

Model estimacije budućih emisija iz cestovnog prometa

Trinc, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:228828>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Trinc

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing.

Student:

Ivan Trinc

Zagreb, 2015.

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

ZAHVALA:

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Zoranu Luliću. dipl. ing. na ukazanom povjerenju da ću u roku završiti ovaj rad, te na mnogim korisnim savjetima i primjedbama.

Također, veliko hvala i asistentu dr. sc. Goranu Šagiu, dipl. ing. na mnogim korisnim savjetima i pomoći pri traženju literature, te što je bio na raspolaganju u bilo kojem trenutku kada mi je to bilo potrebno.

Najveću zahvalu dugujem svojoj obitelji: mami Ljubici, tati Josipu i sestri Josipi zbog nesebične podrške i razumijevanja.

Ivan Trinc



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Trinc**

Mat. br.: 0036437826

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Model estimacije budućih emisija iz cestovnog prometa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Model for estimating air pollutant emissions from transport**

Opis zadatka:

Cestovni promet jedan je od značajnijih izvora štetnih i stakleničkih plinova. Politika EU ide u smjeru smanjenja emisija ovih plinova, a smanjenja se nastoje postići primjenom različitih mjera. Prilikom uvođenja pojedine mjere potrebno je provjeriti i njen učinak na buduće emisije, odnosno moći procijeniti moguća smanjenja emisija. Postojeći modeli za estimaciju u pravilu su vrlo složeni te zahtijevaju poznavanje velikog broja ulaznih podataka. Cilj je izraditi jednostavniji, a dovoljno precizan model estimacije budućih emisija.

U okviru rada treba:

- Dati sažeti osvrt na tematiku emisija cestovnih motornih vozila (štetni i staklenički plinovi, propisi, utjecajne veličina na emisiju štetnih plinova).
- Analizirati vozni park u Republici Hrvatskoj i to prema sljedećim kriterijima: kategorije vozila, emisijske razine (Euro 1, 2, 3, ...), starost vozila, tip motora, vrsta goriva, godišnji prevaljeni put vozila.
- Napraviti pregled postojećih modela za predviđanje emisija štetnih tvari, međusobno ih usporediti, navesti njihove nedostatke i mogućnosti.
- Matematički razraditi predloženu novu metodu računanja emisija (podaci su kod mentora) te definirati potrebne ulazne podatke, ograničenja i mogućnosti (izlazni rezultati).
- Izraditi model u programskom paketu Excel ili Matlab.
- Pokazati primjenu modela na određivanju potrebnog broja novih (ekološki prihvatljivijih) vozila kako bi došlo do zaustavljanja trenda porasta emisija CO₂ iz cestovnog prometa.

Pri izradi se treba pridržavati uobičajenih pravila za izradu diplomskoga rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobijenu pomoć.

Zadatak zadan:
13. studenog 2014.

Rok predaje rada:
15. siječnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:
21., 22. i 23. siječnja 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA.....	V
POPIS KRATICA.....	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	1
1 UVOD.....	2
1.1 POVIJEST PRAVILNIKA ZA SMANJENJE EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA IZ VOZILA	3
1.2 TEHNIČKI PRAVILNICI	5
1.2.1 1998. – 2008.: dobrovoljni sporazumi	5
1.2.2 2009. godina.....	7
1.2.3 2011. godina.....	10
1.2.4 Planovi za 2020. i 2025. godinu.....	12
1.3 POVIJESNI PREGLED OSTALIH EU PRAVILNIKA.....	13
2 MJERENJE EMISIJE CO₂ IZ CESTOVNIH VOZILA	18
2.1 DIREKTIVA 80/1268/EEC	18
2.1.1 Uvjeti testiranja.....	18
2.1.2 Izračunavanje emisije.....	19
2.2 ISPITNI CIKLUSI	20
2.2.1 NEDC (engl. New European Driving Cycle)	20
2.2.2 Artemis.....	23
2.2.3 WLTP	24
3 POTROŠNJA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ	27
3.1 POTROŠNJA ENERGIJE U PROMETU U REPUBLICI HRVATSKOJ	28
3.2 EMISIJE ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U ZRAKU IZ ENERGETSKIH SEKTORA	30
3.2.1 Emisije u zraku.....	31
3.2.1.1 Emisija CO ₂	32
3.2.1.2 Emisija SO ₂	34
3.2.1.3 Emisija NO _x	35
3.2.1.4 Emisija čestica	35
3.2.1.5 Emisija CO.....	36

4	ANALIZA VOZNOG PARKA U REPUBLICI HRVATSKOJ	38
4.1	CESTOVNA INFRASTRUKTURA REPUBLIKE HRVATSKE	38
4.2	ANALIZA VOZNOG PARKA REPUBLIKE HRVATSKE	41
4.2.1	Kategorije vozila	42
4.2.2	Registrirana vozila prema emisijskim razinama	45
4.2.3	Registrirana vozila prema starosti	50
4.2.4	Godišnje prijeđeni put osobnih vozila	52
5	PREGLED POSTOJEĆIH MODELA ZA PREDVIĐANJE EMISIJA ŠTETNIH TVARI	58
5.1	PREGLED MODELA KOJI SE KORISTE ZA PROCJENU EMISIJA	59
5.1.1	Model MOVES	60
5.1.2	Model COPERT	61
5.1.3	Model PΔP	62
5.1.4	HBEFA/ TREMOD	63
5.1.5	Model PHEM	64
6	METODA RAČUNANJA SMANJENJA EMISIJA ŠTETNIH TVARI	66
6.1	OPIS PROBLEMA	70
7	OPIS PROGRAMA I ANALIZA REZULTATA	73
7.1	RAZLIKE IZMEĐU HOMOLOGIRANE I STVARNE EMISIJE CO ₂	73
7.2	RAZLIKA IZMEĐU HOMOLOGIRANIH I STVARNIH VRIJEDNOSTI EMISIJA OSTALIH PLINOVA	76
7.3	OPIS PROGRAMA U PROGRAMSKOM PAKETU „EXCEL 2007“	81
7.4	ANALIZA REZULTATA	86
7.5	ANALIZA OSIETLJIVOSTI IZLAZNIH PODATAKA	94
7.5.1	Analiza osjetljivosti s obzirom na promjene brzina vožnje	94
7.5.2	Analiza osjetljivosti izlaznih podataka s obzirom na promjenu udjela	99
8	RAČUNANJE RELATIVNOG SMANJENJA EMISIJA	101
9	ZAKLJUČAK	105
	LITERATURA:	107

POPIS SLIKA

<i>Slika 1.1. Prosječna potrošnja goriva i emisija CO₂ novih vozila u Europi [1].....</i>	<i>5</i>
<i>Slika 1.2. Smanjenje emisije CO₂ kod lakih teretnih vozila prema sporazumu ACEA [2]</i>	<i>7</i>
<i>Slika 1.3. Specifična emisija CO₂ za osobna vozila za razdoblje 2012.-2015.</i>	<i>8</i>
<i>Slika 1.4. Novčane kazne proizvođačima za premašene ciljane emisije po osobnom vozilu.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 1.5. Novčane kazne proizvođačima lakih gospodarskih vozila za premašene ciljane emisije po vozilu</i>	<i>11</i>
<i>Slika 1.6. Predviđene emisije CO₂ u EU do 2020. godine [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 2.1. ECE 15 segment [7].....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 2.2. EUDC segment [7].....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 2.3. EUDC ciklus za vozila manjih snaga [7].....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 2.4. NEDC ciklus (4 ECE ciklusa + EUDC ciklus)[7]</i>	<i>22</i>
<i>Slika 2.5. ARTEMIS- ciklus gradske, izvangradske i vožnje po autocesti [8]</i>	<i>23</i>
<i>Slika 2.6. WLTP kategorija 3 [10]</i>	<i>25</i>
<i>Slika 2.7. WLTP kategorija 2 [10]</i>	<i>26</i>
<i>Slika 2.8. WLTP kategorija 1 [10]</i>	<i>26</i>
<i>Slika 3.1. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj [11].....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 3.2. Udjeli u ukupnoj potrošnji energije [11].....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 3.3. Podjela sektora u neposrednoj potrošnji energije [11]</i>	<i>28</i>
<i>Slika 3.4. Potrošnja energije u prometu 1988. – 2012. [11]</i>	<i>28</i>
<i>Slika 3.5. Potrošnja energije pojedinih vrsta prometa [11].....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 3.6. Udjeli vrsta prometa u neposrednoj potrošnji energije [11]</i>	<i>29</i>
<i>Slika 3.7. Struktura osobnih vozila prema vrsti pogona [11].....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 3.8. Trendovi emisija CO₂ i SO₂ u RH [11].....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 3.9. Trendovi emisija NO_x i čestica u RH [11]</i>	<i>32</i>
<i>Slika 3.10. Trend emisije CO₂ uslijed izgaranja goriva [11]</i>	<i>33</i>
<i>Slika 3.11. Trend emisije SO₂ uslijed izgaranja goriva [11].....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 3.12. Trend emisije NO_x uslijed izgaranja goriva [11].....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 3.13. Trend smanjenja čestica uslijed izgaranja goriva [11].....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 3.14. Trend emisije CO 1990.-2012. godine [12].....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 4.1. Karta TEM cestovne mreže RH [13]</i>	<i>39</i>
<i>Slika 4.2. Duljine prometnica u HR za razdoblje 2009.-2013.....</i>	<i>40</i>
<i>Slika 4.3. Duljine prometnica u HR</i>	<i>40</i>
<i>Slika 4.4. Postotni udio pojedinih prometnica u HR 2009. i 2013. godine.....</i>	<i>41</i>
<i>Slika 4.5. Sva registrirana vozila s podjelom prema kategorijama vozila za razdoblje od 2009. – 2013. godine .</i>	<i>43</i>
<i>Slika 4.6. Prodaja novih osobnih vozila u RH.....</i>	<i>44</i>
<i>Slika 4.7. Prodaja novih vozila s podjelom prema vrsti pogonskog motora – Otto, Diesel</i>	<i>45</i>

<i>Slika 4.8. Emisijske razine za vozila pogonjena Ottovim motorima 2009. – 2013.</i>	46
<i>Slika 4.9. Promjena broja vozila prema apsolutnim vrijednostima emisijskih razina za vozila pogonjena Ottovim motorom</i>	47
<i>Slika 4.10. Emisijske razine za Dieslove motore 2009. – 2013.</i>	48
<i>Slika 4.11. Promjena broja vozila prema apsolutnim vrijednostima emisijskih razina za vozila pogonjena Dieslovim motorom</i>	49
<i>Slika 4.12. UNP vozila u razdoblju 2009. – 2013.</i>	50
<i>Slika 4.13. Broj vozila prema starosti za razdoblje 2009. – 2013.</i>	51
<i>Slika 4.14. Trend porasta starosti osobnih vozila u RH</i>	51
<i>Slika 4.15. Prosječni prijeđeni put osobnih vozila 2008. – 2013. godine</i>	52
<i>Slika 4.16. Prosječni prijeđeni put osobnih vozila u RH za 2013. godinu</i>	53
<i>Slika 4.17. Godišnje prijeđeni put s podjelom na Diesel, Otto, UNP</i>	53
<i>Slika 4.18. Godišnji prijeđeni put automobila pogonjenih Dieslovim motorom s podjelom prema Euro razinama</i>	55
<i>Slika 4.19. Podjela prosječno prijeđenog puta prema emisijskim razinama - Diesel</i>	55
<i>Slika 4.20. Godišnji prijeđeni put automobila pogonjenih Ottovim motorom s podjelom prema Euro razinama</i>	56
<i>Slika 4.21. Podjela prosječno prijeđenog puta prema emisijskim razinama - Diesel</i>	57
<i>Slika 5.1. Modeli koji se koriste u procjeni štetnih emisija vozila za različita područja primjene modela [25]</i>	59
<i>Slika 6.1. Definicija brojeva vozila n i prosječnog broja vozila n</i>	67
<i>Slika 6.2. Smanjenje emisije uslijed obnavljanja voznog parka</i>	70
<i>Slika 7.1. Njemačka: 2002. - 2011. – stvarno smanjenje CO₂ u odnosu na smanjenje prema postupku homologacije [20]</i>	73
<i>Slika 7.2. Primjena rezultata spritmonitor.de i ADAC Eco Test na prosjek EU [20]</i>	74
<i>Slika 7.3. Razina emisija NO_x osobnih vozila pogonjenih Dieslovim motorom prema državama [21]</i>	76
<i>Slika 7.4. Razina emisija NO_x osobnih vozila pogonjenih Ottovim motorom prema državama [21]</i>	77
<i>Slika 7.5. Razina emisija PM osobnih vozila pogonjenih Dieslovim motorom prema državama [21]</i>	77
<i>Slika 7.6. Emisija NO_x sva četiri vozila [22]</i>	78
<i>Slika 7.7. Emisija PM za sva četiri vozila</i>	79
<i>Slika 7.8. Emisija CO za sva četiri vozila</i>	80
<i>Slika 7.9. Emisija HC za sva četiri vozila</i>	80
<i>Slika 7.10. Prva stranica programa sa ulaznim podacima</i>	82
<i>Slika 7.11. Druga stranica programa – koeficijenti za računanje emisijskih faktora</i>	83
<i>Slika 7.12. Treća stranica programa – izračunati faktori i emisija CO</i>	85
<i>Slika 7.13. Prikaz rezultata u programu</i>	86
<i>Slika 7.14. Izračunati rezultati ukupne emisije CO</i>	87
<i>Slika 7.15. Trend smanjenja emisije HC</i>	88
<i>Slika 7.16. Trend smanjenja emisije PM_{2,5}</i>	89

<i>Slika 7.17. Ukupna emisija NO_x osobna vozila i sva cestovna vozila</i>	<i>90</i>
<i>Slika 7.18. Ukupna emisija CO₂ osobna vozila i sva cestovna vozila</i>	<i>91</i>
<i>Slika 7.19. Usporedba ukupne emisije CO₂ sa brojem registriranih vozila i prosječno godišnje prijeđenim putem osobnih vozila.....</i>	<i>93</i>
<i>Slika 7.20. Ukupna emisija štetnih tvari u Danskoj za razdoblje 2005. - 2012.</i>	<i>93</i>
<i>Slika 7.21. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju CO.....</i>	<i>96</i>
<i>Slika 7.22. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju HC.....</i>	<i>97</i>
<i>Slika 7.23. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju PM_{2.5}.....</i>	<i>97</i>
<i>Slika 7.24. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju NO_x.....</i>	<i>98</i>
<i>Slika 7.25. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju CO₂</i>	<i>98</i>
<i>Slika 7.26. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka s obzirom na promjenu udjela na pojedinim prometnicama ..</i>	<i>99</i>
<i>Slika 8.1. Relativno smanjenje emisije CO.....</i>	<i>102</i>
<i>Slika 8.2. Relativno smanjenje emisije HC.....</i>	<i>103</i>
<i>Slika 8.3. Relativno smanjenje emisije PM_{2.5}.....</i>	<i>103</i>
<i>Slika 8.4. Relativno smanjenje emisija NO_x.....</i>	<i>104</i>
<i>Slika 8.5. Relativno smanjenje emisija CO₂</i>	<i>104</i>

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječne emisije CO ₂ od 2000. do 2009. godine [2].....	7
Tablica 2. Postotak novog voznog parka svakog proizvođača osobnih vozila koji je potreban da bi se ispunio cilj od 130 gCO ₂ /km [3].....	9
Tablica 3. Postotak voznog parka novih lakih gospodarskih vozila svakog proizvođača koji je potreban da bi se ostvarila ciljana emisija svake godine [3].....	11
Tablica 4. Vremenski slijed usvajanja Euro razina [2]	14
Tablica 5. EU razine ispušnih plinova za osobna vozila (M1, M2)[2].....	15
Tablica 6. EU razine ispušnih plinova za laka gospodarstvena vozila (N1, N2) [2].....	16
Tablica 7. Sažetak odabranih parametara za ECE 15, EUDC i NEDC ciklus.	22
Tablica 8. Karakteristike Artemis ciklusa vožnje [9]	24
Tablica 9. Podjela WLTP ciklusa prema PMR-u [10].....	25
Tablica 10. Cestovna infrastruktura u razdoblju 2009.-2013. Godine [14]	39
Tablica 11. Registrirana vozila RH 2009.-2013. [14]	42
Tablica 12. Novoregistrirana cestovna motorna vozila u RH za razdoblje 2009.-2013. [14]	43
Tablica 13. Ulazni i izlazni podatci za model MOVES 2014	60
Tablica 14. Ulazni podatci za model COPERT	61
Tablica 15. Izlazni podatci modela COPERT	62
Tablica 16. Ulazni i izlazni podatci modela PΔP modela	63
Tablica 17. Ulazni i izlazni podatci za model TREMOD.....	63
Tablica 18. Ulazni i izlazni podatci modela PHEM.....	64
Tablica 19. Ulazni i izlazni podatci za novi program	65
Tablica 20. Krajnje vrijednosti prosječnih brzina i udjela na pojedinim prometnicama	87
Tablica 21. Rezultati ukupne emisije CO	87
Tablica 22. Ukupna emisija HC.....	88
Tablica 23. Rezultati ukupne emisije PM _{2.5}	89
Tablica 24. Ukupna emisija NO _x	90
Tablica 25. Ukupna emisija CO ₂	91
Tablica 26. Promjena izlaznih podataka prilikom smanjenja brzine za 5 %	94
Tablica 27. Promjena izlaznih podataka prilikom povećanja brzine za 5 %	94
Tablica 28. Promjena izlaznih podataka prilikom smanjenja brzine za 10 %	95
Tablica 29. Promjena izlaznih podataka prilikom povećanja brzine za 10 %	95

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
CO -		Ugljikov monoksid
CO_2 -		Ugljikov dioksid
NO_x -		Dušikov oksidi
$PM_{2.5}$ -		Čestice promjera manjeg od $2.5 \mu m$
HC -		Ugljikovodici, svi spojevi oblika C_nH_m
e_{km}	g/km	Specifična emisija po prijednom kilometru
$Euro\ j$	-	Emisijska razina (Pred-Euro 1, Euro 2,..., Euro 6)
E_{uk}	t/god	Ukupna godišnja emisija promatrane kategorije vozila
E_{novo}	t/god	Ukupna godišnja emisija novoregistriranih vozila
l	km/god	Godišnje prevaljena udaljenost jednog vozila
m	kg	Masa vozila
n_{uk} -		Ukupan broj svih registriranih vozila. na kraju god.
n_{novo} -		Ukupan broj svih novoregistriranih vozila na kraju god.
n_{preth} -		Ukupan broj registriranih. vozila na početku godine
n_{odj} -		Ukupan broj objavljenih vozila na kraju god.
S %		Stopa smanjivanja emisija
ΔE	t/god	Promjena emisije
ΔE_{rel}	%	Relativna promjena emisije

POPIS KRATICA

ACEA	Europsko udruženje proizvođača vozila (engl. <i>European Automobile Manufacturers' Association</i>)
ADAC	Njemački automobilski klub (njem. <i>Allgemeiner Deutscher Automobil-Club</i>)
ARTEMIS	Model procjene i inventara emisija iz cestovnog prometa (<i>Assessment of Road Transport Emission Models and Inventory Systems</i>)
CADC	Uobičajeni Artemis paket ciklusa (<i>Common Artemis suite of cycles</i>)
CLRTAP	Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka (<i>Convention on Long_range Transboundry Air Pollution</i>)
COPERT	Računalni program za izračun emisija iz cestovnog prometa (<i>Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport</i>)
CVH	Centar za vozila Hrvatske
ECE/UDC	Gradski ciklus vožnje (<i>Urban Driving Cycle</i>)
EC	Europska komisija (<i>European Commission</i>)
EEA	Europska agencija za okoliš (<i>European Environment Agency</i>)
EUDC	Dodatni gradski ciklus vožnje (<i>Extra Urban Driving Cycle</i>)
EU	Europska Unija
GHG	Staklenički plinovi (<i>Greenhouse gases</i>)
HBEF	Priručnik emisijskih faktora za cestovna vozila (<i>Handbook Emission Factors for Road Transport</i>)
JAMA	Japansko udruženje proizvođača automobila (<i>Japan Automobile Manufacturers Association</i>)
KAMA	Korejsko udruženje proizvođača automobila (<i>Korea Automobile Manufacturer Association</i>)
MOVES	Simulator emisija iz motornih vozila (<i>Motor Vehicle Emission Simulator</i>)
NEDC	Novi europski ciklus vožnje (<i>New European Driving Cycle</i>)
NTM	Nacionalni transportni model (<i>National Transport Model</i>)
PEMS	Prijenosni mjerni sustav za mjerenje emisija (<i>Portable Emissions Measurement System</i>)
PHEM	Emisijski model za osobna i teretna vozila (<i>Passenger car and Heavy duty Emission Model</i>)

<i>PMR</i>	<i>Omjer snage i mase (Power to Mass Ratio)</i>
<i>PΔP</i>	<i>Emisijski model snaga – promjena snage (Power–Delta–Power)</i>
<i>TEM-cesta</i>	<i>Transeuropska mreža cesta</i>
<i>TERM</i>	<i>Mehanizam za izvještavanje o utjecaju prometa na okoliš (Transport and Environment Reporting Mechanism)</i>
<i>TREMOD</i>	<i>Model za izračunavanje emisija iz prometa (Transport Emission Model)</i>
<i>UNFCCC</i>	<i>Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (United Nations Framework Convention on Climate Change)</i>
<i>UNP</i>	<i>Ukapljeni naftni plin (Liquefied petroleum gas)</i>
<i>US EPA</i>	<i>Agencija za zaštitu okoliša Sjedinjenih Država (United States Environmental Protection Agency)</i>
<i>WLTP</i>	<i>U svijetu usuglašen postupak ispitivanja emisija osobnih automobila (The worldwide harmonized light vehicles test procedure)</i>

SAŽETAK

Tema diplomskog rada je emisija štetnih onečišćujućih tvari iz ispušnog sustava cestovnih vozila. U radu je prikazana potrošnja energije u Europi te utjecaj transporta na kvalitetu zraka, naveden je povijesni pregled pravilnika za smanjenje emisija ispušnih plinova, te načini mjerenja emisija CO₂ iz cestovnih vozila. Također, u radu su opisani ispitni ciklusi (NEDC, Artemis, WLTP) kojima je cilj što vjernije opisati/simulirati stvarne uvjete eksploatacije vozila.

U drugom dijelu rada analizirana je ukupna potrošnja energije u Republici Hrvatskoj između 1990. i 2012. godine, te koliko od te ukupne potrošnje čini cestovni promet. Prikazane su i glavne emisije štetnih tvari u RH s naglaskom na emisije iz cestovnog prometa. Također, analiziran je i vozni park RH između 2009. i 2012. godine i to u nekoliko kategorija: prema emisijskim razinama (Pred-Euro 1, ... , 6), prema starosti vozila, tipu motora, pogonskom gorivu, godišnje prijeđenom putu, itd.

Na kraju rada matematički je razrađen novi prijedlog metode za računanja emisija, te su definirani potrebni ulazni podaci, ograničenja i mogućnosti programa. Uz to, opisan je i program koji je izrađen u programskom paketu „Microsoft Office Excel 2007“ te su prikazani dobiveni rezultati i napravljena analiza osjetljivosti izlaznih podataka.

Ključne riječi: *energija, transport, cestovni promet, vozni park, štetne tvari, emisija, CO₂, CO, HC, NO_x, PM_{2.5}*

SUMMARY

This thesis deals with the emission of harmful pollutants from the exhaust system of motor vehicles. The work begins with the overview of consumption of energy in Europe and impact of vehicle on air quality. Historical overview of standards and regulations for reducing emissions, and ways of measuring CO₂ emissions from road vehicles have been listed. Furthermore, test cycles (NEDC, Artemis, WLTP) which should faithfully depict actual vehicle operating conditions have been described.

In the second part of the thesis total energy consumption in Croatia between 1990 and 2012, and the part that road transport makes in total consumption has been analyzed. Main emissions in the Republic of Croatia, with a focus on emissions from road transport have been displayed. Also, the fleet of Croatia between 2009 and 2012. is analyzed, divided into several categories according to: emission levels (Pre-Euro 1, ..., 6), age of vehicle, type of engine, motor fuel, annual mileage etc.

At the end of the thesis, the new method for calculating emissions has been developed mathematically, and the required input data, constraints and opportunities of the program have been defined. Additionally, the program which was created in the software package "Microsoft Office Excel 2007" has been described, obtained results and an analysis of the sensitivity of the output data have been presented.

Keywords: *energy, transport, road transport, fleet, harmful substances, emissions, CO₂, CO, HC, NO_x, PM_{2.5}.*

1 UVOD

Transport je odgovoran za približno trećinu ukupne potrošnje energije u državama članicama EEA-a¹ i za više od petine emisije stakleničkih plinova. Također je odgovoran za veliki udio zagađenja zraka u urbanim sredinama i prekomjernu buku. [1]

Potrošnja energije i emisije mnogih onečišćenja iz transporta smanjeni su u 2009. godini u odnosu na 2008. godinu, no to je smanjenje bio samo privremeni učinak gospodarske krize. Potrebna je značajnija promjena u europskom sustavu transporta da bi se spriječili učinci povećanja čak i u vrijeme snažnog gospodarskog rasta. Po prvi puta Europska komisija preporučila je cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova (*engl.* Greenhouse Gases (GHG)) u prometu. Postizanje cilja smanjenja od 60 % iz bijele knjige „Plan za jedinstveni europski prometni prostor“ objavljene 2011. [1] godine zahtijeva integraciju ove politike u konkretne i odlučne aktivnosti tijekom sljedećih godina.

Transport je odgovoran za 24 % svih emisija stakleničkih plinova u EU u 2009. godini, uključujući i emisije međunarodnog morskog i zračnog transporta. Prema Bijeloj knjizi iz 2011. godine, od država članica EU-a zahtijeva se smanjenje stakleničkih plinova u transportu za 60 % do 2050. godine u usporedbi s razinama iz 1990. Budući da su se razine zapravo povećale za 27 % između 1990. i 2009., EU mora postići ukupno smanjenje od 68 % između 2009. i 2050. [1]

Postizanje cilja smanjenja stakleničkih plinova znači oslanjanje na najčišće moguće tehnologije i goriva koja se ne temelje na ugljiku, te na korištenje najučinkovitijeg načina transporta i napuštanje gospodarske neefikasnosti koja proizlazi, između ostalog, iz skrivenih vanjskih troškova. Mehanizam za izvještavanje o utjecaju prometa na okoliš (TERM²) [1] iz 2011. godine pokazuje da je došlo do napretka u učinkovitosti nakon uvođenja obveznih ograničenja emisija CO₂. Nova su vozila u 2010. godini bila učinkovitija približno za petinu u odnosu na 2000. godinu. Dogovorom o smanjenju emisija CO₂ iz osobnih i lakih gospodarskih vozila postavljena je osnova za pokretanje voznog parka s niskim emisijama. Udio vozila na alternativna goriva u stalnom je porastu te čini više od 5 % flote u 2009.

¹ EEA - European Environment Agency (Europska agencija za okoliš), čine ju 28 članica Europske Unije i države: Island, Lihtenšajn, Norveška, Švicarska i Turska

² TERM - Transport and Environment Reporting Mechanism (Mehanizam za izvještavanje o utjecaju prometa na okoliš)

godini. Većina koristi ukapljeni naftni plin (UNP), dok električna vozila čine do 0,02 % ukupne flote.

Od 1990. godine značajan napredak u smanjenju emisija mnogih onečišćivača zraka postignut je u sektoru transporta. Ipak, mnogi gradovi i druga urbana područja suočena su s izazovima nepremašivanja granica koncentracija onečišćivača postavljenih prema zakonima EU-a za kvalitetu zraka. Na urbanu kvalitetu zraka značajno djeluje cestovni promet.

Emisije iz svih sektora transporta smanjene su od 1990. godine usprkos općem porastu aktivnosti sektora. U 33 zemlje članica EEA-a emisije NO_x iz transporta smanjenje su između 1990. i 2009. - NO_x za 25 %, $\text{PM}_{2,5}$ (čestice) za 27 %, SO_x za 37 %, CO za 75 %, a nemetanski hlapljivi organski spojevi (NMVOC) za 77 %.

Potrebno je istaknuti dva različita problema koja su sve značajnija da bi se objasnile razlike između trendova u emisijama i očekivanih vrijednosti kvalitete zraka. Prvo, udio NO_x izravno ispuštenih kao NO_2 iz vozila povećan je, što je rezultat povećanog ulaska vozila pogonjenih Dieselovim motorom na tržišta u nekim zemljama i korištenja sustava za naknadnu obradu ispušnih plinova, poput filtra krutih čestica i oksidacijskih katalizatora. Drugo, stvarne emisije iz vozila vrlo često prelaze granične vrijednosti emisija odobrenih za svaku vrstu vozila – posebno emisije NO_x iz vozila na pogon Dieselovim motorom. Isti slučaj se odnosi i na emisije CO_2 .

1.1 Povijest pravilnika za smanjenje emisija ispušnih plinova iz vozila

S proizvodnjom više od 16 milijuna vozila 2012. godine, 28 članica Europske Unije, je drugi najveći svjetski proizvođač vozila. Svako četvrto vozilo prodano u svijetu je ili proizvedeno ili uveženo u Europi, stoga mnoge države diljem svijeta prate smjernice Europske Unije u vezi emisija ispušnih plinova.

Europska unija je sredinom 1990. godina prepoznala veliki i rastući problem utjecaja vozila na klimatske promjene te je počela program za smanjenje emisija CO_2 koji se odnosi na cijelu flotu. U početku su utvrđeni dobrovoljni ciljevi za proizvođače koji su kasnije promaknuti na obvezne.

Kratki pregled dobrovoljnih i obaveznih ciljeva smanjenja emisije CO₂:

Dobrovoljni ciljevi:

- 1995. – Europska komisija usvojila je strategiju za smanjenje emisija CO₂ iz osobnih vozila koja se oslanjala na dobrovoljne obveze iz autoindustrije, poboljšanja u informiranju korisnika.
- 1998. – Europska komisija je potpisala ugovore, za dobrovoljno smanjivanje emisija CO₂, s Europskim udruženjem proizvođača vozila (ACEA), Japanskim udruženjem proizvođača vozila (JAMA) i Korejskim udruženjem proizvođača vozila (KAMA). Tim dobrovoljnim ugovorom svaki proizvođač se zalagao za smanjenje emisije na 140 grama CO₂ po prijednom kilometru, a primjenjuje se na nova vozila prodana na europskom tržištu s početkom od 2008. godine (ACEA) i 2009. godine (JAMA i KAMA). Dok je u početnim godinama ostvareno značajno smanjenje emisije CO₂, od 2004. godine proizvođači više ne mogu ostvariti svoje dobrovoljne ciljeve. Sporazumi su dizajnirani kako bi se smanjila emisija CO₂ za 25 % u odnosu na 1995. godinu, ali su samo dva proizvođača ispunila svoju obvezu.

Obvezni ciljevi:

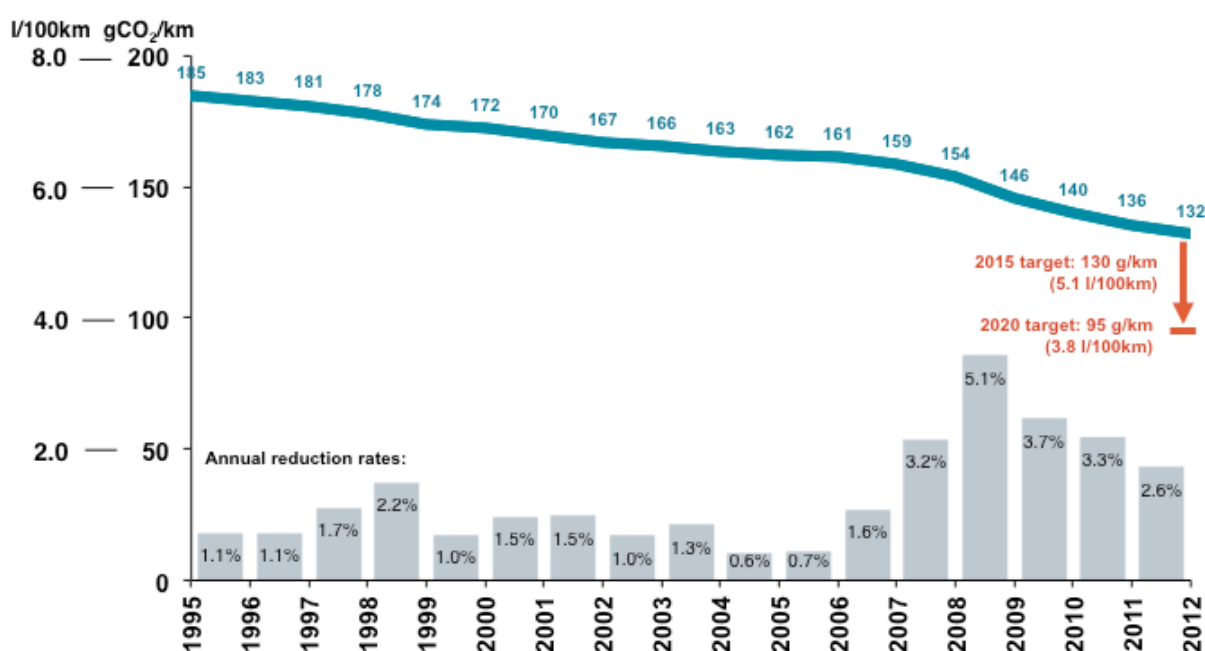
- Osobna vozila (M₁ kategorija):
 - 2009. godine EK je donijela uredbu 443/2009/EC kojom se zahtjeva da se do 2015. godine mora doći do emisije od 130 gCO₂/km za cijelu flotu vozila M₁ kategorije. Uredba također određuje i dugoročni cilj, a to je 95 gCO₂/km do 2020. godine.
 - 2013. godine granica za osobna vozila je postavljen na 95 gCO₂/km, s tim da do 2020. 95 %, a do 2021. 100 % osobnih vozila smije imati najviše 95 gCO₂/km.

Razlika između ove dvije odluke je što se odluka iz 2009. godine odnosila na cijelu flotu vozila nekog proizvođača, a odluka iz 2013. godine se odnosi na pojedinačno novi osobni automobil.

- Laka gospodarska vozila (N₁ kategorija):
 - 2009. godine COM (2009) 593³ [2] uspostavlja cilj emisije cijele flote od 175 gCO₂/km, s tim da se 2016. ukida i postepeno se do 2020. godine treba dostići emisija od 135 gCO₂/km.

³ COM(2009) 593 – Propis Europskog parlamenta i Vijeća broj 593 iz 2009. godine

- 2012. godine ovi ciljevi su ažurirani COM(2012) 393⁴ [2], faza do 2016. je pomaknuta za jednu godinu, znači 2017., a također i dugoročni cilj je povećan sa 135 gCO₂/km na 147 gCO₂/km do 2020. godine.
- 2013. godine je postavljena nova granica za laka gospodarska vozila koji iznosi 147 gCO₂/km 2020. godine.
- Vozila na dva i tri kotača:
 - 2010. godine vozila L kategorije (s dva i tri kotača), proizvođači su dužni obračunati i prijaviti emisiju CO₂, ali nisu definirani ciljevi.



Slika 1.1. Prosječna potrošnja goriva i emisija CO₂ novih vozila u Europi [1]

1.2 Tehnički pravilnici

1.2.1 1998. – 2008.: dobrovoljni sporazumi

1998.-99. za kontrolu stakleničkih plinova iz sektora transporta, Europska komisija je potpisala dobrovoljne sporazume s proizvođačima vozila kako bi se smanjile emisije CO₂. Sporazumi su ostali na snazi dok 2008. godine nisu usvojeni obavezni pravilnici. Sporazumi su definirali ciljeve emisije CO₂ koji se odnose na cijelu flotu. Ugljični dioksid je jedini plin

⁴ COM(2012) 393 – Propis Europskog parlamenta i Vijeća broj 393 iz 2012. godine

koji na koji se odnosne ograničenja. Tri sporazuma potpisana su 1998.-99. godine s tvrtkama koje predstavljaju oko 90 % od ukupne prodaje vozila u EU:

- ACEA (Udruženje europski proizvođača vozila) – BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Porsche, PSA Peugeot Citroen, Renault, VW Group.
- JAMA (Udruženje japanskih proizvođača vozila) – Daihatsu, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Subaru, Suzuki, Toyota.
- KAMA (Udruženje korejskih proizvođača vozila) – Daewoo, Hyundai, Kia, Ssangyong.

Službeni sporazumi

Sporazum s ACEA potpisan u ožujku 1998. godine uključuje sljedeće glavne odredbe:

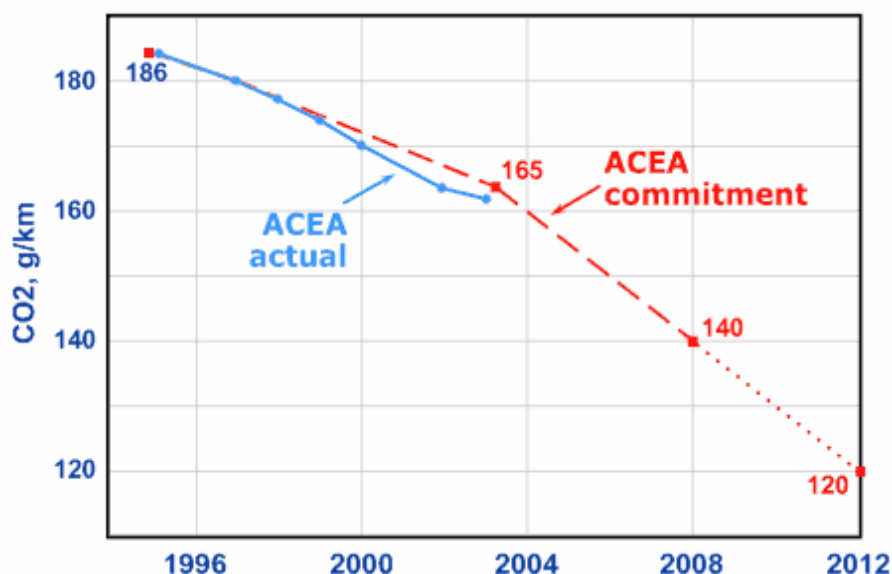
- Ciljna emisija od 140 gCO₂/km treba biti dostignuta do 2008. godine (to je smanjenje od 25 % u odnosu na razinu od 186 gCO₂/km 1995. godine).
- Mogućnost da se produži sporazum na 120 gCO₂/km do 2012.
- Prijelazni cilj je raspon 165-170 gCO₂/km do 2003.
- Pojedinačni članovi ACEA obavezni su predstaviti vozila s emisijom od 120 gCO₂/km ili manje do 2000. godine.

Japanski i korejski proizvođači (JAMA i KAMA) potpisali su slične obveze onoj ACEA, sa sljedećim razlikama:

- Cilj od 140 gCO₂/km bio je odgođen na godinu dana, tj. do 2009. godine.
- JAMA ima širi raspon od 165-175 gCO₂/km do 2003.
- KAMA je raspon od 165-170 gCO₂/km je također odgođen za godinu dana, tj. do 2004.

Nadzor

Emisije CO₂ su zajednički pratile Europska komisija i ACEA. Godišnja izvješća o napretku su objavljeni od strane Europske Komisije na njihovim stranicama. Slika 1.2 prikazuje trend smanjenja emisije CO₂ od 1996. do 2012. godine od strane ACEA.



Slika 1.2. Smanjenje emisije CO₂ kod lakih teretnih vozila prema sporazumu ACEA [2]

Tablica 1. prikazuje detalje o prosječnim emisijama CO₂ novih lakih teretnih vozila (kategorije N₁) kojima je osnovna namjena prijevoz tereta čija najveća dopuštena masa nije veća od 3,5 t.

Tablica 1. Prosječne emisije CO₂ od 2000. do 2009. godine [2]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ACEA	169.2	167.0	164.4	162.5	160.7	160.0	159.7	157.0	152.3	145.1
JAMA	179.6	176.6	173.7	172.0	169.7	166.2	161.4	159.5	153.7	142.6
KAMA	184.2	185.5	183.5	178.7	167.5	166.6	164.3	161.1	151.5	141.8
EU-27	172.2	169.7	167.2	165.5	163.4	162.4	161.3	158.7	153.6	145.7

Unatoč značajnom smanjenju emisije CO₂ koje je ostvareno u početnim godinama i padom od 5 % zabilježenim 2009. godine, nitko od triju udruga nije bio u mogućnosti doći do 140 gCO₂/km koji je bio cilj do 2008.-2009. godine. 2009. godine su dobrovoljni sporazumi zamijenjeni obaveznim (prisilnim) propisima o emisiji CO₂.

1.2.2 2009. godina

U prosincu 2009. godine, Europski parlament je usvojio obveze o emisiji CO₂ za nova osobna vozila, kojima je određen cilj emisije CO₂ cijelog voznog parka u prosjeku od 130 gCO₂/km do 2015. godinu. Ciljana emisija od 130 gCO₂/km do 2015. godinu mora biti postignuta od strane svakog proizvođača pomoću tehnologije vozila, a dodatno smanjenje od 10 gCO₂/km će se ostvariti dodatnim mjerama kao što je korištenje biogoriva. Ciljana emisija se treba

postići u fazama, počevši od 2012. godine [3], a propis se odnosi na osobna vozila, odnosno kategorije vozila M_1 . Za procjenu emisija CO_2 se koristi NEDC⁵ ciklus ispitivanja.

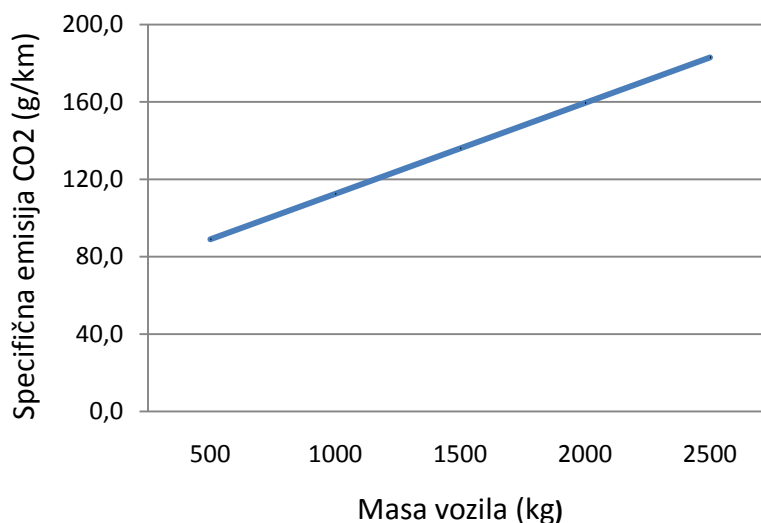
Specifična ciljana emisija za svakog proizvođača, u jednoj kalendarskoj godini, temelji se na masi vozila. Izračunava se kao prosjek specifičnih emisija CO_2 (g/km) svakog novog osobnog vozila registriranog u toj kalendarskoj godini, pri čemu je:

$$\text{specifična emisija } CO_2 = 130 + 0,0457 \cdot (M - M_0)$$

M - je masa vozila (kg)

M_0 - je 1372 kg za razdoblje od 2012. – 2015.

Ako se to pokaže dijagramom, dobiva se graf kao na slici 1.3.



Slika 1.3. Specifična emisija CO_2 za osobna vozila za razdoblje 2012.-2015.

Od 2016. godine vrijednost M_0 će se prilagođavati godišnje, da bi se održala prosječna masa osobnih vozila u prethodne tri kalendarske godine. Dakle, cilj od 130 g CO_2 /km se odnosi na vozila prosječne mase, znači lakša vozila imaju niže ciljeve CO_2 , a vozila veće mase imaju više ciljeve emisije CO_2 . Ova uredba se uvodi postupno u razdoblju između 2012. – 2015. godine

⁵ NEDC - New European Driving Cycle

Tablica 2. Postotak novog voznog parka svakog proizvođača osobnih vozila koji je potreban da bi se ispunio cilj od 130 gCO₂/km [3]

Year	% of vehicle fleet required to meet 130 g/km target
2012	65%
2013	75%
2014	80%
2015 and on	100%

Dodatni poticaji: u početnom razdoblju, određene vrste vozila će dobiti dodatne poticaje:

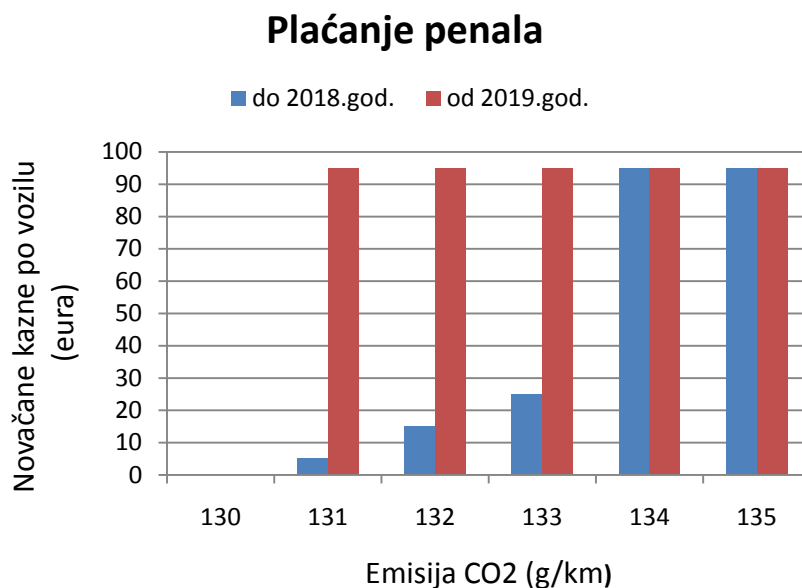
- Vozila sa emisijom manjom od 50 gCO₂/km dobivaju super-kredite. Svako takvo vozilo se broji kao 3,5 vozila u 2012. i 2013. godini, 2,5 vozila u 2014. godini, 1,5 vozila u 2015. godini, te od 2016. kao 1 vozilo.
- Emisije CO₂ iz vozila sposobnih za rad sa mješavinom benzina i 85 % etanola (E85) su smanjene za 5 % do kraja 2015. godine. Ovo smanjenje se odnosi samo tamo gdje je najmanje 30 % benzinskih postaja pruža mogućnost točenja E85 u državama članica EU.

Fleksibilni uvjeti: određeni fleksibilni uvjeti su dostupni za proizvođače, kako slijedi:

- Udruživanje – nekoliko proizvođača se može udružiti kako bi uspjeli zadovoljiti ciljane emisije CO₂.
- Proizvođači s malom proizvodnjom – proizvođači koji imaju manje od 10 000 novih registriranih vozila godišnje (Bugatti, Ferrari, Koenigsegg i dr.) mogu podnijeti zahtjev Europskoj komisiji za odstupanje od predviđenih ciljanih emisija CO₂.
- Eko inovacije – proizvođači mogu podnijeti zahtjev za kredit za inovativne tehnologije koje smanjuju emisiju CO₂, a koje se ne obračunavaju u trenutnom ciklusu, npr. energetske učinkovite rasvjete. Ukupni doprinos eko inovacije je ograničen na 7 gCO₂/km svakom proizvođaču kod prosječne ciljane emisije.

Novčane kazne: proizvođači koji ne uspiju ostvariti ciljanu emisiju plaćaju novčane kazne:

- Od 2012. do 2018. godine kazne se kreću od 5 eura po vozilu za prvi premašeni gCO₂/km, 15 eura po vozilu za drugi premašeni gCO₂/km, 25 eura po vozilu za treći premašeni gCO₂/km, 95 eura po vozilu za četvrti premašeni gCO₂/km itd.
- Od 2019. godine, proizvođači osobnih vozila će plaćati 95 eura po vozilu za svaki premašeni gCO₂/km iznad ciljane emisije CO₂.



Slika 1.4. Novčane kazne proizvođačima za premašene ciljane emisije po osobnom vozilu

1.2.3 2011. godina

U svibnju 2011. godine Europski parlament je usvojio Uredbu (EU) 510/2011, kojom se reguliraju emisije CO₂ kod lakih gospodarskih vozila (N₁ kategorije) prodanih u Europi. To je prvi put da se reguliraju emisije i kod ovih vozila, jer su prije 2011. godine bile regulirane samo emisije CO₂ kod osobnih vozila. Ciljevi emisija CO₂ kod lakih gospodarskih vozila su postavljeni na 175 gCO₂/km, koje će se uvoditi postupno u fazama od 2014. do 2016. godine. Predloženi su i dugoročni ciljevi, a to je smanjenje emisije CO₂ kod lakih gospodarskih vozila na 147 g CO₂/km do 2020. godine.

Uredba se odnosi na vozila kategorije N₁ s najvećom dopuštenom masom do 2610 kg. Godišnja specifična emisija, za svakog proizvođača, se izračunava prema formuli:

$$\text{specifična emisija CO}_2 = 175 + 0,093 \cdot (M - M_0)$$

Gdje je:

M - masa vozila (kg)

M_0 - iznosi 1706 kg za razdoblje od 2014. do 2017. godine.

Od 2018. godine će se vrijednost M_0 mijenjati godišnje, da bi se održavala prosječna masa novih lakih gospodarskih vozila kao u prethodne tri kalendarske godine.

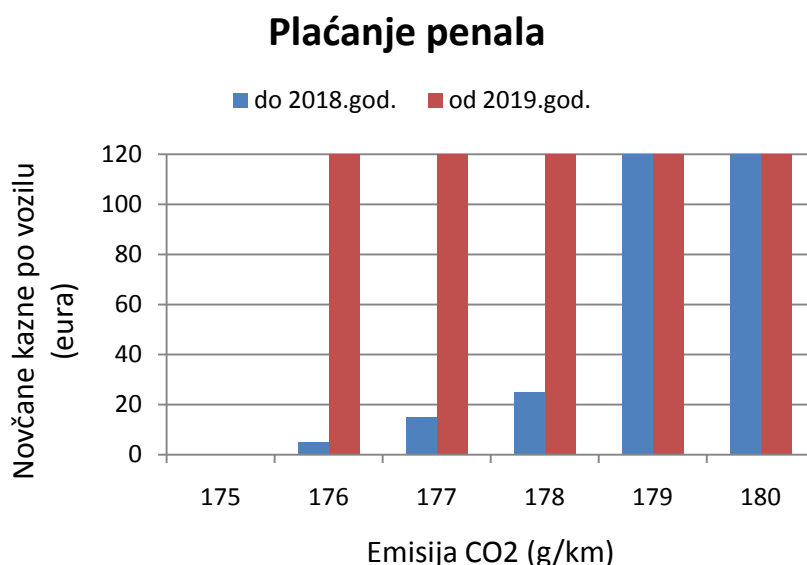
Tablica 3. Postotak voznog parka novih lakih gospodarskih vozila svakog proizvođača koji je potreban da bi se ostvarila ciljane emisija svake godine [3]

Year	% of LCV fleet required to meet 175 g/km target
2014	70%
2015	75%
2016	80%
2017	100%

Za vozila sa emisijom manjom od 50 gCO₂/km dani su dodatni poticaji u početnom razdoblju. Svako takvo vozilo se broji kao 3,5 vozila u 2014. i 2015. godini, 2,5 vozila u 2016. godini, 1,5 vozila u 2017. godini, te od 2018. kao 1 vozilo. Prijedlog uključuje i niz drugih odredbi sličnih onima za osobna vozila.

Proizvođači koji ne uspiju ostvariti ciljane emisije, plaćat će kazne (penale):

- Do 2018. godine, kazne iznose 5 eura po vozilu za prekoračenje prvog g/km, 15 eura za po vozilu za prekoračenje drugog g/km, 25 eura za treće g/km, te 120 eura po vozilu za svaki sljedeći g/km.
- Od 2019. godine, kazna je 120 eura po vozilu za svaki gram prekoračenja iznad ciljane emisije CO₂.



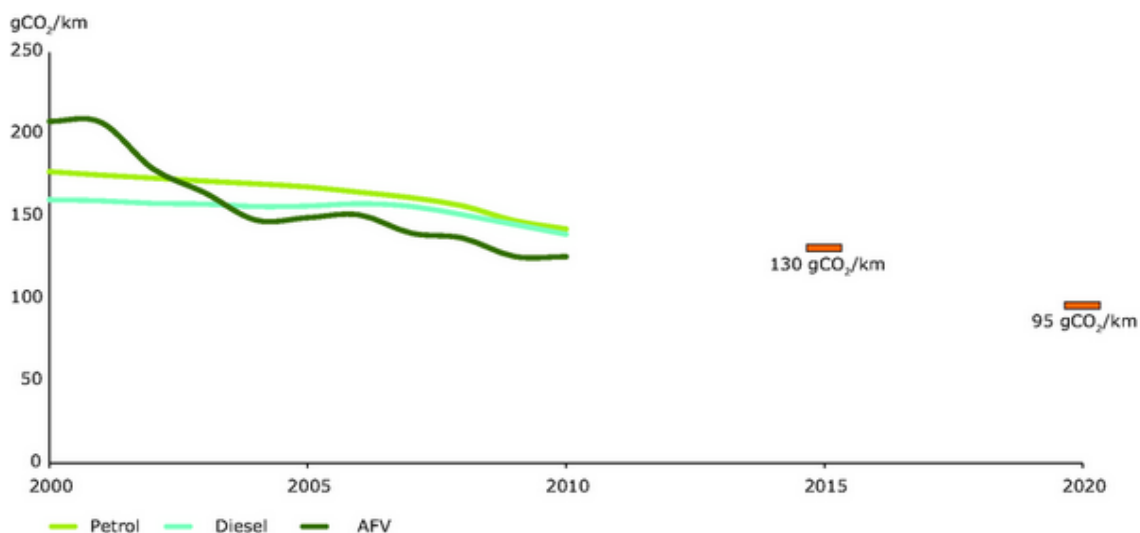
Slika 1.5. Novčane kazne proizvođačima lakih gospodarskih vozila za premašene ciljane emisije po vozilu

1.2.4 Planovi za 2020. i 2025. godinu

Na kraju 2013. godine Europski parlament i Vijeće Europske Unije postigli su dogovor u vezi dvije regulative koje će postati obavezne i početi se provoditi 2020. godine vezane uz emisiju CO₂ za nova osobna vozila i laka gospodarska vozila u Europskoj Uniji. Službeno su ta pravila usvojena: u veljači 2014. godine za laka gospodarska vozila, a za osobna vozila u ožujku 2014. godine.

Za vozni park je postavljena ciljana emisija od 95 gCO₂/km do 2020. godine. Međutim određena je jednogodišnja faza prilagodba prema kojoj se zahtijeva da 95 % prodaje novih vozila bude u skladu sa ciljanom emisijom do početka 2020. godine, odnosno 100 % do kraja 2020. godine. Stoga se efektivno ciljana emisija od 95 gCO₂/km počinje primjenjivati od 2021. godine pa nadalje. U pogledu potrošnje goriva, ciljana potrošnja do 2020. godine se izjednačava na otprilike 4,1 l/100 km benzina i 3,6 l/100 km dizelskog goriva. Masa vozila je zadržana kao osnovni parametar. Faktor koji se koristi je 0,0333, što znači da na svakih 100 kg mase dopuštena je dodatna emisija od 3,33 gCO₂/km. Za razdoblje nakon 2020. godine, drugi parametri kao što su npr. trag kotača će biti razmatrani.

Za laka gospodarska vozila postavljena je ciljana vrijednost od 147 gCO₂/km. Masa vozila je zadržana kao osnovni parametar s faktorom 0,0960 što znači da na svakih dodatnih 100 kg mase vozila dopuštena je viša emisija za 9,60 gCO₂/km.



Slika 1.6. Predviđene emisije CO₂ u EU do 2020. godine [1]

Za 2025. godinu Europski parlament je predložio indikativni raspon emisije između 68 i 78 gCO₂/km.

1.3 Povijesni pregled ostalih EU pravilnika

U ovom poglavlju dan je povijesni pregled pravilnika u Europskoj Uniji koji se odnosi na ostale štetne tvari iz ispušnih plinova.

Od 1970. do 2006. godine (uključujući i Euro 4 razinu), razine za ispušne plinove osobnih vozila navedeni su u Direktivi 70/220 EEZ (plus brojne izmjene i dopune). Počevši s Euro 5 razinom (usvojena 2009. godine), standardi su izdani od strane izravnih Pravilnika, koji su izravno provedivi u svim zemljama članicama EU, za razliku od Direktiva, koji moraju biti implementirani u svakoj pojedinoj zemlji članici. Europska pravila razlikuju se ovisno o vrsti goriva i veličini vozila, te se dijele na osobna i laka gospodarska vozila.

Tablica 4. prikazuje vremenski slijed usvajanja EU normi za osobna vozila.

Tablica 4. Vremenski slijed usvajanja Euro razina [2]

Euro razina	Datum provedbe (odobrenje novog tipa vozila)	Datum provedbe (prodaja svih vozila i registracija)	Pravilnik	Napomena
Prije Eura	Početak 1970.		Direktiva 70/220/EEC	Nadopunjavan više puta
Euro 1	Srpanj 1992.	Siječanj 1993.	Direktiva 91/441/EEC (samo osobni automobili)	Poznat i kao EC 93; sadržaj ekvivalentan ECE-R-83/01
	Kolovoz 1993.	Kolovoz 1994.	Direktiva 93/59/EEC (PC i laki kamioni)	Sadržaje ekvivalentan ECE-R-83/02
Euro 2	Siječanj 1996.	Siječanj 1997.	Direktive 94/12/EC 96/44/EC 96/69/EC	Poznat i kao EC 96;-R-83/04
Euro 3	Siječanj 2000.	Siječanj 2001.	Direktive 98/69/EC 98/77/EC 1999/102/EC 2001/1/EC 2001/100/EC 2000/80/EC 2002/80/EC	Dodano ograničenje NO _x pored ograničenja HC+NO _x granica, također poznat kao EC 2000; sadržaj ekvivalentan ECE-R-83/05
Euro 4	Siječanj 2005.	Siječanj 2006.	2003/76/EC 2006/96/EC	Također poznat kao EC 2005
Euro 5	a: Rujan 2009. b: Rujan 2011.	a: Siječanj 2011. b: Siječanj 2013.	Pravilnik 715/2007 692/2008	Euro 5b propisi, po prvi put, propisuju granicu emisije broja čestica (PN) za motore s kompresijskim paljenjem. Sadržaj ekvivalentan ECE-R-83/06
Euro 6	Rujan 2014.	Rujan 2015.		

Tablica 5. EU razine ispušnih plinova za osobna vozila (M1, M2)[2]

Euro razina	Datum	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
		g/km					#/km
Kompresijsko paljenje (vozila pogonjena Diesellovim motorom)							
Euro 1	07.1992.	2.72	-	0.97	-	0.14	-
Euro 2, IDI	01.1996.	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	01.1996.	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	01.2000.	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	01.2005.	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	09.2009.	0.50	-	0.23	0.18	0.005	-
Euro 5b	09.2011.	0.50	-	0.23	0.18	0.005	6.0x10 ¹¹
Euro 6	09.2014.	0.50	-	0.17	0.08	0.005	6.0x10 ¹¹
Vozila pogonjena Ottovim motorom							
Euro 1	07.1992.	2.72	-	0.97	-	-	-
Euro 2	01.1996.	2.20	-	0.5	-	-	-
Euro 3	01.2000.	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	01.2005.	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	09.2009.	1.0	0.10	-	0.06	0.005	-
Euro 6	09.2014.	1.0	0.10	-	0.06	0.005	6.0x10 ¹¹

Tablica 6. EU razine ispušnih plinova za laka gospodarstvena vozila (N1, N2) [2]

Kategorija	Euro razina	Datum	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
			g/km					
Kompresijsko paljenje (vozila pogonjena Diesellovim motorom)								
N ₁ , razred I ≤ 1305 kg	Euro 1	10.1994.	2.72	-	0.97	-	0.14	-
	Euro 2, IDI	01.1998.	1.0	-	0.7	-	0.08	-
	Euro 2, DI	01.1998.	1.0	-	0.9	-	0.10	-
	Euro 3	01.2001.	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
	Euro 4	01.2005.	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
	Euro 5a	09.2009.	0.50	-	0.23	0.18	0.005	-
	Euro 5b	09.2011.	0.50	-	0.23	0.18	0.005	6.0x10 ¹¹
	Euro 6	09.2014.	0.50	-	0.17	0.08	0.005	6.0x10 ¹¹
N ₁ , razred II 1305- 1760 kg	Euro 1	10.1994.	5.17	-	1.40	-	0.19	-
	Euro 2, IDI	01.1998.	1.25	-	1.0	-	0.12	-
	Euro 2, DI	01.1998.	1.25	-	1.30	-	0.14	-
	Euro 3	01.2001.	0.80	-	0.72	0.65	0.07	-
	Euro 4	01.2006.	0.63	-	0.39	0.33	0.04	-
	Euro 5a	09.2010.	0.63	-	0.295	0.235	0.005	-
	Euro 5b	09.2011.	0.63	-	0.295	0.235	0.005	6.0x10 ¹¹
	Euro 6	09.2015.	0.63	-	0.195	0.105	0.005	6.0x10 ¹¹
N ₁ , razred III > 1760 kg	Euro 1	10.1994.	6.90	-	1.70	-	0.25	-
	Euro 2, IDI	01.1998.	1.5	-	1.20	-	0.17	-
	Euro 2, DI	01.1998.	1.5	-	1.60	-	0.20	-
	Euro 3	01.2001.	0.95	-	0.86	0.78	0.10	-
	Euro 4	01.2006.	0.74	-	0.46	0.39	0.06	-
	Euro 5a	09.2010.	0.74	-	0.350	0.280	0.005	-
	Euro 5b	09.2011.	0.74	-	0.350	0.280	0.005	6.0x10 ¹¹

	Euro 6	09.2015.	0.74	-	0.215	0.125	0.005	6.0×10^{11}
N ₂	Euro 5a	09.2010.	0.74	-	0.350	0.280	0.005	-
	Euro 5b	09.2011.	0.74	-	0.350	0.280	0.005	6.0×10^{11}
	Euro 6	09.2015.	0.74	-	0.125	0.122	0.005	6.0×10^{11}
Vozila pogonjena Ottovim motorom								
N ₁ , razred I ≤ 1305 kg	Euro 1	10.1994.	2.72	-	0.97	-	-	-
	Euro 2	01.1998.	2.2	-	0.50	-	-	-
	Euro 3	01.2000.	2.3	0.20	-	0.15	-	-
	Euro 4	01.2005.	1.0	0.10	-	0.08	-	-
	Euro 5	09.2009.	1.0	0.10	-	0.06	0.005	-
	Euro 6	09.2014.	1.0	0.10	-	0.06	0.005	6.0×10^{11}
N ₁ , razred I ≤ 1305 kg	Euro 1	10.1994.	5.17	-	1.40	-	-	-
	Euro 2	01.1998.	4.0	-	0.65	-	-	-
	Euro 3	01.2001.	4.17	0.25	-	0.18	-	-
	Euro 4	01.2006.	1.81	0.13	-	0.18	-	-
	Euro 5	09.2010.	1.81	0.13	-	0.075	0.005	-
	Euro 6	09.2015.	1.81	0.13	-	0.075	0.005	6.0×10^{11}
N ₁ , razred I ≤ 1305 kg	Euro 1	10.1994.	6.90	-	1.70	-	-	-
	Euro 2	01.1998.	5.0	-	0.80	-	-	-
	Euro 3	01.2001.	5.22	0.29	-	0.21	-	-
	Euro 4	01.2006.	2.27	0.16	-	0.11	-	-
	Euro 5	09.2010.	2.27	0.16	-	0.082	0.005	-
	Euro 6	09.2015.	2.27	0.16	-	0.082	0.005	6.0×10^{11}
N ₂	Euro 5	09.2010.	2.27	0.16	-	0.082	0.005	-
	Euro 6	09.2015.	2.27	0.16	-	0.082	0.005	6.0×10^{11}

2 MJERENJE EMISIJE CO₂ IZ CESTOVNIH VOZILA

U ovom poglavlju opisano je mjerenje emisije CO₂ iz cestovnih vozila kroz direktivu 80/1268/EEC. Kako bi bilo moguće provesti ispitivanja ciklusi moraju što vjernije odgovarati stvarnom načinu vožnje. Ispitni ciklusi će također biti opisani u ovom poglavlju.

2.1 Direktiva 80/1268/EEC

Ova Direktiva se odnosi na mjerenje emisija CO₂ iz vozila kategorija M₁ i N₁, a također se odnosi i na mjerenje potrošnje goriva vozila navedenih kategorija. [5]

To se ne odnosi na kategoriju vozila N₁ ako vrijedi da je:

- tip motora opremljen za tu vrstu vozila dobio homologaciju u skladu s Direktivom 88/77/EEZ, te
- ukupna godišnja proizvodnja vozila N₁ u svijetu manja od 2 000 jedinica.

Emisija CO₂ mjeri se tijekom ispitnog ciklusa NEDC (engl. *New European Driving Cycle*) koji simulira gradsku i izvangradsku vožnju, opisanog u Dodatku 1, Priloga III, Direktive 70/220/EEC uključujući zadnje izmjene i dopune [6]. Rezultati tih testova moraju biti izraženi kao emisije ugljičnog dioksida u g/km i zaokruženi na najbliži prvi cijeli broj. Potrošnja goriva izračunava se prema točki 7. na temelju izmjerenih emisija CO₂, te CO i HC. Rezultati se zaokružuju na prvu decimalu.

Referentna goriva koja se koriste za testiranje vozila s Ottovim i Dieselovim motorom definirana su u Prilogu IX Direktivi 70/220/EEC prema zadnjim izmjenama i dopunama. Za testiranje vozila pogonjena ukapljenim naftnim plinom i prirodnim plinom potrebno je koristiti gorivo koje je propisao proizvođač u skladu s Prilogom I Direktive 80/1269/EEC.

2.1.1 Uvjeti testiranja

Postavke vozila moraju biti onakve kakve je prepisao proizvođač. Prije ispitivanja vozilo mora biti pohranjeno najmanje 6 sati u prostoriji sa temperaturom između 20 i 30°C. Na zahtjev proizvođača vozilo se može testirati maksimalno 30 sati nakon što je bilo korišteno na radnoj temperaturi. Također, na zahtjev proizvođača izvor paljenja motora može biti

uvjetovan u skladu s točkom 5.2.1 Dodatka VI Direktive 70/220/EEC prema zadnjim izmjenama i dopunama. Tijekom testiranja u funkciji mora biti samo oprema neophodna za funkcioniranje vozila. Sustav za zagrijavanje odnosno hlađenje putničkog prostora ne smije biti u funkciji iako kompresor mora normalno raditi. Sva maziva moraju biti ona propisana od strane proizvođača vozila i moraju biti navedena u izvješću o testiranju. Gume (pneumatici), također, moraju biti određene od strane proizvođača i pod propisanim pritiskom. Ispitni tlak u gumama (pneumaticima) mora biti naznačen u izvješću o testiranju. Testni ciklus opisan je u Dodatku 1 Priloga III Direktivi 70/220/EEC prema zadnjim izmjenama i dopunama uključujući i gradsku i izvangradsku vožnju. Svi propisi iz navedenog dodatka primjenjivat će se za mjerenje emisije CO₂. Ispitni valjci moraju biti podešeni kako je definirano u Prilogu III Direktivi 70/220/EEC prema zadnjim izmjenama i dopunama.

2.1.2 Izračunavanje emisije

Emisije štetnih plinova izračunavaju se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$M_i = \frac{V_{mix} \cdot Q_i \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d} \quad (1)$$

Gdje je:

M_i - masa emisije štetnih plinova u gramima po kilometru,

V_{mix} - volumen razrijeđenih ispušnih plinova u litrama po testu

Q_i - gustoća štetnih plinova u gramima po litri kod normalne temperature i tlaka (273,2 K i 101,33 kPa),

C_i – koncentracija štetnih plinova u razrijeđenim ispušnim plinovima izražena u ppm i korigirana za iznos štetnih plinova koji se nalaze razrijeđenom zraku. Ako je C_i izražen postotkom volumena faktor 10^{-6} zamjenjuje se sa 10^{-2} .

d – prijedena udaljenost tijekom provođenja testa u kilometrima.

Koncentracija štetnih plinova u razrijeđenim ispušnim plinovima C_i ovisi o faktoru razrjeđenja koji je različit za različite vrste goriva.

Vrijednost CO₂ usvojena kao homologacijska vrijednost mora biti vrijednost koju navodi proizvođač ukoliko izmjerena od strane tehničke službe ne prelazi deklariranu vrijednost za više od 4 %. Ukoliko izmjerena vrijednost prelazi prethodno navedenih 4 % potrebno je

ponoviti test. Kada je prosjek dvaju izmjerenih vrijednosti unutar 4 % odstupanja onda se vrijednost deklarirana od strane proizvođača uzima kao homologirana.

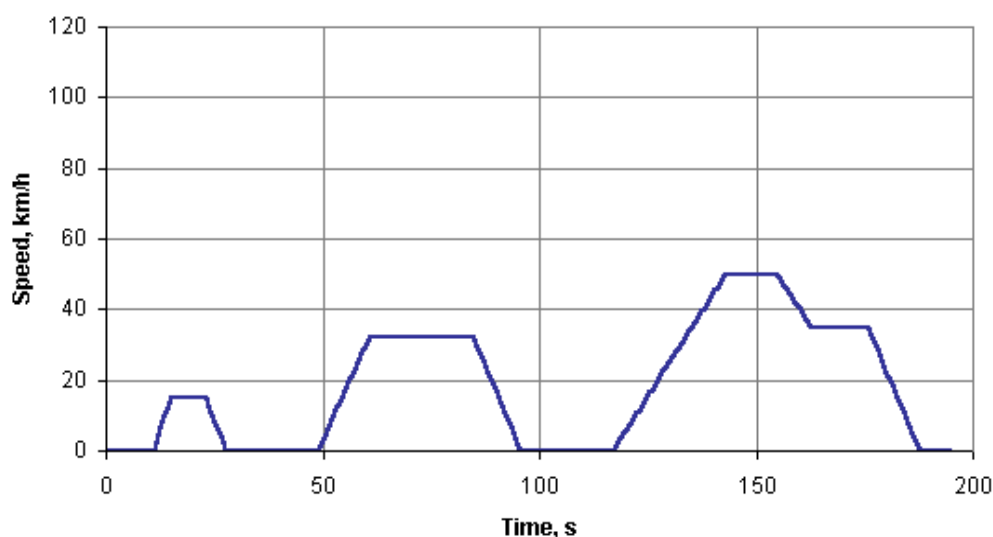
Ukoliko vrijednost i dalje prelazi prethodno navedenih 4 % potrebno je napraviti finalni test na istom vozilu. Prosjek svih triju izmjerenih vrijednosti uzima se kao homologirana vrijednost. [5]

2.2 Ispitni ciklusi

Ispitni ciklusi se koriste za određivanje emisije CO₂ iz cestovnih vozila, i potrebno je da što vjernije prikazuju stvarne uvjete eksploatacije vozila. U daljnjem tekstu će biti prikazani neki najvažniji i najčešće korištenih ispitnih ciklusa.

2.2.1 NEDC (engl. New European Driving Cycle)

NEDC⁶ se koristi za ispitivanje potrošnje goriva i emisije CO₂ za laka vozila u Europskoj Uniji (EEC Directive 90/C81/01). Ispitivanja se provode na valjcima. Cijeli ciklus uključuje četiri ECE⁷ segmenta (Slika 2.1) koji se ponavljaju bez prekidanja nakon čega slijedi jedan EUDC⁸ segment (Slika 2.2). ECE 15 segment predstavlja gradsku vožnju, dok EUDC predstavlja izvangradsku vožnju. Prije ispitivanja, vozilo se ostavi da miruje najmanje 6 sati na temperaturi ispitivanja 20-30 °C.



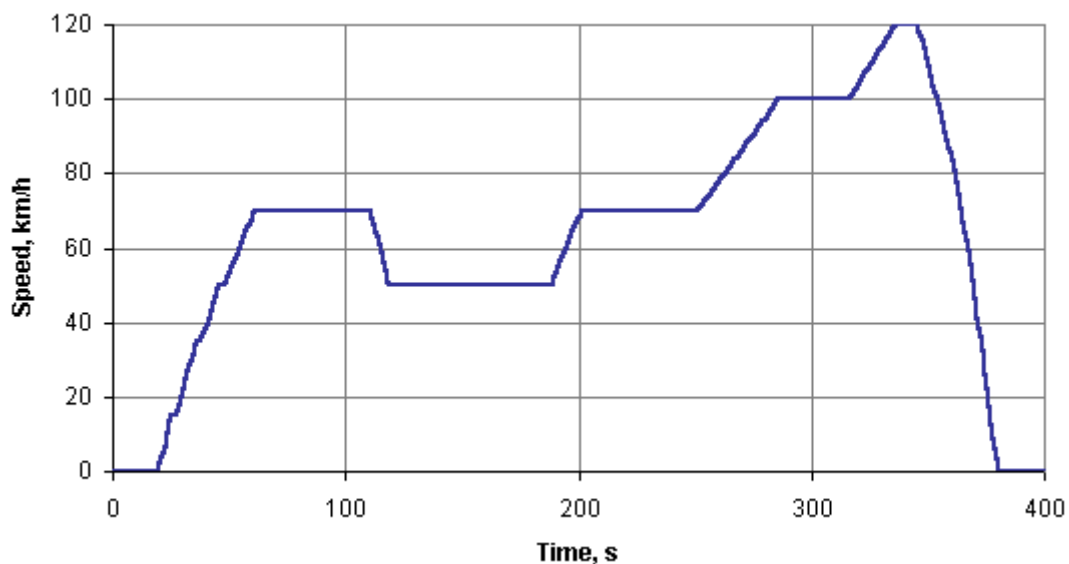
Slika 2.1. ECE 15 segment [7]

⁶ NEDC (engl. New European Driving Cycle) – Novi europski ciklus vožnje

⁷ ECE (engl. Urban Driving Cycle) – gradski ciklus vožnje

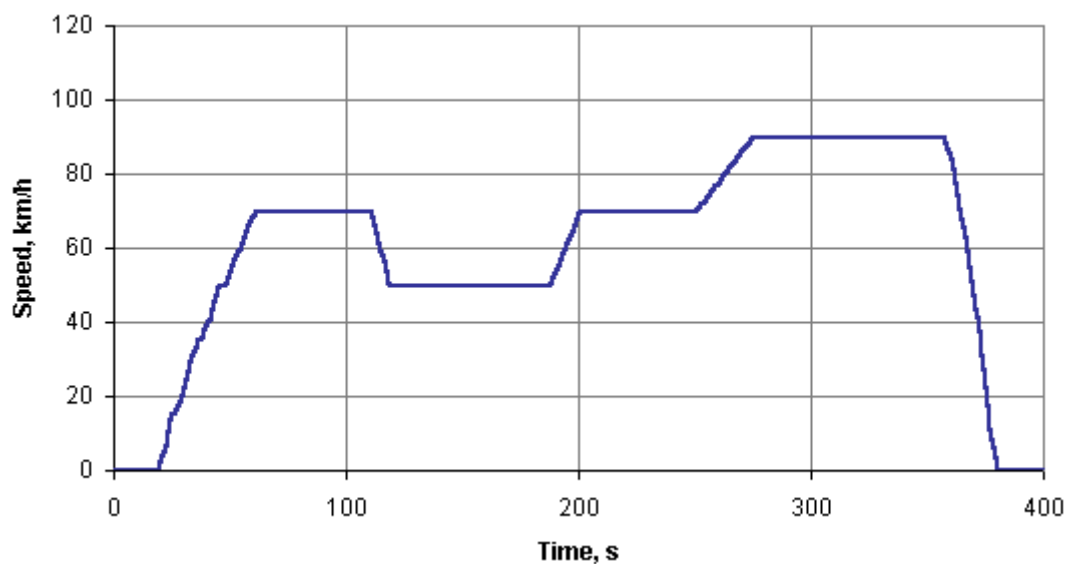
⁸ EUDC (engl. Extra Urban Driving Cycle) – dodatni gradski ciklus vožnje

ECE 15 segment se odlikuje malom brzinom vozila, niskim opterećenjem motora i niskom temperaturom ispušnih plinova.

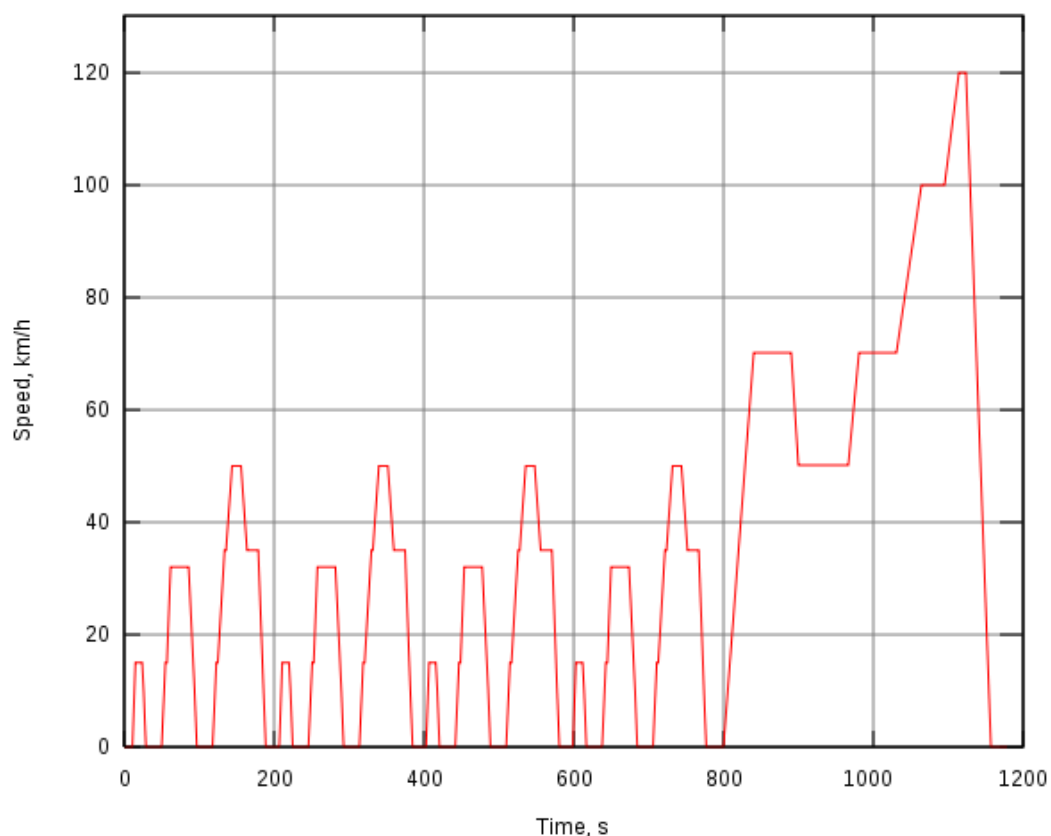


Slika 2.2. EUDC segment [7]

EUDC segment, dodan nakon četiri ECE 15 segmenta, predstavlja agresivniji način vožnje većom brzinom. Maksimalna brzina EUDC ciklusa je 120 km/h. Alternativa EUDC segmentu za vozila manjih snaga također je definiran uz maksimalnu brzinu vozila od 90 km/h (Slika 2.3.).



Slika 2.3. EUDC ciklus za vozila manjih snaga [7]



Slika 2.4. NEDC ciklus (4 ECE ciklusa + EUDC ciklus)[7]

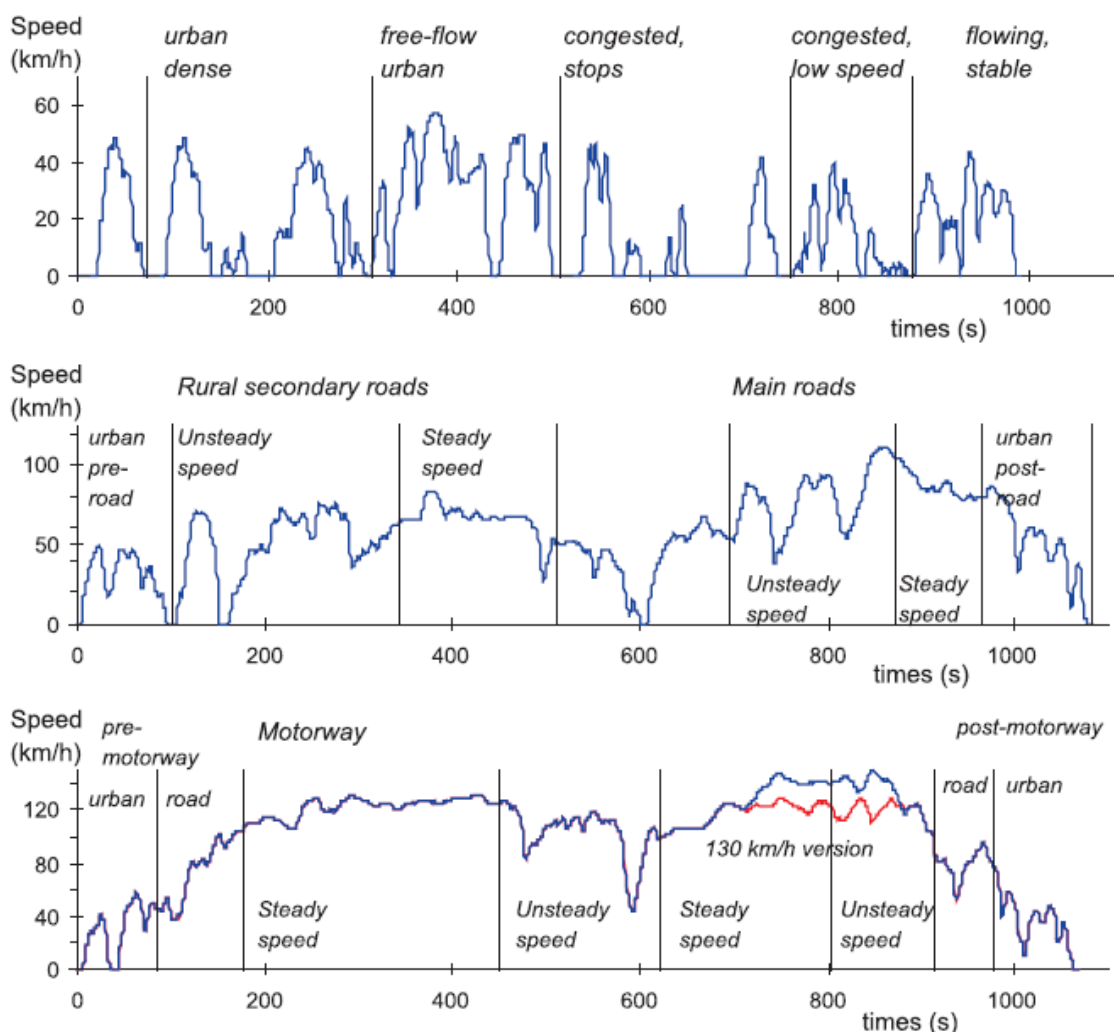
Tablica 7. prikazuje sažetak odabranih parametara za ECE 15, EUDC i NEDC ciklus.

Tablica 7. Sažetak odabranih parametara za ECE 15, EUDC i NEDC ciklus.

Osobine	Jedinica	ECE 15	EUDC	NEDC
Udaljenost	km	0,9941	6,9549	10,9314
Ukupno vrijeme	s	195	400	1180
Vrijeme praznog hoda	s	57	39	267
Prosječna brzina	km/h	18,35	62,59	33,35
Prosječna brzina vožnje	km/h	25,93	69,36	43,10
Maksimalna brzina	km/h	50	120	120
Prosječno ubrzanje	m/s ²	0,599	0,254	0,506
Maksimalno ubrzanje	m/s ²	1,042	0,833	1,042

2.2.2 Artemis

Artemis je ispitni ciklus razvijen unutar ARTEMIS projekta (engl. *Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*). Bazira se na statističkoj analizi velike baze podataka europskih obrazaca realne vožnje. Ciklus uključuje tri segmenta: urbani, ruralni i autocestu. Segment autoceste ima dvije varijante s maksimalnim brzinama vožnje od 130 km/h i 150 km/h. Ova tri segmenta razvijena su istraživanjem i baziranjem na glavnim karakteristikama dinamike vožnje, prosječnom brzinom, frekvenciji stajanja i trajanju pojedinih dijelova. Za različite kategorije vozila postoje i različite strategije mijenjanja stupnjeva prijenosa te svaki segment ima inačice ovisno o 12 mogućih uvjeta na cesti. Korištenjem Artemis ispitnog ciklusa moguće je uvesti faktor korekcije u rezultate dobivene NEDC ciklusom i tako ih približiti realnim uvjetima vožnje. [8]



Slika 2.5. ARTEMIS- ciklus gradske, izvan gradske i vožnje po autocesti [8]

Tablica 8. prikazuje neke od karakteristika ciklusa Artemis.

Tablica 8. Karakteristike Artemis ciklusa vožnje [9]

Karakteristike	Gradska vožnje	Izvangradska vožnja	Vožnja po autocesti 130	Vožnja po autocesti 150
Trajanje, s	920	1081	1067	1076
Udaljenost, km	4,47	17,27	28,74	29,55
Prosječna brzina, km/h	17,5	57,5	97,0	99,7
Maksimalna brzina, km/h	58	112	132	150
Raspodjela brzine, %	-	-	-	-
Prazni hod (v=0 km/h)	29	3	2	2
Mala brzina (0<v≤50)	69	31	15	15
Srednja brzina (50<v≤90km/h)	2	59	13	13
Visoka brzina (v>90 km/h)	0	7	70	70

2.2.3 WLTP

WLTP (*engl. The worldwide harmonized light vehicles test procedure*) je usklađen, odnosno usuglašen postupak određivanja potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova lakih vozila u svijetu. U smislu ovoga ciklusa lakim vozilima smatraju se osobni automobili (M₁ kategorija) i laka gospodarska vozila (N₁ kategorija). Kada WLTP postupak bude usavršen očekuje se da će zamijeniti europski NEDC ciklus ispitivanja.

WLTP postupak ispitivanja uključuje tri ciklusa ispitivanja koji se primjenjuje na vozila različitih omjera snage i mase PMR (*eng. Power to Mass Ratio*) koji se računa prema:

$$PMR = \frac{P}{m}, \quad \left[\frac{\text{kW}}{\text{t}} \right].$$

Gdje je:

P [kW] – snaga vozila i

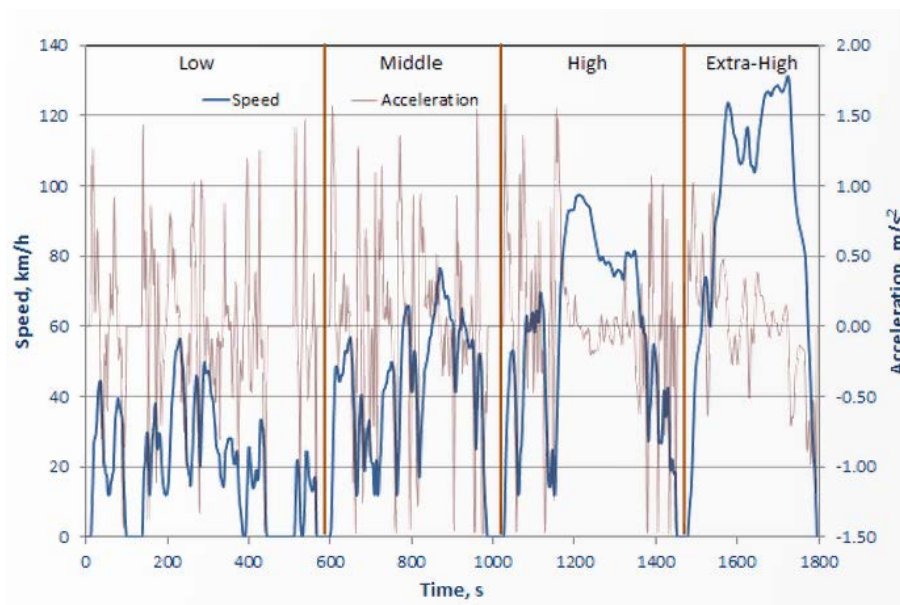
m [t] – masa vozila prema ECE R83.

Tablica 9. prikazuje podjele ciklusa s obzirom na omjer PMR.

Tablica 9. Podjela WLTP ciklusa prema PMR-u [10]

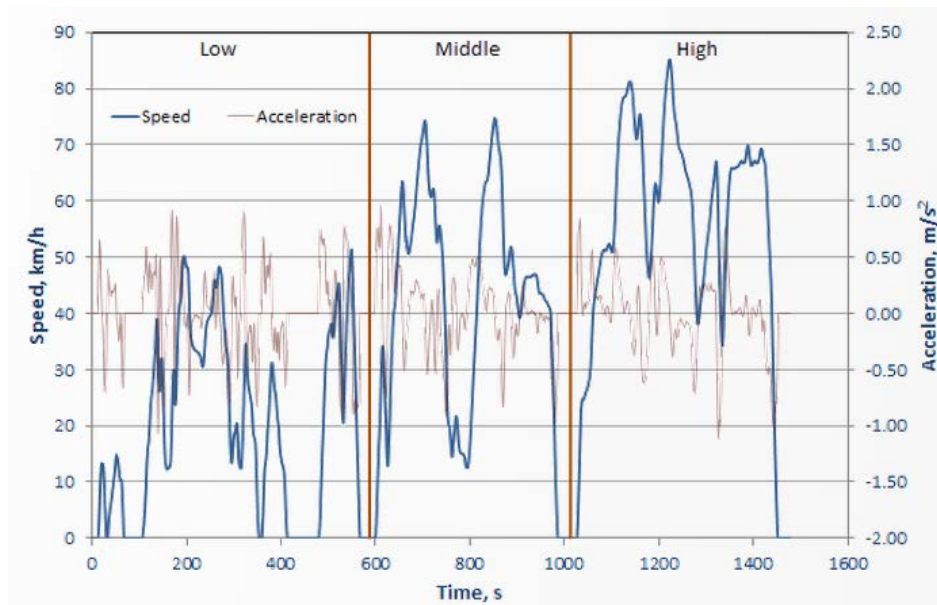
Kategorije	PMR [kW/t]	Faze brzine	Napomena
3	$PMR > 34$	- niska, - srednja, - visoka i - ekstra visoka.	Ako je $v_{\max} < 135$ km/h, faza brzine „ekstra visoka“ zamjenjuje se ponavljanjem faze „niska“.
2	$34 \geq PMR > 22$	- niska, - srednja i - visoka	Ako je $v_{\max} < 90$ km/h, faza brzine „visoka“ zamjenjuje se ponavljanjem faze „niska“.
1	$PMR < 22$	- niska i - srednja.	Ako je $v_{\max} \geq 70$ km/h, faza brzine „niska“ ponavlja se iza faze „srednja“. Ako je $v_{\max} < 70$ km/h, faza brzine „srednja“ zamjenjuje se ponavljanjem faze „niska“.

S najvećim omjerom snage i mase kategorija 3 najvjernije prikazuje ispitni postupak vozila u Europi i Japanu. Slika 2.6. prikazuje je dijagram brzine i ubrzanja za tu kategoriju.

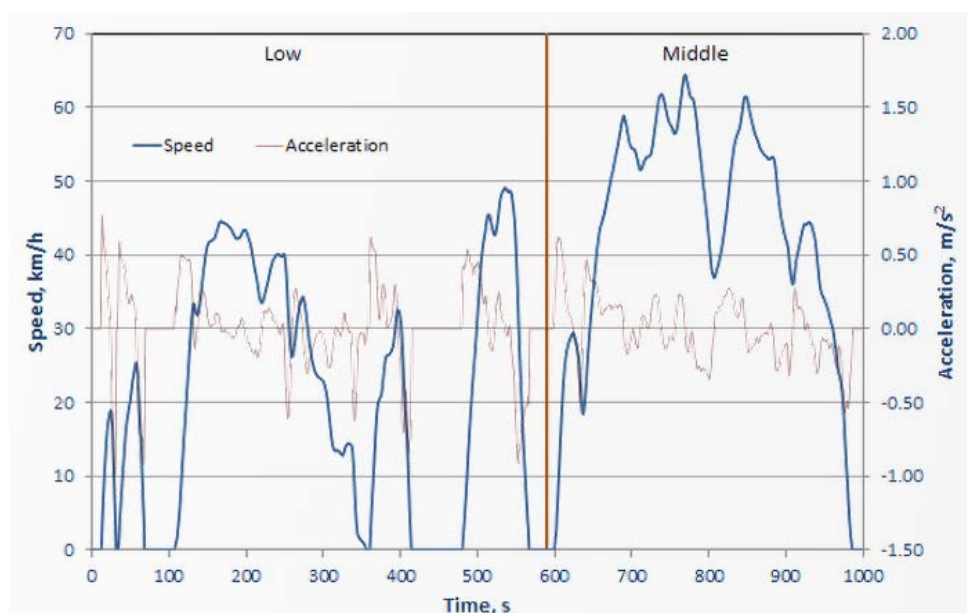


Slika 2.6. WLTP kategorija 3 [10]

Slika 2.7. prikazuje brzine i ubrzanje za kategoriju 2 koja je ispitni postupak za vozila u Indiji i vozila manje snage u Europi. Kategorija 1 je ispitni postupak za vozila u Indiji. Slika 2.8. prikazuje dijagram brzine i ubrzanja za kategoriju 1.



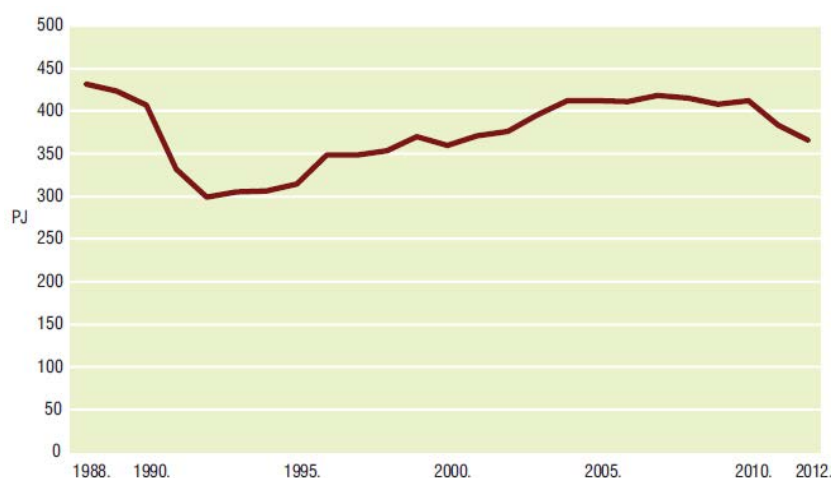
Slika 2.7. WLTP kategorija 2 [10]



Slika 2.8. WLTP kategorija 1 [10]

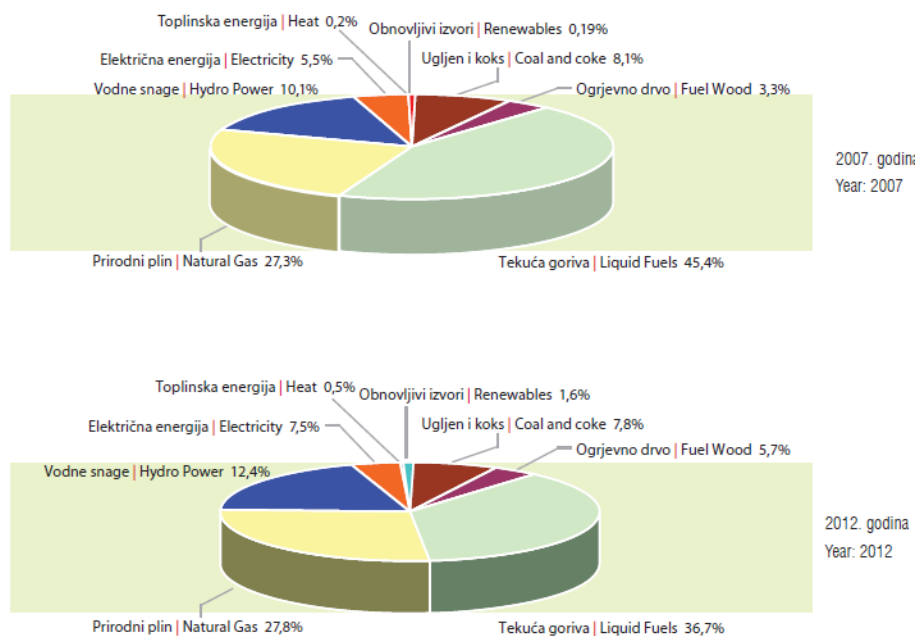
3 POTROŠNJA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Slika 3.1. prikazuje ukupnu potrošnju energije u Hrvatskoj u razdoblju između 1988. i 2012. godine. U godišnjem energetske pregledu [11] ne spominje se razlog pada ukupne potrošnje energije u RH za razdoblje od 1988. do 1991. godine (prije Domovinskog rata). U razdoblju od 2007. do 2012. godine se može primijetiti trend smanjenja ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj, koje je posljedica gospodarske krize.



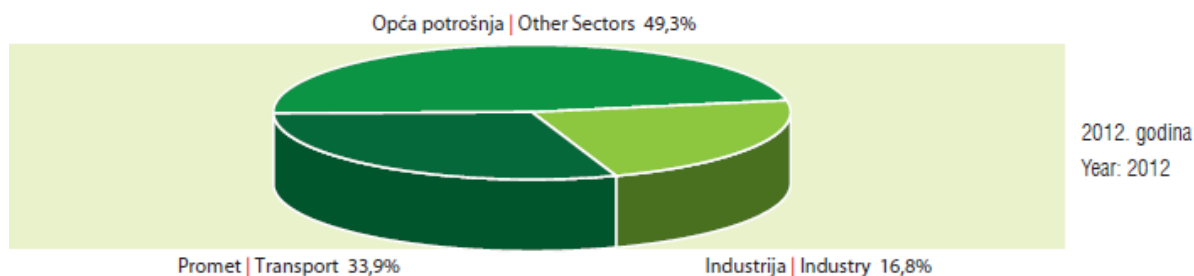
Slika 3.1. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj [11]

Slika 3.2. prikazuje ostvarene udjele pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji energije u 2007. i 2012. godini.



Slika 3.2. Udjeli u ukupnoj potrošnji energije [11]

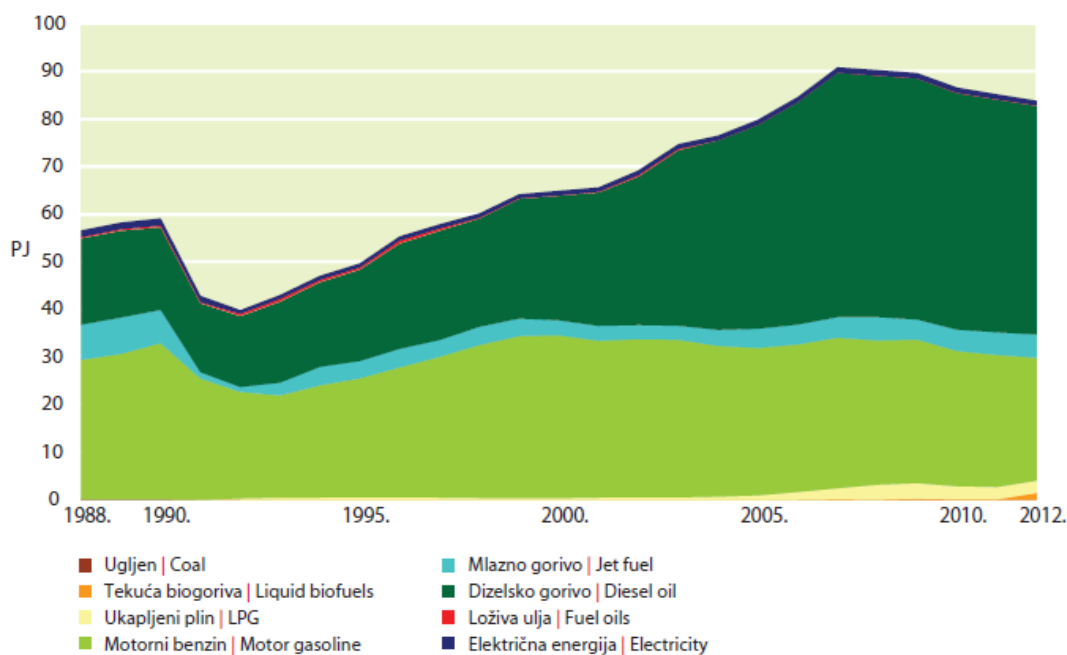
Iz slike 3.3. se može vidjeti da najveći udio u potrošnji energije otpada na tekuća goriva. Međutim njihov udio se u 2012. godini smanjio u odnosu na 2007. godinu. Od ukupne potrošnje energije u hrvatskoj u 2012. godinu, 33,9 % potrošnje otpada na promet, što prikazuje slika 3.3.



Slika 3.3. Podjela sektora u neposrednoj potrošnji energije [11]

3.1 Potrošnja energije u prometu u Republici Hrvatskoj

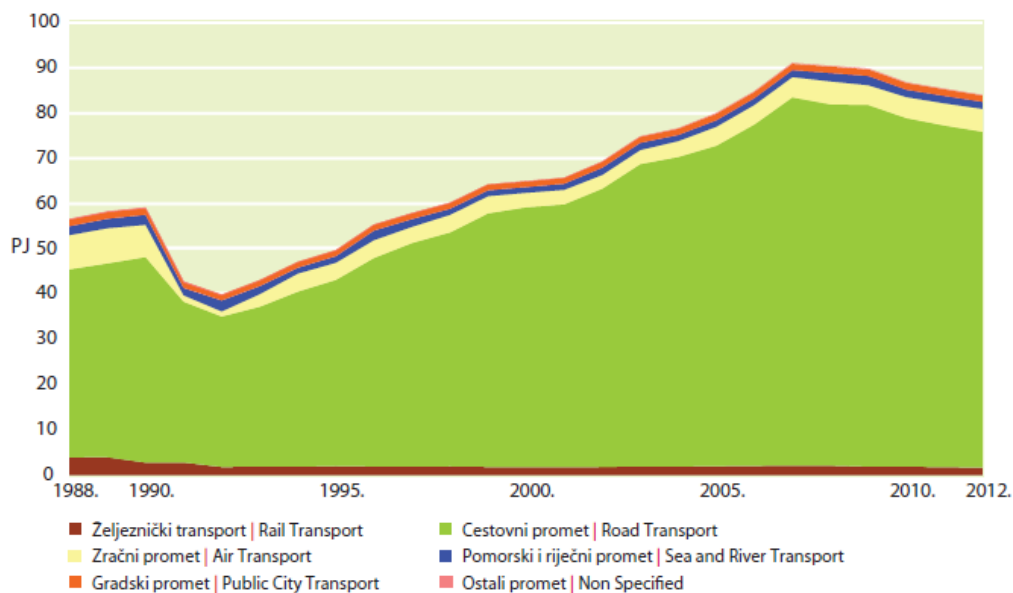
Slika 3.4. prikazuje strukturu oblika energije utrošenih u prometu za razdoblje između 1988. godine i 2012. godine.



Slika 3.4. Potrošnja energije u prometu 1988. – 2012. [11]

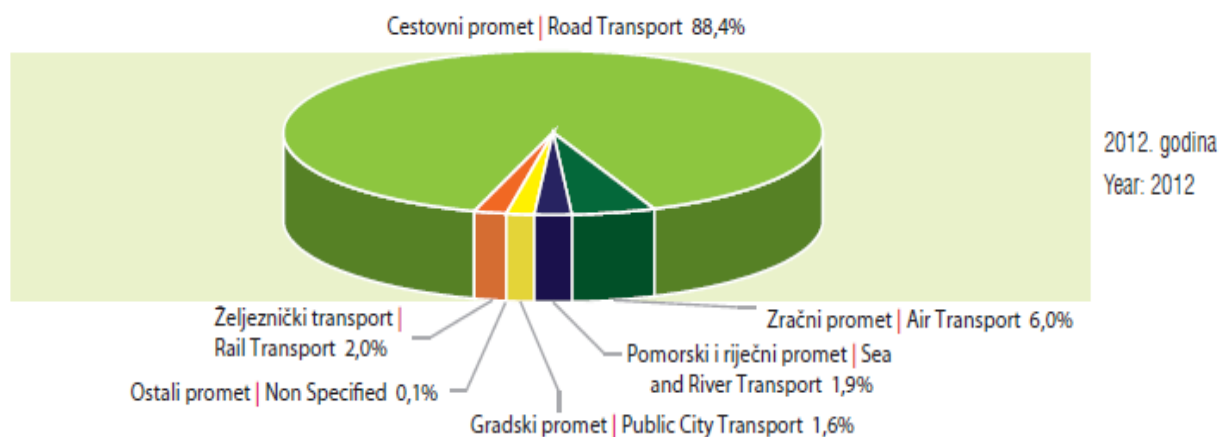
Iz slike 3.5. se vidi da je potrošnja energije u prometu stalno rasla od početka devedesetih godina prošloga stoljeća, međutim također se vidi da je ta potrošnja u proteklih nekoliko godina u padu.

Od svih vrsta prometa, najveći potrošač energije je cestovni promet što se jasno vidi na sljedećoj slici:



Slika 3.5. Potrošnja energije pojedinih vrsta prometa [11]

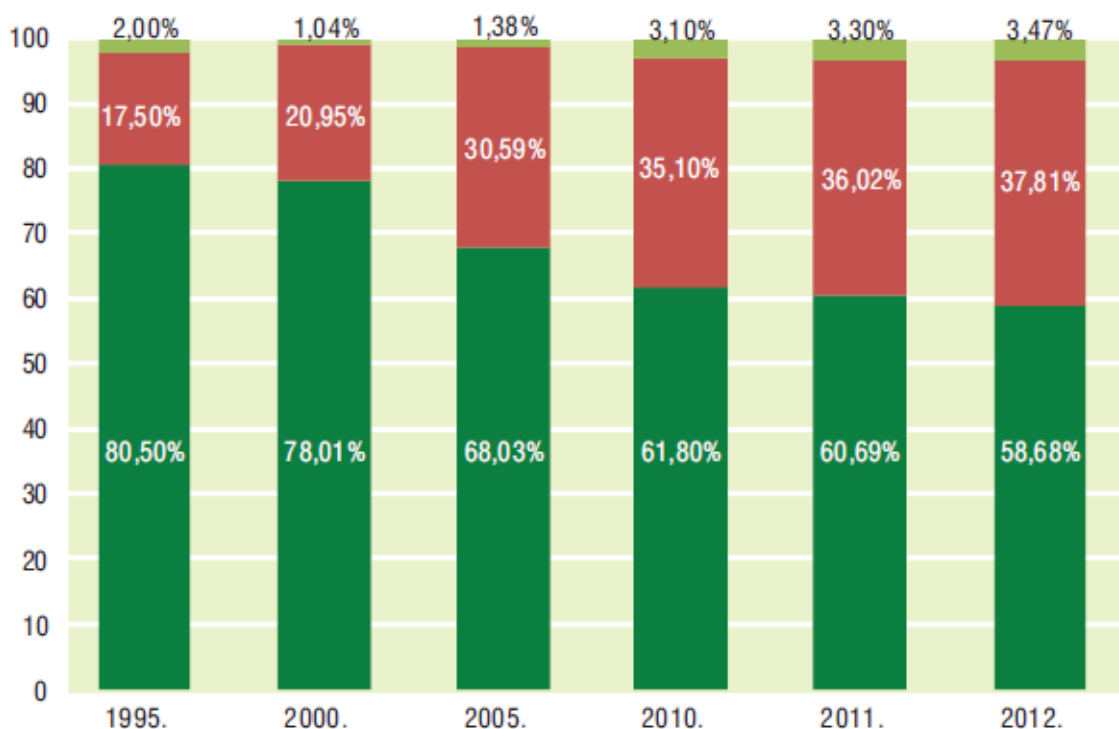
A to je jasnije prikazano na slici 3.6.. Iz ove slike se vidi da je na cestovni promet u 2012. godini odlazilo više od 88 % ukupne potrošnje energije u prometu.



Slika 3.6. Udjeli vrsta prometa u neposrednoj potrošnji energije [11]

U Republici Hrvatskoj u promatranom razdoblju (1995.-2012.) ostvareno je povećanje udjela vozila na pogon Dieselovim motorom u ukupnom broju osobnih vozila. Povećanje je iznosilo sa 17,5 % 1995. godine na 37,8 % 2012. godine. Udio vozila na pogon Ottovim motorom se smanjio i to sa 80,5 % koliko je iznosio 1995. godine na 58,7 % 2012. godine. Broj vozila s

pogonom na ukapljeni naftni plin (UNP) porastao je sa 2,0 % 1995. godine na 3,5 % 2012. godine.



Slika 3.7. Struktura osobnih vozila prema vrsti pogona [11]

Tamno zelenom bojom su označena vozila pogonjena Ottovim motorom, crvenom bojom vozila pogonjena Dieselovim motorom, a svijetlo zelenom bojom su označena vozila pogonjena Ottovim motorom na UNP (ukapljeni naftni plin).

3.2 Emisije onečišćujućih tvari u zraku iz energetske sektora

Hrvatska je članica Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)⁹ od 1996. godine, preuzevši opseg svoje odgovornosti u okviru Priloga 1 UNFCCC konvencije. Hrvatska je u travnju 2007. godine ratificirala Protokol iz Kyota i time preuzela obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova iz antropogenih izvora u razdoblju od 2008. do 2012. godine za 5 % u odnosu na referentnu 1990. godinu.

EU ima aktivnu ulogu u pronalaženju rješenja za klimatski problem i preuzela je obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova od najmanje 20 % do 2020. godine u odnosu na

⁹ UNFCCC (eng. United Nations Framework Convention on Climate Change) - Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime

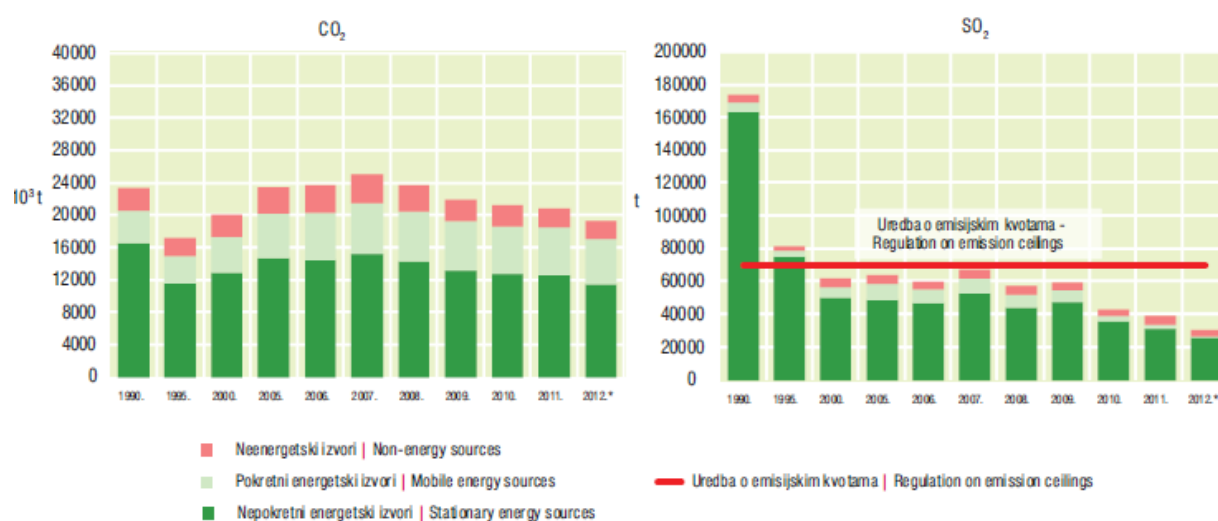
emisiju iz 1990. godine. Hrvatska je kao članica Europske unije dužna slijediti politiku EU-a u području klimatskih promjena.

Hrvatska je ratificirala CLRTAP¹⁰ konvenciju (Narodne novine, broj 1/1992). U okviru CLRTAP konvencije doneseno je niz važnih protokola za energetiku, neke najvažnije obveze Protokola su suzbijanje zakiseljavanja, eutrofikacije¹¹ i prizemnog ozona, ratificiranog u svibnju 2008. godine. Protokol je implementiran u europsko zakonodavstvo Direktivom 2001/81/EZ o nacionalnim vršnim emisijama, a u hrvatski pravni sustav Uredbom o emisijskim kvotama za određene onečišćujuće tvari u Republici Hrvatskoj (Narodne novine, broj 108/2013).

3.2.1 Emisije u zraku

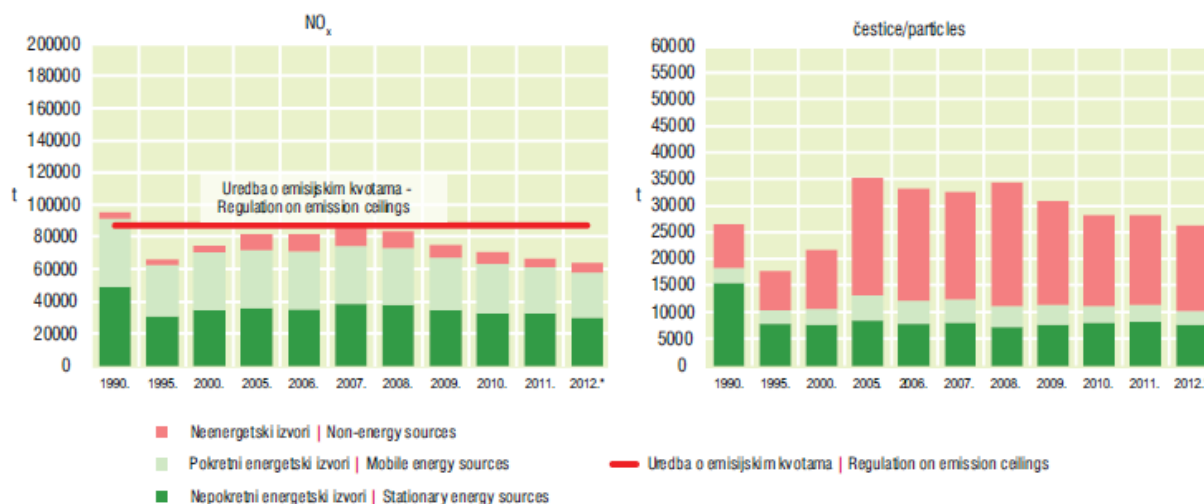
Emisije uslijed izgaranja goriva imaju dominantan utjecaj na ukupne emisije CO₂, SO₂ i NO_x. Prema preliminarnim rezultatima proračuna za 2012. godinu, emisije CO₂ su bile za oko 17 % niže od razine emisija u 1990. godini. Emisije SO₂ bile su za 56 %, a emisije NO_x za 27 % niže od graničnih vrijednosti postavljenih u okviru Uredbe o emisijskim kvotama. Emisije krutih čestica u posljednjih nekoliko godina također su smanjenje. Smanjenje emisija u zraku je uglavnom posljedica pada gospodarskih aktivnosti posljednjih godina.

Na slikama 3.8. i 3.9. dan je pregled emisija CO₂, SO₂, NO_x i čestica u Hrvatskoj za razdoblje od 1990. godine do 2012. godine.



¹⁰ CLRTAP (engl. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) – Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka

¹¹ Eutrofikacija – proces povećanog prihranjivanja nekog vodenog ekosustava

Slika 3.8. Trendovi emisija CO_2 i SO_2 u RH [11]Slika 3.9. Trendovi emisija NO_x i čestica u RH [11]

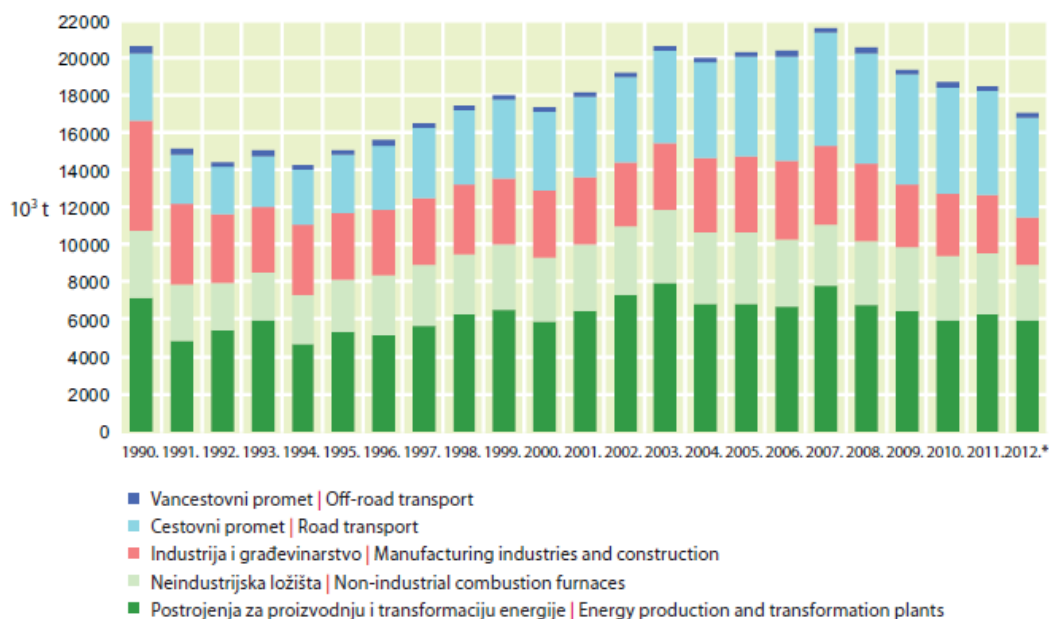
U sljedećim potpoglavljima 3.2.1.1 do 3.2.1.5 dan je kratak pregled emisija onečišćujućih tvari koji se odnose na cestovni promet u Republici Hrvatskoj (CO_2 , SO_2 , NO_x , čestice, CO) i njihovo smanjenje u odnosu na referentnu 1990. godinu. Podatci za HC nisu pronađeni.

3.2.1.1 Emisija CO_2

Ugljikov dioksid je najznačajniji antropogeni staklenički plin. Porast antropogene emisije CO_2 na globalnoj razini uzrokuje povećanje njegove koncentracije u atmosferi te posljedično dovodi do globalnog zatopljenja i promjene klima.

Za 2012. godinu emisija CO_2 iz pokretnih i nepokretnih izvora je iznosila 17,1 milijuna tona, što je za 17 % niža emisija od one iz 1990. godine.

U Hrvatskoj u 2012. godini cestovni promet je sudjelovao u emisiji CO_2 s 31 %, što znači s 5,3 milijuna tona, a vancestovni promet s 2 %. Pod vancestovnim prometom podrazumijeva se zračni, željeznički te pomorski i riječni promet.



Slika 3.10. Trend emisije CO₂ uslijed izgaranja goriva [11]

Prema Statističkom ljetopisu RH za 2014. godinu i podacima Centra za vozila Hrvatske 2012. godine je bilo registrirano 1.748.423 vozila (ovo se odnosi na registrirane mopede, motocikle, osobne automobile, autobuse i teretna vozila). U statističkom ljetopisu također se nalazi i ukupan broj prijeđenih kilometara 2012. godine za navedena vozila koji iznosi 20.317 milijuna kilometara. Iz ovih podataka se izračuna prosječno prijeđeni put ovih vozila za 2012.:

$$\bar{l} = \frac{20317 \cdot 10^6}{1748423} = 11620 \text{ km}$$

Ovaj podatak se razlikuje od podatka CVH o prosječno prijeđenom putu (poglavlje: 4.2.4 *Godišnje prijeđeni put osobnih vozila*). razlog je što su se ovdje ubrojili i motocikli i mopedi koji imaju dosta manji prosječno godišnje prijeđeni put od osobnih vozila, a također i teretna vozila koja isto imaju manji prosječno godišnje prijeđeni put.

Prosječno prijeđeni put svakog vozila po danu iznosi:

$$\frac{\bar{l}}{365} = \frac{11620 \text{ km}}{365 \text{ dan}} = 31,84 \frac{\text{km}}{\text{dan}}$$

Iz slike 3.10. se za 2012. godinu očita emisija CO₂ iz cestovnih vozila koja iznosi približno 5.500.000 tona. Iz podatka o emisiji CO₂, te poznavajući već gore navedeni podatak o broju registriranih vozila, lako se dolazi do podatka koliko svako vozilo emitira CO₂ godišnje:

$$\frac{5500000 \text{ tonaCO}_2}{1748423 \text{ vozila}} = 3,15 \frac{\text{tCO}_2}{\text{vozilo godišnje}}$$

Odnosno, dnevna količina emisija, za svako vozilo iznosi:

$$\frac{3,15 \cdot 10^3 \text{ kgCO}_2}{365 \text{ dana}} = 8,63 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{dan}}$$

Iz dnevne količine emisija svakog vozila i izračunatog podatka o dnevno prijeđenom putu svakog vozila, izračuna se koliko iznosi prosječna emisija vozila po prijeđenom kilometru:

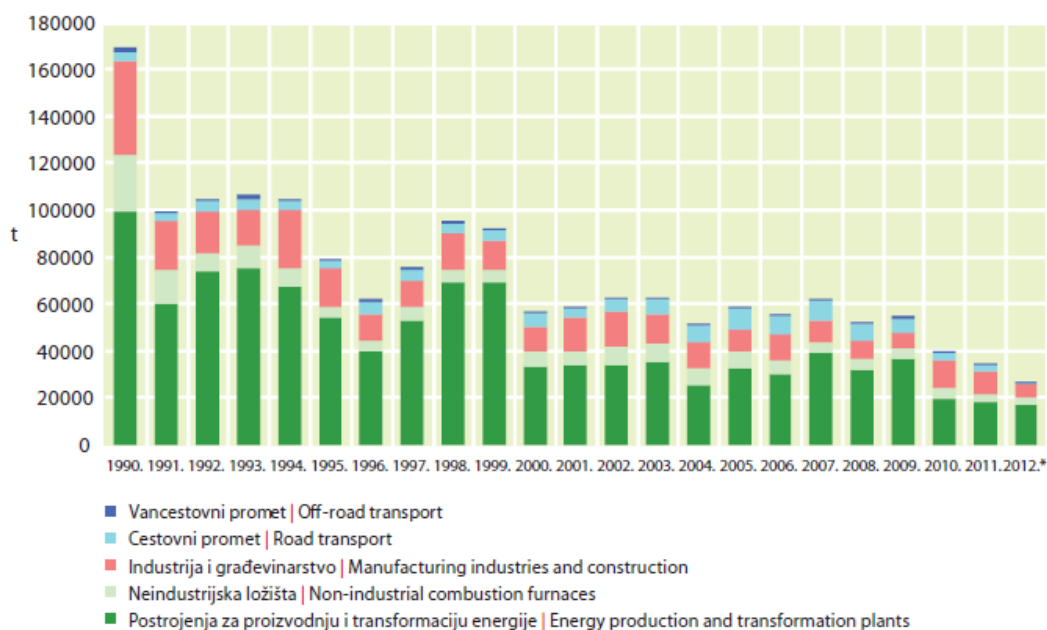
$$\frac{8630 \frac{\text{gCO}_2}{\text{dan}}}{31,84 \frac{\text{km}}{\text{dan}}} = 271 \frac{\text{gCO}_2}{\text{km}}$$

3.2.1.2 Emisija SO₂

Sumporov dioksid je poznat kao „kiseli“ plin jer njegovom transformacijom u atmosferi prilikom prijenosa na daljinu nastaju kiseli spojevi, koji se talože te uzrokuju zakiseljavanje tla i površinskih voda.

Emisija SO₂ uslijed izgaranja goriva u 2012. godini iznosila je 26500 t što je za 84 % manja emisija u odnosu na 1990. godinu. [11] Smanjenje emisije SO₂ je uglavnom posljedica smanjenja sadržaja sumpora u naftnim derivatima te smanjenje proizvodnje električne i toplinske energije u termoelektričkim postrojenjima i smanjenja industrijske proizvodnje.

Vancestovni i cestovni promet doprinose emisiji SO₂ u Hrvatskoj u 2012. godini s 2 %, odnosno 0,1 % što je približno zanemarivo.

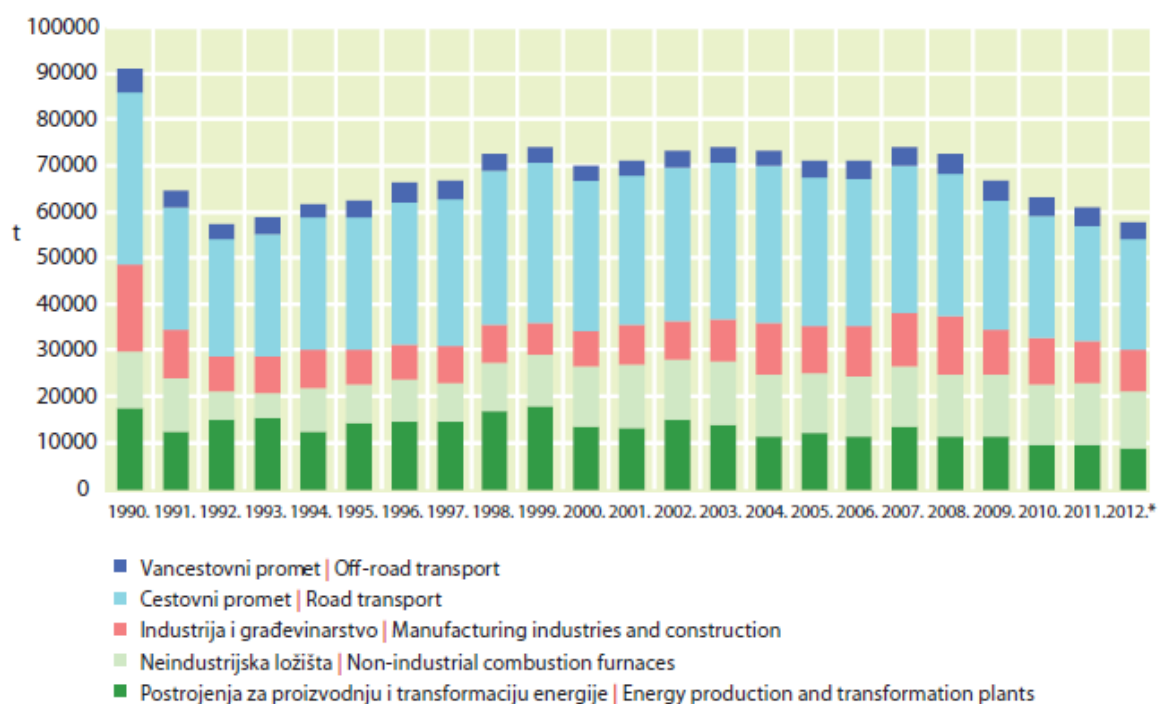


Slika 3.11. Trend emisije SO₂ uslijed izgaranja goriva [11]

3.2.1.3 Emisija NO_x

Pored toga što NO_x utječe na zakiseljavanje i eutrofikaciju¹², u atmosferi s hlapivim organskim spojevima i ostalim reaktivnim plinovima, uz prisutnost Sunčevog zračenja, sudjeluje i u stvaranju troposferskog ozona.

U 2012. godini emisija NO_x iznosila je 57.800 t, što je u odnosu na emisiju iz 1990. godine smanjenje za 37 %. [11] Dominatni izvor emisije NO_x bio je cestovni promet s 41 %, odnosno 23.700 t, a vancestovni promet doprinio je ukupnoj emisiji s oko 6 % (3.500 t).



Slika 3.12. Trend emisije NO_x uslijed izgaranja goriva [11]

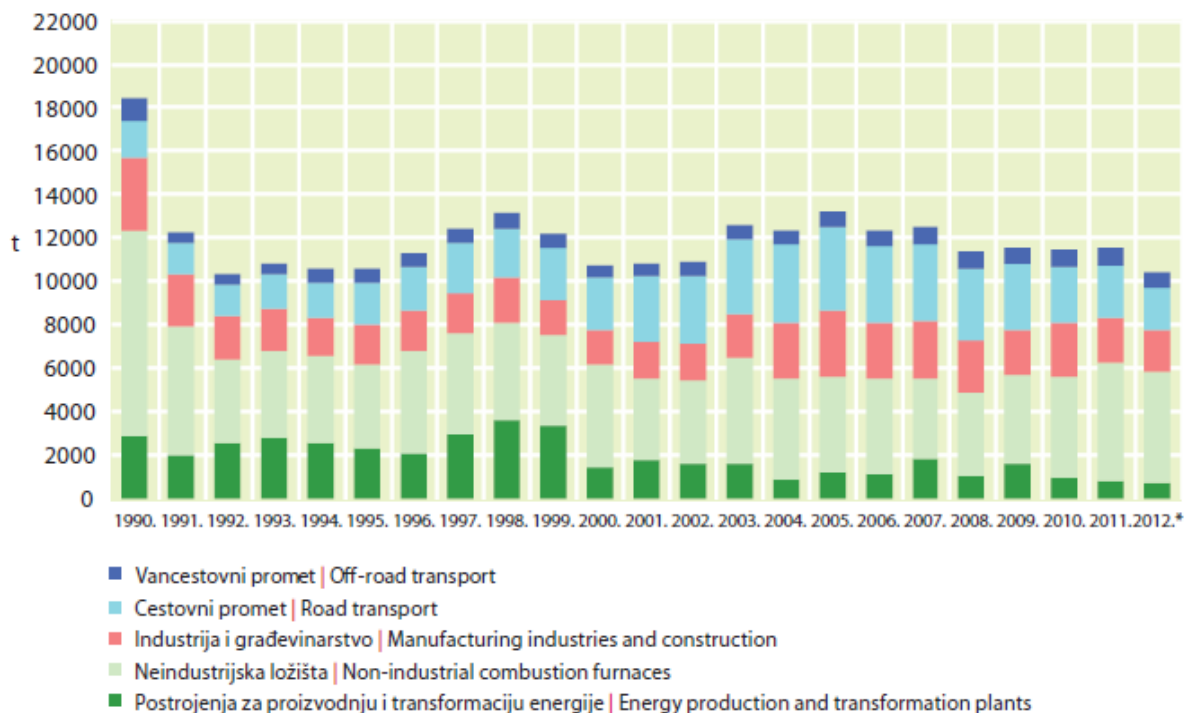
Od ukupne emisije NO_x za 2012. godinu (57.700 t), osobna vozila su jedan od ključnih izvora sa 19,1 %, odnosno 11.260 t. [12]

3.2.1.4 Emisija čestica

Čestice se u pravilu talože blizu izvora emisije i predstavljaju uglavnom lokalni problem. Jedino se najsitnije čestice, promjera manjeg od $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), mogu prenijeti vjetrom i taložiti na većim udaljenostima od izvora te osim lokalnog predstavljaju i regionalni problem.

¹² Eutrofikacija – proces povećanog prihranjivanja nekog vodenog ekosustava.

Prema rezultatima preliminarnog proračuna emisija za 2012. godinu, ukupna emisija čestica iz energetske izvora je iznosila 10,4 kt što je smanjenje za 44 % u odnosu na 1990. godinu. Cestovni promet je u emisiji čestica sudjelovao s 18 % (1.870 t), a vancestovni promet sa 7 % (730 t).



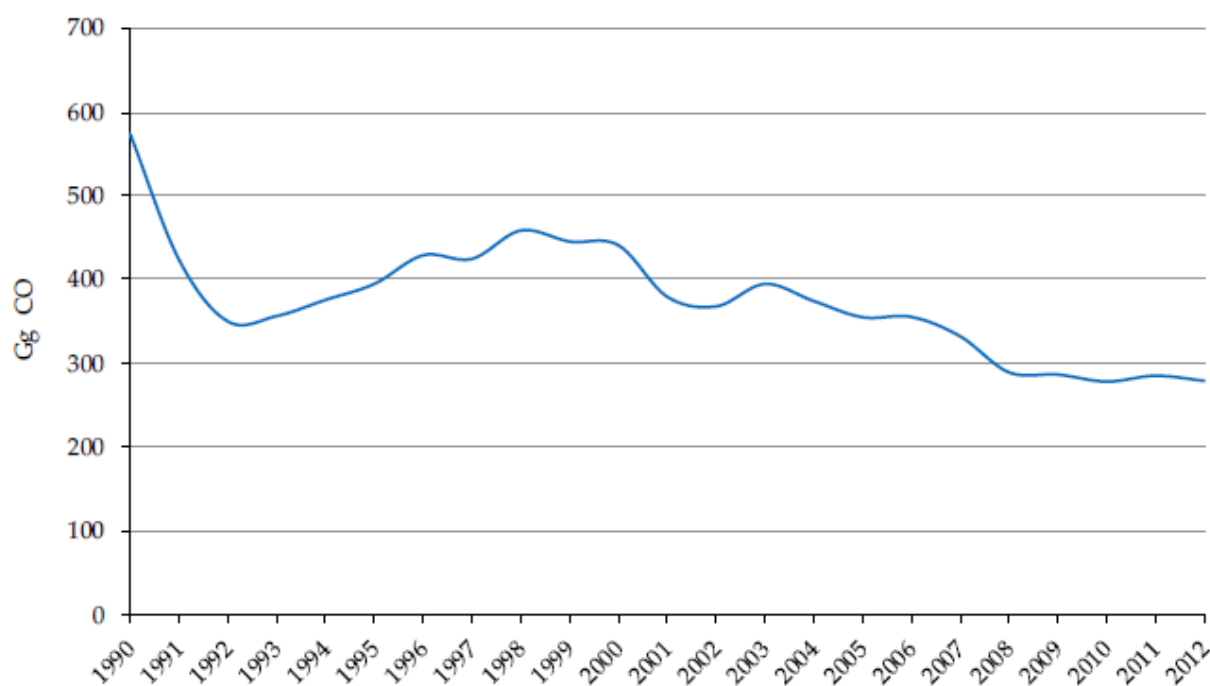
Slika 3.13. Trend smanjenja čestica uslijed izgaranja goriva [11]

Od ukupne emisije čestica u RH za 2012. godinu, na osobna vozila otpada 700 tPM_{2.5}, odnosno 7,3 %. [12]

3.2.1.5 Emisija CO

Ukupna emisija CO u RH, od svih onečišćivača, za 2012. godinu iznosi 279.000 t. Od ukupne količine emisije CO cestovni promet čini 15 %, odnosno 41.700 t/god što je u odnosu na emisiju iz 1990. godine smanjenje za 51,4 %. [12]

Na slici 3.14. je prikazan trend emisije CO u Republici Hrvatskoj u razdoblju između 1990. godine do 2012. godine.



Slika 3.14. Trend emisije CO 1990.-2012. godine [12]

Od ukupne emisije CO za 2012. godinu (279.000 t) osobna vozila doprinose ovoj emisiji sa 12%, odnosno 33.360 t. [12]

Iz svih ovih dijagrama iz kojih se vidi smanjenje emisija zaključuje se da je glavnina smanjena posljedicom ratnih zbivanja, nakon kojih se industrija, kao i svi ostali sektori nisu oporavili. Rezultat ciljanih mjera vjerojatno je daleko manji i moglo bi se pretpostaviti da je u stvari najmanji dio smanjenja posljedica mjera, a većina smanjenja je posljedica gospodarskih kriza i ratnih zbivanja.

4 ANALIZA VOZNOG PARKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U ovom poglavlju biti će analiziran vozni park Republike Hrvatske prema nekoliko kategorija (prema kategoriji vozila, emisijskim razinama (Euro 1, 2, 3,...), starosti vozila, tipu motora, vrsti pogonskog goriva, godišnje prevaljenom putu vozila). Također biti će dan i kratak pregled cestovne infrastrukture Republike Hrvatske, tj. podjela cestovne infrastrukture s obzirom na tip prometnica sa stanjem na dan 15.9.2014. godine.

4.1 Cestovna infrastruktura Republike Hrvatske

Hrvatska je najveći dio svojih tradicionalnih prometnih infrastrukture naslijedila od bivših državnih zajednica, u kojima je živjela, tj. od Austro-ugarske monarhije i od dviju jugoslavenskih država (1918.-1941. i 1945.-1990.). Koncepcija i namjena ovih prometnih infrastrukture nije vodila računa o hrvatskim prometnim potrebama. Ove potrebe odnose se:

- na neophodnost prometnog povezivanja RH,
- na potrebe povezivanja putem modernih i sigurnih infrastrukture,
- na potrebe postizanja inter-operabilnosti hrvatskih prometnih sustava s prometnim sustavima naših susjeda i naročito s državama članicama EU.

MREŽA CESTA (stanje 15.9.2014. godine) [13]:

Ukupna duljina cesta u RH: 26.958,5 km:

- autoceste i poluautoceste 1.416,5 km,
- državne ceste 6.858,9 km,
- županijske ceste 9.703,4 km,
- lokalne ceste 8.979, 7 km.

Na slici 4.1. prikazana je pregledna karta transeuropskih mreža cesta u Republici Hrvatskoj – TEM¹³ ceste sa stanjem na dan 15.9.2014. godine.

¹³ TEM cesta – Transeuropska mreža cesta



Slika 4.1. Karta TEM cestovne mreže RH [13]

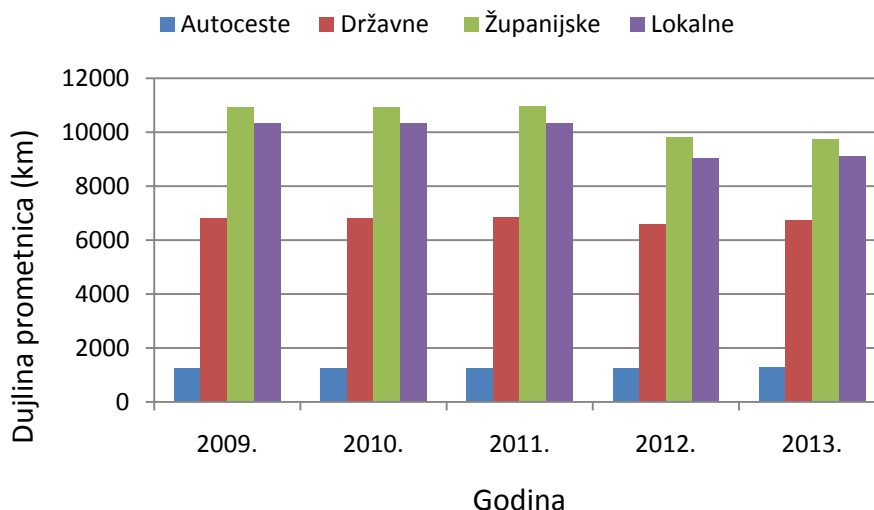
U tablici 10. prikazana je infrastruktura cesta u Republici Hrvatskoj za razdoblje između 2009. i 2013. godine.

Tablica 10. Cestovna infrastruktura u razdoblju 2009.-2013. Godine [14]

	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
Ukupno	29 343	29 333	29 410	26 690	26 820
Autoceste	1 244	1 244	1 254	1 254	1 295
Od toga brze ceste	146	118	53	53	53
Državne ceste	6 813	6 811	6 843	6 581	6 711
Županijske ceste	10 939	10 936	10 967	9 809	9 720
Lokalne ceste	10 347	10 342	10 346	9 046	9 094
Od ukupnoga:					
Suvremeni kolnik	26 559	26 611	26 779	24 212	24 406
E-cesta	2 251	2 238	2 250	2 251	2 200

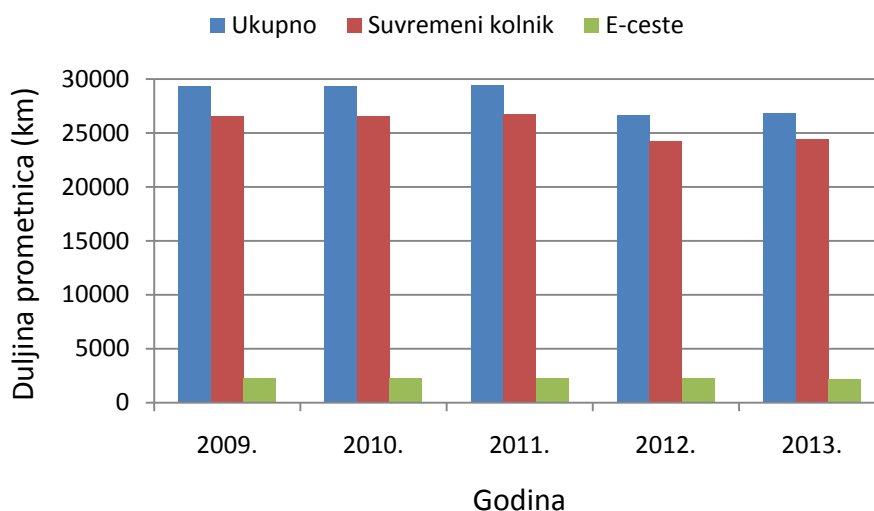
E-cesta jest javna cesta koja je međunarodnim aktom svrstana u mrežu međunarodnih cesta

Na slici 4.2. su prikazane duljine prometnica u Hrvatskoj prema podacima iz tablice 10. Podjela prometnica je na: autoceste, državne, županijske i lokalne ceste za razdoblje od 2009. do 2013. godine.



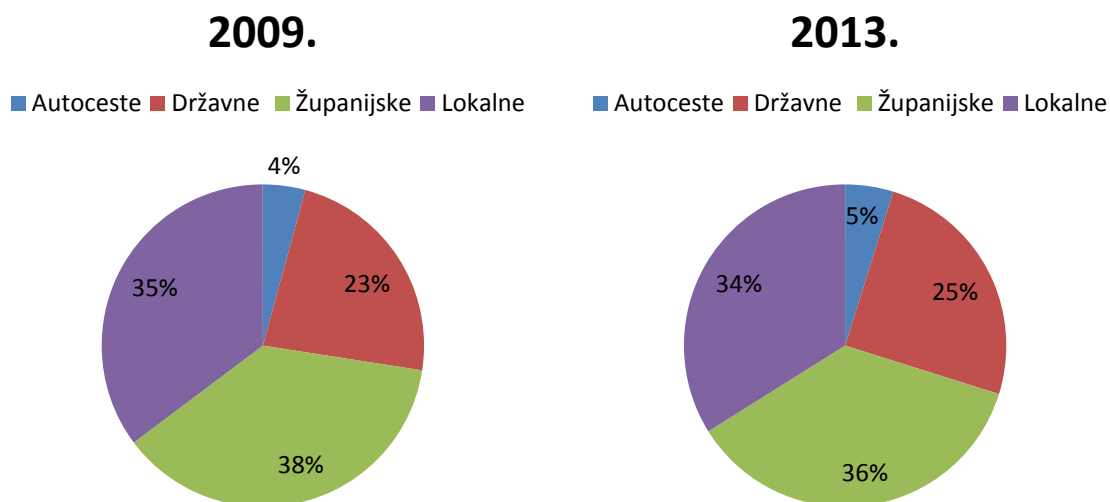
Slika 4.2. Duljine prometnica u HR za razdoblje 2009.-2013.

Na slici 4.3. su prikazane duljine prometnica u HR, pri čemu je pokazan ukupna duljina svih prometnica, te koliki dio od toga čine suvremene prometnica i E-cesta u razdoblju između 2009. – 2013. godine.



Slika 4.3. Duljine prometnica u HR

Na slici 4.4. je prikazana podjela prometnica sa slike 4.2., ali izraženo u postotcima (%), za 2009. i 2013. godinu.



Slika 4.4. Postotni udio pojedinih prometnica u HR 2009. i 2013. godine

Interesantan je podatak da u Engleskoj na autoceste otpada oko 1% cestovne infrastrukture u duljini, ali ona nosi 20,6 % ukupnog prometa u 2012. godini. [19] Za Hrvatsku nema nikakvih sličnih podataka i teško je povezati duljine pojedinih prometnica sa prevaljenim kilometrima pojedinih vozila na njima. Stoga će se udio prijeđenih kilometara na pojedinim prometnicama (gradska, prigradska, autocesta), u proračunu, staviti kao varijabla te će biti moguće ju mijenjati.

4.2 Analiza voznog parka Republike Hrvatske

Vozni park u Republici Hrvatskoj analizirat će se prema registriranim vozilima za razdoblje između 2009. godine i 2013. godine. U obzir će se uzeti i preliminarni podatci za 2014. godinu. Koristit će se podatci dobiveni od Centra za vozila Hrvatske (CVH). Pokazatelji prema kojima će se analizirati registrirana vozila su:

- kategorije vozila,
- emisijske razine (Euro 1, 2, ..., 6),
- starost vozila,
- tip motora,
- vrsta pogonskog goriva,
- prosječno godišnje prevaljeni put vozila.

Također će se analizirati i trend prodaje novih osobnih automobila u RH za navedeno razdoblje.

4.2.1 Kategorije vozila

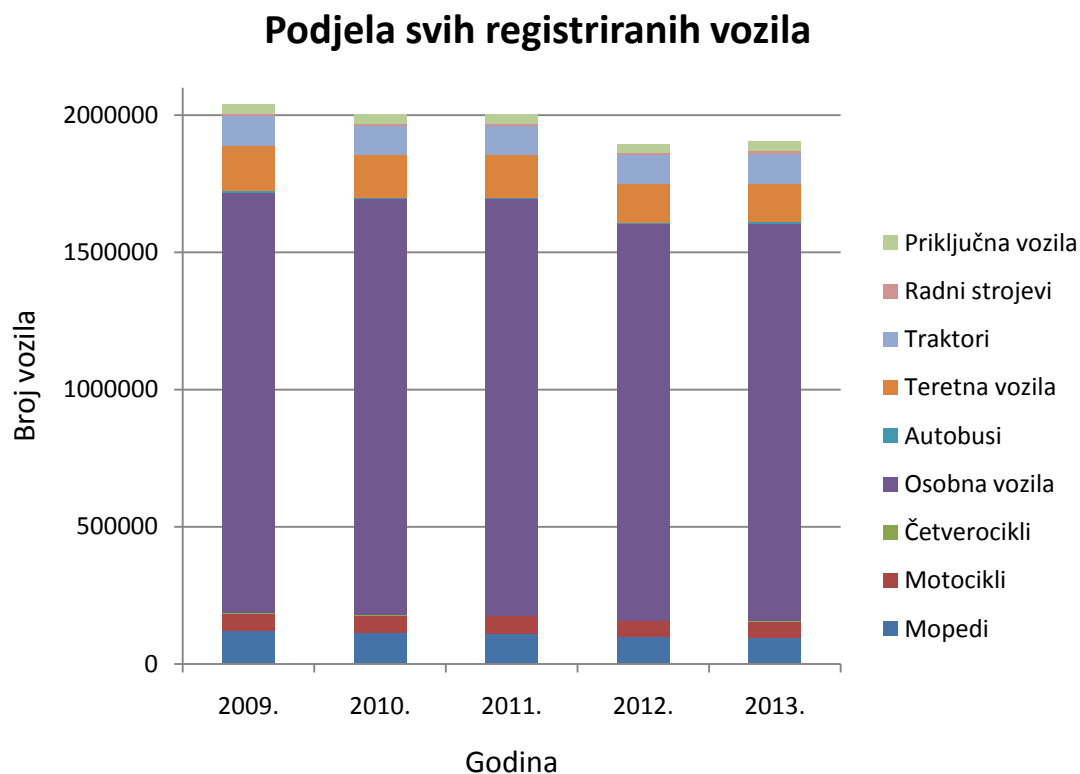
U tablici 11. prikazanu su registrirana vozila RH prema kategorijama u razdoblju između 2009. - 2013. godine. Iz tablice se vidi da je broj registriranih vozila bio u stalnom padu od 2009. godine sve do 2013. godine, dok se za 2013. godinu taj broj nešto povećao. Da bi se mogao ustanoviti trend povećanja broja registriranih vozila potrebni su podatci za 2014. godinu kojih u trenutku pisanja ovog diplomskog rada još nema.

Ukupan broj registriranih vozila 2012. godine iznosio je 1.894.962 vozila, od čega je broj registriranih osobnih vozila 1.445.220, odnosno 76,3 %. Dok je broj registriranih vozila 2013. godine 1.902.630 vozila, od čega na osobna vozila otpada 1.448.299, tj. 76,1 %. Iz čega se vidi da se broj registriranih osobnih vozila u odnosu na ukupan broj svih registriranih vozila nešto smanjio.

Na slici 4.5. su prikazani grafički podatci iz tablice 11. na kojoj se bolje vidi da osobna vozila čine najveći udio od svih registriranih vozila u RH za razdoblje od 2009. do 2013. godine.

Tablica 11. Registrirana vozila RH 2009.-2013. [14]

	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
Mopedi	120792	114563	112166	98975	96471
Motocikli	63691	62210	62876	58006	58311
Četverocikli	1916	1835	1906	1796	1860
Osobna vozila	1532549	1515449	1518278	1445220	1448299
Autobusi	5071	4877	4841	4655	4789
Teretna vozila	164761	157731	154884	141567	141491
Traktori	108825	105573	107074	106436	110360
Radni strojevi	7605	7349	7380	7086	7789
Priključna vozila	35257	33574	33434	31221	33260
UKUPNO	2040467	2003161	2002839	1894962	1902630



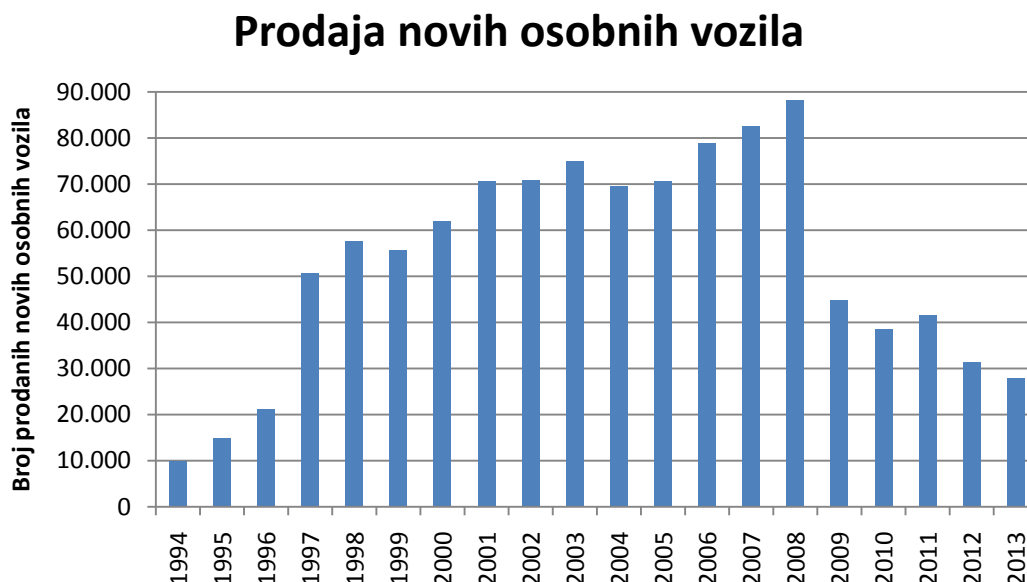
Slika 4.5. Sva registrirana vozila s podjelom prema kategorijama vozila za razdoblje od 2009. – 2013. godine

Novoregistrirana cestovna motorna vozila dio su ukupnih motornih cestovnih vozila koja pokazuju broj istih te godine prvi puta registriranih u Hrvatskoj. U tu grupu spadaju nova i uvezena rabljena cestovna motorna vozila. Tablica 12. prikazuje taj broj vozila za razdoblje 2009.-2013. godine. Iz tablice se također vidi da je broj novoregistriranih motornih vozila u padu za razdoblje između 2009. i 2012. godine, dok je taj broj veći za 2013. godinu. Ponovno je najveći broj novoregistriranih osobnih vozila.

Tablica 12. Novoregistrirana cestovna motorna vozila u RH za razdoblje 2009.-2013. [14]

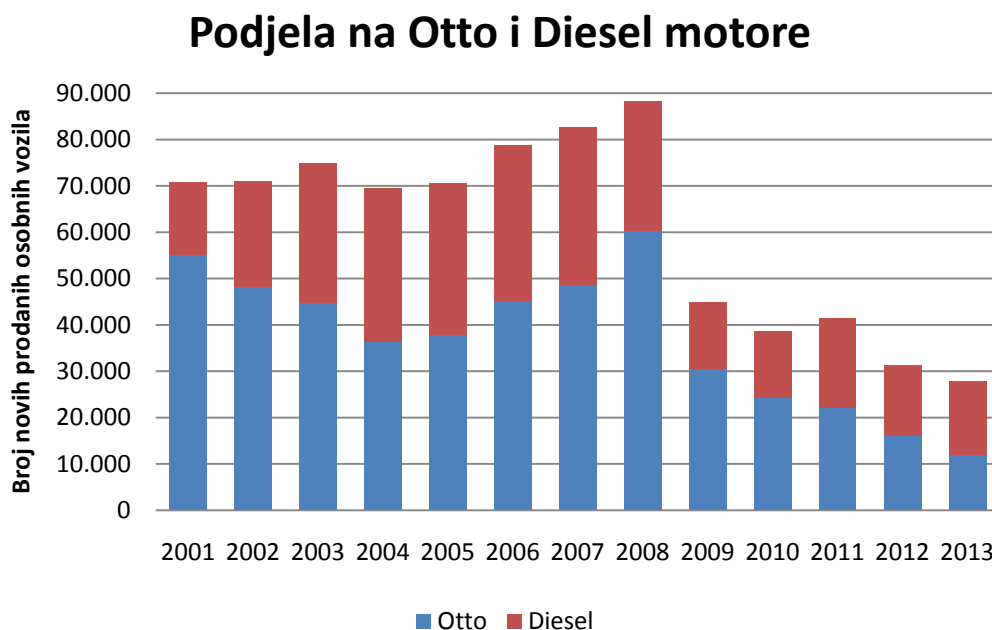
	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
Mopedi	10570	6442	5352	4050	3141
Motocikli	4717	2851	2726	2397	2028
Četverocikli	488	278	273	255	234
Osobna vozila	53252	46209	48883	40825	46563
Autobusi	484	195	173	217	353
Teretna vozila	6780	4996	5198	5218	7272
Traktori	4373	3050	3239	3196	4020
Radni strojevi	567	362	446	623	1081
Priključna vozila	2033	1639	1679	1738	2819
UKUPNO	83264	66022	67969	58519	67511

Na slici 4.6. prikazana je prodaja novih osobnih vozila u RH u razdoblju između 1994. i 2013. godine. Iz slike se vidi da je od 2008. godine, kada je bio vrhunac prodaje od 88.265 novih osobnih vozila, prodaja u stalnom padu, te 2013. godine je prodano svega 27.802 nova automobila.



Slika 4.6. Prodaja novih osobnih vozila u RH

Na slici 4.7. prikazana je prodaja novih osobnih vozila u razdoblju između 2001. i 2013. godine s podjelom na pogonsko gorivo (benzin i dizelsko gorivo). Iz slike se također vidi i da je do 2013. godine broj prodanih novih automobila pogonjenih Ottovim motorom bio uvijek veći od prodaje novih automobila pogonjenih Diesellovim motorom. 2013. godine je prvi put prodan veći broj vozila pogonjenih Diesellovim motorom (15.959 komada) nego Ottovim motorom (11.843 komada)



Slika 4.7. Prodaja novih vozila s podjelom prema vrsti pogonskog motora – Otto, Diesel

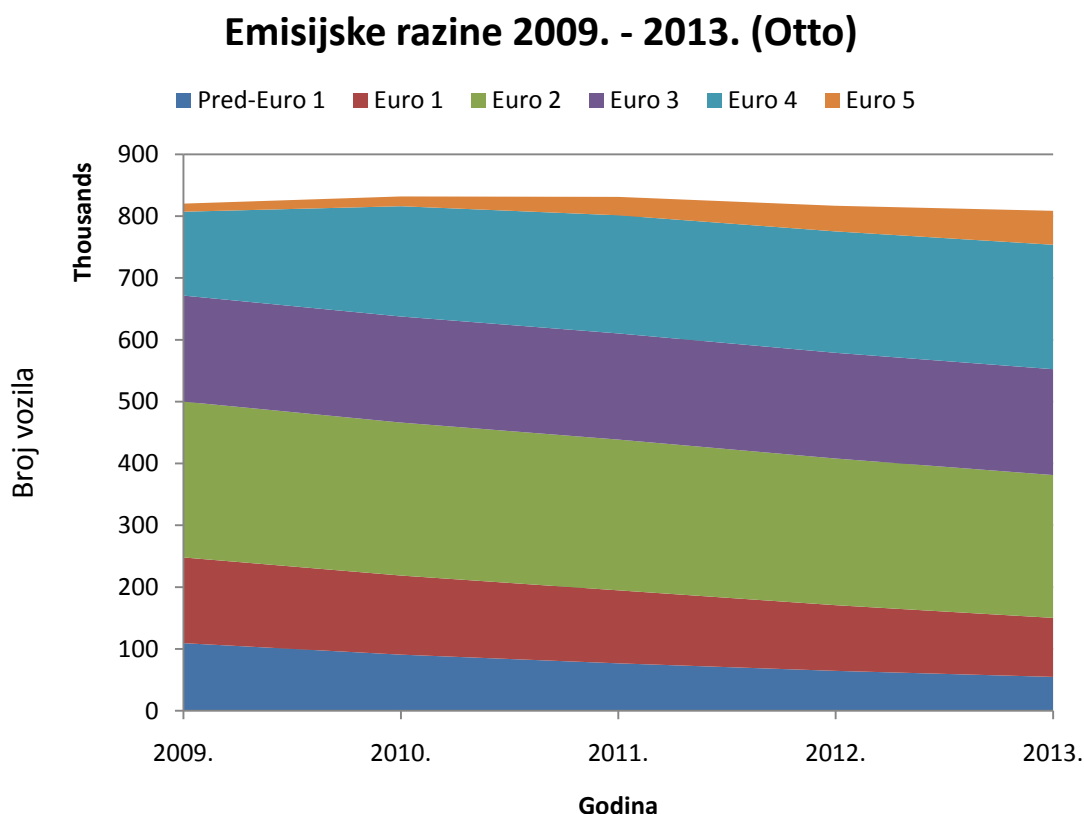
4.2.2 Registrirana vozila prema emisijskim razinama

U ovom potpoglavlju će se analizirati vozni park prema emisijskim razinama (od Pred-Euro 1 do Euro 6), kako za vozila pogonjena Ottovim motorom, tako i za vozila pogonjena Dieslovim motorom. Ukratko će se spomenuti i vozila pogonjena Ottovim motorom koja kao pogonsko gorivo koristi ukapljeni naftni plin UNP (*engl.* Liquefied petroleum gas ili LPG).

Ova analiza je važna zbog toga što se ovdje točno vidi kako se mijenja stanje voznog parka u RH u zadnjih nekoliko godina. Vidi se kako se broj vozila s manjom emisijskom razinom, odnosno vozila koja više onečišćuju okoliš smanjuju, dok se broj vozila s većom emisijskom razinom, tj. ekološki prihvatljivija vozila povećava.

Na slici 4.8. prikazan je trend emisijskih razina za vozila pogonjena Ottovim motorom. Iz slike se vidi kako se broj vozila s manjom emisijskom razinom (Pred-Euro 1, Euro 1 i Euro 2) smanjuje u razdoblju između 2009. i 2013. godine. Broj registriranih vozila s emisijskom razinom Pred-Euro 1 se u navedenom razdoblju smanjio sa 109.480 na 54.879 vozila, što je smanjenje za 50 %. Vozila s emisijskom normom Euro 1 se smanjio sa 138.607 na 95.468, što je smanjenje od 31 %, a broj registriranih vozila s emisijskom razinom Euro 2 se smanjio sa 252.044 na 231.011, odnosno za 8 %.

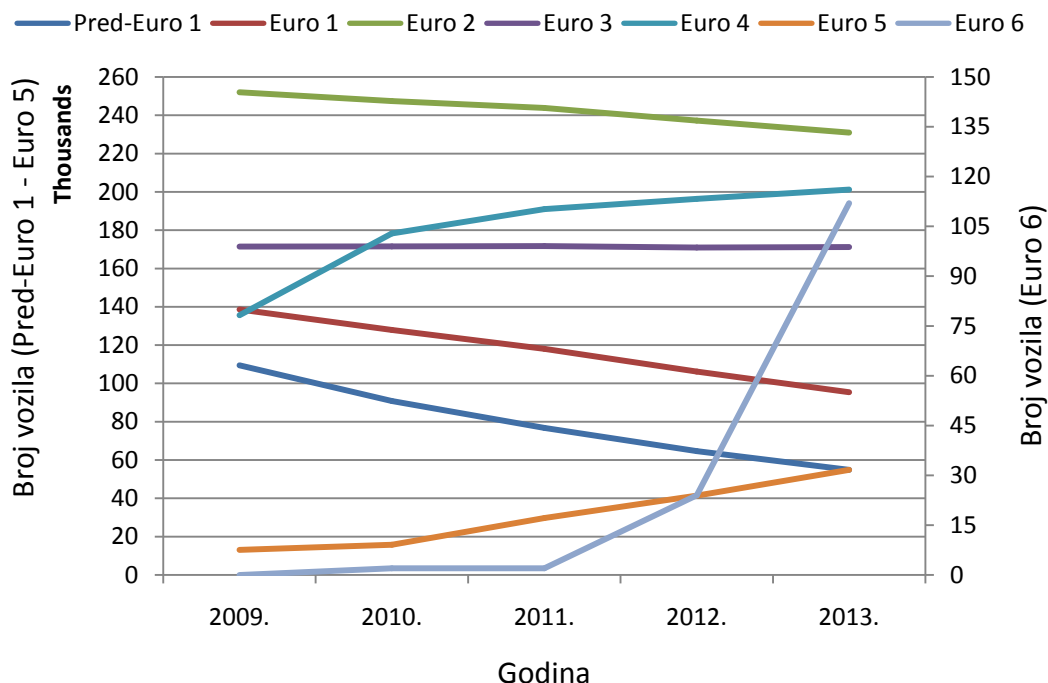
Broj vozila s emisijskom razinom Euro 3 se nije mijenjao u navedenom razdoblju, a kreće se oko 171.000 vozila. Kako su se vozila s manjom emisijskom razinom smanjivala, tako su se ona s većom emisijskom razinom (ekološki prihvatljivija vozila) povećavala. Broj vozila s emisijskom razinom Euro 4 se povećao sa 135.608 na 201.242, odnosno za 67 %, a vozila s emisijskom razinom Euro 5 se u navedenom razdoblju povećao više od tri puta, odnosno sa 13.113 na 54.894. Kao što se i vidi na slici, vozila s emisijskom razinom Euro 6 čine zanemariv broj u ukupnom broju vozila, 2013. godine je bilo registrirano tek 112 vozila.



Slika 4.8. Emisijske razine za vozila pogonjena Ottovim motorima 2009. – 2013.

Na slici 4.9. su također prikazane podjele prema emisijskim razinama za vozila pogonjena Ottovim motorom, ali su uzete u obzir apsolutne vrijednosti, tako da je trend smanjivanja odnosno rasta broja vozila (prema emisijskim razinama) lakše uočljiv. Također, ovdje je dodana i emisijska razina Euro 6 (s drugom skalom).

Trend promjene vozila prema emisijskim razinama - Otto

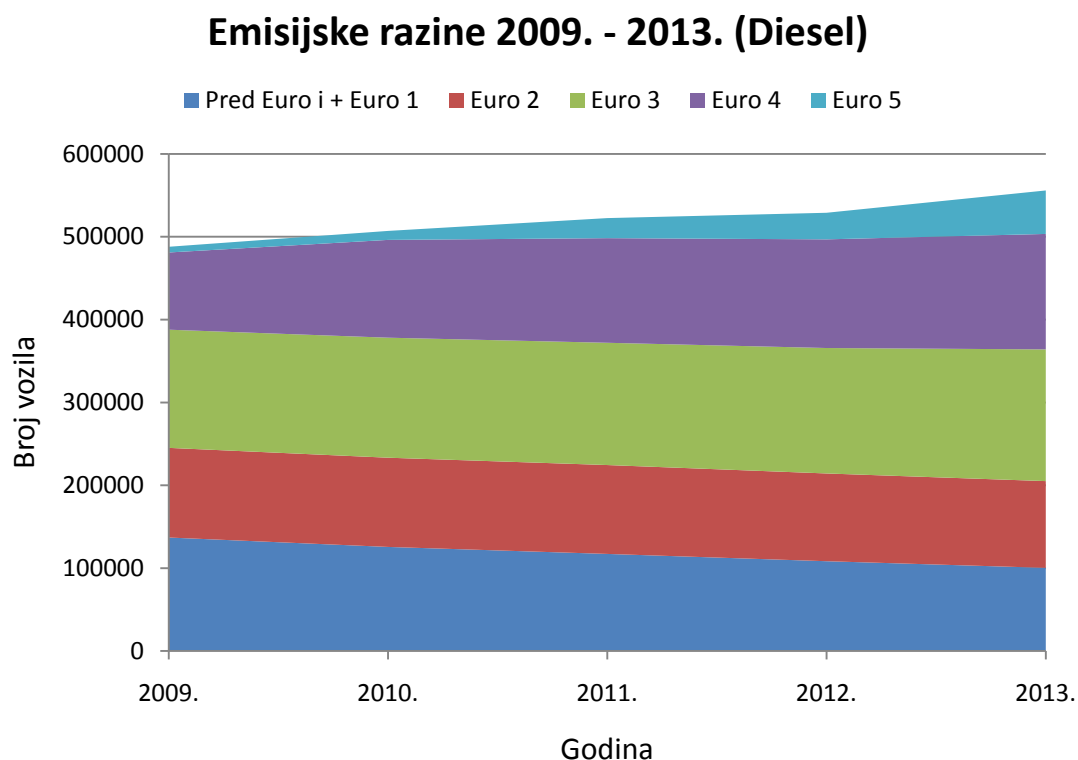


Slika 4.9. Promjena broja vozila prema apsolutnim vrijednostima emisijskih razina za vozila pogonjena Ottovim motorom

Na slici 4.10. prikazane su emisijske razine za vozila pogonjena Dieslovim motorom također u razdoblju između 2009. i 2013. godine. I kod ovih vozila se uočava isti trend kao i kod vozila pogonjenih Ottovim motorom.

Broj registriranih vozila emisijske razine Euro 1 se u razdoblju između 2009. i 2013. godine smanjio sa 136.826 na 100.210, odnosno za 27 %. Broj vozila emisijske razine Euro 2 se smanjio sa 108.232 na 104.716, tj. 3 %.

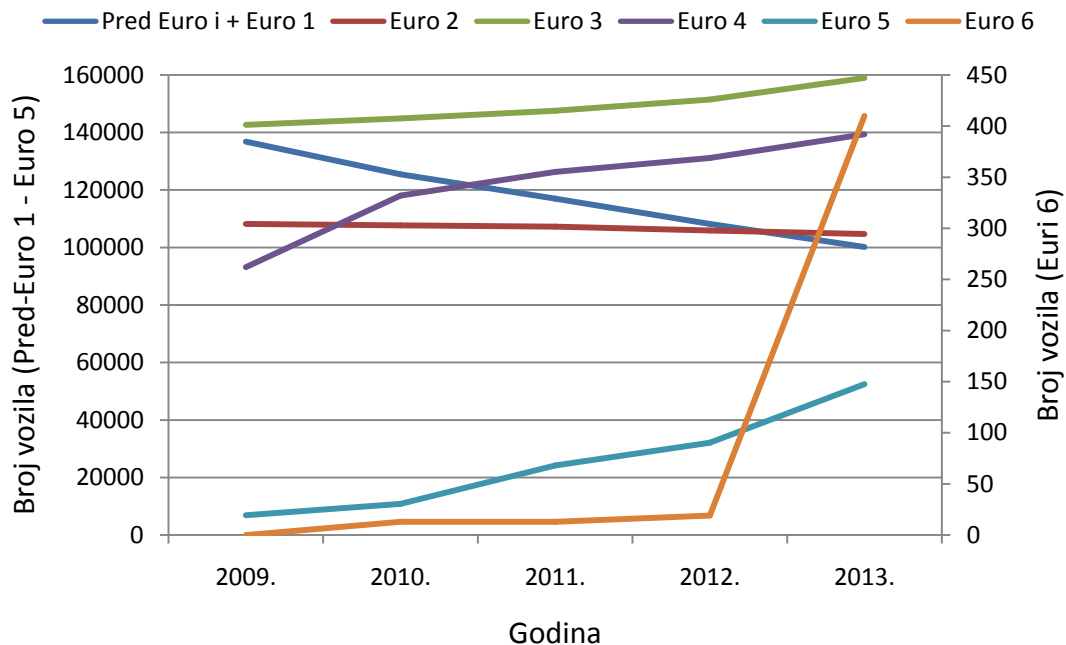
Broj registriranih vozila emisijske razine Euro 3 se u navedenom razdoblju povećao za 10 %, odnosno sa 142.680 na 159.014. Broj vozila emisijske razine Euro 4 se povećao sa 93.205 na 139.399, što je povećanje za 33 %. Vozila emisijske razine Euro 5 su se povećala za 87 % u razdoblju između 2009. i 2013. godine, tj. sa 6.888 na 52.487 vozila. Vozila emisijske norme Euro 6 čine zanemariv broj u ukupnom broju vozila, 2013. godine je bilo registrirano svega 410 vozila.



Slika 4.10. Emisijske razine za Dieslove motore 2009. – 2013.

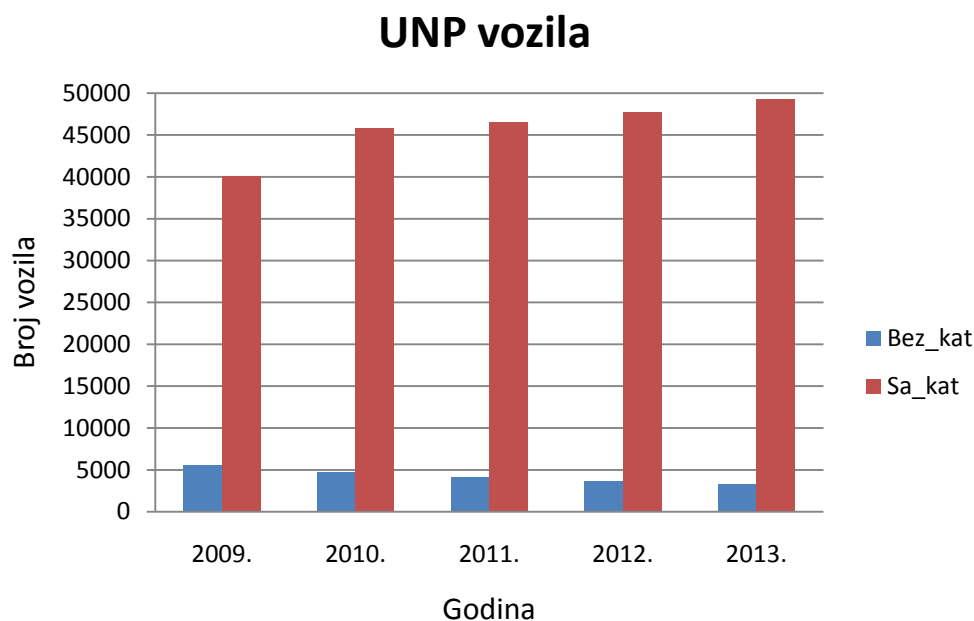
Na slici 4.11. su također prikazane podjele prema emisijskim razinama za vozila pogonjena Dieslovim motorom, ali su uzete u obzir apsolutne vrijednosti, tako da je trend smanjivanja odnosno rasta broja vozila (pojedinih emisijskih razina) lakše uočljiv. Također, ovdje je uzeta i emisijska razina Euro 6 (s drugom skalom), tako da se vidi i njihov trend.

Trend promjene vozila prema emisijskim razinama - Diesel



Slika 4.11. Promjena broja vozila prema apsolutnim vrijednostima emisijskih razina za vozila pogonjena Diesellovim motorom

Na slici 4.12. prikazan je trend vozila pogonjenih ukapljenim naftnim plinom u razdoblju između 2009. i 2013. godine. Podjela se sastoji od vozila bez katalizatora i vozila s katalizatorom. Iz slike se vidi da se broj registriranih vozila pogonjenih UNP-om bez katalizatora smanjio sa 5.513 na 3.232, tj. za 41 %. Dok se broj vozila sa katalizatorom povećao sa 40.068 na 49.255, odnosno za 18,65 %.

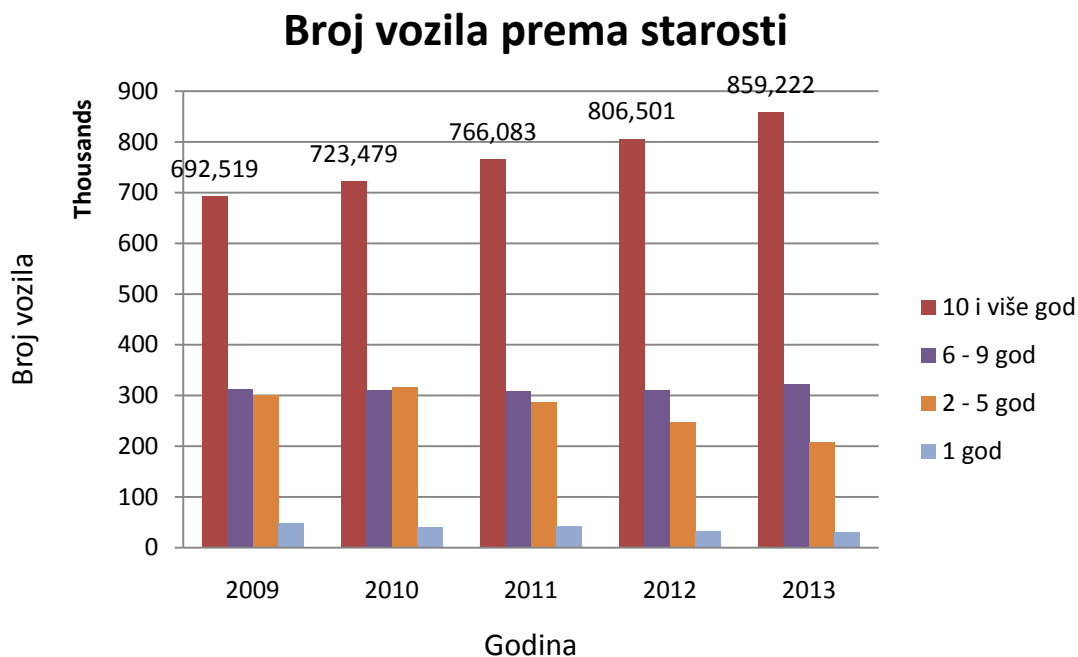


Slika 4.12. UNP vozila u razdoblju 2009. – 2013.

4.2.3 Registrirana vozila prema starosti

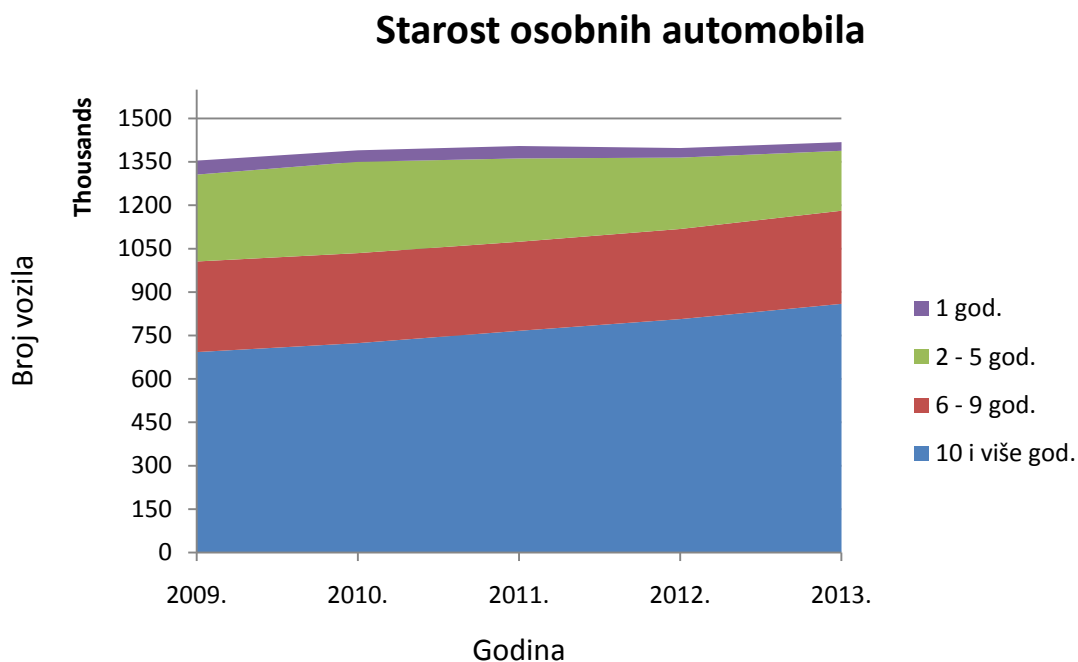
Starost voznog parka važno je obilježje stanja na tržištu automobila, a još važniji je pokazatelj za stanje sigurnosti u prometu na cestama. Prema podacima centra za vozila Hrvatske (CVH, Statistika za 2013.) od ukupno 1.418.119 osobnih vozila koji su 2013. godine bili na redovnom tehničkom pregledu, 859.222 (60,59 %) je staro deset i više godina. Slijede automobili starosti šest do devet godina kojih ima 321.862, odnosno 22,70 %. Od dvije do pet godina starosti je 207.180 osobnih vozila (14,61 %). Osobnih vozila starosti do jedne godine ima 29.855 odnosno 2,11 %. Prema ovim podacima utvrđeno je da prosječna starost automobila u Hrvatskoj iznosi 11,38 godina.

Na slici 4.13. prikazan je broj registriranih osobnih vozila prema starosti. Vozila su podijeljena u 4 kategorije starosti, i to do 1 godine, 2-5 godina, 6-9 godina i 10 i više godina. Iz slike se vidi da je od 2009. godine porastao broj vozila starosti 10 i više godina. Također se vidi i da je broj vozila u kategorijama starosti do 1 godine i 2-5 godina se smanjio. Ovo sve jasno upućuje na to da se prosječna starost osobnih vozila u RH povećala.



Slika 4.13. Broj vozila prema starosti za razdoblje 2009. – 2013.

Na slici 4.14. prikazan je trend porasta broja starijih vozila (starijih od 10 i više godina, te starosti od 6 do 9 godina), odnosno trend smanjivanja mlađih vozila (do 1 godine, 2 – 5 godina).

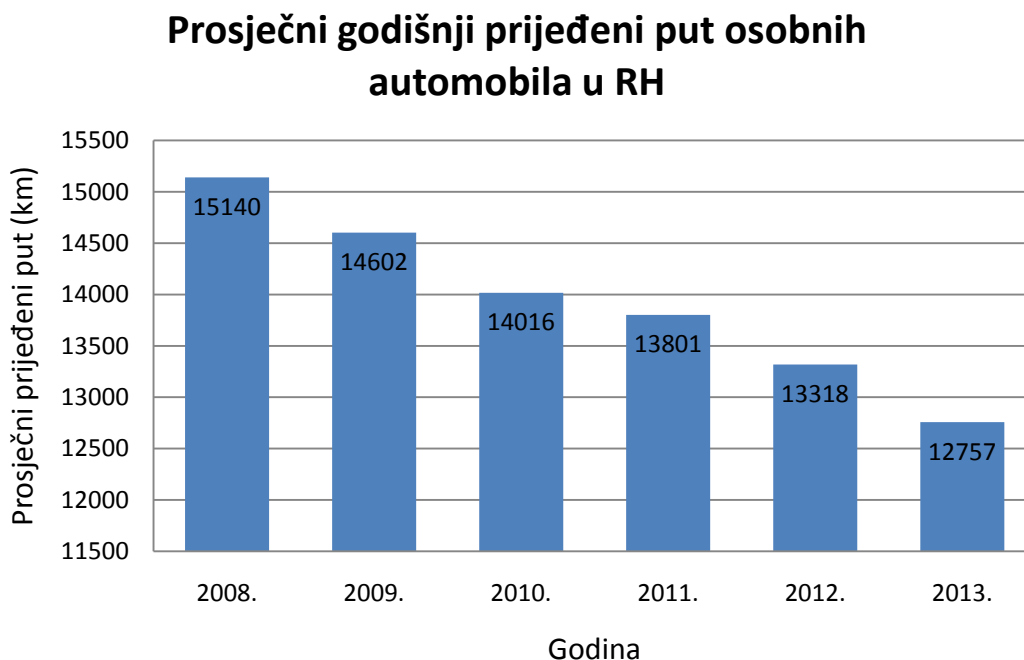


Slika 4.14. Trend porasta starosti osobnih vozila u RH

4.2.4 Godišnje prijeđeni put osobnih vozila

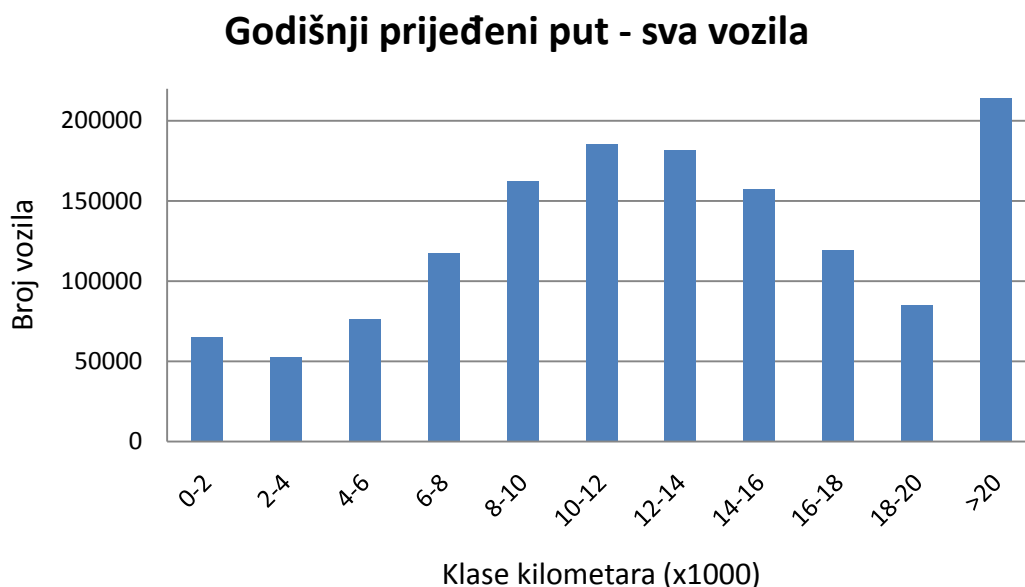
U ovom potpoglavlju će se, prema podacima Centra za vozila Hrvatske, analizirati prijeđeni put osobnih vozila (kategorije M_1) u RH za 2013. godinu. Vozila su podijeljena u klase godišnje prijeđenog puta po 2000 km.

Na slici 4.15. je prikazan prosječni prijeđeni put svih osobnih automobila za razdoblje između 2008. i 2013. godine. Iz slike se jasno vidi da se taj prosječni prijeđeni put u navedenom razdoblju smanjio sa 15.140 kilometara koliko je iznosio 2008. godine na 12.757 kilometara 2013. godine, što predstavlja smanjenje za 15,74 %.



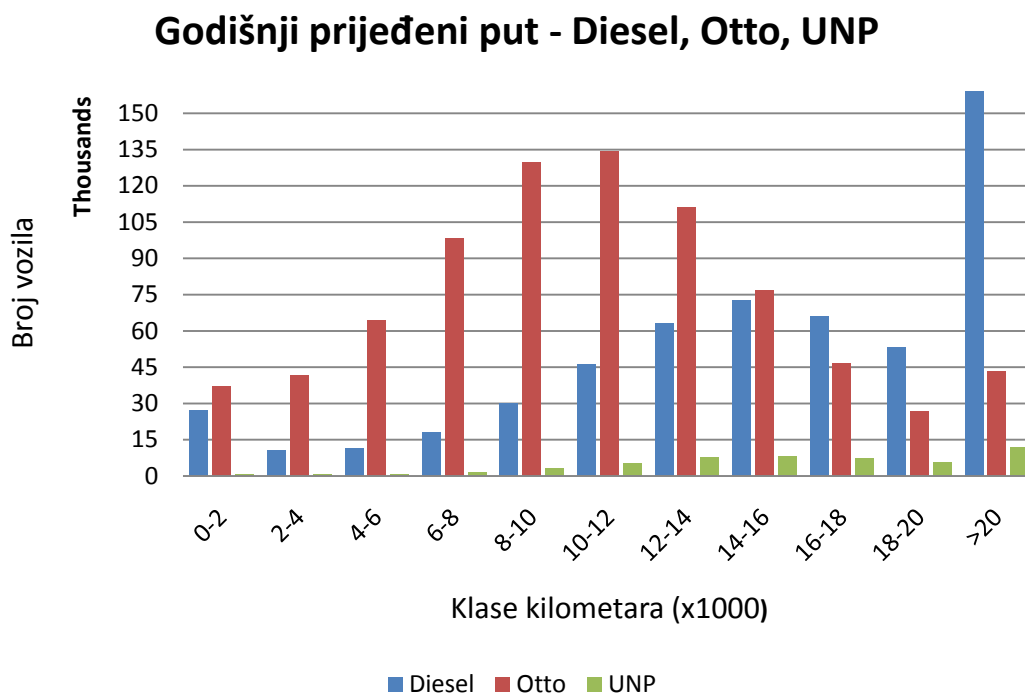
Slika 4.15. Prosječni prijeđeni put osobnih vozila 2008. – 2013. godine

Slike 4.16. prikazuje godišnji prijeđeni put u koji su uključeni sva osobna vozila koja su 2013. godine bila na redovitom tehničkom pregledu vozila. Vidi se da je najviše automobila u kategoriji > 20000 kilometara, odnosno 428.063 vozila ili 29,56 % svih osobnih automobila. Slijede 371.389 vozila u kategoriji od 10.000 – 12.000 kilometara, odnosno 25,64 %. Zatim u kategoriji od 12.000 – 14.000 kilometara je 363.586 vozila ili 25,10 %, itd.



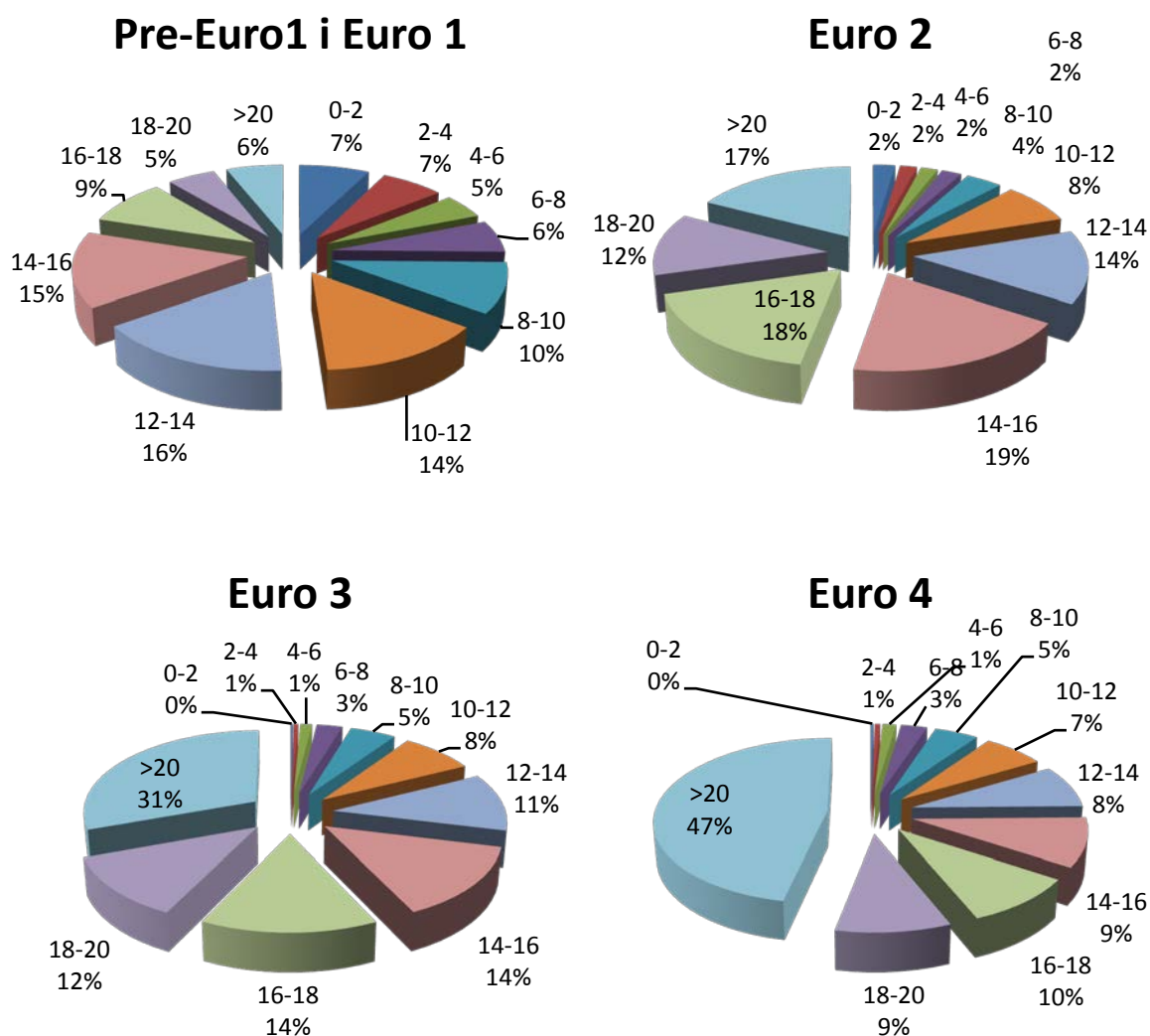
Slika 4.16. Prosječni prijeđeni put osobnih vozila u RH za 2013. godinu

Na slici 4.17. prikazan je godišnje prijeđeni put osobnih vozila podijeljenih prema pogonskom gorivu. Iz slike se vidi da vozila pogonjena Dieslovim motorom i vozila na UNP pogon prednjače u višim klasama prijeđenih kilometara. To je i za očekivati kad je poznato da ova vozila troše manje pogonskog goriva nego vozila pogonjena Ottovim motorom.

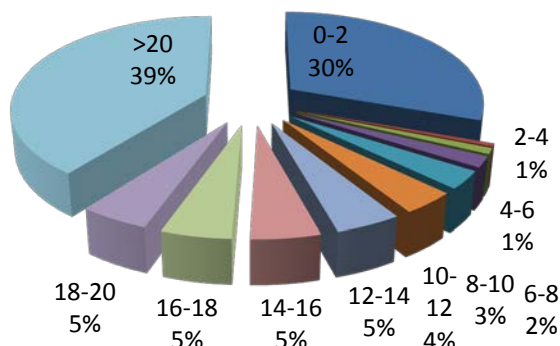


Slika 4.17. Godišnje prijeđeni put s podjelom na Diesel, Otto, UNP

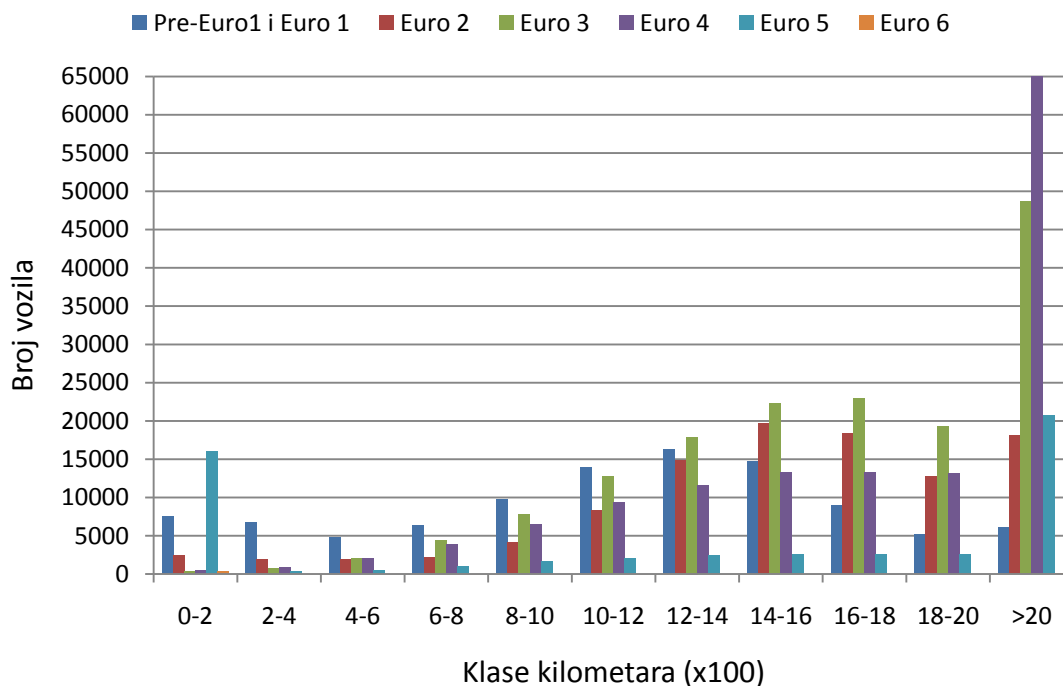
Na slici 4.18. prikazana je podjela vozila pogonjenih Diesellovim motorom s podjelom prema Euro razinama i klasama kilometara. Pred-Euro 1 i Euro 1 su stavljeni pod jednu cjelinu jer u podacima dobivenim od Centra za vozila Hrvatske nema posebne podjele na ove dvije razine, a Euro 6 razina nije uzeta u obzir zbog premalog broja registriranih vozila. Iz slike je vidljivo da vozila s većom emisijskom razinom (Euro 3, 4, 5) prelaze veći broj kilometara, jer su oni dominantniji u klasi > 20.000 kilometara. Kod vozila s manjom emisijskom razinom prevladavaju klase kilometara 12.000 - 14.000 i 14.000 - 16.000 kilometara.



Euro 5



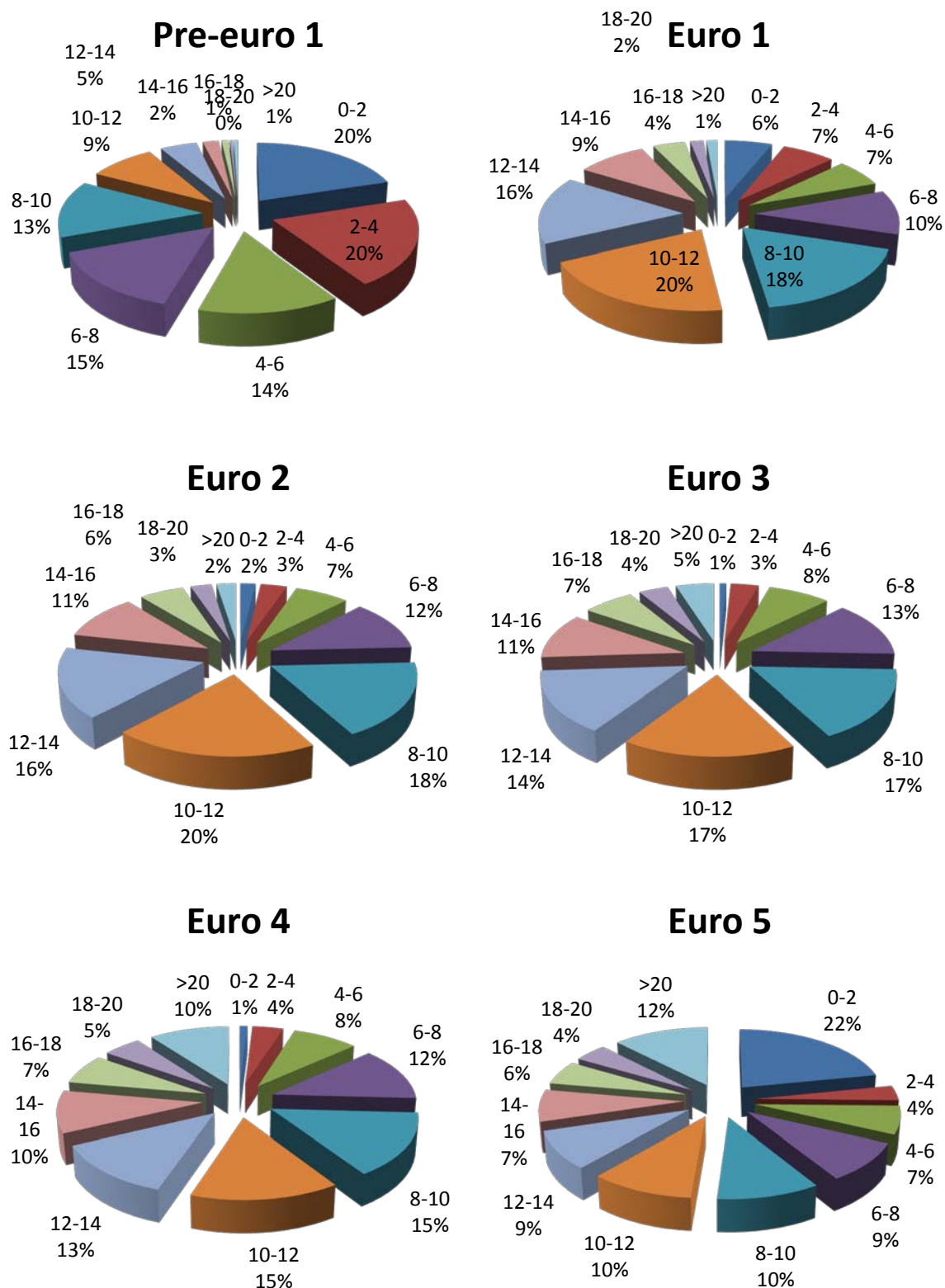
Slika 4.18. Godišnji prijeđeni put automobila pogonjenih Diesellovim motorom s podjelom prema Euro razinama



Slika 4.19. Podjela prosječno prijeđenog puta prema emisijskim razinama - Diesel

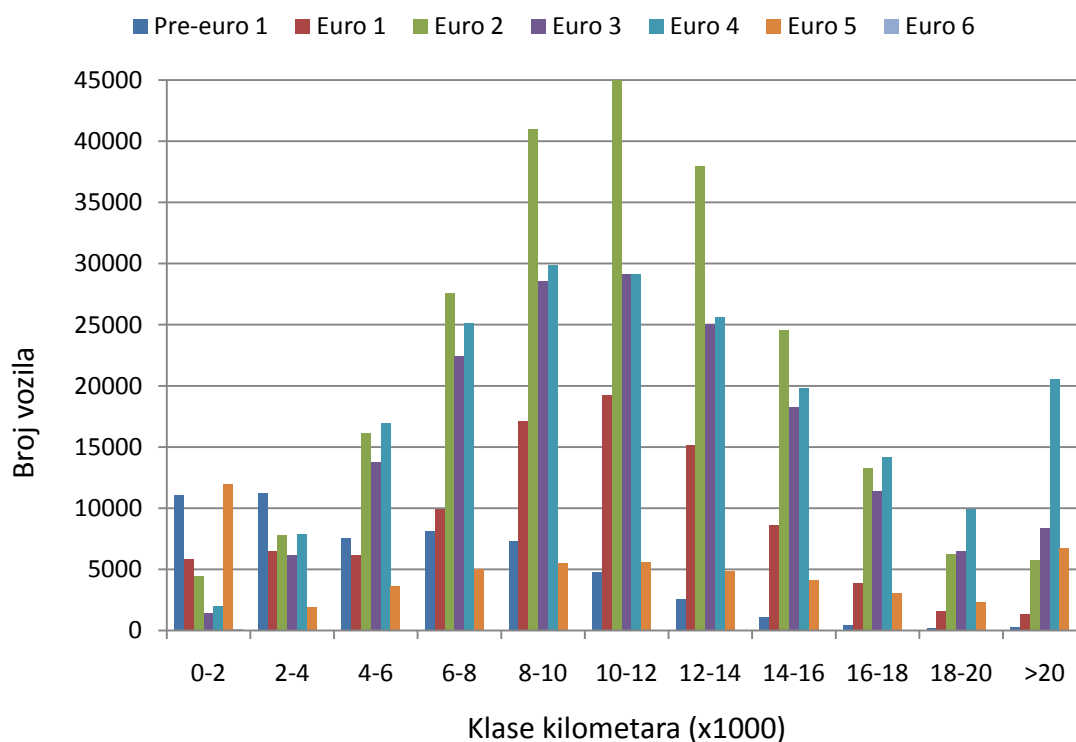
Na slici 4.20. prikazana je podjela vozila pogonjena Ottovim motorom prema emisijskim razinama i klasama kilometara. Razina Euro 6 nije uzeta u obzir, iz istog razloga kao i kod automobila s Diesellovim motorom, zbog premalog broja vozila. Iz slike se vidi da kod vozila pogonjenih Ottovim motorom i nema tolike razlike u prijeđenom putu prema emisijskim razinama. Kod većine emisijskih razina dominantne su klase kilometara 8.000 - 10.000, 10.000

- 12.000 i 12.000 - 14.000 kilometara, osim kod norme Pred-Euro 1 gdje su je ipak više vozila u manjim klasama prijeđenih kilometara 0 - 2.000, 2.000 - 4.000 i 4.000 - 6.000 kilometara.



Slika 4.20. Godišnji prijeđeni put automobila pogonjenih Ottovim motorom s podjelom prema Euro razinama

Na slici 4.21. je prikazan prosječno prijeđeni put (prema prije navedenim klasam) za vozila pogonjena Ottovim motorom i podjelom prema emisijskim razinama.



Slika 4.21. Podjela prosječno prijeđenog puta prema emisijskim razinama - Diesel

5 PREGLED POSTOJEĆIH MODELA ZA PREDVIĐANJE EMISIJA ŠTETNIH TVARI

Metode koje se koriste za procjenu emisija štetnih tvari mogu znatno varirati. U nekim slučajevima, specifična mjerenja izvora emisija se izvode prema punom rasponu uvjeta u kojima izvor posluje. Ovaj postupak se obično primjenjuje na velike stacionarne izvore kao što su elektrane. Veliki izvori su uglavnom opremljeni s uređajima koji cijelo vrijeme mjere količinu štetnih tvari koji ti izvori ispuštaju i koji omogućuju točnu procjenu razine emisije koju taj izvor emitira bilo da je riječ o dnevnim ili godišnjim razinama emisija.

Drugi i češći način je korištenje emisijskih faktora. U tom slučaju se emisija procjenjuje na temelju unaprijed određenih čimbenika procesa kao što su stopa emisije po jedinici toplinske snage ili po satu rada ili po volumenu materijala koji se koristi. Korištenje emisijskih faktora temelji se na pretpostavci da stopa emisija štetnih tvari iz izvora linearno ovisi o nekim faktorima na ulazu procesa. Na primjer, ova pretpostavka linearnosti vrijedi u slučaju emisija sumpora na temelju količine sumpora u gorivu koje se koristi. Međutim u slučaju emisija dušičnog oksida, koji je općenito formiran od dušika u zraku koji se dovodi u procesu izgaranja, količina emisije ne može biti linearna s ulaznom stopom zraka, jer na stopu stvaranja dušikovog oksida mogu utjecati i drugi spojevi. Isto vrijedi i za stvaranje ugljičnog monoksida i hlapivih organskih spojeva. Ipak, korištenje emisijskih faktora je najčešći pristup procjeni emisija iz mnogih izvora. Naravno, ovaj pristup ovisi o dostupnosti pouzdanih emisijskih faktora.

Velikom segmentacijom i uzimanjem u obzir različitih izvora podataka nastaju sofisticirani modeli koji se često koriste za procjenu emisija iz složenih izvora.

Takav pristup je uobičajen u slučaju mobilnih izvora koji mogu biti važan faktor za problem kakvoće zraka. Kako je broj mobilnih izvora vrlo velik nemoguće ih je pojedinačno mjeriti, a i emisija ovisi o načinu eksploatacije motora tj. vožnje, održavanju te vrsti samog mobilnog izvora.

Izvori onečišćujućih tvari su podijeljeni u šire kategorije kako bi se olakšao razvoj relevantnih informacija o tim izvorima. Tipična podjela kategorija je:

- mobilni izvori na cesti,
- mobilni izvori izvan ceste,

- stacionarni izvori,
- izvori na određenom području,
- prirodni izvori.

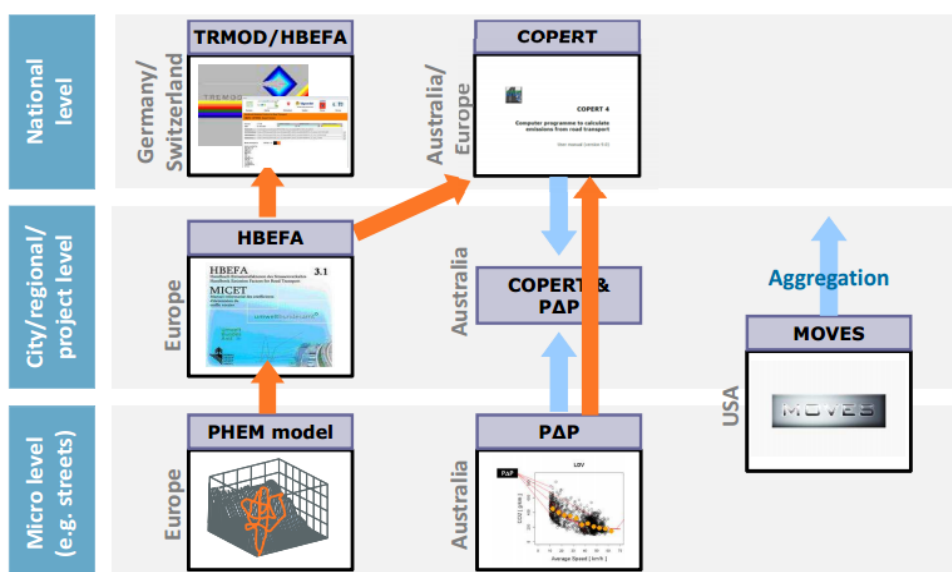
Mobilni izvori na cesti uključuje sve izvore koji su obično namijenjeni za rad na javnim prometnicama, kao što su osobna vozila, teška gospodarska vozila, autobusi, motocikli te vozila na dva kotača. Ovi izvori su obično najveći izvor emisija štetnih tvari u urbanim područjima. Ove emisije je vrlo teško izračunati s obzirom na vrlo velik broj različitih vozila i načina same vožnje.

Mobilni izvori izvan ceste uključuju zrakoplove, građevinsku opremu, brodove i vlakove.

5.1 Pregled modela koji se koriste za procjenu emisija

U ovom poglavlju opisani su najvažniji modeli koji se koriste za procjenu emisija štetnih tvari iz mobilnih cestovnih izvora, a ti modeli su:

- MOVES (*engl.* Motor Vehicle Emission Simulator)
- COPERT (*engl.* Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport)
- PAP (*engl.* Power – Delta – Power Model)
- TREMOD (*engl.* Transport Emission Model)
- HBEF (*engl.* Handbook Emission Factors for Road Transport)
- PHEM (*engl.* Passenger car and Heavy duty Emission Model)



Slika 5.1. Modeli koji se koriste u procjeni štetnih emisija vozila za različita područja primjene modela [25]

5.1.1 Model MOVES

US EPA¹⁴ Office of Transportation and Air Quality¹⁵ projektirao je 2010. godine zamjenu za prijašnji MOBILE model, koji su nazvali *MOtor Vehicle Emissions Simulator*, odnosno MOVES. Koristi se za procjenu emisija štetnih tvari od svih cestovnih vozila (osobnih automobila, teretnih vozila, autobusa i motocikala). MOVES model se temelji na analizi milijuna rezultata ispitivanja emisija cestovnih vozila i predstavlja za Agenciju značajniji napredak u razumijevanju emisija cestovnih vozila. Model je dizajniran da bude fleksibilniji od MOBILE modela i da bude u stanju učinkovito promijeniti skalu u vrlo finu i preciznu prilikom analize rezultata, što je bio problem s prijašnjim modelima MOBILE. MOVES 2014 je zadnja verzija ovog modela.

Tablica 13. Ulazni i izlazni podatci za model MOVES 2014

ULAZNI PODATCI	IZLAZNI PODATCI
Domena/Skala (nacionalna, županijska, projekcija) - odabire se razina detalja koju je potrebno unijeti u program te koje će krajnje emisije se izračunavati (cjelokupni iznos emisije ili stope emisija)	Ukupna potrošnja energije
Vremenski period (sat, dan, mjesec, godina)	Dušikovog oksida (NO _x)
Geografska granica (cijela država, pojedina regija ili više regija, itd.) – omogućuje korisniku odabir regije/a koja se želi modelirati	Hlapivi organski spojevi (VOC)
Vozila/oprema (kategorije vozila, pogonsko gorivo...)	Čestica (PM _{2.5} , PM ₁₀)
Vrsta prometnica	Ugljičnog monoksida (CO)
	Ugljikov dioksid (CO ₂)
	Dušikov oksid (N ₂ O)
	Metan (CH ₄)

Izlazni podatci mogu biti:

- ukupne emisije u jedinicama mase [t, kg, g],
- količina emisija u jedinicama mase po prijašnjem putu ili po vozilu [t/milja, t/vozilu...].

¹⁴ US EPA (eng. United States Environmental Protection Agency) – Agencija za zaštitu okoliša Sjedinjenih Država

¹⁵ Office of Transportation and Air Quality – Ured za promet i kvalitete zraka

5.1.2 Model COPERT

European Environmental Agency (EEA¹⁶) je razvila model za procjenu emisija cestovnih vozila koje čine zemlje članice Europske Unije. COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) je sličan ostalim modelima po tome što procjenjuje emisije ispušnih plinova cestovnih vozila za potrebe izrade proračuna emisija i projekcija. COPERT model razvrstava vozila prema veličini i dobnim skupinama kao i kategorijama vožnje: autocesta, urbane i ruralne sredine. COPERT model sadrži i kategorije vozila pogonjenih Dieslovim motorom kao i mopede i motocikle te pruža bolje informacije u odnosu na američke modele. Posljednja verzija je COPERT 4 iz 2011. godine.

Tablica 14. Ulazni podatci za model COPERT

ULAZNI PODATCI		
Karakteristike goriva	Vremenski uvjeti	Karakteristike vozila
Vrsta goriva (olovni i bezolovni benzin, dizelsko gorivo, ukapljeni naftni plin, hibridni benzin)	Mjesečna maksimalna/minimalna temperatura	Broj vozila prema kategorijama
Karakteristike goriva : sadržaj sumpora, sadržaj kisika, olova, odnos ugljika i vodika, tlak para, itd.		Prosječna brzina vozila po kategorijama i vrstama prometnica
Podatci o potrošnji goriva		Prosječni prijeđeni put flote vozila po kategorijama i vrstama prometnica
		Ciklus lokalne vožnje
		„Euro broj“ za vozila standardne emisije (odnosni se na Euro norme, znači Euro 1,...,6)
		Lokalni faktor emisija
	Raspodjela po broju pokretanja vozila prema kategorijama vozila	

¹⁶ EEA (eng. European Enviromental Agency) – Europska agencija za zaštitu okoliša

Tablica 15. Izlazni podatci modela COPERT

IZLAZNI PODATCI			
Skupina 1 (onečišćujuće tvari za koje postoji detaljna metodologija, na temelju određenih faktora emisije)	Skupina 2 (onečišćujuće tvari koje se procjenjuju na temelju potrošnje goriva)	Skupina 3 (onečišćujuće tvari za koje se primjenjuje pojednostavljena metodologija, uglavnom zbog nepostojanja detaljnih podataka)	Skupina 4 (onečišćujuće tvari koje su izvedene kao udio u ukupnim emisijama NMVOC)
Ugljikov monoksid (CO)	Ugljikov dioksid (CO ₂)	Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH) i postojane organske onečišćujuće tvari (POP)	Alkani (C _n H _{2n+2})
Dušikovi oksidi (NO _x , NO i NO ₂)	Sumporov dioksid (SO ₂)		Alkeni (C _n H _{2n})
Hlapivi organski spojevi (VOC)	Olovo (Pb)	Poliklorirani dibenzo dioksini (PCDD) i poliklorirani dibenzofurani (PCDF)	Alkini (C _n H _{2n-2})
Metan (CH ₄)	Kadmij (Cd)		Aldehidi (C _n H _{2n} O)
Ne metanski hlapivi organski spojevi (NMVOC)	Krom (Cr) Cink (zn)		Ketoni (C _n H _{2n} O)
Amoniak (NH ₃)	Bakar (Cu)		Cikloalkani (C _n H _{2n})
Čestice (PM)	Nikal (Ni)		Aromatski spojevi
Broj čestica (PN)	Selenij (Se)		

5.1.3 Model PΔP

Model Power–Delta–Power (PΔP) predviđa potrošnju goriva, onečišćenje zraka (NO_x) i emisije stakleničkih plinova (CO₂) s visokom rezolucijom u vremenu i prostoru. Ovaj model koristi snagu motora (P , kW) i promjenu snage motora (ΔP , kW) kao glavne varijable za simulacije potrošnje goriva i emisija vozila za sve relevantne kategorije vozila uključujući osobna vozila, SUV-ove (Sport Utility Vehicle), za sva gospodarska vozila. Ukupno ima 73 kategorije razvrstanih prema vrsti vozila, pogonskom gorivu i stupnju tehnologije. Model koristi podatke iz velikog broja (oko 2500) potvrđenih ispitivanja emisija u Australiji i oko 12500 pojedinačnih mjerenja. Minimalni potrebni ulazni podatci za ovaj model su podatci o

vremenu radne brzine (1 Hz) i vrste vozila. Korisnik također može unijeti i podatke o nagibu prometnice, opterećenju vozila te o korištenju klima uređaja (on/off).

Tablica 16. Ulazni i izlazni podatci modela P4P modela

ULAZNI PODATCI	IZLAZNI PODATCI
Podatci vrijeme-brzina (potrebni su podatci o vrijednosti brzine vozila svake sekunde)	Potrošnja goriva [g/km]
Vrsta vozila	CO ₂ : ugljikov dioksid [g/km ili g/VKT]
Nagib prometnice	NO _x : dušikov oksid [g/km ili g/VKT] VKT (<i>engl.</i> Vehicle kilometer travelled) – prijeđenom kilometru vozila
Opterećenje vozila	
Klima uređaj (on/off)	

5.1.4 HBEFA/ TREMOD

HBEFA¹⁷ (Handbook Emission Factors for Road Transport) priručnik pruža emisijske faktore za sve njemačke, švicarske i austrijske kategorije vozila koji se temelje na ispitivanjima emisija ispušnih plinova i opsežnim profilima rada vozila. Priručnik je prvi puta objavljen 1990. godine, a posljednje izdanje je izašlo u lipnju 2014. i omogućuje korisnicima da odaberu, situacije zagušenja prometa, a potom izračunaju ukupnu stopu emisija. Također se od 2010. godine koristi i za sljedeće države: Francuska, Norveška i Švedska jer je prilagođen europskim uvjetima u prometu (faktori emisija, karakteristike goriva, prometne situacije, itd.).

Priručnik je vrlo sličan ostalim postojećim modelima. Koristi se kao ulaz u TREMOD model (German Traffic Emissions Estimation Model), koji se u Njemačkoj već dugi niz godina koristi za izradu propisa i donošenje političkih odluka koja se odnose na temu prometa i emisija štetnih tvari. Baza podataka ovog modela kreće se od načina vožnje, učinkovitosti prometa i stupnja iskorištenja do specifične potrošnje energije i faktora emisija (g/km) vozila.

Tablica 17. Ulazni i izlazni podatci za model TREMOD

ULAZNI PODATCI	IZLAZNI PODATCI [g/god ili t/god]
Način vožnje (tem. hladnog starta, duljina vožnje, vrijeme stajanja prije ponovnog pokretanja)	NO _x : dušikov oksid
Potrošnja energije	SO ₂ : sumporni dioksid

¹⁷ HBEFA (*engl.* Handbook Emission Factors for Road Transport) – Priručnik emisijskih faktora za cestovna vozila

Faktori emisija	Ugljikovodici (NMHC, CH ₄)
Kategorije vozila	CO: ugljikov monoksid
Starost vozila	CO ₂ : ugljikov dioksid
Stupanj opterećenja vozila	Čestice i prašina
Kategorije cestovnog prometa	
Stanje, tip i nagib prometnica	

5.1.5 Model PHEM

PHEM¹⁸ (*Passenger car and Hevy duty Emission Model*) je razvijen od strane Tehničkog sveučilišta u Grazu. Ovo je dinamički model koji sadrži mape motora vozila i emisije po okretajima i opterećenjima. Korištenjem unesene brzine vozila i specifikacija (veličina pneumatika, omjera brzina mjenjača, težina, itd.) PHEM model određuje emisije.

Tablica 18. Ulazni i izlazni podatci modela PHEM

ULAZNI PODATCI	IZLAZNI PODATCI
Kategorija vozila	Potrošnja goriva [l/km, g/km]
Brzina vozila	Broj čestica (PN) [# /km]
Nagib prometnice	Emisija CO, CO ₂ , HC, NO _x , N ₂ O [g/km, g/h]
Otpori vožnje (koeficijent otpora zraka,...)	Čestice (PM) [g/km, g/h]
Gubici u prijenosnom mehanizmu (prijenosni omjer pojedinih brzina mjenjača,...)	
Mapa motora	

Svih pet opisanih modela su složeni i zahtijevaju unos velikog broja podataka, od podjela vozila u kategorije, karakteristika goriva, nagiba prometnica do mapa motora (PHEM model)... Od jednostavnijih modela, koji zahtijeva unos svega dva podataka (vrstu vozila i vrijeme-brzina svake sekunde) je australski model PΔP, ali i tu je problem unosa brzine svake sekunde. Također, i za ostale modele je teško ili gotov nemoguće pronaći sve potrebne podatke.

Onečišćujuće tvari koje ovih pet programa mogu procjenjivati su u pravilu jednaki osim australskog PΔP modela, a to su:

¹⁸ PHEM (eng. Passenger car and Hevy duty Emission Model) -

- potrošnja goriva (osim COPERT modela gdje je ovaj podatak ulazni i TREMOD modela),
- CO₂ (osim MOVES modela),
- CO (osim PΔP modela),
- NO_x,
- PM (osim PΔP modela),
- N₂O (osim PΔP modela i TREMOD modela).

Dok COPERT model ima mogućnosti predviđanja teških metala, elementarnog ugljika, policikličkih aromatskih ugljika....

Pošto se koriste u različitim dijelovima svijeta, svi modeli kao ulazne podatke imaju svoju podjelu vozila u kategorije. Pošto je RH u Europskoj Uniji, a u EU se većinom koristi COPERT model uzet će se njihova podjela vozila u kategorije (u ovom modelu će se računati samo za osobna vozila, odnosno kategoriju M₁), podjela prema emisijskim razinama (Euro 1,...6), te podjela prema vrsti radnom obujmu motora. Također svi modeli imaju podjelu prema pogonskom gorivu, a to će se također uzeti u obzir u ovom programu (podjela na vozila pogonjena na benzin, dizelsko gorivo i UNP).

U tablici 20. Navedeni su ulazni podatci koje je potrebno unijeti za novi program, te izlazni podatci onečišćujućih tvari koje će se računati.

Tablica 19. Ulazni i izlazni podatci za novi program

ULAZNI PODATCI	IZLAZNI PODATCI
Broj vozila kategorije M ₁ prema emisijskim razinama (Euro 1, ..., 6)	CO: ugljikov monoksid
Prosječni prijeđeni put vozila	HC: ugljikovodik
	NO _x : dušikov oksid
	PM _{2.5} : čestice
	CO ₂ : ugljikov dioksid

6 METODA RAČUNANJA SMANJENJA EMISIJA ŠTETNIH TVARI

Za proračun emisija štetnih tvari cestovnih vozila u Europskoj uniji primjenjuje se program COPERT 4, odnosno noviji Artemis. Program COPERT stvoren je u okviru europskog projekta MEET [16].

Za program COPERT 4 potrebni su vrlo precizni podaci [17] i to:

- broju vozila po emisijskim razinama (Pre-Euro 1, Euro1 do Euro 6),
- o broju prijeđenih kilometara godišnje,
- o omjerima: gradska vožnja – lokalne ceste – autoceste,
- o brzini i duljini pojedine vožnje,
- o karakteristikama cestovne mreže itd.

Nažalost ovi podaci u pravilu ne postoje, pa tu metodu nije moguće primijeniti.

Jedini dostupni, sustavno uređeni podaci o specifičnim emisijama svih oblika cestovnog prometa bili su oni koje je objavio Nacionalni centar za tehnologiju zaštite okoliša NETCEN (engl. *National Environmental Technology Centre*, UK) [18]. Prilikom izračuna prosječnih specifičnih emisija za Hrvatsku, primijenjene su sljedeće pretpostavke:

- **Pretpostavka 1:**

Prosječni godišnji prevaljeni put u Hrvatskoj sastoji se od:

$$40 \% \text{ gradske vožnje} + 35 \% \text{ lokalne ceste} + 25 \% \text{ autoceste}$$

Ovakva raspodjela prijeđenog puta je zadana u modelu COPERT, te je zbog toga uzeta kao početna vrijednost.

- **Pretpostavka 2:**

Emisija po kilometru puta (specifična emisija e_{km}) u Hrvatskoj je za određeni udio (20 - 40 %) veća nego u UK. Ovu pretpostavku opravdava veća prosječna dob vozila, što podrazumijeva i veći udio vozila s nižom emisijskom razinom. Međutim, ova pretpostavka nije uzeta u obzir iz razloga što je u programu podjela napravljena prema emisijskim razinama za vozila pogonjena Ottovim i Dieselovim motorima. Ali ostavlja se mogućnost, prilikom unapređenja programa, uvođenje korektivnog faktora.

- **Pretpostavka 3:**

Prosječni godišnji prevaljeni put za proračun u HR iznosio je:

15.000 km – za vozila kategorija M1

Ova pretpostavka se koristila dok nisu dobiveni podatci od Centra za vozila Hrvatske o prosječnom godišnjem prijeđenom putu osobnih vozila za razdoblje od 2009. godine do 2013. godine.

Kako se tokom cijele godine broj vozila svakodnevno mijenja, uvodi se pojam prosječnog broja vozila (prošlogodišnjih i novoregistriranih). Također se uvode i ovi pojmovi i oznake:

n_{uk} - ukupan broj svih registriranih motornih vozila na kraju promatrane godine

n_{novo} - ukupan broj novoregistriranih motornih vozila na kraju promatrane godine

n_{preth} - ukupan broj registriranih motornih vozila na početku promatrane godine

n_{odjav} - ukupan broj odjavljenih motornih vozila na kraju promatrane godine

$\bar{n}$ - prosječan broj motornih vozila u promatranoj godini

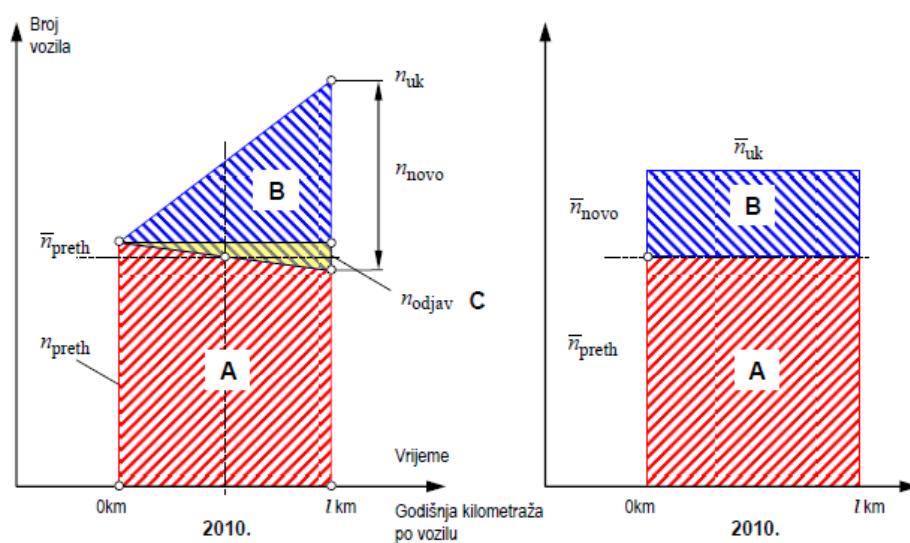
$Euro\ j$ - emisijska razina Euro 0, 1, 2, ..., 6 ($j = 0, 1, 2, \dots, 6$)

E_{uk} , [t/god] - ukupna godišnja emisija promatrane kategorije vozila

E_{novo} , [t/god] – ukupna godišnja emisija novoregistriranih vozila promatrane kategorije

l , [km/god] - godišnje prevaljena udaljenost jednog vozila

e_{km} , [g/km] - specifična emisija



Slika 6.1. Definicija brojeva vozila n i prosječnog broja vozila $\bar{n}$

A – sva prošlogodišnja vozila (ili njihov godišnji prijeđeni put)

B – sva novoregistrirana vozila

C – sva odjavljena vozila

- **Pretpostavka 4:**

Sva vozila iste emisijske razine „Euro j“ godišnje prevaljuju istu udaljenost l u istim uvjetima eksploatacije te imaju iste specifične emisije e_{km} .

- **Pretpostavka 5:**

Broj novoregistriranih vozila i broj odjavljenih vozila se jednoliko povećava tijekom godine.¹⁹ To znači da će prosječan broj novoregistriranih vozila tijekom godine $\bar{n}_{novo}$ biti upola manji od broja novoregistriranih vozila n_{novo} na kraju promatrane godine. Isto važi i za odjavljena vozila. Prosječan broj vozila iz prethodne godine i novoregistriranih (slika 6.1.) je:

$$\bar{n}_{pret h} = n_{pret h} - \frac{n_{odjav}}{2}, \quad \bar{n}_{novo} = \frac{n_{novo}}{2} \quad (1)$$

i ukupan prosječan broj vozila u promatranoj godini:

$$\bar{n}_{uk} = \bar{n}_{pret h} + \bar{n}_{novo} \quad (2)$$

Ako je ispunjena pretpostavka 4, tada n vozila iste kategorije i iste specifične emisije e_{km} ima godišnju emisiju promatrane tvari jednaku:

$$E \left[\frac{g}{god} \right] = n \cdot l \left[\frac{km}{god} \right] \cdot e_{km} \left[\frac{g}{km} \right] \quad (3)$$

odnosno u tonama godišnje:

$$E = n \cdot l \cdot \frac{e_{km}}{10^6}, \left[\frac{t}{god} \right] \quad (4)$$

Emisije svih vozila iste kategorije, odnosno iste specifične emisije e_{km} , u promatranoj godini:

- Za sva vozila koja su već bila registrirana prethodne godine:

$$E_{pret h} = \bar{n}_{pret h} \cdot l \cdot \frac{e_{km (pret h)}}{10^6}, \quad [t/god] \quad (5)$$

- Za sva novoregistrirana vozila:

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km (novo)}}{10^6}, \quad [t/god] \quad (6)$$

- Za sva novoregistrirana vozila kad bi njihova specifična emisija bila ista kao prosječna specifična emisija svih vozila iste kategorije registriranih u prethodnoj godini:

¹⁹ Podaci pokazuju da ovo nije točno.

$$E_{novo,pret h} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(pret h)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad (7)$$

Smanjenje emisije zbog manje prosječne specifične emisije novoregistriranih vozila:

$$\Delta E = E_{novo,pret h} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(pret h)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad (8)$$

Relativno smanjenje emisije u odnosu na isti ukupan broj vozila, ali kao kad bi ona sva imala istu prosječnu specifičnu emisiju kao vozila registrirana u prethodnoj godini:

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,pret h}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(pret h)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{pret h}) \cdot l \cdot e_{km(pret h)}} \quad (9)$$

Nakon uređivanja dobiva se konačan oblik za relativno smanjenje emisije promatrane kategorije vozila i to za promatranu štetnu tvar:

$$\Delta E_{rel} = \frac{1 - \frac{e_{km(novo)}}{e_{km(pret h)}}}{1 + \frac{\bar{n}_{pret h}}{\bar{n}_{novo}}}, \quad \% \quad (10)$$

Pritom 100 % označava emisiju svih vozila iste kategorije na kraju promatrane godine, kad bi sva ona imala prosječnu specifičnu emisiju e_{km} kao vozila na kraju prethodne godine.

Primjer: Pretpostavimo da u državi ima ukupno 100.000 osobnih vozila, od kojih su 10.000 novoregistriranih. Uz pretpostavku linearnog povećanja broja vozila godišnje, prosječni broj novoregistriranih vozila u godini dana jednak je: $\bar{n}_{novo} = \frac{10.000}{2} = 5.000$. Prosječni broj vozila iz prethodne godine (ako nema objavljenih) isti je cijele godine i jednak je $\bar{n}_{pret h} = 100000 - 10000 = 90000$ vozila. Sva novoregistrirana vozila imaju emisiju štetnih tvari triput manju od emisije vozila koja su na kraju prethodne godine bila registrirana u državi, dakle, njihov omjer emisija je 1:3. Relativno smanjenje emisija biti će:

$$\Delta E_{rel} = \frac{1 - \frac{1}{3}}{1 + \frac{90000}{5000}} \cdot 100 = 3,5 \%$$

Dobiveni rezultat pokazuje da će smanjenje štetnih emisija od osobnih vozila registriranih u državi (zbog toga što su novoregistrirana vozila u promatranoj godini više emisijske razine od razine vozila registriranih prethodne godine) biti 3,5 % manja od emisije koja bi bila da su sva vozila (i novoregistrirana i ona iz prethodne godine) iste emisijske razine kao vozila iz prethodne godine.

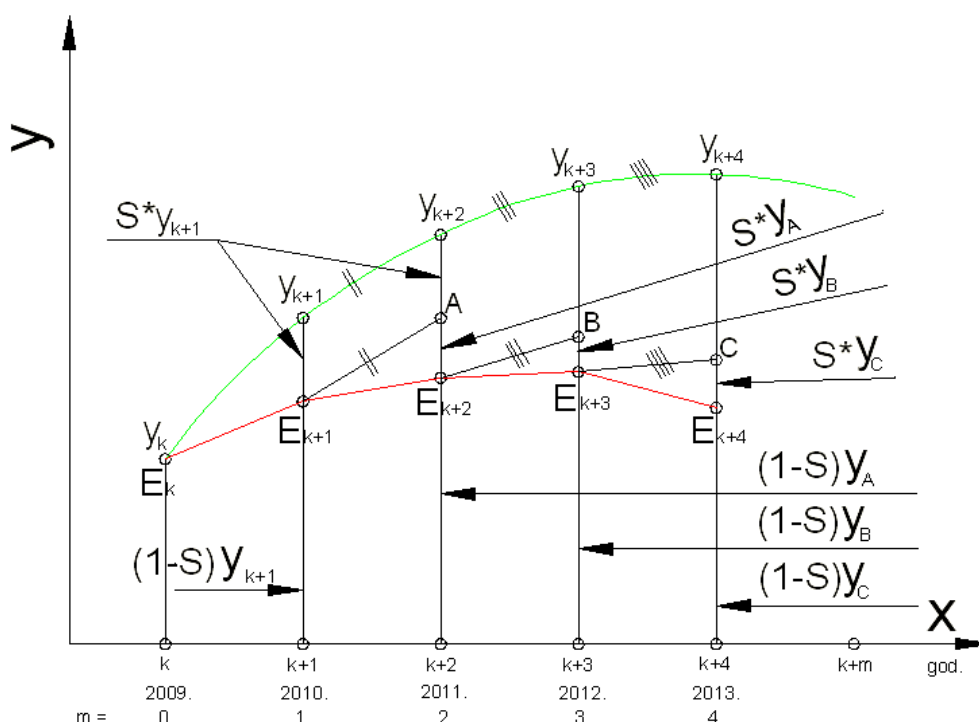
6.1 Opis problema

Promatra se promjena količine štetne tvari koje u zrak ispuštaju motorna vozila u nekoj cjelini, npr. u državi. Za svaku od proteklih godina referentno je stanje na dan 31.12. u 24:00. Ako je zbog godišnjeg priliva novih vozila ukupna godišnja emisija (pojedine tvari) svake godine manja za isti iznos S (%) u odnosu na emisiju koja bi bila ako bi taj novi broj vozila imao istu prosječnu emisiju po vozilu kao i godinu dana ranije.

Kad bi prosječna emisijska razina bila kao u početnoj k -toj godini (slika 4.2), tada bi krivulja y bila izravno proporcionalna emisiji svih vozila. Zbog jednostavnosti krivulja y predstavlja emisiju svih vozila kad bi ona imala emisijsku razinu kao u početnoj k -toj godini te će se ona nazivati „nesmanjenom emisijom“.

Pretpostavke:

- (P1): Svako vozilo ispušta u zrak količinu štetne tvari (g/km) jednaku propisanoj graničnoj emisiji (Euro 1, 2,..., 6).
- (P2): U svakoj godini jedno te isto vozilo napravi jednak broj kilometara u jednakim uvjetima, tj. ispusti u zrak istu količinu štetnih tvari.
- (P3): Vozilo s nižim emisijama (tj. više emisijske razine Euro 2, 3,...,6) ispušta toliko manje štetnih tvari koliko su niže njegove granične emisije. (Ovo proizlazi iz P1)



Slika 6.2. Smanjenje emisije uslijed obnavljanja voznog parka

S , % - stopa smanjivanja emisija (npr. 3 %) u odnosu na količinu emisija kad bi vozila na kraju 2010. imala istu emisijsku razinu kao na kraju 2009. godine.

Iz dijagrama na slici 6.2.:

$$S = \frac{y_{k+1} - E_{k+1}}{y_{k+1}} = \frac{y_A - E_{k+2}}{y_A} = \frac{y_B - E_{k+3}}{y_B} = \dots \quad (11)$$

(P4): Stopa S je konstantna u svim narednim godinama.

Iz dijagrama na slici 6.2.:

$$E_k = y_k \quad (12)$$

$$E_{k+1} = y_{k+1} - S \cdot y_{k+1} = (1 - S) \cdot y_{k+1} \quad (13)$$

$$E_{k+2} = (1 - S) \cdot y_A = (1 - S) \cdot (y_{k+2} - S \cdot y_{k+1}) \quad (14)$$

$$E_{k+3} = (1 - S) \cdot y_B = (1 - S) \cdot [y_{k+3} - (y_{k+2} - E_{k+2})] = \quad (15)$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+3} - y_{k+2} + (1 - S) \cdot (y_{k+2} - S \cdot y_{k+1})] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+3} + y_{k+2} \cdot (-1 + 1 - S) - (1 - S) \cdot S \cdot y_{k+1}] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+3} - S \cdot y_{k+2} - S \cdot (1 - S) \cdot y_{k+1}]$$

$$E_{k+4} = (1 - S) \cdot y_C = (1 - S) \cdot [y_{k+4} - (y_{k+3} - E_{k+3})] = \quad (16)$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+4} - y_{k+3} + (1 - S) \cdot \{y_{k+3} - S \cdot y_{k+2} - (1 - S) \cdot S \cdot y_{k+1}\}] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+4} + (-1 + 1 - S) \cdot y_{k+3} - (1 - S) \cdot S \cdot \{y_{k+2} + (1 - S) \cdot y_{k+1}\}] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+4} - S \cdot y_{k+3} - S \cdot (1 - S) \cdot y_{k+2} - S \cdot (1 - S)^2 \cdot y_{k+1}]$$

$$E_{k+5} = (1 - S) \cdot y_D = (1 - S) \cdot [y_{k+5} - (y_{k+4} - E_{k+4})] = \quad (17)$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+5} - y_{k+4} + (1 - S) \cdot \{y_{k+4} - S \cdot y_{k+3} - (1 - S) \cdot S \cdot [y_{k+2} + (1 - S) \cdot y_{k+1}]\}] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+5} + (-1 + 1 - S) \cdot y_{k+4} - (1 - S) \cdot S \cdot \{y_{k+3} + (1 - S) \cdot y_{k+2} + (1 - S)^2 \cdot y_{k+1}\}] =$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+5} - S \cdot y_{k+4} - S \cdot (1 - S) \cdot \{y_{k+3} + (1 - S) \cdot y_{k+2} + (1 - S)^2 \cdot y_{k+1}\}]$$

$$E_{k+6} = (1 - S) \cdot [y_{k+6} + (-1 + 1 - S) \cdot y_{k+5} - (1 - S) \cdot S \cdot y_{k+4} - (1 - S)^2 \cdot S \cdot y_{k+3} - (1 - S)^3 \cdot S \cdot y_{k+2} - (1 - S)^4 \cdot S \cdot y_{k+1}] = \quad (18)$$

$$= (1 - S) \cdot [y_{k+6} - S \cdot y_{k+5} - S \cdot (1 - S) \cdot y_{k+4} - S \cdot (1 - S)^2 \cdot y_{k+3} - S \cdot (1 - S)^3 \cdot y_{k+2} - S \cdot (1 - S)^4 \cdot y_{k+1}]$$

Opći oblik:

$$E_{k+m} = (1 - S) \cdot [y_{k+m} - S \cdot y_{k+m-1} - S \cdot (1 - S) \cdot y_{k+m-2} - S \cdot (1 - S)^2 \cdot y_{k+m-3} - \dots]$$

$$E_{k+m} = (1 - S) \cdot \left[y_{k+m} - S \cdot \sum_{j=0}^{m-2} (1 - S)^j \cdot y_{k+m-j-1} \right]$$

Gdje je:

$$j = 0, 1, 2, \dots, (m - 2)$$

$$\text{broj članova sume} = (m - 1)$$

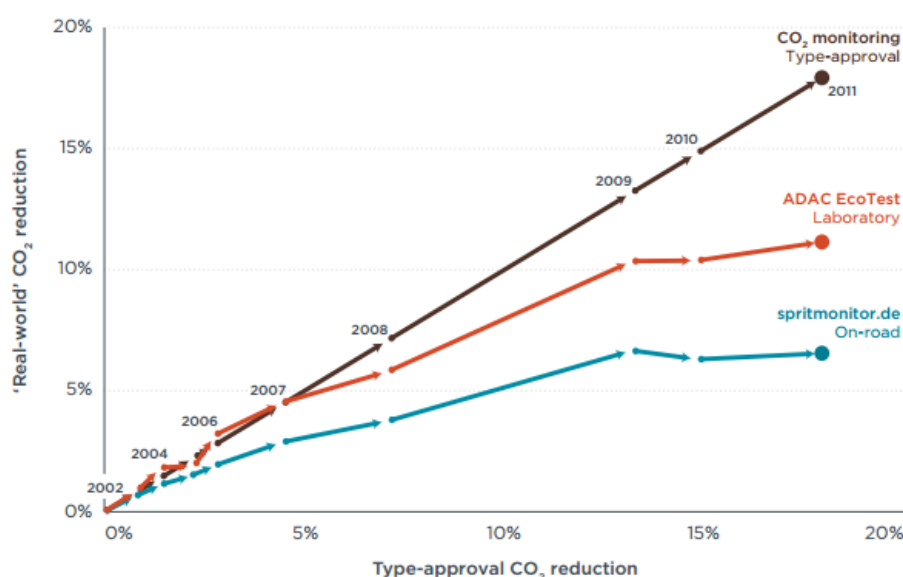
7 OPIS PROGRAMA I ANALIZA REZULTATA

U ovom poglavlju opisati će se program koji je rađen u programskom paketu „Microsoft Office Excel 2007“, analizirat će se dobiveni rezultati, te pojasniti zbog čega nastaju razlike između homologirane emisije CO₂ i emisije prilikom vožnje u stvarnim uvjetima.

7.1 Razlike između homologirane i stvarne emisije CO₂

Potrošnja goriva i emisija CO₂ novih vozila u Europi određuje se postupkom homologacije, koji uključuje testiranje vozila u laboratorijskim uvjetima koristeći Novi europski vozni ciklus (*eng.* New European Driving Cycle (NEDC)). Vrijednosti dobivene postupkom homologacije su osnova za informiranje potrošača, donošenju uredbi o emisiji CO₂ i na osnovu njih se oporezuju vozila, stoga je potrebno osigurati pouzdan i kvalitetan pokazatelj potrošnje goriva i emisije štetnih tvari u stvarnim uvjetima vožnje na cesti.

Tehnički precizna definicija stvarnih uvjeta vožnje je nedostižna zbog odstupanja u konstrukciji vozila kao i samog načina vožnje (koji je različit od vozača do vozača). Međutim, prikupljanjem velikog broja podataka prilikom stvarne vožnje na cesti moguće je uočiti jasan trend, a to je da je raskorak između podataka (na postupku homologacije i prilikom vožnje na cesti) o emisiji CO₂ 2001. godine bio manji od 10 %, dok je 2011. godine taj raskorak narastao na oko 25 %. [20]

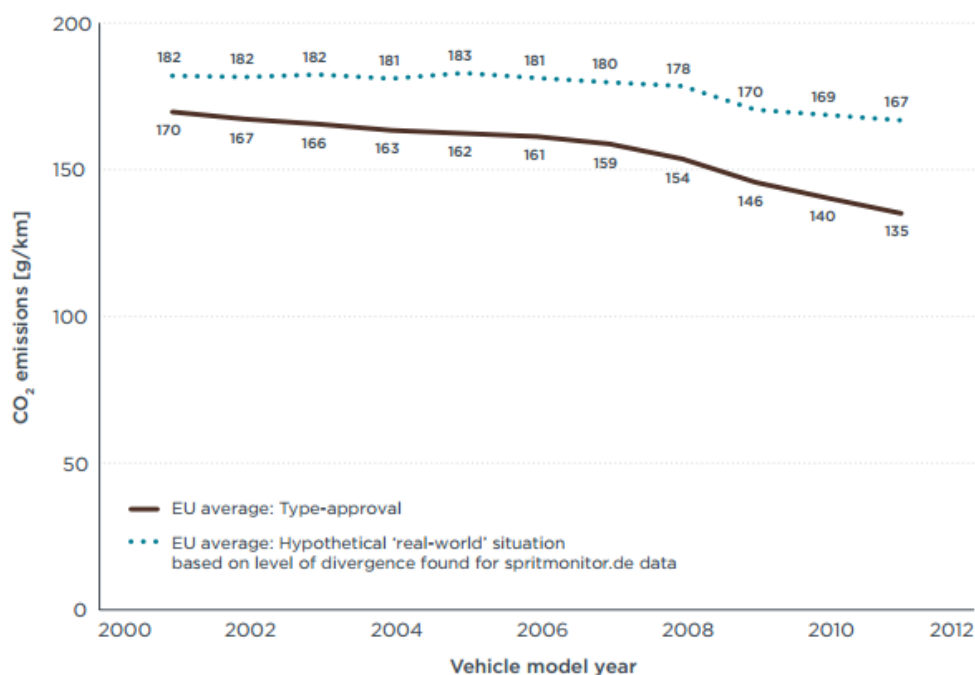


Slika 7.1. Njemačka: 2002. - 2011. – stvarno smanjenje CO₂ u odnosu na smanjenje prema postupku homologacije [20]

Kao što se vidi na slici 7.1. između 2002. i 2011. godine emisija CO₂ mjerena prema NEDC ciklusu je pala za 18 %. Međutim spritmonitor.de²⁰ podatci pokazuju na to da je prilikom vožnje u stvarnim uvjetima na cesti emisija CO₂ pala svega 7 % u istom vremenskom razdoblju. ADAC²¹ Eco Test (također su provedena ispitivanja u laboratorijskim uvjetima, ali s realnijim uvjetima vožnje nego NEDC ciklus) podatci se nalaze u sredini i prikazuju pad od 11 %.

Na temelju sličnih baza podataka, uočeni su isti trendovi i u drugim državama Europe, kao na primjer Nizozemskoj, Velikoj Britaniji, Švicarskoj, Francuskoj,.... [20]

Uz pretpostavku da se rezultati iz Njemačke mogu primijeniti na cijeli vozni park Europske Unije, emisija CO₂ novih osobnih vozila biti će veća nego što se sugerira rezultatima homologacije. Prema tome, po računanju na temelju podataka spritmonitor.de emisija se smanjila sa 182 g/km 2001. godina na 167 g/km 2011. godine umjesto sa 170 g/km na 135 g/km kako sugeriraju vrijednosti postupaka homologacije.



Slika 7.2. Primjena rezultata spritmonitor.de i ADAC Eco Test na prosjek EU [20]

Što se tiče uzroka koji mogu povećati ovaj raskorak između homologiranih vrijednosti i vrijednosti koji se dobivaju prilikom vožnje u stvarnim uvjetima, postoje tri glavne kategorije koje je potrebno razlikovati:

²⁰ spritmonitor.de je internetska baza podataka sa preko 250.000 registriranih korisnika u Njemačkoj

²¹ ADAC (germ. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club) – Njemački automobilski klub

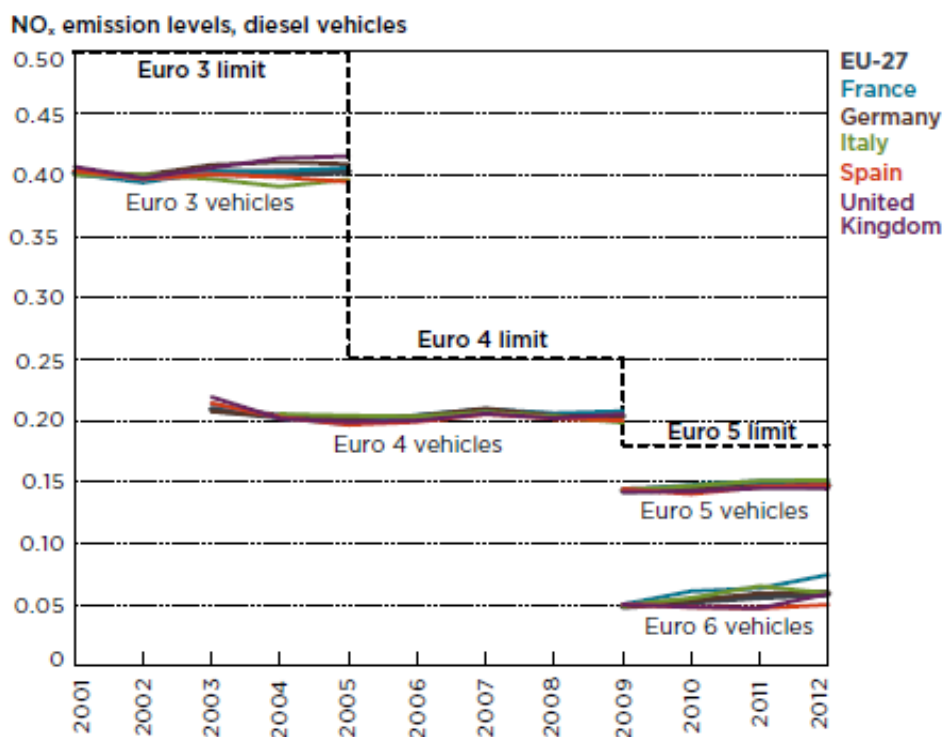
1. **Povećanje primjene novih tehnologija koje pokazuju veću prednost u ispitnim postupcima homologacije nego u stvarnim uvjetima vožnje.** Jedan od primjera je upotreba start-stop tehnologije koja prilikom zaustavljanja vozila isključuje motor, npr. prilikom čekanja na semaforima. Udio europskih vozila opremljenih ovom tehnologijom povećao se s 0 % 2001. godine na oko 10 % 2010. godine i dalje se povećava. U okviru NEDC ciklusa koji se sastoji od oko 25 % praznog hoda, start-stop tehnologija obećava značajno smanjenje emisije, dok je kod prosječnog vozača znatno manje praznog hoda te je stoga i manji utjecaj ove tehnologije. To posebno vrijedi za vozila koja većinu vremena provode na prigradskim cestama ili autocestama. Povećanje start-stop tehnologije je jedan od uzročnika povećanja raskoraka između homologiranih emisija i emisija u stvarnim uvjetima vožnje. Drugi primjeri tehnologija koje nude znatno smanjenje emisije CO₂ prilikom NEDC ciklusa nego u stvarnim uvjetima vožnje uključuju hibridne tehnologije, napredne automatske mjenjače, te motori s turbopunjačem i malim radnim obujmom.
2. **Povećanje korištenja „fleksibilnosti“ postupka homologacije.** Imajući u vidu da ispitni postupak koji se danas koristi nije izvorno osmišljen za određivanje emisija CO₂ stoga je potreba za nadograđivanjem velika i zbog toga postoji nekoliko fleksibilnosti prilikom ispitnih ciklusa. Na primjer kada je dozvoljeno odstupanje tijekom testiranja ili kada svi koraci ispitivanja nisu uvijek definirani u svakom detalju i omogućuju neku slobodu interpretacije. Jedan od takvih primjera je određivanje koeficijenta opterećenja vozila tijekom postupka homologacije. Ovi koeficijenti su potrebni za simulaciju opterećenja vozila, kada se testira na ispitnim valjcima u laboratoriju, gdje se vozilo održava statički i obično su samo gume na pogonskoj osovinu u pokretu. Nadalje, i specifikacija guma i tlak u gumama također mogu biti različiti prilikom ispitivanja i prilikom vožnje u stvarnim uvjetima, što također doprinosi povećanju raskoraka između homologirane vrijednosti emisije CO₂ i emisije prilikom stvarne vožnje.
3. **Vanjski faktori koji se mijenjaju tijekom vremena.** Ovdje se misli na sve veće korištenje sustava klimatizacije u vozilima. Dodatna prosječna godišnja emisija CO₂ od korištenja ovih sustava se procjenjuje na oko 5 %. Broj vozila opremljenih klimatizacijskim sustavima je značajno porastao tijekom vremena, u Njemačkoj je broj vozila opremljenih klimatizacijskim sustavima porastao sa 25 % 1995. godine na 96 % 2008. godine. Isto tako, sve više vozila koristi energetske intenzivne sustave za

informiranje i zabavu putnika (*engl.* infotainment) kao i sustave udobnosti (npr. grijanje sjedala), koje također povećavaju emisiju CO₂. Drugi primjeri mogu uključivati upotrebu sve većeg broja zimskih guma u nekim zemljama EU-a, a tu je i sve veći udio biogoriva, te obveza uključivanja svjetala po danu itd.

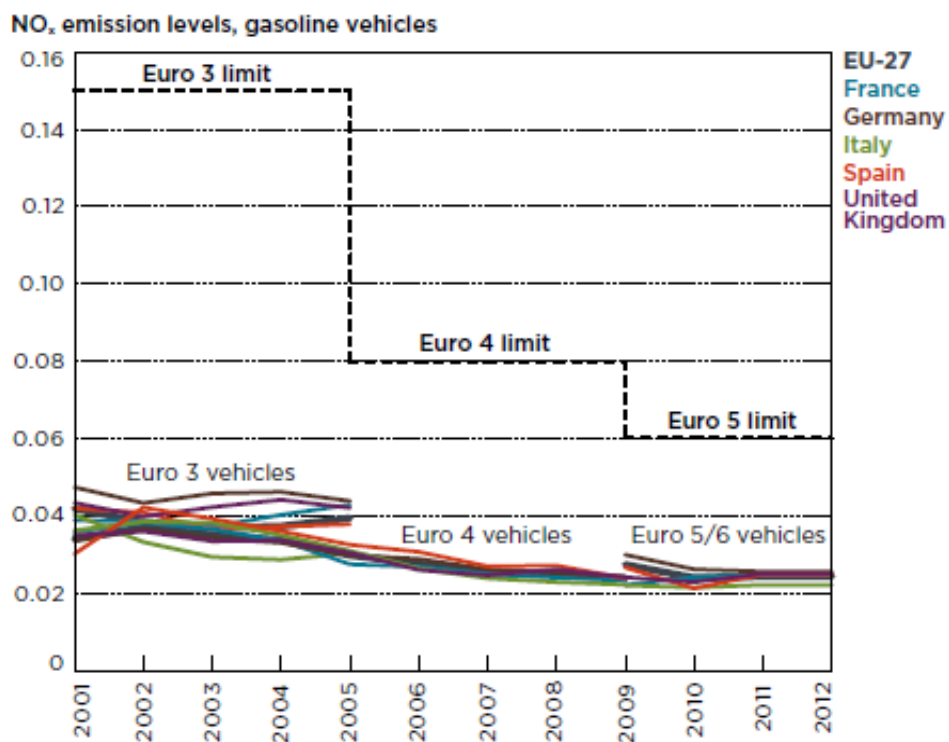
7.2 Razlika između homologiranih i stvarnih vrijednosti emisija ostalih plinova

Kako je već u prethodnom poglavlju opisana razlika između homologirane vrijednosti emisije CO₂ i emisije prilikom vožnje u stvarnim uvjetima, ovdje će se dati kratak osvrt i na razlike između homologiranih vrijednosti emisija ostalih plinova (NO_x, HC, CO, PM) i emisija tih plinova prilikom stvarnih uvjeta vožnje.

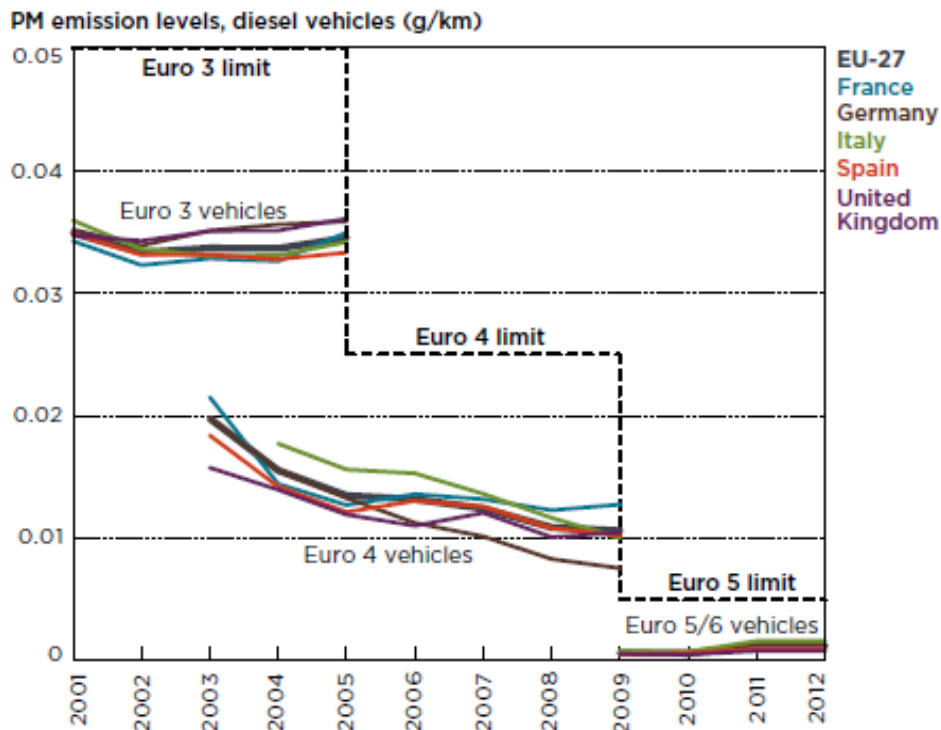
Napredovanje od Euro 3 do Euro 5 razine rezultiralo je znatno niže granice emisija dušikovih oksida (NO_x) i čestica (PM). Emisije, mjerene u NEDC ciklusu uglavnom su u skladu s tim ograničenjima što je prikazano na slikama 7.3. do 7.5.



Slika 7.3. Razina emisija NO_x osobnih vozila pogonjenih Diesellovim motorom prema državama [21]



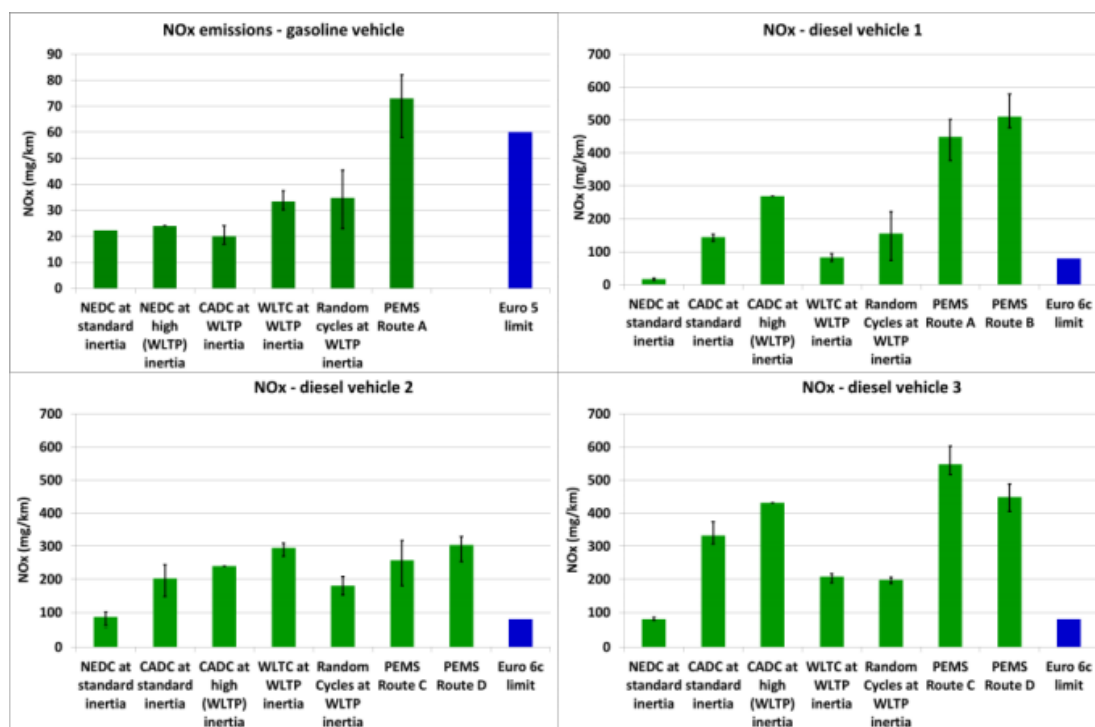
Slika 7.4. Razina emisija NO_x osobnih vozila pogonjenih Ottovim motorom prema državama [21]



Slika 7.5. Razina emisija PM osobnih vozila pogonjenih Diesellovim motorom prema državama [21]

Međutim, nedavne studije su dokazale da pri stvarnim uvjetima vožnje (na cesti, a ne u laboratoriju) izmjerene emisije, a posebno emisija NO_x kod vozila pogonjenih Diesellovim motorom, nisu smanjene u istoj mjeri.

Prema [22] provedena je jedna takva studija u kojoj su korištena vozila (tri pogonjena Diesellovim motorom i jedan pogonjen Ottovim motorom) koja se proizvode i prodaju na tržištu Europske Unije, te su uspoređivali emisije dobivene mjerenjima emisija na probnim valjcima (pri NEDC, CADC²², WLTC ciklusima) i pri stvarnim uvjetima vožnje na cesti (PEMS²³). Slika 7.6. prikazuje dobivene emisije NO_x .



Slika 7.6. Emisija NO_x sva četiri vozila [22]

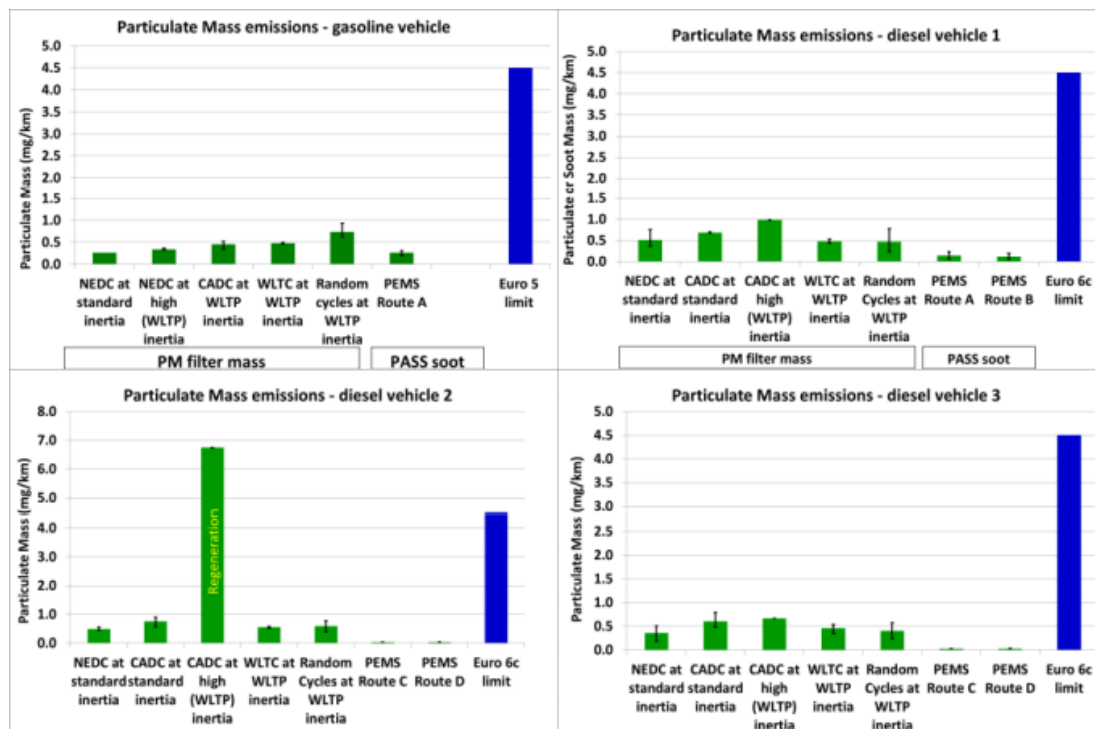
Rezultati ispitivanja na probnim valjcima za vozila pogonjena Ottovim motorom bili su ispod granice za Euro 5/6 normu koja iznosi 60 mg/km. Rezultati emisije NO_x za vozila pogonjena Ottovim motorom ali pri stvarnim uvjetima vožnje na cesti bili su znatno veći od onih dobivenih na probnim valjcima i za 23 % veći od granične vrijednosti za Euro 5/6 normu.

Sva tri vozila pogonjena Diesellovim motorom, koja su se koristila prilikom ispitivanja, pokazuju znatne razlike u dobivenim emisijama pri stvarnim uvjetima vožnje (PEMS) i prilikom ispitivanja na probnim valjcima prema NEDC ciklusu.

²² CADC (eng. Common Artemis suite of cycles) – uobičajeni Artemis paket ciklusa

²³ PEMS (eng. Portable Emissions Measurement System) – Prijenosni mjerni sustav za mjerenje emisija

Slika 7.7. prikazuje usporedbu dobivenih rezultata emisija PM prilikom ispitivanja u stvarnim uvjetima vožnje na cesti i ispitivanja na probnim valjcima za nekoliko različitih ciklusa, a također je dana i granična vrijednost prema Euro 5/6 normi.



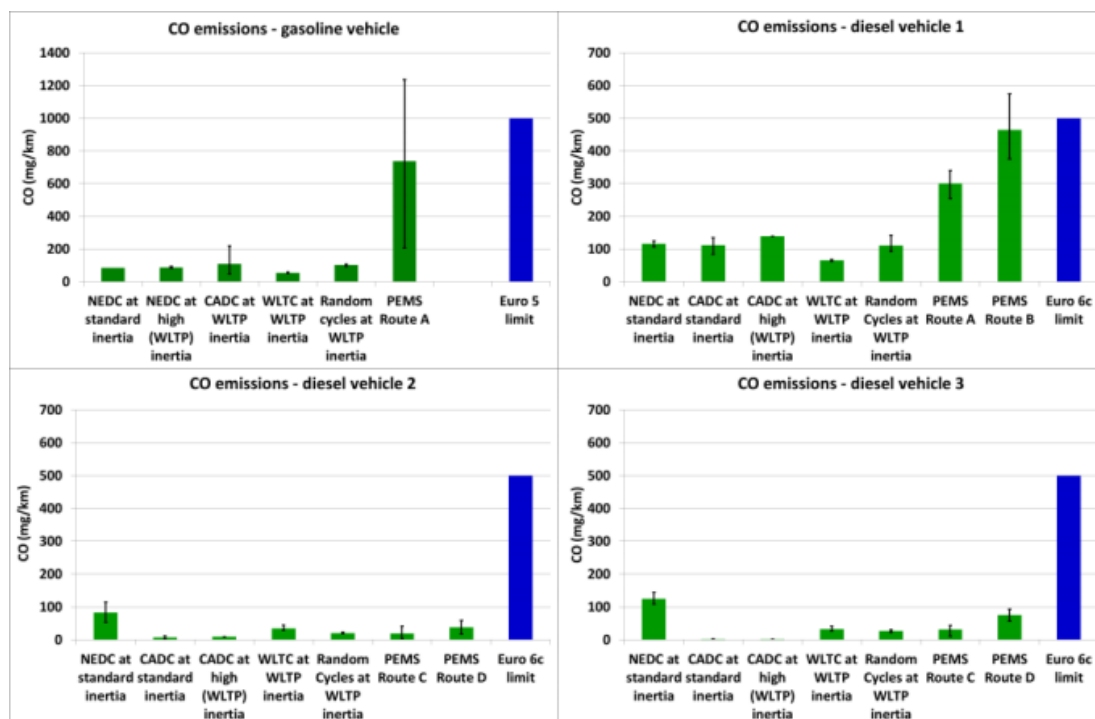
Slika 7.7. Emisija PM za sva četiri vozila

Kao što se i moglo očekivati za vozila pogonjena Ottovim motorom, svi rezultati mjerenja i pri stvarnim uvjetima i na probnim valjcima su bili znatno ispod dopuštene granične vrijednosti prema Euro 5/6 normama koja iznosi 4,5 mg/km. Najveći dobiveni rezultati su bili svega 0,8 mg/km.

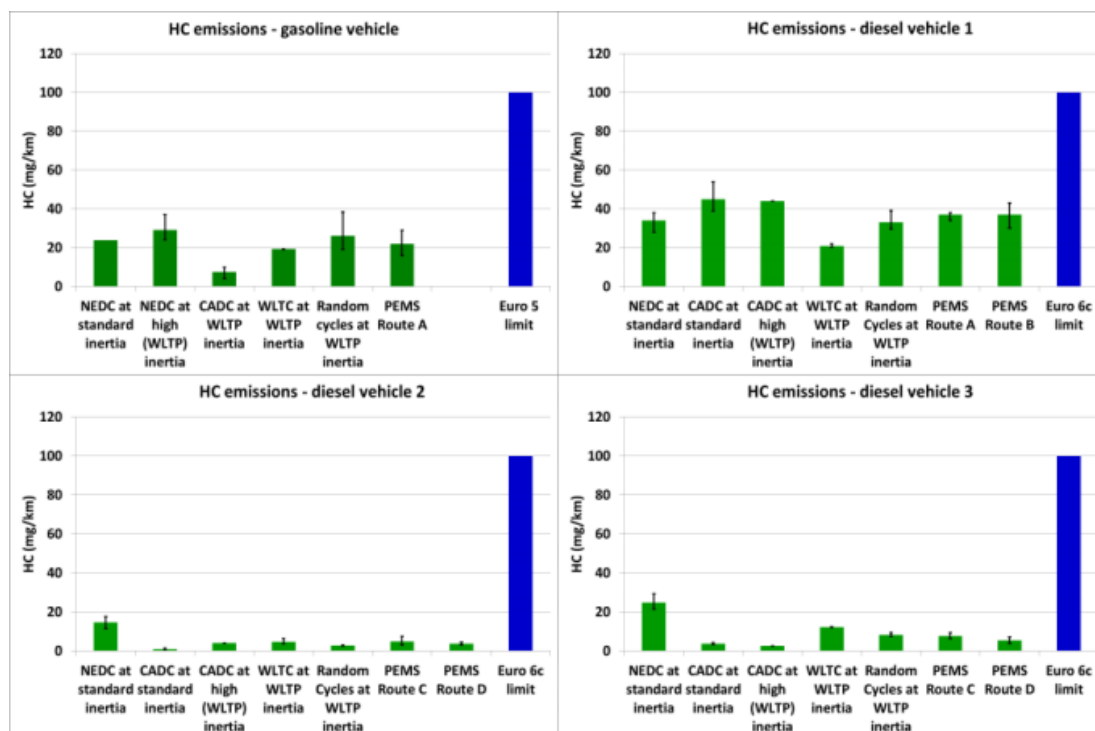
Za tri vozila pogonjena Ottovim motorom emisija čestica i sadržaj čađe su u skladu s onim što bi se trebalo očekivati od vozila koja su opremljena sa filtrom krutih čestica (DPF). Svi rezultati su bili ispod 1 mg/km, osim za CADC test na visokoj inerciji kada je došlo do regeneracije DPF-a.

Na slikama 7.8. i 7.9. su prikazane emisije CO i HC dobivene ispitivanjem. I prosječni i pojedinačni rezultati za emisiju CO su bili ispod dopuštene granice za Euro 6 norme kod svih vozila

Ukupni rezultati emisija ugljikovodika za sva četiri vozila su znatno ispod zakonski dopuštenih ograničenja, a najveća emisija koja se postigla na svim ispitivanjima iznosila je svega 54 % od Euro 6 granice.



Slika 7.8. Emisija CO za sva četiri vozila



Slika 7.9. Emisija HC za sva četiri vozila

7.3 Opis programa u programskom paketu „Excel 2007“

U ovom potpoglavlju opisat će se program koji je napravljen u programskom paketu „Excel 2007“. Program računa emisiju štetnih tvari samo kod vozila kategorije M₁. Pojedinačno će biti objašnjen svaki list programa s opisima podataka i načinu računanja pojedinih stavki, te načinu odabira podataka.

Slika 7.10. prikazuje prvi list u excel-u sa ulaznim podacima. Iz te slike se vidi podjela osobnih vozila prema vrsti pogonskog goriva i to na:

- benzin,
- dizelsko gorivo,
- UNP (ukapljeni naftni plin).

Vozila pogonjena Ottovim i Dieselovim motorom su podijeljena u tri kategorije prema radnom obujmu motora:

- $< 1400 \text{ cm}^3$,
- $1400 - 2000 \text{ cm}^3$,
- $> 2000 \text{ cm}^3$.

Dok vozila pogonjena Ottovim motorom koje kao pogonsko gorivo koristi UNP nemaju ovu podjelu nego su (prema radnom obujmu) sva svrstana u jednu kategoriju.

Svaka podjela prema radnom obujmu motora je podijeljena dalje prema emisijskim razinama (od Pred-Euro 1 do Euro 6). Ovakve podjele nema kod vozila s Ottovim motorom koja kao pogonsko gorivo koristi UNP. Kod njih je podjela samo na vozila bez katalizatora i vozila s katalizatorima. Ovo je uzeto iz razloga što je takva podjela dobivena u podacima koje je ustupio Centar za vozila Hrvatske.

.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Polja koja su označena žutom bojom moguće je mijenjati						Prosječna brzina (km/h)			Udio (%)							
2							Gradska	Prigradska	Autocesta	Gradska	Prigradska	Autocesta					
3							30	60	110	40	35	25					
4																	
5																	
6	Kategorija vozila M1					Broj registriranih vozila					Prosječni godišnji prijeđeni put (km)						
7	Vrsta goriva	Radni obujam motora (ccm)	Emisijske norme			2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.		
9	Benzin	< 1400	Pre-Euro 1			85672	71180	60241	50894	43292	15100	14600	13800	13300	12700		
10	Benzin	< 1400	Euro 1			61506	57618	53958	49353	45199	15100	14600	13800	13300	12700		
11	Benzin	< 1400	Euro 2			175232	172435	170173	166232	162412	15100	14600	13800	13300	12700		
12	Benzin	< 1400	Euro 3			133881	133778	133842	133460	133807	15100	14600	13800	13300	12700		
13	Benzin	< 1400	Euro 4			99223	129659	137085	140984	144415	15100	14600	13800	13300	12700		
14	Benzin	< 1400	Euro 5			8491	10254	19580	27705	36861	15100	14600	13800	13300	12700		
15	Benzin	< 1400	Euro 6			0	1	2	15	45	15100	14600	13800	13300	12700		
16	Benzin	1400 - 2000	Pre-Euro 1			22767	18825	15799	13062	10940	15100	14600	13800	13300	12700		
17	Benzin	1400 - 2000	Euro 1			72005	65721	59989	53156	46946	15100	14600	13800	13300	12700		
18	Benzin	1400 - 2000	Euro 2			72551	70914	69634	67150	64907	15100	14600	13800	13300	12700		
19	Benzin	1400 - 2000	Euro 3			33506	33678	33727	33462	33395	15100	14600	13800	13300	12700		
20	Benzin	1400 - 2000	Euro 4			32784	44303	48990	50366	51694	15100	14600	13800	13300	12700		
21	Benzin	1400 - 2000	Euro 5			4078	5260	9494	12884	16992	15100	14600	13800	13300	12700		
22	Benzin	1400 - 2000	Euro 6			0	1	0	8	61	15100	14600	13800	13300	12700		
23	Benzin	> 2000	Pre-Euro 1			1041	872	769	694	647	15100	14600	13800	13300	12700		
24	Benzin	> 2000	Euro 1			5096	4607	4137	3704	3323	15100	14600	13800	13300	12700		
25	Benzin	> 2000	Euro 2			4261	4087	4022	3846	3691	15100	14600	13800	13300	12700		
26	Benzin	> 2000	Euro 3			4131	4087	4135	4045	4028	15100	14600	13800	13300	12700		
27	Benzin	> 2000	Euro 4			3601	4399	4990	5026	5143	15100	14600	13800	13300	12700		
28	Benzin	> 2000	Euro 5			544	299	700	859	991	15100	14600	13800	13300	12700		
29	Benzin	> 2000	Euro 6			0	0	0	1	6	15100	14600	13800	13300	12700		
30	Dizel	< 1400	Pre-Euro 1			1613	1235	981	770	621	15100	14600	13800	13300	12700		
31	Dizel	< 1400	Euro 1			1158	1000	878	746	648	15100	14600	13800	13300	12700		
32	Dizel	< 1400	Euro 2			63	63	76	77	70	15100	14600	13800	13300	12700		
33	Dizel	< 1400	Euro 3			10982	11019	11067	11104	11336	15100	14600	13800	13300	12700		
34	Dizel	< 1400	Euro 4			7398	9249	9788	9930	10566	15100	14600	13800	13300	12700		
35	Dizel	< 1400	Euro 5			274	494	1354	1971	3345	15100	14600	13800	13300	12700		
36	Dizel	< 1400	Euro 6			0	2	1	1	2	15100	14600	13800	13300	12700		
37	Dizel	1400 - 2000	Pre-Euro 1			28331	23962	20937	18339	16258	15100	14600	13800	13300	12700		
38	Dizel	1400 - 2000	Euro 1			89616	83636	79481	74611	69764	15100	14600	13800	13300	12700		
39	Dizel	1400 - 2000	Euro 2			92088	91548	91055	89948	88912	15100	14600	13800	13300	12700		
40	Dizel	1400 - 2000	Euro 3			112393	113934	115986	119125	125138	15100	14600	13800	13300	12700		
41	Dizel	1400 - 2000	Euro 4			69671	88677	94438	98284	104818	15100	14600	13800	13300	12700		
42	Dizel	1400 - 2000	Euro 5			5383	8743	19692	25748	42633	15100	14600	13800	13300	12700		
43	Dizel	1400 - 2000	Euro 6			0	10	10	28	54	15100	14600	13800	13300	12700		
44	Dizel	> 2000	Pre-Euro 1			2874	2488	2311	2169	2106	15100	14600	13800	13300	12700		
45	Dizel	> 2000	Euro 1			14073	13143	12434	11579	10813	15100	14600	13800	13300	12700		
46	Dizel	> 2000	Euro 2			16081	16115	16170	15921	15734	15100	14600	13800	13300	12700		
47	Dizel	> 2000	Euro 3			19305	19928	20552	21223	22540	15100	14600	13800	13300	12700		
48	Dizel	> 2000	Euro 4			16136	20139	22081	22960	24042	15100	14600	13800	13300	12700		
49	Dizel	> 2000	Euro 5			1229	1603	3172	4394	6509	15100	14600	13800	13300	12700		
50	Dizel	> 2000	Euro 6			0	1	2	64	354	15100	14600	13800	13300	12700		
51	LPG	Otto	Bez_Kat			5513	4725	4106	3661	3232	15100	14600	13800	13300	12700		
52	LPG	Otto	Sa_Kat			40068	45752	46483	47703	49255	15100	14600	13800	13300	12700		

Slika 7.10. Prva stranica programa sa ulaznim podacima

Podatci o registriranim osobnim vozilima (s podjelama koje su gore opisane) i prosječno godišnje prijeđenom putu vozila dobiveni su također od CVH i oni se ne mijenjaju.

Ono što se može mijenjati označeno je žutom bojom i nalazi se na vrhu prvog lista u excelu:

- prosječna brzina vozila na prometnicama (km/h):
 - gradskim,
 - prigradskim,
 - autocesta.
- udio vožnje na pojedinim prometnicama (%).

Ove vrijednosti o prosječnim brzinama i udjelima koje se vide na slici 7.10. su početne vrijednosti koje su zadane u programu COPERT.

Slika 7.11. prikazuje drugu stranicu programa u Excelu. S lijeve strane (tamno zelena boja) se vidi podjela vozila koja je objašnjena na prvoj stranici (i biti će na svim ostalim stranicama jednaka).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Proračun emisijskih faktora prema prosječnim brzinama preuzet od Engleske vlade															
2																
3																
4	Kategorija vozila M1							CO								
5	Vrsta goriva	Radni obujam motora (ccm)	Emisijske norme	Formula (y=emisijski faktor, x=brzina)				Koeficijenti							Faktor (k)	
6								a	b	c	d	e	f	g		
7	Benzin	< 1400	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	519,8161	0,056485	0,017898	0	0	0	0	0	0	0	1	
8	Benzin	< 1400	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,56E-10	14,995	-0,3604	0,0024	0	0	0	0	0	0	1	
9	Benzin	< 1400	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,16E-10	4,0292	-0,1012	0,0008	0	0	0	0	0	0	1	
10	Benzin	< 1400	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	6,660492	-0,308235	0,032383	-0,000973	1,65E-05	-1,27E-07	4,47E-10	1				
11	Benzin	< 1400	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	6,660492	-0,308235	0,032383	-0,000973	1,65E-05	-1,27E-07	4,47E-10	1				
12	Benzin	< 1400	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	6,660492	-0,308235	0,032383	-0,000973	1,65E-05	-1,27E-07	4,47E-10	0,822				
13	Benzin	< 1400	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	6,660492	-0,308235	0,032383	-0,000973	1,65E-05	-1,27E-07	4,47E-10	0,822				
14	Benzin	1400 - 2000	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	381,3841	1,373148	0,0052	0	0	0	0	0	0	0	1	
15	Benzin	1400 - 2000	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	28,26103	1,541027	0,000977	0	0	0	0	0	0	0	1	
16	Benzin	1400 - 2000	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	56,74967	-2,258243	0,026667	0	0	0	0	0	0	0	1	
17	Benzin	1400 - 2000	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	35,04028	-1,800275	0,024874	0	0	0	0	0	0	0	1	
18	Benzin	1400 - 2000	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	22,62747	-0,685483	0,014443	0	0	0	0	0	0	0	1	
19	Benzin	1400 - 2000	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	22,62747	-0,685483	0,014443	0	0	0	0	0	0	0	0,822	
20	Benzin	1400 - 2000	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	22,62747	-0,685483	0,014443	0	0	0	0	0	0	0	0,822	
21	Benzin	> 2000	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	247,5455	-0,134251	0,008449	0	0	0	0	0	0	0	1	
22	Benzin	> 2000	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	66,14271	-2,524793	0,211156	-0,007669	0,000136	-1,17E-06	3,96E-09	1				
23	Benzin	> 2000	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	13,86474	-0,374763	0,030886	-0,000976	1,59E-05	-1,23E-07	4,08E-10	1				
24	Benzin	> 2000	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	26,2664	-1,182717	0,015337	0	0	0	0	0	0	0	1	
25	Benzin	> 2000	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	7,415379	0,006426	-0,000375	1,06E-05	7,41E-07	0	0	0	0	0	1	
26	Benzin	> 2000	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	7,415379	0,006426	-0,000375	1,06E-05	7,41E-07	0	0	0	0	0	0,822	
27	Benzin	> 2000	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	7,415379	0,006426	-0,000375	1,06E-05	7,41E-07	0	0	0	0	0	0,822	
28	Dizel	< 1400	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	21,80701	0,107408	0,000684	0	0	0	0	0	0	0	1	
29	Dizel	< 1400	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	13,56083	0,029399	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
30	Dizel	< 1400	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	8,287439	-0,006227	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
31	Dizel	< 1400	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,285522	-0,003373	6,78E-07	0	0	0	0	0	0	0	1	
32	Dizel	< 1400	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	1	
33	Dizel	< 1400	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	0,798	
34	Dizel	< 1400	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	0,798	
35	Dizel	1400 - 2000	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	21,80701	0,107408	0,000684	0	0	0	0	0	0	0	0	1
36	Dizel	1400 - 2000	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	13,56083	0,029399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
37	Dizel	1400 - 2000	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	8,287439	-0,006227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
38	Dizel	1400 - 2000	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,285522	-0,003373	6,78E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	1
39	Dizel	1400 - 2000	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	1	
40	Dizel	1400 - 2000	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	0,798	
41	Dizel	1400 - 2000	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	3,189682	0,000552	-6,16E-05	-5,38E-07	7,51E-10	0	0	0	0	0	0,798	
42	Dizel	> 2000	Pre-Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	16,45791	0,255421	-0,000698	0	0	0	0	0	0	0	0	1
43	Dizel	> 2000	Euro 1	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	15,12576	-0,05626	0,001593	0	0	0	0	0	0	0	0	1
44	Dizel	> 2000	Euro 2	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	12,70898	-0,008123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
45	Dizel	> 2000	Euro 3	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,505299	0,007363	-7,84E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	1
46	Dizel	> 2000	Euro 4	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,505299	0,007363	-7,84E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0,78125
47	Dizel	> 2000	Euro 5	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,505299	0,007363	-7,84E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0,623
48	Dizel	> 2000	Euro 6	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	1,505299	0,007363	-7,84E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0,623
49	LPG	Otto	Bez_Kat	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	22,50832	-0,408264	0,005107	0	0	0	0	0	0	0	0	1
50	LPG	Otto	Sa_Kat	$y=k*(a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6)/x$	22,50832	-0,408264	0,005107	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Slika 7.11. Druga stranica programa – koeficijenti za računanje emisijskih faktora

U sredini (siva boja) se nalazi polinom po kojem se računaju emisijski faktori pojedinih onečišćujućih tvari:

$$y = k \cdot (a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + f \cdot x^5 + g \cdot x^6) / x$$

Ovaj polinom se koristi u NTM-u²⁴ koji je razvio Department for Transport²⁵ i predstavlja strateški alat koji se koristi za predviđanje razine prometa, naknade zagušenja i utjecaja

²⁴ NTM (eng. National Transport Model) – Nacionalni transportni model

²⁵ Department for transport – Odjel za promet

emisija na državnim cestama Velike Britanije. Stoga je ovaj način izračunavanja emisijskih faktora preuzet od njih.

Gdje je:

y – emisijski faktor

x – prosječna brzina (koja se zadaje na prvoj stranici programa)

a, b, c, d, e, f, g - koeficijenti

k – faktor prilagodbe (za emisijske norme Euro 5 i 6)

Skroz desno na slici (svijetlo zelena boja) prikazani su koeficijenti koji se koriste prilikom izračunavanja faktora za CO.

Koeficijenti koje se koriste za izračunavanje emisija HC, NO_x, PM_{2.5}, CO₂ se također nalaze na ovome listu, ali nisu prikazani. Do ovih koeficijenata se došlo mjerenjem emisija ispušnih plinova na vozilima, pri čemu su uzeti u obzir sve kombinacije od vrste vozila, pogonskog goriva, podjele prema radnim obujmima, prema emisijskim razinama, te je krivulja regresije opremljena s podacima o emisijama i podacima o prosječnim brzinama putovanja. Od 17 korištenih regresijskih modela, ovaj se pokazao najboljim.

Slika 7.12. prikazuje treću stranicu u programu. Ovdje se izračunavaju emisijski faktori s podjelom na vrste prometnica (gradska, prigradska, autocesta).

S desne strane se nalazi izračunata emisija CO za razdoblje između 2009. godine i 2013. godine. Emisija se računa prema formuli:

$$E_{CO} = n \cdot l \cdot (i \cdot e_1 + j \cdot e_2 + k \cdot e_3)$$

Pri čemu je:

E_{CO} - ukupna emisija CO (t/god),

n – broj vozila prema podjelama,

l – ukupni prijeđeni put (km),

i, j, k – su faktori koji predstavljaju udio vožnje na pojedinoj prometnici (unos se na prvom listu programa),

e_1, e_2, e_3 – emisijski faktori po pojedinoj vrsti prometnica (gradska, prigradska, autocesta).

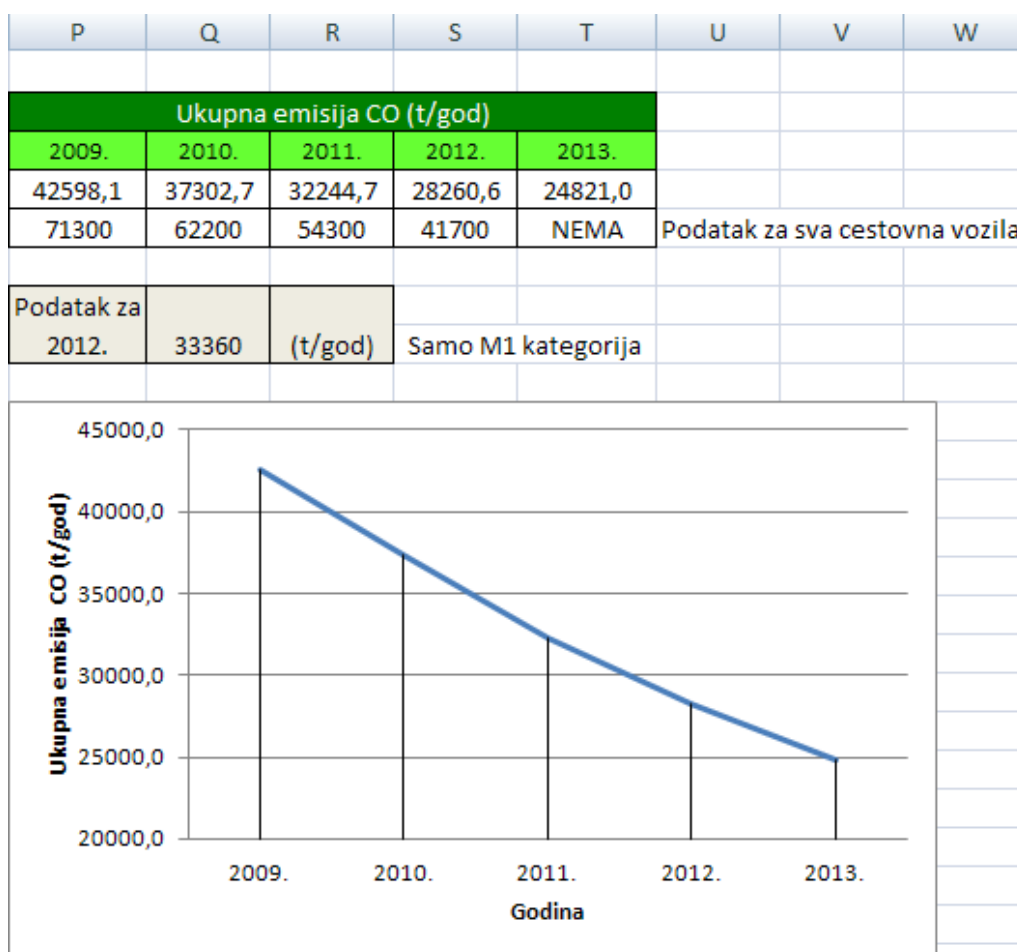
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Kategorija vozila M1					Emisijski faktor (g/km)								
2	Vrsta goriva	Radni obujam motora (ccm)	Emisijske norme			Gradska	Prigradska	Autocesta		Emisija CO (g/km)				
3										2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
4	Benzin	< 1400	Pre-Euro 1			17,921	9,794	6,751		1,906E+10	1,531E+10	1,225E+10	9,972E+09	8,100E+09
5	Benzin	< 1400	Euro 1			6,343	2,011	4,391		4,497E+09	4,073E+09	3,605E+09	3,178E+09	2,779E+09
6	Benzin	< 1400	Euro 2			1,713	0,837	2,577		4,847E+09	4,612E+09	4,302E+09	4,050E+09	3,779E+09
7	Benzin	< 1400	Euro 3			0,362	0,501	2,035		1,929E+09	1,864E+09	1,763E+09	1,694E+09	1,622E+09
8	Benzin	< 1400	Euro 4			0,362	0,501	2,035		1,430E+09	1,806E+09	1,805E+09	1,789E+09	1,750E+09
9	Benzin	< 1400	Euro 5			0,298	0,412	1,673		1,006E+08	1,175E+08	2,120E+08	2,891E+08	3,673E+08
10	Benzin	< 1400	Euro 6			0,298	0,412	1,673		0,000E+00	1,146E+04	2,166E+04	1,565E+05	4,484E+05
11	Benzin	1400 - 2000	Pre-Euro 1			14,242	8,042	5,412		4,082E+09	3,264E+09	2,589E+09	2,063E+09	1,650E+09
12	Benzin	1400 - 2000	Euro 1			2,512	2,071	1,905		2,961E+09	2,613E+09	2,255E+09	1,926E+09	1,624E+09
13	Benzin	1400 - 2000	Euro 2			0,433	0,288	1,191		7,052E+08	6,664E+08	6,186E+08	5,749E+08	5,306E+08
14	Benzin	1400 - 2000	Euro 3			0,114	0,276	1,254		2,655E+08	2,581E+08	2,443E+08	2,336E+08	2,226E+08
15	Benzin	1400 - 2000	Euro 4			0,502	0,558	1,109		4,025E+08	5,259E+08	5,496E+08	5,446E+08	5,337E+08
16	Benzin	1400 - 2000	Euro 5			0,413	0,459	0,912		4,116E+07	5,134E+07	8,758E+07	1,145E+08	1,443E+08
17	Benzin	1400 - 2000	Euro 6			0,413	0,459	0,912		0,000E+00	9,760E+03	2,009E+00	7,112E+04	5,179E+05
18	Benzin	> 2000	Pre-Euro 1			8,371	4,498	3,046		1,070E+08	8,668E+07	7,226E+07	6,285E+07	5,595E+07
19	Benzin	> 2000	Euro 1			1,940	0,982	2,250		1,483E+08	1,296E+08	1,100E+08	9,495E+07	8,134E+07
20	Benzin	> 2000	Euro 2			0,475	0,355	1,068		4,313E+07	4,000E+07	3,721E+07	3,429E+07	3,143E+07
21	Benzin	> 2000	Euro 3			0,153	0,175	0,743		2,196E+07	2,101E+07	2,009E+07	1,894E+07	1,801E+07
22	Benzin	> 2000	Euro 4			0,272	0,306	1,148		3,150E+07	3,720E+07	3,989E+07	3,872E+07	3,783E+07
23	Benzin	> 2000	Euro 5			0,224	0,251	0,944		3,912E+06	2,079E+06	4,601E+06	5,441E+06	5,994E+06
24	Benzin	> 2000	Euro 6			0,224	0,251	0,944		0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,334E+03	3,629E+04
25	Dizel	< 1400	Pre-Euro 1			0,855	0,512	0,381		1,813E+07	1,342E+07	1,008E+07	7,622E+06	5,870E+06
26	Dizel	< 1400	Euro 1			0,481	0,255	0,153		6,714E+06	5,606E+06	4,653E+06	3,810E+06	3,160E+06
27	Dizel	< 1400	Euro 2			0,270	0,132	0,069		1,945E+05	1,880E+05	2,144E+05	2,094E+05	1,817E+05
28	Dizel	< 1400	Euro 3			0,106	0,051	0,027		1,326E+07	1,286E+07	1,221E+07	1,181E+07	1,151E+07
29	Dizel	< 1400	Euro 4			0,105	0,048	0,017		8,388E+06	1,014E+07	1,014E+07	9,917E+06	1,008E+07
30	Dizel	< 1400	Euro 5			0,083	0,039	0,014		2,479E+05	4,322E+05	1,120E+06	1,571E+06	2,546E+06
31	Dizel	< 1400	Euro 6			0,083	0,039	0,014		0,000E+00	1,750E+03	8,270E+02	7,970E+02	1,522E+03
32	Dizel	1400 - 2000	Pre-Euro 1			0,855	0,512	0,381		3,184E+08	2,604E+08	2,150E+08	1,815E+08	1,537E+08
33	Dizel	1400 - 2000	Euro 1			0,481	0,255	0,153		5,196E+08	4,689E+08	4,212E+08	3,810E+08	3,402E+08
34	Dizel	1400 - 2000	Euro 2			0,270	0,132	0,069		2,843E+08	2,732E+08	2,569E+08	2,446E+08	2,308E+08
35	Dizel	1400 - 2000	Euro 3			0,106	0,051	0,027		1,357E+08	1,330E+08	1,280E+08	1,267E+08	1,271E+08
36	Dizel	1400 - 2000	Euro 4			0,105	0,048	0,017		7,900E+07	9,722E+07	9,786E+07	9,816E+07	9,996E+07
37	Dizel	1400 - 2000	Euro 5			0,083	0,039	0,014		4,871E+06	7,649E+06	1,628E+07	2,052E+07	3,245E+07
38	Dizel	1400 - 2000	Euro 6			0,083	0,039	0,014		0,000E+00	8,749E+03	8,270E+03	2,232E+04	4,110E+04
39	Dizel	> 2000	Pre-Euro 1			0,783	0,488	0,328		2,986E+07	2,499E+07	2,194E+07	1,985E+07	1,840E+07
40	Dizel	> 2000	Euro 1			0,496	0,291	0,256		9,291E+07	8,390E+07	7,503E+07	6,733E+07	6,004E+07
41	Dizel	> 2000	Euro 2			0,416	0,204	0,107		7,656E+07	7,418E+07	7,035E+07	6,676E+07	6,300E+07
42	Dizel	> 2000	Euro 3			0,058	0,032	0,021		1,390E+07	1,388E+07	1,353E+07	1,346E+07	1,365E+07
43	Dizel	> 2000	Euro 4			0,045	0,025	0,016		9,078E+06	1,095E+07	1,135E+07	1,138E+07	1,138E+07
44	Dizel	> 2000	Euro 5			0,036	0,020	0,013		5,518E+05	6,959E+05	1,302E+06	1,738E+06	2,458E+06
45	Dizel	> 2000	Euro 6			0,036	0,020	0,013		0,000E+00	4,341E+02	8,206E+02	2,531E+04	1,337E+05
46	LPG	Otto	Bez_Kat			0,495	0,273	0,358		3,759E+07	3,115E+07	2,559E+07	2,199E+07	1,854E+07
47	LPG	Otto	Sa_Kat			0,495	0,273	0,358		2,732E+08	3,017E+08	2,897E+08	2,865E+08	2,825E+08

Slika 7.12. Treća stranica programa – izračunati faktori i emisija CO

Slika 7.13. prikazuje kako izgledaju dobiveni rezultati u programu. Radi jednostavnosti i preglednosti, uz konačne rezultate koji se vide tablici, postavljen je i dijagram.

Uz sve ove podatke postavljeni su i podatci, oni koji su se uspjeli pronaći, za Hrvatsku tako da se odmah mogu uspoređivati dobiveni podatci. Nikakvi podatci nisu pronađeni za emisiju HC-a u Hrvatsku. Za emisije CO, NO_x, PM_{2.5} postoje podatci za emisije od svih cestovnih vozila, ali i samo od osobnih vozila (ovaj podatak postoji samo za 2012. godinu). Što se tiče emisije CO₂ postoje podatci samo za ukupnu emisiju od svih cestovnih vozila (uključujući mopede, motocikle, teretna vozila, autobuse....).

Podatci o emisijama CO, NO_x, PM_{2.5} su uzeti iz [12], a podatci o emisiji CO₂ su uzeti iz [23].



Slika 7.13. Prikaz rezultata u programu

Budući da su listovi na kojima se računa emisija od HC, PM_{2.5}, NO_x, CO₂ potpuno identični prethodno opisanom listu, ovdje se neće detaljnije objašnjavati ni prikazivati.

7.4 Analiza rezultata

U ovom potpoglavlju će se detaljnije objasniti i prikazati dobiveni rezultati za svaku onečišćujuću tvar koja se je računala u programu.

Budući da nisu pronađeni nikakvi podatci o prosječnim brzinama i udjelima na pojedinim prometnicama (gradska, prigradska, autocesta), koristeći poznate podatke emisija pojedinih onečišćujućih tvari za osobna vozila, pokušalo se promjenom ovih varijabli dostići poznate podatke. U tablici 20. su prikazani krajnji rezultati o prosječnim brzinama i udjelima na pojedinim prometnicama. Za autocestu je uzeta prosječna brzina od 130 km/h jer je to i maksimalno dopuštena brzina na autocestama u Hrvatskoj. Ovaj podatak je uzet prema

modelu britanske vlade koji su u svom modelu koristili prosječnu brzinu na autocestama od 112 km/h, što je ujedno i maksimalno dopuštena brzina na njihovim autocestama.

Tablica 20. Krajnje vrijednosti prosječnih brzina i udjela na pojedinim prometnicama

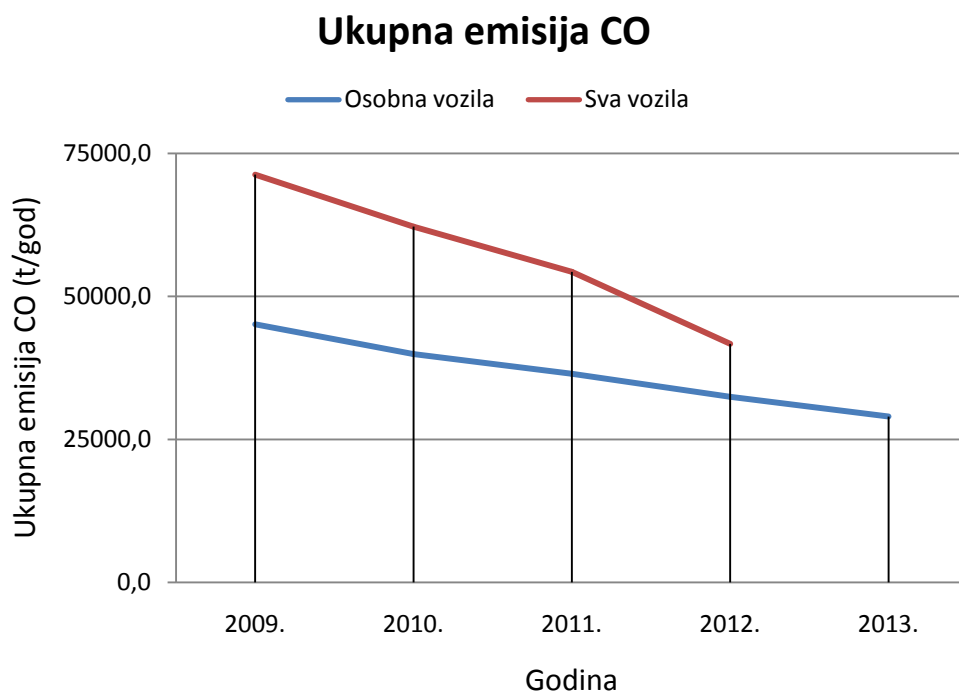
Prosječna brzina (km/h)			Udio (%)		
Gradska	Prigradska	Autocesta	Gradska	Prigradska	Autocesta
25	55	130	30	40	30

Emisija CO:

U tablici 21. prikazani su dobiveni rezultati za ukupnu emisiju CO (t/god). U tablici se osim dobivenih rezultata iz programa nalaze i podatci koji su pronađeni i koji koriste kao usporedba za dobivene rezultate. Dobiveni rezultati su prikazani i u obliku dijagrama na slici 7.14.

Tablica 21. Rezultati ukupne emisije CO

Ukupna emisija CO (t/god)					
2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	
45112,4	39924,7	36473,1	32455,4	28986,5	Izračunati podatci
71300	62200	54300	41700	NEMA	Sva vozila
NEMA	NEMA	NEMA	33360	NEMA	M1 kategorija



Slika 7.14. Izračunati rezultati ukupne emisije CO

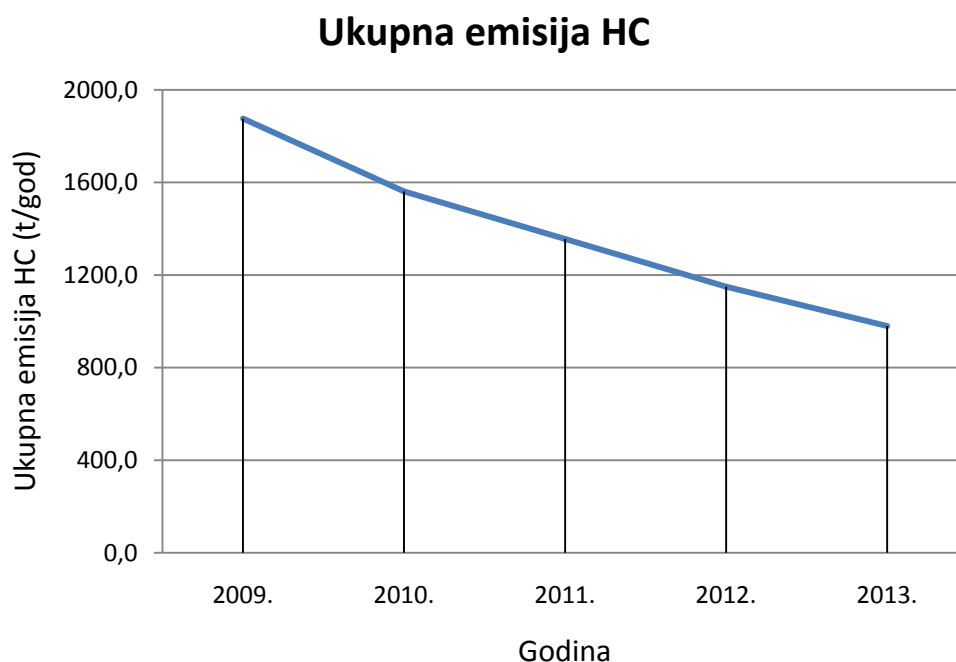
Iz slike 7.14. se jasno vidi da u navedenom razdoblju između 2009. i 2013. godine se smanjuje ukupna emisije CO od svih cestovnih vozila (poznati podatak). Također se vidi da taj trend smanjenja prati i smanjenje emisije CO od osobnih vozila (izračunati rezultati). Izračunati rezultat za 2012. godinu 32.455,4 t, a poznati podatak za tu godinu iznosi 33.360 t, što je razlika od 2,7 %.

Emisija HC:

U tablici 22. i slici 7.15. su prikazani rezultati za emisiju HC. Za ovu emisiju nema nikakvih dostupnih podataka, pa se nema s čim uspoređivati. Da bi se ipak provjerilo dobivene rezultate za ukupnu emisiju HC-a usporedio se odnos emisija CO i HC-a iz britanskog modela sa odnosom emisija CO i HC-a izračunatih ovim programom. Odnos ova dva plina u britanskom modelu je 7,2 %, dok je u ovom programu taj odnos 4,2 %, iz čega se zaključuje da je izračunata emisija HC-a prilično točna.

Tablica 22. Ukupna emisija HC

Ukupna emisija HC (t/god)					
2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	
1875,6	1560,8	1355,7	1149,6	979,6	Izračunati podatci



Slika 7.15. Trend smanjenja emisije HC

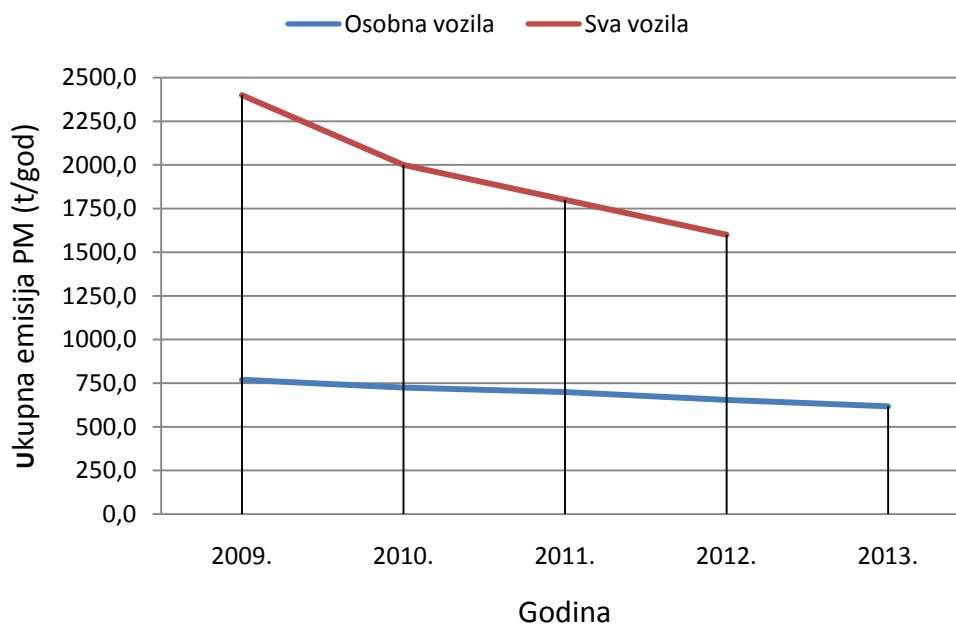
Emisija $PM_{2.5}$:

Tablica 23. i slika 7.16. prikazuju rezultate izračunate za emisiju $PM_{2.5}$ za razdoblje između 2009. i 2013. godine. I ovdje se primjećuje pad emisije $PM_{2.5}$ u cestovnom prometu. Emisija $PM_{2.5}$ osobnih vozila za 2012. godinu je iznosila 700 t (poznati podatak), dok je u programu dobiven rezultat od 653,9 t. Razlika između poznatog i dobivenog podatka iznosi 46,1 t, odnosno 6,59 %.

Tablica 23. Rezultati ukupne emisije $PM_{2.5}$

Ukupna Emisija $PM_{2.5}$ (t/god)					
2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	
769,3	724,5	698,6	653,9	617,5	Izračunati podatci
2400	2000	1800	1600	NEMA	Sva vozila
NEMA	NEMA	NEMA	700	NEMA	M1 kategorija

Ukupna emisija $PM_{2.5}$



Slika 7.16. Trend smanjenja emisije $PM_{2.5}$

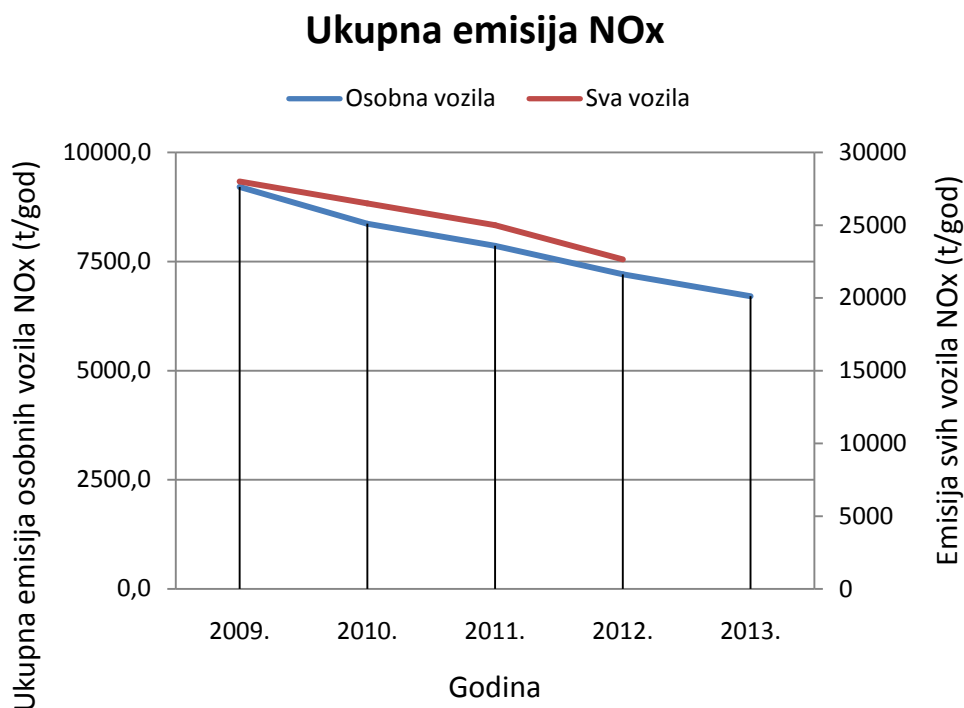
Emisija NO_x:

U tablici 24. i na slici 7.17. prikazani su rezultati za emisiju NO_x za razdoblje između 2009. i 2013. godine. Iako je i ovdje zamjetan pad emisije od svih cestovnih vozila, a takav trend je dobiven i za osobna vozila, ovdje je ipak dosta velika razlika između poznatih podataka za emisiju NO_x od osobnih automobila u odnosu na ono što se izračunalo u programu.

Međutim, kako je prema [12] ukupna nesigurnost za cestovni promet kod određivanja emisije NO_x-a 50,09 %, to se odnosi i samo na osobna vozila. Pa prema tome emisija za 2012. godinu se kreće u intervalu 5.640, 13 – 16.900 t, stoga emisija koja je dobivena iz programa je u tom intervalu.

Tablica 24. Ukupna emisija NO_x

Ukupna emisija NO _x (t/god)					
2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	
9208,3	8367,4	7861,8	7206,2	6704,9	Izračunati podatci
28000	26500	25000	22644	NEMA	Sva vozila
NEMA	NEMA	NEMA	11260	NEMA	M1 kategorija



Slika 7.17. Ukupna emisija NO_x osobna vozila i sva cestovna vozila

Poznati podatak iznosi 11.260 t za 2012. godinu, a u programu je izračunato 7.206,2 t. To je razlika od 4.053,8 t, odnosno 36 %.

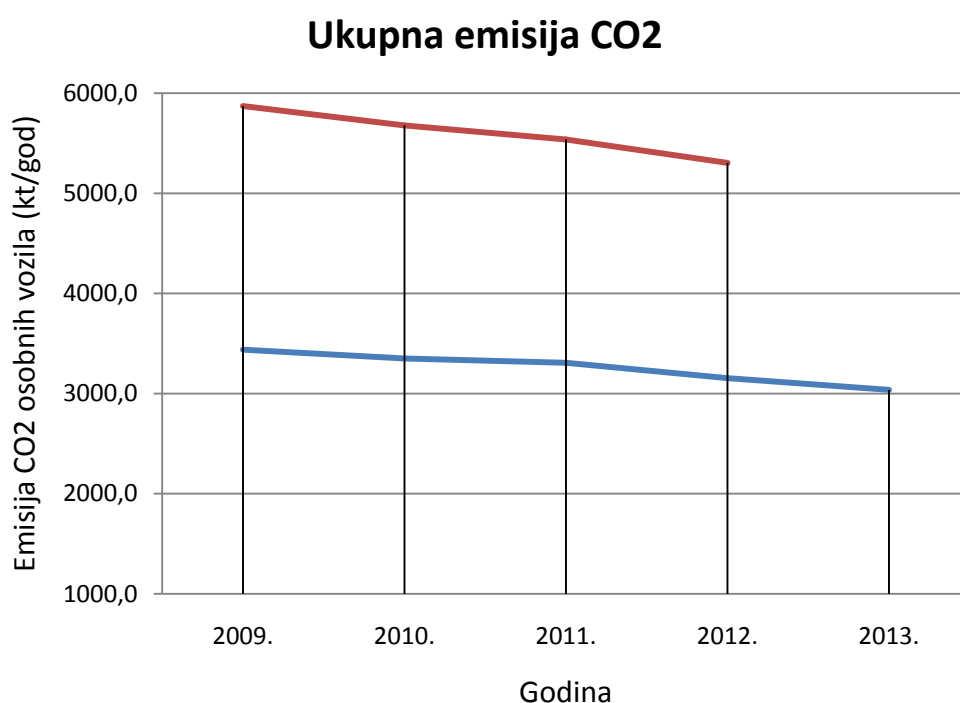
Emisija CO₂:

U tablici 25. i na slici 7.18. prikazani su rezultati za emisiju CO₂ u Republici Hrvatskoj za razdoblje između 2009. i 2013. godine. Ovdje nije pronađen ni jedan podatak koji bi se odnosio samo na emisiju CO₂ osobnih automobila. Također, kao i na svim prošlim emisijama onečišćujućih tvari, i ovdje je zamjetan trend smanjenja emisije. Smanjenje se odnosi i na emisiju iz svih cestovnih vozila (poznati podatak), ali također i na smanjenje emisije iz osobnih vozila (podatak izračunat u programu).

Iz poznatih podataka smanjenje emisije CO₂ za sva cestovna vozila iznosi 9,64 % za razdoblje između 2009. i 2012. godine, dok smanjenje emisije za osobna vozila u istom tom periodu iznosi 8,3 %.

Tablica 25. Ukupna emisija CO₂

Ukupna emisija CO ₂ (kt/god)					
2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	
3439,1	3351,1	3308,1	3153,7	3037,0	Izračunati podatci
5870	5678	5537	5304	NEMA	Sva vozila

Slika 7.18. Ukupna emisija CO₂ osobna vozila i sva cestovna vozila

Iako ovaj podatak o smanjenju emisije CO₂ za osobna vozila pomalo začuđuje, pogotovo što se u poglavlju 4.2.3 *Registrirana vozila prema starosti* jasno vidi da vozni park Republike Hrvatske je svake godine sve stariji. Međutim, iako je vozni park sve stariji, broj registriranih vozila se nije značajno mijenjao u navedenom periodu od 2009. do 2013., ali ono što je bitno je to da se prosječno godišnji prijeđeni put osobnih vozila (time i ukupna potrošnja goriva) smanjio u navedenom periodu (slika 4.15.).

Ukupna emisija CO₂ se može izračunati i iz ukupne potrošnje goriva. Poznavajući ukupnu godišnju potrošnju benzinskog i dizelskog goriva, te prosječne gustoće goriva te masu CO₂ koja nastaje pri potpunom izgaranju goriva dobiva se:

$$E_{CO_2} = 2,65 \cdot \frac{1}{0,84} \cdot 1060 + 2,4 \cdot \frac{1}{0,75} \cdot 622 = 5315 \frac{kt}{god}$$

$$\cong 5304 \frac{kt}{god} \text{ (službeni podatak)}$$

Pri čemu je:

$$2,65 \frac{kgCO_2}{l_{dizela}} \rightarrow \text{potpuno izgaranje}$$

$$2,4 \frac{kgCO_2}{l_{benzina}} \rightarrow \text{potpuno izgaranje}$$

$$\rho_{dizel} = 0,84 \text{ kg/l}$$

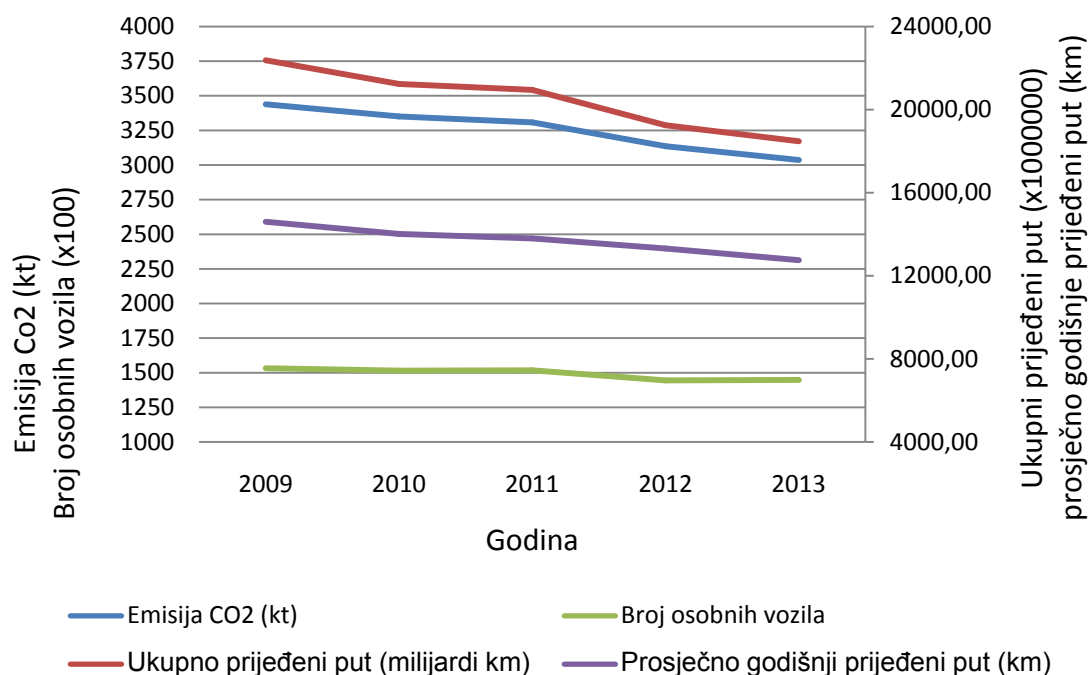
$$\rho_{benzin} = 0,75 \text{ kg/l}$$

A ukupna potrošnja goriva u RH za 2012. godinu iznosi:

$$1060 \text{ kt} \rightarrow \text{dizelsko gorivo}$$

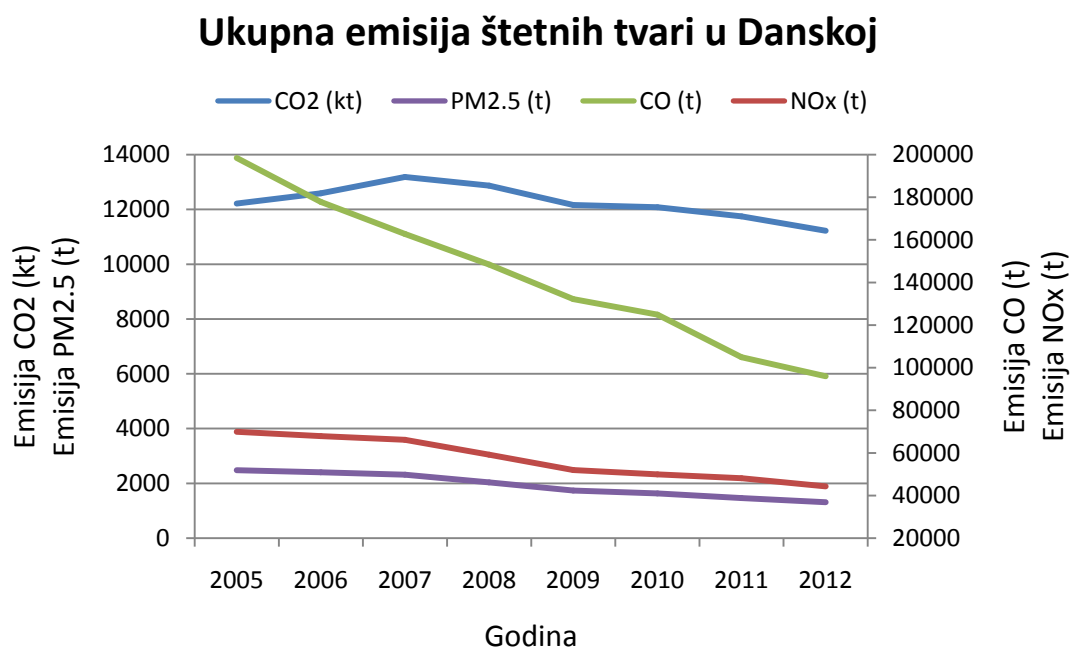
$$622 \text{ kt} \rightarrow \text{benzin}$$

Iz slike 7.19. se vidi kako smanjenje prosječno godišnje prijeđenog puta osobnih vozila linearno slijedi i smanjenje emisije CO₂.



Slika 7.19. Usporedba ukupne emisije CO₂ sa brojem registriranih vozila i prosječno godišnje prijeđenim putem osobnih vozila

Na slici 7.20. prikazan je trend smanjenja emisija štetnih tvari iz cestovnih vozila za državu Dansku u razdoblju između 2005. i 2012. godine. Graf je izradio autor na temelju podatka iz [24]. Iz grafa je vidljivo da je i u Danskoj zabilježen pad emisija svih štetnih tvari iz cestovnih vozila.



Slika 7.20. Ukupna emisija štetnih tvari u Danskoj za razdoblje 2005. - 2012.

7.5 Analiza osjetljivosti izlaznih podataka

Napraviti će se dvije analize osjetljivosti izlaznih podataka. Prva analiza biti će takva da će se mijenjati brzine na pojedinim prometnicama, a druga tako da će se mijenjati udjeli na pojedinim prometnicama.

7.5.1 Analiza osjetljivosti s obzirom na promjene brzina vožnje

Ovdje će se ukratko opisati kako pojedini izlazni podatci (ukupna emisija onečišćujućih tvari) u programu ovise o promjeni brzina na pojedinim prometnicama (ulazni podatci). Ulazni podatci, tj. brzine na pojedinim prometnicama će se povećavati i smanjivati po: 5 i 10 %.

Tablica 26. Promjena izlaznih podataka prilikom smanjenja brzine za 5 %

Smanjenje brzine za 5 %			
	Gradska	Prigradska	Autocesta
CO	1,61 %	-0,44 %	-4,12 %
HC	4,63 %	0,32 %	0,27 %
PM2.5	0,43 %	-0,32 %	-8,98 %
NOx	0,60 %	-0,24 %	-2,60 %
CO2	0,75 %	0,29 %	-1,31 %

Iz gornje tablice se uočava da prilikom smanjenja brzine za 5 % na gradskim prometnicama povećava se emisija svih onečišćujućih tvari. Najviše raste emisija HC i to za 4,63 % i emisija CO za 1,61 % dok je rast emisija ostalih onečišćujućih tvari ispod 1 %. Na prigradskim prometnicama smanjivanjem brzine za 5 % smanjuje se emisija CO, PM_{2,5} i NO_x, dok emisija HC i CO₂ raste. U oba slučaja, i rast i pad emisija je manji od 1 %. Na autocesti emisija CO, PM_{2,5}, CO₂, i NO_x pada, a emisija HC raste. Najveći pad imaju čestice (PM_{2,5}) i to za 8,98 %.

Tablica 27. Promjena izlaznih podataka prilikom povećanja brzine za 5 %

Povećanje brzine za 5 %			
	Gradska	Prigradska	Autocesta
CO	-1,49 %	0,53 %	4,65 %
HC	-4,42 %	-0,37 %	-0,27 %
PM2.5	-0,39 %	0,41 %	9,46 %
NOx	-0,52 %	0,31 %	2,78 %
CO2	-0,70 %	-0,20 %	1,43 %

Iz tablice 27. se vidi da prilikom povećanja brzine za 5 % na gradskim prometnicama emisija svih onečišćujućih tvari pada, a najveći pad ima emisija HC za 4,42 % i emisija CO za 1,49 %. Na prigradskim prometnicama smanjenjem brzine rastu emisije CO, PM_{2.5}, CO₂, dok emisije HC i NO_x rastu. I ovdje je i rast i smanjenje emisija manje od 1 %. Na autocesti se povećanjem brzine za 5 % povećava emisija čestica (PM_{2.5}) za 9,46 %, CO za 4,65 %, NO_x za 2,78 % te CO₂ za 1,43 %. Dok emisija HC se smanjuje za 0,27 %.

Tablica 28. Promjena izlaznih podataka prilikom smanjenja brzine za 10 %

Smanjenje brzine za 10 %			
	Gradska	Prigradska	Autocesta
CO	3,30 %	-0,8 %	-7,56 %
HC	9,28 %	0,74 %	0,58 %
PM2.5	0,91 %	-0,56 %	-16,64 %
NOx	1,29 %	-0,42 %	-4,95 %
CO2	1,60 %	0,64 %	-2,53 %

Iz gornje se tablice vidi da je trend identičan kao i kod smanjenja brzine za 5 %. Na gradskim prometnicama emisija svih onečišćujućih tvari se povećavaju, a najveće povećanje ima HC i to za 9,28 %. Na prigradskim cestama emisija CO, PM_{2.5}, NO_x se smanjuje, dok emisije HC i CO₂ rastu. Na autocesti sve emisije se smanjuju, osim emisije HC koja raste. Najveće smanjenje, prilikom smanjenja brzine na autocesti za 10 %, ima emisija PM_{2.5} i to za čak 16,64 %.

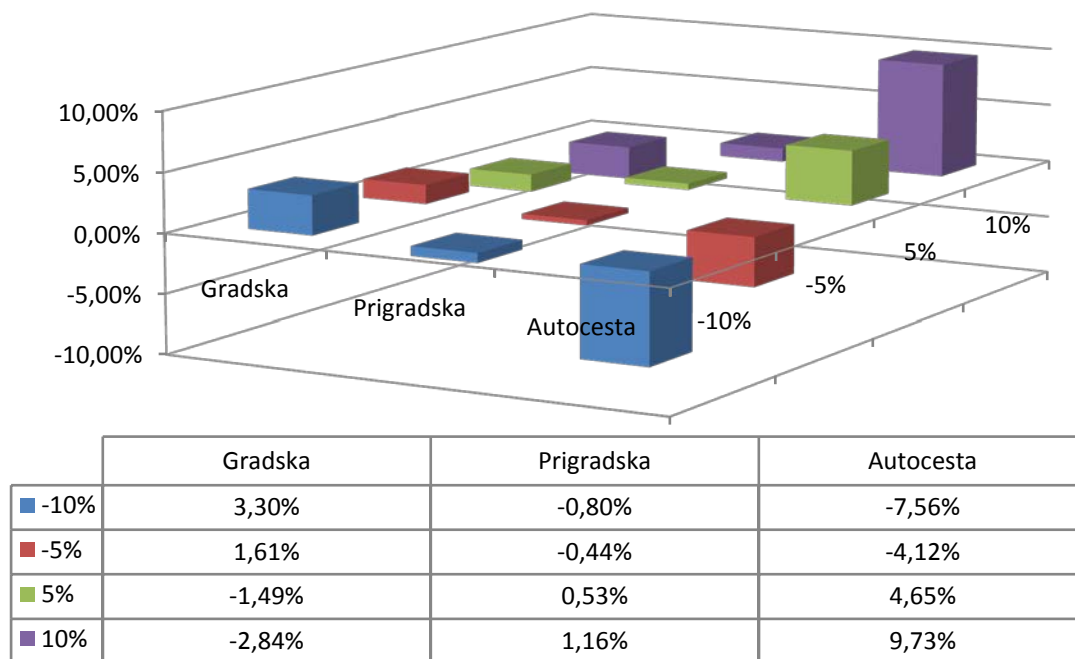
Tablica 29. Promjena izlaznih podataka prilikom povećanja brzine za 10 %

Povećanje brzine za 10 %			
	Gradska	Prigradska	Autocesta
CO	-2,84 %	1,16 %	9,73 %
HC	-8,37 %	-0,64 %	-0,53 %
PM2.5	-0,71 %	0,91 %	18,42 %
NOx	-0,98 %	0,67 %	5,66 %
CO2	-1,31 %	-0,38 %	2,91 %

Iz tablice 29. se vidi da povećanjem brzine za 10 % sve emisije na gradskim prometnicama se smanjuju. Na prigradskim emisija CO, PM_{2.5}, NO_x raste, a CO₂ i HC pada. A na autocesti emisija svih onečišćujućih tvari raste, osim za HC koja se smanjuje.

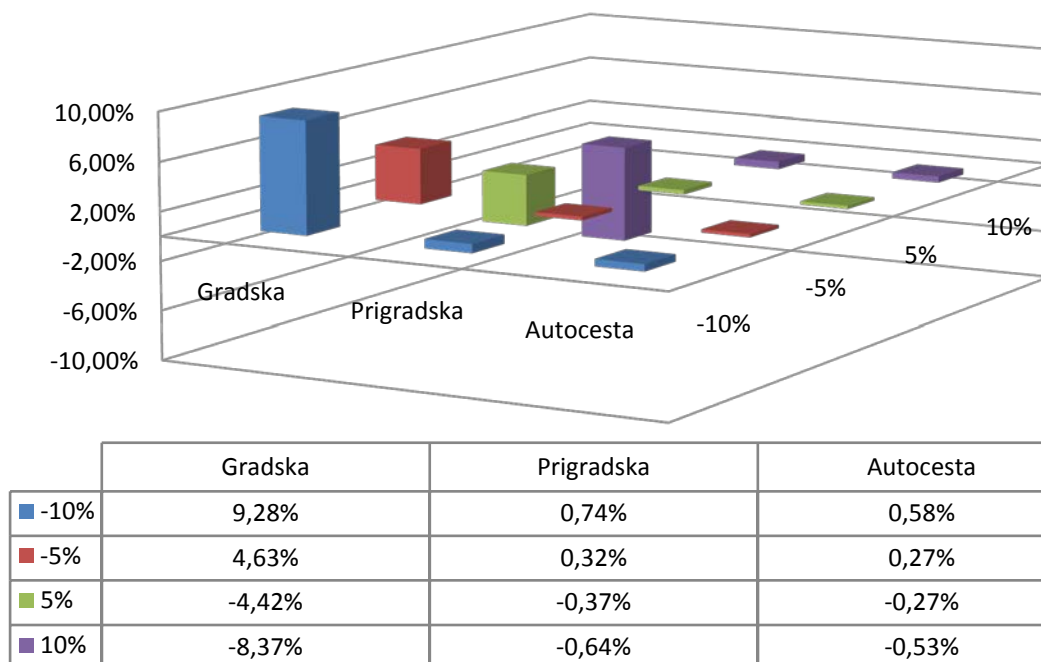
Na slikama od 7.21. do 7.25 prikazana je promjena izlaznih podataka s obzirom na promjene ulaznih veličina, odnosno s obzirom na smanjenje brzina (5 % i 10 %) i povećanje brzina (5 % i 10 %), u obliku grafa tako da se jasnije vide ove promjene. Promjena izlaznih podataka je napravljena za svaku onečišćujuću tvar posebno.

Analiza osjetljivosti emisije CO



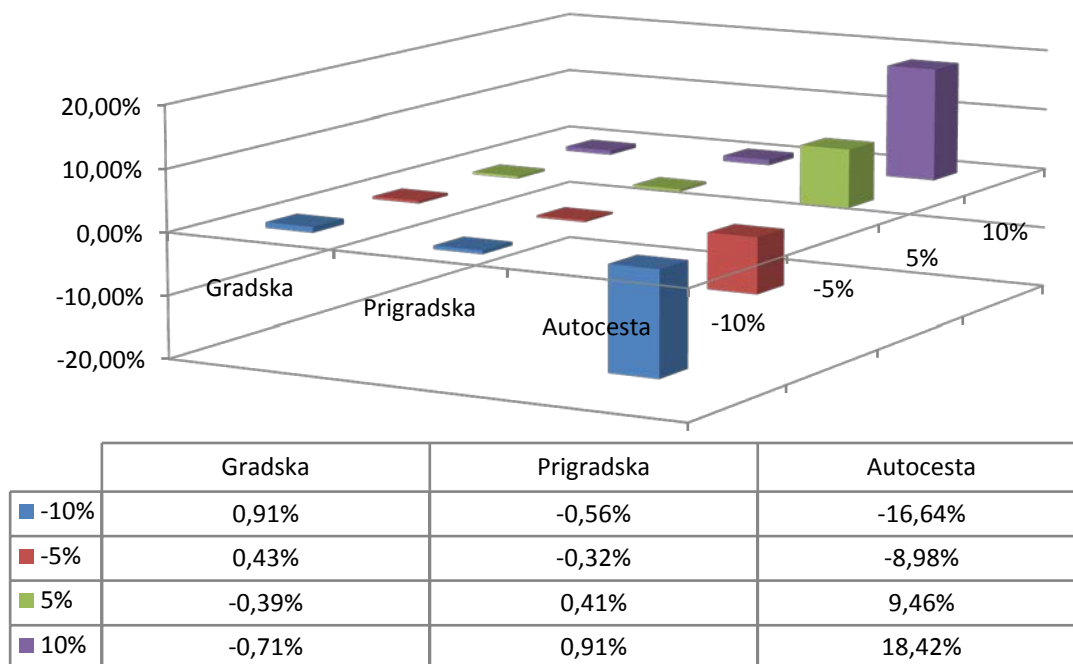
Slika 7.21. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju CO

Analiza osjetljivosti emisije HC



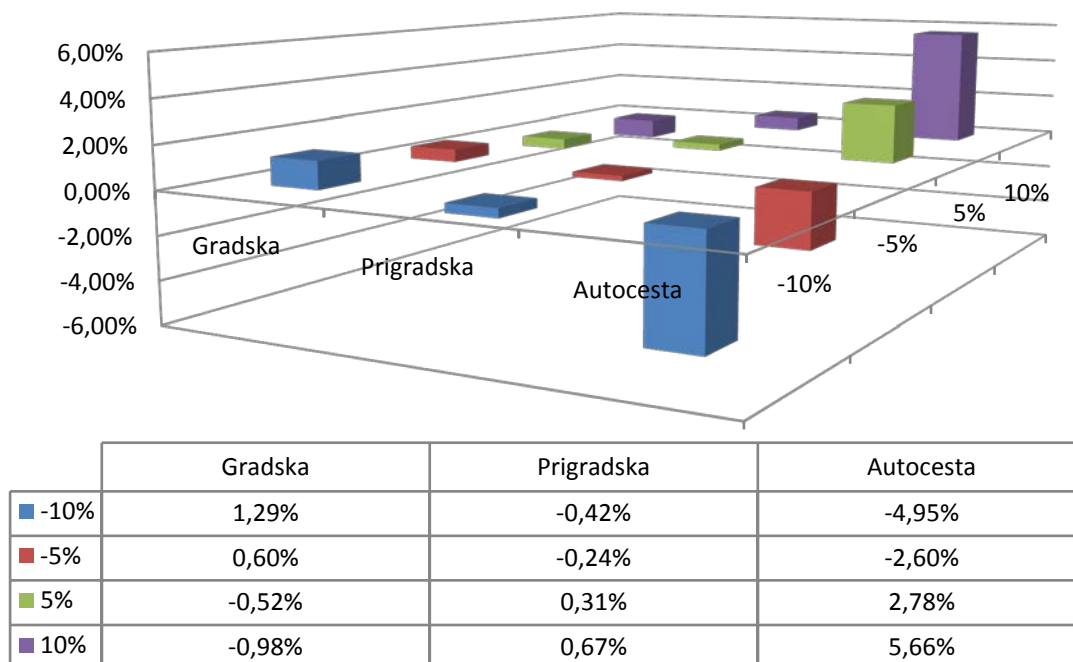
Slika 7.22. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju HC

Analiza osjetljivosti emisije PM_{2.5}



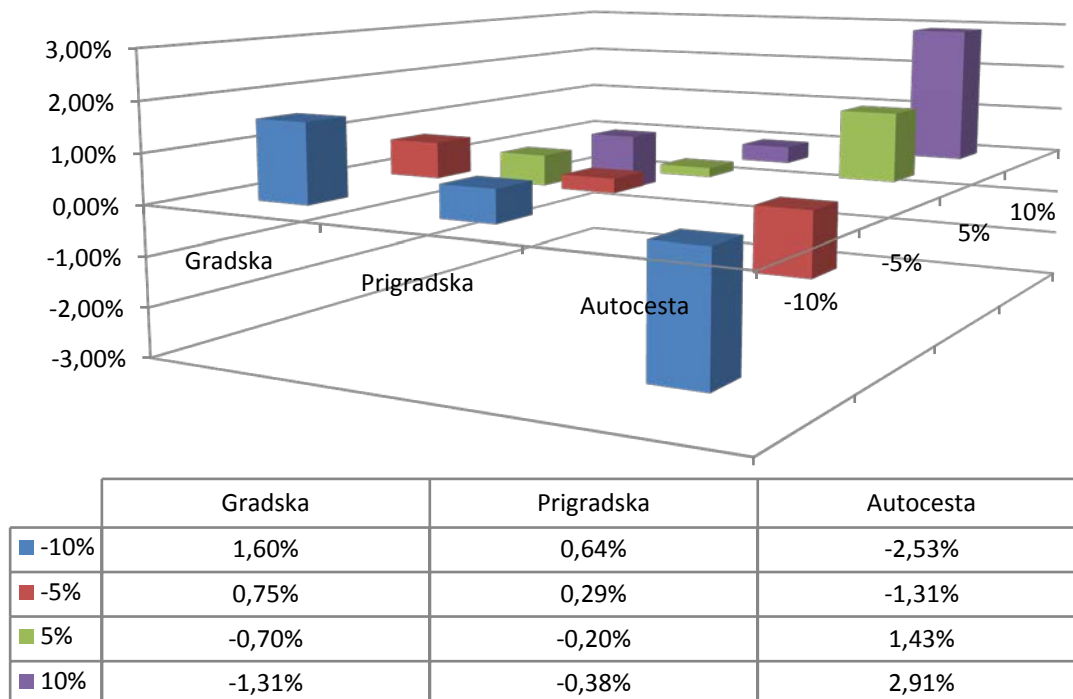
Slika 7.23. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju PM_{2.5}

Analiza osjetljivosti emisije NO_x



Slika 7.24. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju NO_x

Analiza osjetljivosti emisije CO₂



Slika 7.25. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka za emisiju CO₂

7.5.2 Analiza osjetljivosti izlaznih podataka s obzirom na promjenu udjela

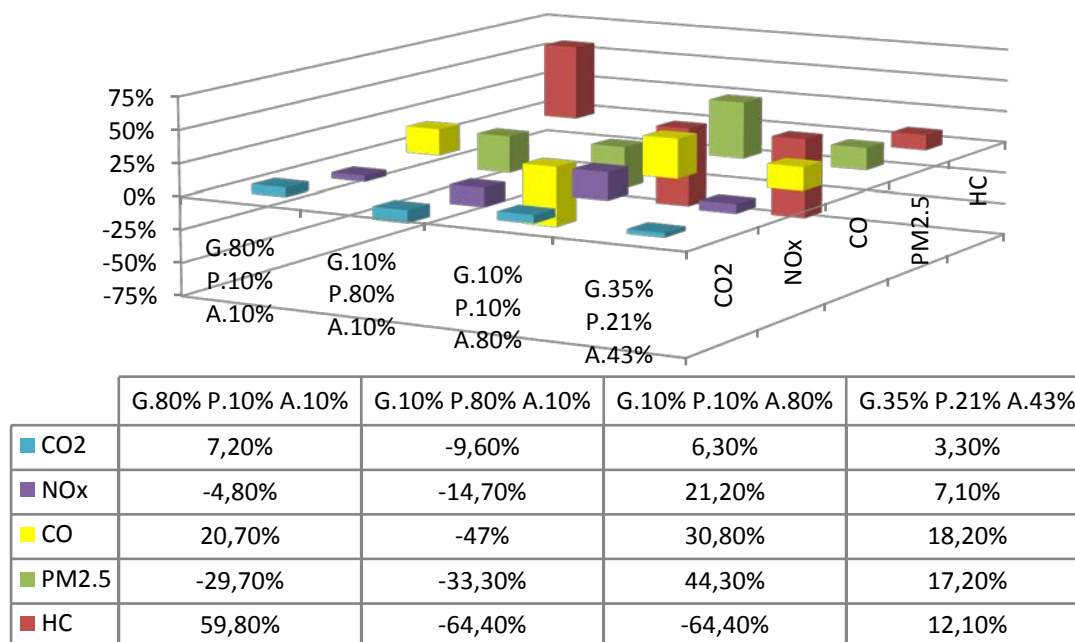
Za ovu analizu osjetljivosti izlaznih podataka odabrana su 4 različita slučaja, a promjena će se gledati s obzirom na u ovom trenutku referentu podjelu udjela prometnica (gradska 30%, prigradska 40%, autocesta 30%). Odabrani slučajevi su:

- gradska 80 %, prigradska 10 %, autocesta 10%,
- gradska 10 %, prigradska 80 %, autocesta 10%,
- gradska 10 %, prigradska 10 %, autocesta 80%
- gradska 35 %, prigradska 21 %, autocesta 43%.

Ovi slučajevi su odabrani iz razloga što se htjelo vidjeti kako ponašanje emisije pojedinih onečišćujućih tvari kod dominantnog utjecaja pojedinih prometnica (80 % gradska, 80% prigradska i (80 % autocesta).

Na slici 7.26. prikazana je ta promjena izlaznih podataka (ukupne emisije onečišćujućih tvari) s obzirom na četiri odabrana slučaja. Promjene su radi preglednosti iskazane u postotcima, a koje se također nalaze prikazane u tablici na toj slici.

Analiza osjetljivosti - promjena udjela na prometnicama



Slika 7.26. Analiza osjetljivosti izlaznih podataka s obzirom na promjenu udjela na pojedinim prometnicama

Iz gornje slike se vidi da ukupna emisija CO₂ raste u slučaju kada prevladavaju udjeli na gradskim prometnicama i na autocesti, dok u slučaju kad prevladava udio na prigradskoj prometnici ukupna emisija se smanjuje.

Ukupna emisija NO_x se smanjuje u slučaju kada prevladava udio na gradskoj prometnici (mala prosječna brzina vožnje), a u druga tri slučaja emisija NO_x raste. U slučaju kad prevladava udio autoceste, ukupna emisija NO_x raste za 21,20 %.

Što se tiče ukupne emisije CO ona pak raste u svim slučajevima osim onda kada prevladava udio prigradske prometnice kada ova emisija pada i to za čak 47 %. Najviše raste u slučaju kad prevladava udio autoceste i to za 30,80 %.

Emisija PM_{2.5} u slučajevima kada prevladavaju udjeli na gradskim i prigradskim prometnicama pada, dok u druga dva slučaja ukupna emisija raste. Kada prevladava udio autoceste, emisija PM_{2.5} raste za čak 44,30 %.

Ukupna emisija HC ima najveće promjene. Kada prevladava udio gradske prometnice emisija raste za 59,80 %, a kada prevladavaju prigradska i autocesta smanjuje se i to za 64,40 %.

8 RAČUNANJE RELATIVNOG SMANJENJA EMISIJA

U ovom poglavlju će se opisati postupak izračunavanja relativnog smanjenja emisija (CO , HC , $\text{PM}_{2.5}$, NO_x , CO_2) u odnosu na ukupan broj vozila, kad bi nova vozila koja su prodana i registrirana u RH imala istu emisiju kao vozila registrirana u prethodnoj godini. Ovaj izračun se temelji na formulama prikazanim u poglavlju: 6. *Metoda računanja smanjenja emisija štetnih tvari.*

Relativno smanjenje emisija izračunato je za 2014. godinu, a kao početne vrijednosti emisija koristile su se emisije izračunate i prikazane za 2013. godinu u poglavljima: 7.2 *Opis programa u programskom paketu „Excel“* i 7.3 *Analiza rezultata.*

Da bi se moglo izračunati relativno smanjenje emisija za 2014. godinu, prvo je potrebno pretpostaviti broj registriranih vozila u toj godini. Prema preliminarnim podacima, koji su bili dostupni, u 2014. godini je prodano 33.328 novih vozila. Poznato je da su sva nova vozila emisijskih razina Euro 5/6, te se pretpostavilo da je od ukupnog broja novih prodanih vozila pola Euro 5, a pola Euro 6 emisijske razine. Također, proučio se trend porasta broja ovih vozila za razdoblje između 2009. i 2013. godine, te je pretpostavljeno da će se takav trend nastaviti i u 2014. godini.

Prilikom analize registriranih vozila između 2009. i 2013. godine (poglavlje: 4.2.2 *Registrirana vozila prema emisijskim razinama*), uočava se trend smanjenja broja vozila s nižom emisijskom razinom, tj. vozila s emisijskom razinom Pred-Euro 1, Euro 1 i Euro 2. Ovaj trend smanjenja se uzeo u obzir pri izračunu relativnog smanjenja emisija i to u obliku broja objavljenih vozila.

Prilikom računanja nije uzet u obzir broj uvezenih polovnih automobila iz drugih Europskih zemalja u RH, jer su ta vozila većinom emisijskih razina Euro 3 i Euro 4 (pretpostavka), te je zbog toga broj vozila emisijskih razina Euro 3 i Euro 4 uzet isti kao i prethodne godine.

Na slici 8.1. prikazan je način izračunavanja relativnog smanjenja emisije CO za 2014. godinu. E_{preth} je emisija CO za 2013. godinu. E_{novo} je izračunata emisija samo novih vozila koja su registrirana (prema pretpostavci) u 2014. godini i prema izračunu ona bi iznosila 199,8 t/god. $E_{\text{novo,preth}}$ je emisija tih novih vozila kada bi ta nova vozila imala emisijske razine iste kao i vozila koja su registrirana prethodne godine, te bi njihova emisija tada iznosila 681,5 t/god. Smanjenje emisije zbog manjih vrijednosti specifične emisije novih vozila je: ΔE

= 481,7 t/god. $E_{uk,preth}$ je ukupna emisija CO za 2014. godinu kada se uzme u obzir i broj odjavljenih vozila i broj novih vozila za 2014. godinu. Te na kraju relativno smanjenje CO za 2014. godinu iznosi: $\Delta E_{rel} = 1,78 \%$.

Prosječno godišnje prijeđeni put za 2014. godinu je uzet identičan kao i prethodne 2013. godine, a iznosi 12.757 kilometara.

Relativno smanjenje emisije CO

$$E_{preth} = \bar{n}_{preth} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \text{ [t/god]} \quad 28986,503$$

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(novo)}}{10^6}, \text{ [t/god]} \quad 199,8$$

$$E_{novo,preth} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \text{ [t/god]} \quad 681,5$$

$$\Delta E = E_{novo,preth} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \text{ [t/god]}$$

$$\Delta E = 481,7$$

$$E_{uk,preth} = (\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)} = 27096,804$$

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,preth}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)}} = 1,78 \%$$

Slika 8.1. Relativno smanjenje emisije CO

Budući da je za ostale onečišćujuće tvari izračun identičan gore opisanom, neće se ponovno opisivati, nego će se samo prikazati dobiveni rezultati.

Na slikama od 8.2. do 8.5. prikazani su dobiveni rezultati relativnog smanjenja emisija HC, PM_{2.5}, NO_x i CO₂ za 2014. godinu zbog priljeva vozila emisijske razine Euro 5 i Euro 6.

Relativno smanjenje emisije HC

$$E_{preth} = \bar{n}_{preth} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 979,6$$

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(novo)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 6,937$$

$$E_{novo,preth} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 23,03$$

$$\Delta E = E_{novo,preth} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \quad [\text{t/god}]$$

$$\Delta E = 16,1$$

$$E_{uk,preth} = (\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)} = 872,61$$

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,preth}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)}} \quad 1,84 \%$$

Slika 8.2. Relativno smanjenje emisije HC

Relativno smanjenje emisije PM_{2.5}

$$E_{preth} = \bar{n}_{preth} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 617,47$$

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(novo)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 2,39$$

$$E_{novo,preth} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 14,52$$

$$\Delta E = E_{novo,preth} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \quad [\text{t/god}]$$

$$\Delta E = 12,13$$

$$E_{uk,preth} = (\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)} = 596,53$$

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,preth}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)}} \quad 2,03 \%$$

Slika 8.3. Relativno smanjenje emisije PM_{2.5}

Relativno smanjenje emisije NO_x

$$E_{preth} = \bar{n}_{preth} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 6704,91$$

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(novo)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 49,39$$

$$E_{novo,preth} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 157,64$$

$$\Delta E = E_{novo,preth} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \quad [\text{t/god}]$$

$$\Delta E = 108,25$$

$$E_{uk,preth} = (\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)} = 6411,129$$

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,preth}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)}} \quad 1,69 \%$$

Slika 8.4. Relativno smanjenje emisija NO_x

Relativno smanjenje emisije CO₂

$$E_{preth} = \bar{n}_{preth} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 3037044,62$$

$$E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(novo)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 59869,62$$

$$E_{novo,preth} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{e_{km(preth)}}{10^6}, \quad [\text{t/god}] \quad 71404,17$$

$$\Delta E = E_{novo,preth} - E_{novo} = \bar{n}_{novo} \cdot l \cdot \frac{(e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{10^6}, \quad [\text{t/god}]$$

$$\Delta E = 11534,55$$

$$E_{uk,preth} = (\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)} = 3016022,43$$

$$\Delta E_{rel} = \frac{\Delta E}{E_{uk,preth}} = \frac{\bar{n}_{novo} \cdot l \cdot (e_{km(preth)} - e_{km(novo)})}{(\bar{n}_{novo} + \bar{n}_{preth}) \cdot l \cdot e_{km(preth)}} \quad 0,38 \%$$

Slika 8.5. Relativno smanjenje emisija CO₂

9 ZAKLJUČAK

Emisija štetnih onečišćujućih tvari iz sektora transporta u Europi čini petinu svih onečišćujućih tvari. Međutim, od 1990. godine do danas je postignut značajniji napredak u smanjivanju tih emisija unatoč porastu aktivnosti. Europska Unija je još sredinom 1990. godine prepoznala problem utjecaja vozila na klimatske promjene te je počela s programima za smanjenje emisija CO₂. Cilj uvođenja ovih mjera je do 2020. godine smanjiti emisiju za 20 % u odnosu na baznu 1990. godinu, odnosno do 2050. godine smanjiti emisiju za 60 %.

Prilikom određivanja emisija iz cestovnih vozila koje su potrebne za homologaciju vozila, proizvođači se koriste normiranim ispitnim ciklusima u kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Trenutno se u Europskoj Uniji koristi ispitni ciklus NEDC za koji se pokazalo da baš i ne simulira stvarne uvjete vožnje na cesti. Stoga se javlja potreba za usavršavanjem novog ispitnog ciklusa i očekuje se da od 2017. godine NEDC ciklus zamijeni WLTP ciklus koji bi trebao vjernije simulirati stvarne uvjete vožnje.

Analizom potrošnje energije u RH u razdoblju od 1990. do 2012. godine uočava se da je posljednjih nekoliko godina potrošnja u opadanju, što se može pripisati učincima gospodarske krize. Taj pad se uočava u svim bitnim sektorima koji utječu na emisiju štetnih tvari, pa tako i na emisiju štetnih tvari koju proizvode cestovna vozila. Kako je RH 2007. godine ratificirala Kyoto protok, njime se je obvezala smanjiti emisiju štetnih tvari za 5 % do 31.12.2012. godine u odnosu na baznu godinu 1990., što je i uspjela kao posljedica već spomenute gospodarske krize.

Broj registriranih osobnih automobila u RH se u posljednjih 5 godina smanjio za 5,5 % što je također doprinijelo smanjenju emisija štetnih tvari. S druge strane se u posljednjih 5 godina i drastično smanjila prodaja novih osobnih vozila, što za posljedicu ima starenje voznog parka RH. Međutim ako se pogledaju registrirana vozila prema emisijskim normama uočava se trend smanjenja vozila s manjom emisijskom razinom (koja imaju veću emisiju), te blagi porast vozila s većom emisijskom razinom, što također doprinosi smanjenju emisija štetnih tvari od osobnih vozila. Još jedna posljedica koja uzrokuje smanjenje ukupnih emisija štetnih tvari je i značajno smanjenje prosječno godišnje prijeđenog puta osobnih vozila koji se je također smanjio u posljednjih 5 godina, a daljnjom analizom je utvrđeno i da vozila s manjom emisijskom razinom godišnje prelaze manje kilometara nego vozila s većom

emisijском razinom. Iz svega se na kraju može zaključiti da se emisija štetnih tvari u RH smanjuje i bez značajnijeg priljeva novih automobila bolje emisijske razine.

Proučavanjem postojećih modela za određivanje i predviđanje emisija štetnih tvari iz cestovnog prometa vidi se da su oni prilagođeni za pojedina područja, te da iz toga razloga nisu primjenjivi za svaku državu ili regiju, te zbog toga svako veće tržište automobila ima svoj model. Također, ovi modeli zahtijevaju i unos velikog broja različitih podataka, što ih čini jako složenim. Stoga se pristupilo izradi jednostavnijeg modela za kojega je potrebno unos manjeg broja podataka, a koji će računati emisiju CO, HC, NO_x, PM_{2.5}, CO₂. Zbog jednostavnosti odlučeno je da će se ograničiti samo na kategoriju M₁ (osobni automobili). Radi točnijeg proračuna, osobna vozila su podijeljena prema pogonskom gorivu, te prema emisijskim normama. Podatke o broju svake ove kategorije vozila ustupio je Centar za vozila Hrvatske. Faktori emisija pojedinih onečišćujućih tvari preuzete su sa modela koji koristi Britanska vlada i koji se računaju prema prosječnim brzinama na prometnicama (gradska, prigradska, autocesta). U programu je omogućena promjena prosječnih brzina na pojedinim prometnicama, kao i udio prijednog puta na pojedinim prometnicama.

Izračunavanjem emisija u programu, s početnim pretpostavkama (kakve su i u Britanskom modelu), i uspoređivanjem sa poznatim podacima emisija štetnih tvari, za osobna vozila, uočava se da se dobivaju prilično slični rezultati. Međutim, kako prosječne brzine i udjeli na pojedinim prometnicama nisu isti u RH i Velikoj britaniji, pokušalo se promjenom ovih varijabli približiti poznatim podacima što je na kraju i postignuto. Pa je tako emisija CO od osobnih vozila u RH za 2012. godinu izračunata 32.455,4 t, a poznati podatak je 33.360 t što predstavlja razliku od 2,7 %. Emisija HC prema izračunu programa iznosi 1149,6 t. Emisija PM_{2.5} prema izračunu je 653,9 t, a poznati podatak 700 t, odnosno razlika je 6,6 %. Emisija NO_x prema izračunu iznosi 7.206,2 t, a prema službenim podacima je 11.260 t, što je razlika od 36 %. I na kraju emisija CO₂ u RH za 2012. godinu prema računanju u programu iznosi 3153,7 t.

LITERATURA:

- [1] European Environment agency
<http://www.eea.europa.eu/hr/themes/transport/intro>, pristupljeno kolovoz 2014.
- [2] <http://www.transportpolicy.net/>, pristupljeno kolovoz 2014.
- [3] European Commission, climate action
http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm,
pristupljeno kolovoz 2014.
- [4] European CO2 emission performance standards for light commercial vehicles, Peter Mock, 2011.
- [5] Direktiva 80/1268/EEC
http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/directive-80-1268-eeec_en.htm, pristupljeno kolovoz 2014.
- [6] Directive 70/220/EEC: <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=hr>, pristupljeno kolovoz 2014.
- [7] A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emission, T J Barlow, S. Latham, I S McCrae and P G Boulter, June 2009.
- [8] Andre´M. (2004): The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant. Science of the Total Environment 334– 335 (2004), pp. 73 - 84.
- [9] <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>, pristupljeno kolovoz 2014.
- [10] <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>, pristupljeno kolovoz 2014.
- [11] Godišnji energetske pregled, Energija u Hrvatskoj 2012, Ministarstvo gospodarstva
- [12] Izvješće o proračunu emisija onečišćujućih tvari u zrak na području Republike Hrvatske za 2012. godinu, Agencija za Zaštitu Okoliša, ožujak 2014.
- [13] Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture
<http://www.mppi.hr/default.aspx?id=446>, pristupljeno studeni 2014.
- [14] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Transport i komunikacije u 2013.
http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2014/SI-1517.pdf, pristupljeno studeni 2014

- [15] Centar za vozila Hrvatske, <http://www.cvh.hr/>
- [16] MEET - Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport,
http://www.transportresearch.info/web/projects/project_details.cfm?id=505&page=results, pristupljeno
- [17] Gržinić D., Mihaljević G., Omeragić A., Vinković N., Lulić Z.: *COPERT III - Utjecaj procijenjenih parametara na ukupnu emisiju cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj*, *Suvremeni promet* 6/2005. str. 480-485. ISSN 0351-1898.
- [18] Illustrative Example of Emission Factors Calculated from Functions at Typical Speeds on Urban, Rural, Motorway Roads. Factors based on new speed-emission functions, averaged over distribution of engine sizes/vehicle weights in UK fleet. Source: Compiled by NAEI, NETCEN.
<http://www.j5slips.org/resources/NETCEN+Emission+Factors.pdf>
- [19] Department for Transport, Road Traffic Statistics, 27. June 2013.
- [20] From laboratory to road, A comparison of official and 'real-world' fuel consumption and CO₂ values for cars in Europe and the United States, P. Mock, J. German, A. Bandivadekar (ICCT), May 2013
- [21] European vehicle market statistics, Pocketbook 2013.
- [22] A comparasion of light-duty vehicle emissions over diferent test cycles and in real driving conditions, J. May, D. Bosteels, C. Favre, 2014. Brussels, Belgium
- [23] Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990. – 2011. (NIR 2013), Agencija za zaštitu okoliša, studeni 2013. godine
- [24] Denmark national inventroy report 2014, Danish Centre for Environment and Energy No. 101
- [25] Head of Transport and Environment Division, Martin Schmeid, Leipzig 19.05.2014.