Slika 9.9.	Dijagram jakih veza za cestovni sustav grada Rijeke.....	194
Slika 9.10.	Stožernost protoka za cestovni sustav grada Rijeke	195
Slika 9.11.	Prikaz vrijednosti vektora ekološkog utjecaja za svako raskrižje	197

POPIS TABLICA

Tablica 4.1.	Granične i ciljane vrijednosti s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi i kvalitetu življenja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64
Tablica 4.2.	Kategorije kakvoće zraka u određenom području mjerenja	65
Tablica 4.3.	Granične vrijednosti štetnih tvari vozila s Ottovim motorom u Europi u (g/km), osim za PN u (l/km)	66
Tablica 4.4.	Granične vrijednosti ispuha vozila s dizelskim motorom u EU u [g/km]	66
Tablica 4.5.	Lokacija 14 mjernih postaja u PGŽ	71
Tablica 4.6.	Principi određivanja određenog polutanta na automatskoj postaji	73
Tablica 4.7.	Posljednje satne vrijednosti po postajama [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; CH_4 u [mg/m^3]	74
Tablica 4.8.	Popisi i metode određivanja polutanata na području PGŽ	75
Tablica 4.9.	Postupak ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila u Hrvatskoj i pojedinim europskim zemljama	78
Tablica 5.1.	Usporedba primjene alternativnih goriva za pogon vozila u logistici	92
Tablica 5.2.	Značajke baterijskih sustava (punjive baterije nazivaju se akumulatori)	95
Tablica 5.3.	Mjere za redukciju štetnih tvari i njihovo djelovanje i način uklanjanja	105
Tablica 5.3.	Hibridni pogoni	106
Tablica 5.4.	Parametri vozila za start-stop funkciju (primjer)	107
Tablica 5.5.	Određivanje korektivnog koeficijenta	124
Tablica 5.6.	Iznos posebnog poreza na temelju cijene za motorna vozila – postotak od porezne osnovice	128
Tablica 5.7.	Posebni porez ovisan o prosječnoj emisiji CO_2 za dizelsko gorivo	128
Tablica 5.8.	Posebni porez ovisan o prosječnoj emisiji CO_2 za benzin, ukapljeni naftni plin, prirodni plin i dizelsko gorivo s razinom emisije ispušnih plinova EURO VI	129
Tablica 5.9.	Stope trošarina na energente u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji	131
Tablica 6.1.	Značaj mjera za smanjenje stakleničkih plinova	138
Tablica 6.2.	Korelacija među mjerama	141
Tablica 7.1.	Aproksimacija karakteristika za VECTOR kategorizaciju vozila	148
Tablica 7.2.	VSP jednadžbe za VECTOR kategorije vozila	149
Tablica 7.3.	Konverzijska tablica emisije CO_2 za vrste goriva	150
Tablica 7.4.	Koeficijent emisije CO_2 u $\text{gCO}_2/\text{tona-km}$ s različitim vrijednostima nosivosti i postotkom vožnje bez tereta	151
Tablica 8.1.	Struktura podataka analize ekotesta za benzinske i dizelske motore CVH-a.	152
Tablica 8.2.	Struktura voznog parka Republike Hrvatske po homologacijskim kategorijama vozila za 2015. godinu	153
Tablica 8.3.	Broj vozila na ekotestu u RH u razdoblju 2009.-2015. prema kataloškim podjelama motora	153
Tablica 8.4.	Primjer omjera CO_2 u praznom i povišenom hodu	156

Tablica 8.5.	Prosječna emisija CO ₂ za benzinske i dizelske motore u koracima po 200 ccm prema katalogskim podacima rabljenih vozila CVH-a.....	158
Tablica 8.6.	Prosječna emisija CO ₂ i prosječne karakteristike lakih vozila na području grada Rijeke s tehničkog pregleda vozila 2015. godine	159
Tablica 8.7.	Prosječna emisija CO ₂ i prosječne karakteristike lakih vozila na području grada Rijeke sa tehničkog pregleda vozila 2009. godine	159
Tablica 8.8.	Prosječna emisija CO ₂ teških vozila na području grada Rijeke 2015. godine.....	161
Tablica 8.9.	Sveukupna emisija CO ₂ cestovnih vozila s područja grada Rijeke u 2015. godini	162
Tablica 8.10.	Emisije u zrak iz plošnih (kolektivnih) stacionarnih i mobilnih izvora za 2006. godinu	162
Tablica 8.11.	Struktura stabla odlučivanja za CO kod tehničkog pregleda	166
Tablica 9.1.	Geodezijske udaljenosti među čvorovima za cestovnu mrežu grada Rijeke.....	190
Tablica 9.2.	Stožernost čvora za raskrižja grada Rijeke.....	191
Tablica 9.3.	Svojstvena vrijednost za svaki čvor	193
Tablica 9.4.	Normirane vrijednost stožernosti protoka za model cestovnog sustava grada Rijeke.....	195
Tablica 9.5.	Vrijednosti vektora ekološkog utjecaja u svakom raskrižju modela cestovnog sustava grada Rijeke	197

ŽIVOTOPIS

Mile Perić rođen je 18. kolovoza 1967. godine u Stocu, BiH, gdje je završio osnovnu školu. Srednju elektrotehničku školu završio je u Mostaru i stekao zvanje elektroničar-tehničar za računalnu tehniku. Na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, 1991. godine diplomirao je odličnim uspjehom i stekao VII. stupanj stručne spreme naziv– profesor politehnike.

Za vrijeme studija na Filozofskom fakultetu u Rijeci bio je član “Sveučilišnog kluba 4 plus”, a nakon završetka prve godine studija, VI. stupnja elektrotehnike, dobio je i nagradu Tehničkog fakulteta između 10 % najuspješnijih studenata prve godine studija.

U akademskoj godini 1998/99. upisao je poslijediplomski znanstveni studij Menadžment, modul Generalni menadžment, na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci. Dana 9. ožujka 2004. godine na Ekonomskom fakultetu u Rijeci obranio je znanstveni magistarski rad pod nazivom “Sustav povezivanja Europske unije s trećim zemljama”, te time stekao akademski stupanj magistar znanosti iz područja društvenih znanosti, polje ekonomije, grana međunarodna ekonomija. Od lipnja 2006. godine vanjski je suradnik na Ekonomskom fakultetu u Rijeci.

Od 4. svibnja 1992. do 31. prosinca 2007. radio je kao državni službenik u MUP-u RH i na poslovima u sigurnosnim službama RH. Od 2. siječnja 2008. zaposlen je na radnom mjestu tajnika Autokluba Rijeka u Rijeci, Dolac 11, na poslovima organizacije poslovnih djelatnosti, koordinacije i kontrole cjelokupnog procesa rada Autokluba. Tijekom rada u Autoklubu Rijeka u stalnom je sustavu stručnog obrazovanja, putem tečajeva i seminara vezanih za sigurnost cestovnog prometa u RH, poglavito u odnosu na vozilo kao jedan od bitnih čimbenika koji utječu na sigurnost cestovnog prometa. Predsjednik je Stručnog savjeta stanica za tehnički pregled motornih vozila u RH.

Tijekom 2013. godine upisuje 5. ciklus, 3. semestar poslijediplomskog sveučilišnog studija “Pomorstvo”, Modul: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu. Područje istraživanja na ovome studiju je usmjereno na analizu kopnenog dijela logističkih procesa i upotrebu novih tehnologija u pomorstvu. Uža orijentacija istraživanja je

analiza kopnenog dijela logističkih procesa, posebice u gradu kao mrežnom sučelju logističkog lučkog sustava, s naglaskom na ekološki aspekt prometa.

Od 20. studenog 2013. godine aktivno sudjeluje u svojstvu istraživača na znanstvenom projektu: "Regionalni elektroničko–logistički pomorski klaster, orkestriranje procesa", br. 112-1121722-1719, voditelja prof. dr. sc. Dragana Čišića.

Izvršno se služi osobnim računalom i posjeduje ECDL diplomu/ECDL Certificate za uspješno položenih 7 propisanih ispita za izdavanje Europske računalne diplome / European Computer Driving Licence. Služi se njemačkim i engleskim jezikom u govoru i pismu (razina B2 prema zajedničkom europskom referentnom okviru za jezike).