

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Horvat, S., 2016. Vpliv težkih motornih vozil na okolje. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Maher, T.): 90 str.

Datum arhiviranja: 23-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Horvat, S., 2016. Vpliv težkih motornih vozil na okolje. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Maher, T.): 90 pp.

Archiving Date: 23-08-2016

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER**

Kandidat:

SANDI HORVAT, univ. dipl. inž. tehnol. prom.

VPLIV TEŽKIH MOTORNIH VOZIL NA OKOLJE

Magistrsko delo štev.: 262

THE IMPACT OF HEAVY VEHICLES ON THE ENVIRONMENT

Master of Science Thesis No.: 262

Mentor:
doc. dr. Tomaž Maher

Predsednik in član komisije:
izr. prof. dr. Marijan Žura

Član komisije:
doc. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 19. avgust 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Sandi Horvat vpisna številka 26105272 avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: VPLIV TEŽKIH MOTORNIH VOZIL NA OKOLJE

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 9.6.2016

Podpis študenta:

Sandi Horvat

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK/UDC:	656.1:504(043.3)
Avtor:	Sandi Horvat, univ. dipl. inž. prom.
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher
Naslov:	Vpliv težkih motornih vozil na okolje
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	90 str., 32 sl., 13 pregl., 21 graf., 1 pril.
Ključne besede:	Okolje, promet, onesnaženost zraka, izpuhi vozil, projektiranje cest

Izvleček

Magistrsko delo obravnava problematiko izpustov emisij težkih motornih vozil, ki se merijo ob redni uporabi vozil na cikličnih tehničnih pregledih teh vozil, glede na sistem samega merjenja in primerjavo med različnimi sistemi merjenja teh izpustov v okolje. Magistrsko delo je razdeljeno v dva tematska sklopa od katerih prvi obravnava teoretično problematiko izpustov vseh emisij iz težkih tovornih vozil s poudarkom merljivih trdnih delcev na izvoru izpusta in teoretično predpostavljene nevarnosti za življenje in zdravje ljudi, ki so povezani s temi trdimi delci. Drugi del magistrskega dela obravnava pripravo in izvedbo meritev trdnih delcev na naključno izbranih različnih emisijskih stopnjah težkih motornih vozil skupaj z analizo in ovrednotenjem izvedenih meritev. Omenjena ovrednotenja so bila skupaj z meritvami emisij po posameznih različnih vzdolžnih elementih vozišča osnova za izračune in ocene stopnje povečanja obremenjevanja okolja s trdimi delci.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK/UDC: 656.1:504(043.3)

Author: Sandi Horvat, univ. dipl. inž. prom.

Supervisor: assist. prof. Tomaž Maher, Ph.D.

Title: The impact of heavy vehicles on the environment

Document type: M. Sc. Thesis

Scope and tools: 90 p., 32 fig., 13 tab., 21 graph., 1 ann.

Keywords: environment, traffic, air pollution, vehicle emissions, road design

Abstract

This master's thesis discusses the issue of heavy-duty motor vehicles' emissions measured at cyclic roadworthiness tests of regularly used vehicles in the framework of the measurement system and comparison of various emission measurement systems. The thesis consists of two thematic sets. The first one discusses the theory of heavy-duty vehicles' emissions with the emphasis on measurable particulate matter at the emission source and the particulate matter related theoretical threats for life and health of people. The second set discusses the preparation and implementation of particulate matter measurements on randomly selected emission rates of heavy-duty motor vehicles as well as the analysis and evaluation of measurements. These evaluations together with emission measurements on various individual longitudinal carriageway elements represent the basis for calculations and estimations of the rate of environmental burden increase due to particulate matter.

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. Tomažu Maherju, da sem lahko pod njegovim mentorstvom zaključil večletno pisanje magistrske naloge. Hvala za strokovno in moralno pomoč, predvsem v tistih trenutkih, ko se je najbolj mudilo.

Zahvaljujem se tudi podjetju Avto Celje in njegovemu vodji tehničnih pregledov Simonu Golčerju za uporabo merske opreme, računalniške in komunikacijske infrastrukture ter za logistično podporo in za vse koristne nasvete, ki so prispevali k izboljšanju magistrskega dela. Prav tako hvala podjetnikoma Aleksandru Roglu in Božu Centrihu za pomoč pri uporabi tovornih vozil, vključenih v izvedbo meritev na cesti.

Posebna zahvala gre mojima staršema, ki sta mi s svojim odnosom do dela dala zgled, da je mogoče s trdim delom slediti svojim željam.

Hvala tudi ženi Karini in obema hčerama Anji in Tjaši ter sinu Janu za potrpežljivost in razumevanje pri pisanju naloge, kljub službenim obveznostim in delu.

Hvala vsem tistim, ki niso poimensko navedeni, a so prav tako prispevali svoj delež k izdelavi tega dela.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Opis problema in izhodišča	1
1.2 Cilji in metode dela	2
1.3 Struktura magistrskega dela	2
2 PREGLED PODROČJA	4
2.1 Osnovne sestavine zraka	4
2.2 Kaj je onesnaženje zraka in osnovni pojmi	4
2.3 Trdni delci v zraku	5
2.3.1 Duškovi oksidi v zraku	7
2.3.2 Ocene virov emisij v urbanih naseljih	8
2.3.3 Ocene virov emisij tovornega tranzitnega prometa in pričakovane projekcije	9
2.3.4 Določitev predpisanih mejnih vrednosti za PM ₁₀ in PM _{2,5} in preseganje	9
2.3.5 Razdelitev meritev po območjih	10
2.3.6 Vpliv cestnega prometa na povečanje delcev (PM ₁₀)	10
2.4 Vpliv deleža težkega cestnega prometa na povečanje delcev (PM ₁₀)	12
2.5 Načini meritev in rezultati delcev (PM ₁₀)	12
2.6 Opis in uporaba metodologije COPERT IV	14
2.6.1 Dosedanje raziskave metode COPERT IV	15
2.7 Porazdelitev delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} glede na vir nastanka	15
2.8 Ukrepi za zmanjšanje delcev PM ₁₀ po količini zmanjšanja	16
2.9 Ukrepi za omejevanje in spodbujanje težkih dizelskih vozil	18
2.10 Vpliv vetra na širjenje delcev glede na višino zgradb v mestih (cestni kanjon)	19
2.11 Širjenje delcev glede na smeri vetra v Celju	20
2.12 Dosedanje raziskave delcev PM 10 na merilnem mestu Celje	21
2.13 Porazdelitev emisij z PM ₁₀ iz cestnega prometa	22
2.14 Postopek izračuna koncentracije PM ₁₀ na robu vozišča	24
2.15 Vpliv delcev na zdravje ljudi	25
3 METODE	26

3.1	Postopki meritev izpušnih plinov motorjev na kompresijski vžig	26
3.2	Postopki meritev emisij izpušnih plinov pri tehničnem pregledu	27
3.2.1	Postopek meritev v celotnem in delnem merilnem toku	29
3.2.2	Okoljevarstvene oznake vozil - standardi Euro	31
3.2.3	Potek zgorevanja pri dizelskih motorjih in škodljivi produkti zgorevanja	33
3.2.4	Karakteristika vbrizga goriva	35
3.2.5	Nove tehnologije zmanjševanja emisij pri zgorevanju dizla	35
3.3	Postopki čiščenja izpušnih plinov dizelskih motorjev	36
3.3.1	Sistem čiščenja izpušnih plinov s povratni vodenjem izpušnih plinov - EGR	36
3.3.2	Sistem čiščenja izpušnih plinov s selektivno katalitično redukcijo - SCR	37
3.3.3	Sistem čiščenja izpušnih plinov s filtri za prašne delce - DPF	39
3.4	Podatki za pripravo meritev emisij	40
3.5	Naprava za izvedbo meritev	41
3.5.1	Tehnični podatki merilne naprave	41
3.5.2	Oprema in prostori za izvedbo meritev	42
3.6	Postopek izvedbe meritev po navodilih proizvajalca merilne opreme	43
3.6.1	Izvedba meritev brez uporabe senzorja števila obratov motorja	43
3.6.2	Izvedba meritev z uporabo senzorja števila obratov motorja	44
4	IZVEDBA MERITEV	44
4.1	Postopek izvedbe meritev po fazah	44
4.2	Rezultati meritev emisij po zaporedju meritev	51
4.3	Meritve obratov ob speljevanju in na klančini	52
4.3.1	Rezultati meritev obratov motorja ob speljevanju in na klančini za motor Euro IV	53
4.3.2	Rezultati meritev obratov ob speljevanju in na klančini za motor Euro V	54
5	ANALIZA MERITEV	55
5.1	Analiza meritev po posameznih parametrih	55
5.2	Razvrstitev meritev po okoljski kategoriji	55
5.3	Razvrstitev meritev po dimnosti in okoljski kategoriji	56
5.4	Standardni odklon meritev dimnosti posamezne okoljske kategorije	57
5.5	Povprečne temperature motorja izmerjene po okoljski kategoriji	58
5.6	Povprečna starost vozil po posamezni okoljski kategoriji	59
5.7	Povprečni obrati motorja pri meritvah po posamezni okoljski kategoriji	60
5.8	Primerjava obratov preizkusa ESC in ELR z meritvami povišanih obratov dimnosti	61
5.9	Povprečni prevoženi kilometri pri meritvah po posamezni okoljski kategoriji	62
5.10	Analiza meritev delcev za motor Euro IV in Euro V	63
5.10.1	Količina trdih delcev za vse kategorije glede na faktor dimnosti	64

5.10.2	Analiza med izmerjeno vrednostjo dimnosti in dovoljeno za motor Euro IV in Euro V	65
5.11	Preračun faktorja dimnosti v motnost	67
5.12	Ovrednotenje izpustov delcev glede na vrednost dimnosti k	67
5.13	Primerjava pretekov izpušnih plinov meritev pri različnih obremenitvah za Euro IV	70
5.14	Primerjava pretekov izpušnih plinov meritev pri različnih obremenitvah za Euro V	71
5.15	Vpliv in primerjava trdih delcev PM ₁₀ na dnevne obremenitve	73
6	ZAKLJUČEK	80
6.1	Ugotovitve iz meritev in modela disperzije	80
6.2	Ovrednotenje izpustov iz testov meritev in dejanske vožnje	80
6.3	Ukrepi za zmanjšanje emisij trdih delcev PM ₁₀ težkih vozil in njihovo izvajanje	81
7	POVZETEK	84
8	SUMMARY	85
VIRI		86

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati prvih 40 meritev po vrsti meritev	52
Preglednica 2: Meritve obratov na ravni cesti do vrednosti 90 km/h za Euro IV	53
Preglednica 3: Meritve obratov na klančini do vrednosti klanca 7 % za Euro IV	53
Preglednica 4: Meritve obratov na ravni cesti do vrednosti 90 km/h za Euro V	54
Preglednica 5: Meritve obratov na klančini do vrednosti klanca 7 % za Euro V	55
Preglednica 6: Izračunani obrati glede na predvideno razmerje in obremenitev	62
Preglednica 7: Mejne vrednosti delcev po emisijskih stopnjah iz meritev	75
Preglednica 8: Število izmerjenih vozil in delež po emisijskih stopnjah	75

KAZALO PREVZETIH PREGLEDNIC

- Prevzeta preglednica 1: Izhodiščne vrednosti za učinkovitost najbolj pogostih ukrepov zmanjševanja emisije PM₁₀ pozimi za aglomeracijo s 100 000 prebivalci (35 000 gospodinjstev) (Vlada RS, 2009 str. 136). 17
- Prevzeta preglednica 2: Emisijski faktorji za neposredno emisijo PM₁₀ (brez emisije izpusta odpadnih plinov) in posredne emisije zaradi resuspenzije, izraženi v masi emisije PM₁₀ na km ceste. (Vlada RS, 2009, str. 70) 23
- Prevzeta preglednica 3: Mejne vrednosti trdnih delcev po emisijskih stopnjah (Direktiva EU št. 595/2009)32
- Prevzeta preglednica 4: Faze preizkusnih ciklov in obremenitve dinamometra motorja preskusa ESC in ELR (Direktiva EU št. 55/2008, str. 80) 33
- Prevzeta preglednica 5: Stopnje polnitve ali volumetrični izkoristki po emisijski stopnji vozila (Dobovišek, 1994, str. 38) 69

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Delež vozil v RS po okoljski strategiji v letu 2013	12
Grafikon 2: Višina cestnine za različne emisijske stopnje vozil	19
Grafikon 3: Delež izmerjenih vozil po okoljski kategoriji	56
Grafikon 4: Povprečne vrednosti meritev po okoljskih kategorijah	57
Grafikon 5: Standardni odklon meritev dimnosti po kategorijah	58
Grafikon 6: Povprečne vrednosti temperature motorjev po okoljskih kategorijah	59
Grafikon 7: Povprečna starost vozil po okoljskih kategorijah	60
Grafikon 8: Povprečno število obratov motorja po okoljskih kategorijah	61
Grafikon 9: Povprečni prevoženi km vozil po okoljskih kategorijah	63
Grafikon 10: Povprečni izpusti delcev na km poti po okoljskih kategorijah Euro IV in Euro V	64
Grafikon 11: Izpusti delcev na km poti po vseh okoljskih kategorijah	65
Grafikon 12: Izmerjene in dovoljene vrednosti k za Euro IV	66
Grafikon 13: Izmerjene in dovoljene vrednosti k za Euro V	66
Grafikon 14: Povprečni pretoki izpušnih plinov po posameznih okoljskih kategorijah	69
Grafikon 15: Pretoki izpušnih plinov različnih gibanj na ravni cesti za Euro IV	70
Grafikon 16: Pretoki izpušnih plinov na klančini za Euro IV	71
Grafikon 17: Pretoki izpušnih plinov različnih gibanj na ravni cesti za Euro V	72
Grafikon 18: Pretoki izpušnih plinov na klančini za Euro V	72
Grafikon 19: Koncentracija PM ₁₀ po emisijskih stopnjah na robu vozišča	76
Grafikon 20: Koncentracija PM ₁₀ v oddaljenosti od roba vozišča	77
Grafikon 21: Koncentracija PM ₁₀ v oddaljenosti od roba vozišča	78

KAZALO SLIK

Slika 1: Analizator dimnih plinov MAHA MDO 2 LON	41
Slika 2: Prostor za izvajanje meritev izpušnih plinov	43
Slika 3: Vstavitev sonde v izpuh vozila	45
Slika 4: Izbira načina meritve dimnosti z ali brez podatkovne baze vozil	46
Slika 5: Referenčni podatki izbranega vozila	46
Slika 6: Vzpostavljena OBD povezava in število obratov motorja	47
Slika 7: Temperatura olja je pod referenčno vrednostjo	47
Slika 8: Kontrola obratov prostega teka motorja	48
Slika 9: Kontrola povišanih obratov motorja	48
Slika 10: Začetek prve meritve s postavljenimi omejitvijo K vrednosti	49
Slika 11: Konec prve meritve s prikazom izmerjene K vrednosti	49
Slika 12: Obvestilo merilne naprave o rezultatih meritev izpušnih plinov	50
Slika 13: Vrednosti meritve izpušnih plinov s prikazom vseh izmerjenih vrednosti	50
Slika 14: Vrednost korigiranega absorpcijskega koeficienta na ploščici motorja	51
Slika 15: Števni mesti za PLDP in položaj merilnega mesta emisij	74

KAZALO PREVZETIH SLIK

Prevzeta slika 1: Letni izpusti delcev PM ₁₀ po sektorjih v Sloveniji (Cegnar et al., 2014 str. 16)	6
Prevzeta slika 2: Izpusti NO _x v Sloveniji po letih in sektorjih (Cegnar et al., 2014 str.42)	7
Prevzeta slika 3: Karta območij in aglomeracij (Uradni list RS, št. 9/2011, str. 964)	10
Prevzeta slika 4: Povprečne in maksimalne povprečne letne koncentracije PM ₁₀ (ARSO, 2013a)	11
Prevzeta slika 5: Porazdelitev dnevnih vrednosti PM ₁₀ v letu 2013 za merilna mesta (Cegnar et al., 2014, str. 18)	13
Prevzeta slika 6: Shematski prikaz virov delcev (Vlada RS, 2009, str 13)	16
Prevzeta slika 7: Rože vetrov in hitrosti na merilnem mestu Celje (Vlada RS, 2009, str. 174)	20
Prevzeta slika 8: Rože vetrov in hitrosti na merilnem mestu Celje (Koleša et al., 2011, str. 12)	21
Prevzeta slika 9: Onesnaženost zunanjega zraka zaradi emisije snovi PM ₁₀ iz cestnega prometa v odvisnosti od razdalje od roba cestišča dvopasovne ceste v smeri vetra in pravokotno na smer osi cestišča. Vlada RS, 2009, str. 144)	24
Prevzeta slika 10: Vrednosti pri preizkusu ELR (Direktiva EU št. 55/2005, str 226)	26
Prevzeta slika 11: Merilnik motnosti v delnem toku (Direktiva EU št. 55/2005, str. 208)	29
Prevzeta slika 12: Periode zgorevanja v motorju s samovžigom (Kegl, 2006, str. 163)	34
Prevzeta slika 13: Dejanska karakteristika vbrizga (Kegl, 2006, str. 169)	35
Prevzeta slika 14: Čiščenje izpušnih plinov s pomočjo EGR sistema (Jejčič, 2014, str. 39)	37
Prevzeta slika 15: Prikaz postopka sistema SCR (Jović, 2015, str. 6)	38
Prevzeta slika 16: Čiščenje izpušnih plinov s pomočjo EGR in SCR sistema (Jejčič, 2014, str. 40)	39
Prevzeta slika 17: Filter trdnih delcev dizel motorjev (Fischer et al., 2011, str 339)	40

LIST OF TABLES

Table 1: The results of the first 40 measurements per type of measurement	52
Table 2: Measurements of establishments at the level of the road up to 90 km/h for Euro IV	53
Table 3: Measurements of installations on the ramp up to the value of the slope 7% for Euro IV	53
Table 4: Measurements of establishments at the level of the road up to 90 km/h for Euro V	54
Table 5: Measurements of installations on the ramp up to the value of the slope 7% for Euro V	55
Table 6: Calculated plants according to the intended ratio and load	62
Table 7: The limit values for particulate emission levels form measurements	75
Table 8: The number of measured vehicles and the proportion of the emission levels	75

LIST OF ADOPTED TABLES

Adopted table 1: Baseline values for the effectiveness of the most common measures to reduce emissions of PM ₁₀ winter agglomeration with 100 000 inhabitants (35 000 households) (Government RS, 2009 p. 136)	17
Adopted table 2: Emission factors for direct emissions of PM ₁₀ (excluding emissions discharge of waste gases) and indirect emissions due to the resuspension, expressed in weight of PM ₁₀ emissions per km of road. (Government RS, 2009, p. 70)	23
Adopted table 3: Particulate limit values for emission levels (EU Directive no. 595/2009)	32
Adopted table 4: Phase test cycles and load of the engine dynamometer test ESC and ELR (EU Directive no. 55/2008 p. 80)	33
Adopted table 5: Degree of filling or volumetric yields the emission level of vehicles (Dobovišek, 1994 p. 38)	69

LIST OF GRAPHS

Graph 1: The proportion of vehicles in RS the environmental strategy in 2013	12
Graph 2: The toll rates for different emission rates of vehicles	19
Graph 3: The proportion of vehicles measured by environmental category	56
Graph 4: Average values for measurements under environmental categories	57
Graph 5: Standard deviation measurements smoky by category	58
Graph 6: The average values of temperature motors for environmental categories	59
Graph 7: The average age of vehicles on the environmental category	60
Graph 8: Average number of engine revolutions by environmental category	61
Graph 9: Average vehicle km traveled by environmental category	63
Graph 10: The average emissions of particles per km routes for environmental categories Euro IV and Euro V	64
Graph 11: Emissions of particulate matter per kilometer journey across all environmental categories	65
Graph 12: Measured and allowed value k for the Euro IV	66
Graph 13: Measured and allowed value k for the Euro V	66
Graph 14: Average flow of the exhaust gas after different environmental categories	69
Graph 15: The exhaust gas flow of different movements at the level of the road to Euro IV	70
Graph 16: The exhaust gas flow on a ramp for the Euro IV	71
Graph 17: The exhaust gas flow of different movements at the level of the road to Euro V	72
Graph 18: The exhaust gas flow on a ramp for the Euro V	72
Graph 19: The concentration of PM ₁₀ emission rate at the edge of the carriageway	76
Graph 20: The concentration of PM ₁₀ in the distance from the edge of the carriageway	77
Graph 21: The concentration of PM ₁₀ in the distance from the edge of the carriageway	78

LIST OF FIGURES

Figure 1: Emission Tester MAHA MDO 2 LON	41
Figure 2: Area measurements of exhaust gas	43
Figure 3: Inserting the probe into the exhaust	45
Figure 4: Select mode measurements smoke with or without a database of vehicles	46
Figure 5: Reference data of the selected vehicle	46
Figure 6: Established OBD connection and the number of engine revolutions	47
Figure 7: The temperature of the oil is below the reference value	47
Figure 8: Control plants of engine idle	48
Figure 9: Checking elevated RPM	48
Figure 10: Beginning with the first measurement sets limits to the value of K	49
Figure 11: At the end of the first measurements of the display measured values K	49
Figure 12: Notice the measuring device on the results of measurements of exhaust gas	50
Figure 13: Measurement value of the exhaust gas with the display of all measured values	50
Figure 14: The value of the corrected absorption coefficient on motor nameplate	51
Figure 15: Counting station for ADT and the position of the measuring point emissions	74

LIST OF ADOPTED FIGURES

Adopted figure 1: Annual emissions of PM ₁₀ by sector in Slovenia (Cegnar et al., 2014 p. 16)	6
Adopted figure 2: Emissions of NO _x in Slovenia by years and sectors (Cegnar et al., 2014, p.42)	7
Adopted figure 3: Map of zones and agglomerations (Uradni list RS, št. 9/2011, p. 964)	10
Adopted figure 4: Average and maximum average annual concentrations of PM ₁₀ (ARSO, 2013a)	11
Adopted figure 5: Distribution of daily PM ₁₀ values in 2013 for measurement points (Cegnar et al., 2014, p.18)	13
Adopted figure 6: Schematic representation of resources particle (Government RS, 2009, p.13)	16
Adopted figure 7: Flowers winds and speed on the measuring site Celje (Government RS, 2009, p. 174)	20
Adopted figure 8: Flowers winds and speed on the measuring site Celje (Koleša et al., 2011, p. 12)	21
Adopted figure 9: Ambient air pollution due to emission of PM ₁₀ from road traffic as a function of distance from the edge of the road two-lane road in wind direction and the direction perpendicular to the axis of the road. (Government RS, 2009, p. 144)	24
Adopted figure 10: The values in the test ELR (EU Directive no. 55/2005, p. 226)	26
Adopted figure 11: The opacimeter partial flow (EU Directive no. 55/2005, p. 208)	29
Adopted figure 12: Periods combustion engine with self-ignition (Kegl, 2006, p. 163)	34
Adopted figure 13: The actual characteristic diagram (Kegl, 2006, p. 169)	35
Adopted figure 14: Cleaning of exhaust gases through the EGR system (Jejčič, 2014, p. 39)	37
Adopted figure 15: Illustration of the SCR system (Jović, 2015, p. 6)	38
Adopted figure 16: Cleaning of exhaust gases through the EGR and SCR systems (Jejčič, 2014, p. 40)	39
Adopted figure 17: A particulate filter of diesel engines (Fischer et al., 2011, p. 339)	40

KRATICE

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
EEA	Evropska okoljska agencija
SIST EN	Slovenski inštitut za standardizacijo
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo
EU	Evropska unija – celotna
EU – 13	Evropska unija – izbor 13 držav
NMVOC	(ang. Non Methane Volatile Organic Compounds) Nemetanski lahkohlapni ogljikovodiki
BDP	bruto domači proizvod
DMKZ	Zbirka podatkov meritev državne mreže za spremljanje kakovosti zraka
COPERT 4	(ang. Computer Programm to estimate Emissions from Road Traffic) računalniški program za oceno emisij iz cestnega prometa
PLDP	povprečni letni dnevni promet
EMEP	(ang. European Monitoring and Evaluation Programme) Zbirka podatkov o izpustih v zrak, ki temelji na oceni izpustov, izračunani na podlagi uporabe statističnih podatkov
TFEIP	(ang. Task Force on Emission Inventories and Projections) Protokol za posredovanje podatkov o meritvah onesnaženosti zraka med članicami EU
IPCC	(ang. The Intergovernmental Panel on Climate Change) Medvladni panel za podnebne spremembe
PCA	(ang. Principle component analysis) Statistični model določanja skupne odvisnosti od značilnih elementov za posamezen emisijski vir
PAH	(ang. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) policiklični aromatski ogljikovodiki
KOPB	kronične obstruktivne pljučne bolezni
ESC	(ang. European steady state cycle) Evropski cikel ustaljenega stanja
ETC	(ang. European transient cycle) Evropski prehodni cikel
ELR	(ang. European load response test) Evropski preizkus odzivnosti na obremenitev
EGR	(ang. Exhaust Gas Recirculation) ponovno vodenje izpušnih plinov v zgorevalni prostor
SCR	(ang. Selective Catalytic Reduction) selektivna katalitična redukcija
AdBlue	raztopina sečnine v vodi
DPF	(ang. Diesel Particulate Filter) filter za trdne delce
DOC	(ang. Diesel Oxidation Catalyst) dizelski oksidacijski katalizator
OBD	(ang. On-board diagnostic) sistem za diagnostiko na vozilu
RS 232	komunikacijski vmesnik za potrebe nadaljnje računalniške obdelave
MDO2	analizator dimnih plinov pri dizelskih motorjih

Euro0,...V	emisijske stopnje standardov za emisije izpušnih plinov
DRSC	Direkcija Republike Slovenije za ceste (spremenjen naziv v DRSI)
DRSI	Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo
RVP	parni tlak goriva po Reidu
POPs	(ang. Persistent Organic Pollutants) nerazgradljive organske spojine

SIMBOLI

PM10 ali PM₁₀ ali PT (ang. particle matter) so trdni delci, ki imajo aerodinamični premer manjši od 10 μm

PM_{2,5} ali PM_{2,5} ali PT (ang. particle matter) so trdni delci, ki imajo aerodinamični premer manjši od 2,5 μm

CO₂ ogljikov dioksid

CO ogljikov oksid

NO₂ dušikov dioksid

NO_x dušikovi oksidi

N₂ dušik

O₂ kisik

Ar argon

Ne neon

He helij

Kr kripton

SO₂ žveplov dioksid

SO₄ sulfat

S žveplo

CH₄ metan

H₂ vodik

N₂O dušikov oksid

Xe ksenon

O₃ ozon

I₂ jod

NH₃ amonijak

C₆H₆ benzen

NMHC nemetanski ogljikovodiki

H₂O voda ali vodni hlapi

k_a korigirana vrednost absorpcijskega koeficienta

k faktor dimnosti ali dimnost

L_A dejanska dolžina optične poti

min⁻¹ število obratov v minuti

EP izpušna cev

OPL dolžina optične poti

LS svetlobni vir

LD detektor svetlobe

CL	kolimator
T1	temperaturni senzor
SP	sonda za vzorčenje
TT	cev za prenos vzorca
FM	naprava za merjenje pretoka
MC	merilna komora
P	črpalka za vzorčenje
LED	svetleča dioda s temensko spektralno vrednostjo med 550 in 570 nm
λ	razmernik zraka
p_e	maksimalni efektivni tlak
g_e	specifična poraba goriva
n_{lo}	najnižja vrtilna frekvenca motorja
n_h	najvišja vrtilna frekvenca motorja
n	obrati motorja
φ	kot odmične gredi
$^{\circ}OG$	kot zasuka odmične gredi
$^{\circ}RG$	kot zavrtitve ročične gredi
h_n	višina dviga igle
α_i	periode zgorevanja
$dQ/d\alpha$	karakteristike sproščanja toplote
ZML	zgornja mrtva lega bata
SML	spodnja mrtva lega bata
km	kilometer
V_h	prostornina motorja
$V_{h/težka}$	prostornina motorja težkih dizelskih vozil
$V_{h/ostali}$	prostornina motorja ostalih dizelskih vozil
V_α	volumenski pretok zraka motorja izpušnih plinov suhe snovi
τ	taktnost motorja
n_v	stopnja polnitve ali volumetrični izkoristek
$K_{0, PM10}$	koncentracija PM_{10} zaradi emisij iz izpuha
m_{PM10}	masa urnega pretoka
$m_{Euro PM10}$	masa delcev PM_{10} posamezne emisijske stopnje vozila
N	motnost
τ	presevnost
u	vektor hitrosti vetra
q_m	masni pretok vozil

σ_z	standardni odmik razporeditve koncentracije PM_{10} v navpični smeri
x	razdalja od sredine vozišča do meritve emisij
H	povprečna višina izpustov težkega prometa merjena od tal
z	višina za zajem delcev merjena od tal

1 UVOD

1.1 Opis problema in izhodišča

Glede onesnaženja zraka z izpušnimi plini oziroma z izpuhi iz cestnega prometa je v Sloveniji in drugod po svetu, predvsem pa v Evropi, že dalj časa splošno znano, da prihaja zlasti v urbanih središčih do poslabšanja kvalitete zraka. Do tega poslabšanja prihaja predvsem v prometnih konicah ob določenih delih dneva, ki so povezani s slabo prezračенostjo oziroma prevetrenostjo posameznih urbanih središč, predvsem tistih v kotlinah. Seveda so izpusti iz cestnega prometa samo eden od petih onesnaževalcev zraka, ki se jih spremlja z različnimi meritvami, njihov delež pa ni zanemarljiv, saj v zadnjih meritvah prihajajo celo na prvo mesto po onesnaževanju s trdnimi delci (PM_{10}). Podatki, ki jih za to zbirajo določene organizacije, so zelo splošni ali pa za nekatera območja celo pomanjkljivi, tako da iz njih ni mogoče niti oceniti vpliva onesnaženja, ki ga ima samo cestni promet. Prekomerna onesnaženost z delci (PM_{10}) v slovenskih mestih je eden najbolj perečih okoljskih problemov, za kar je Evropska komisija že v letu 2010 proti Sloveniji sprožila postopek na Sodišču EU zaradi nespoštovanja okoljske zakonodaje. Iz letnega poročila o izpustih toplogrednih plinov iz prometa (Majaron Mekinda, Česen 2014) je vidno, da je cestni promet vir velike večine izpustov zaradi samega prometa, saj je leta 2012 prispeval 99,2 % vseh izpustov. Število cestnih motornih vozil, pa tudi moč in prostornina njihovih motorjev v Sloveniji nenehno naraščajo, medtem ko se specifična poraba novih vozil le počasi zmanjšuje. Razvoj infrastrukture, posebno na urbanih območjih, taki rasti ne zmora slediti, zato so vse pogostejši cestni zastoji. V zadnjih letih je zelo povečala tudi rast cestnega tovornega prometa, posebno tranzitnega. Delež izpustov iz tovornega prometa je bil leta 2012 ocenjen na 34,5 %, medtem ko druge izpuste povzroča potniški promet (osebni promet 64 %, avtobusni promet 1,5 %). Podatki o izpustih so preračunani samo glede na slovenski vozni park, nato pa se prilagodijo dejanskim podatkom o prodanem gorivu. Metodologija namreč zahteva, da se izpusti iz goriva, ki je bilo prodano v Sloveniji, prištevajo k slovenskim izpustom, četudi je bilo gorivo prodano tujcem, torej voznikom, ki so se ustavili in gorivo natočili v Sloveniji. Tako je model določanja zelo posplošen in ne zajema posameznih izpustov, ločenih po vrsti vozila glede na gorivo, ki ga uporablja (dizel ali bencin); prav tako so skupni izpusti toplogrednih plinov izračunani kot vsota izpustov posameznih snovi. Seveda je Slovenija sprejela različne ukrepe in strategije za zmanjšanje emisij iz prometa, ki so nekako vključeni tudi v druge ukrepe ali programe za izboljšanje kakovosti zraka nasploh. Vsak ukrep ali strategija je brez ustreznega merljivega nadzora neuspešna in so želeni rezultati, ki si jih je postavila Slovenija v zvezi s tem, nezadostni ali celo negativni. Tako je segment cestnega težkega prometa samo eden manjših deležnikov v celotni masi vozil cestnega prometa, ki ga želim obdelati v magistrski nalogi in ugotoviti, ali so bili ukrepi in strategije samo v cestnem tovornem in potniškem prometu pravilni glede na možne načine preverjanja zmanjšanja trdnih delcev (PM_{10}). Največji poudarek želim dati ravno težkim vozilom, ki naj bi tudi prispevala največji delež k emisijam izpustov

trdnih delcev (PM_{10}) in obremenitve okolja glede na velikost emisije na prevozno enoto oziroma vozilo. Pri tem bom izhajal iz predpostavke, da so izvori trdnih delcev (PM_{10}) iz težkih vozil znani in merljivi že ob samem nastanku, ta vrednost pa mora biti v določenem odstotku zaznana tudi na merilnem mestu ob upoštevanju metrologije širjenja teh delcev nanj.

1.2 Cilji in metode dela

Cilj magistrskega dela je opredeliti vire onesnaževal v cestnem prometu, ki so neposredni izpuhi težkih dizelskih potniških in tovornih vozil, med merljivimi emisijami z uporabo metode merjenja absorpcijskega koeficienta, ki se ob pravilni uporabi vozila s prevoženimi kilometri lahko spreminja. Tako bo možno v analizi določiti korelacijo med izmerjenim absorpcijskim koeficientom in definirano količino trdnih delcev, določenih za posamezni emisijski razred težkih vozil oziroma motorjev.

V nalogi bo uporabljenih več znanstvenoraziskovalnih metod, med katerimi bo največ uporabljena statistično-analitična metoda, ki je pri obdelavi analize trdnih delcev nujno potrebna. Med drugimi metodami bodo uporabljene tudi komparativna metoda, metoda kompilacije, matematična metoda in kibernetična metoda. Z metodo deskripcije bo opisano trenutno stanje kakovosti ozračja na celotnem ozemlju Republike Slovenije zlasti na območju odvzetih vzorcev zaradi vpliva posameznih vozil. Uporabljene bodo še metoda sinteze, deduktivna in induktivna metoda, metoda opazovanja, ki ima v prometu relevanten pomen za dajanje in kontroliranje danih nalog, in druge znanstvenoraziskovalne metode, ki so pridobljene tudi iz tujih tehnološko preizkušenih procesov.

1.3 Struktura magistrskega dela

Magistrsko delo sestavlja šest poglavij. V uvodnem delu je predstavljena problematika in nakazana smer reševanja zastavljenega problema.

V drugem poglavju je opisano delovanje obstoječega zajemanja podatkov o stanju ozračja, kamor spadajo tudi obravnavani trdni delci in njihova osnovna delitev glede na vrsto izvora. Opisani so tudi nekateri negativni vplivi in posledice, ki jih povzročajo trdni delci (PM_{10}) glede na različne velikosti teh delcev in glede na različne načine vstopa v človeško telo. V tem delu je tudi ocenjen celoten vpliv emisij iz cestnega prometa glede na smeri vetra in druge okoliščine v urbanem območju. Zajeta je tudi ocena zmanjšanja posledic glede na posamezne predvidene ukrepe ob določeni stopnji zmanjšanja izpustov trdnih delcev v ozračje.

V tretjem delu naloge so opisani postopki meritev ob preizkušanju motorjev pred plasiranjem na tržišče oziroma na prvo vgradnjo v vozila in primerjava teh podatkov s postopki meritev, ki se izvajajo ob tehničnih pregledih, ki so bili osnova za izvedbo meritev. Za razumevanje nastanka trdnih delcev so v tem delu opisani vsi škodljivi produkti zgorevanja v dizelskem motorju vključno s postopki zgorevanja goriva ob popolnem in nepopolnem zgorevanju, opisana pa sta tudi dva osnovna postopka čiščenja izpušnih plinov dizelskih motorjev in izločevanja trdnih delcev. Prav tako so predstavljeni

tehnični podatki za merilno napravo, s katero so se zbirali podatki, in postopki meritev po navodilih proizvajalca te merilne naprave.

V četrtem delu naloge je opisan postopek meritev po posameznih fazah z uporabo merilne naprave v prostorih merjenja. Prav tako so v tem delu meritve obratov referenčnih vozil oziroma motorjev na ravni cesti in na klančini.

V petem delu je analiza izmerjenih vrednosti po posameznih okoljskih kategorijah oziroma emisijskih stopnjah in ovrednotenje trdnih delcev na posamezne obremenitve. Prav tako je v tem delu primerjalni izračun med izmerjenimi vrednostmi na izbranem merilnem mestu in glede na izpuste delcev po določenih in izmerjenih vrednostih.

V šestem delu so podani zaključki s predlogi za izboljšanje stanja na področju emisij trdnih delcev, nakazane so smeri razvoja zmanjšanja trdnih delcev ob najnovejših dosežkih razvojne tehnologije zgorevanja dizelskih motorjev, predstavljeni pa so tudi administrativni in tehnični ukrepi tako na državnem kot lokalnem nivoju ter napotki za projektiranje klančin v mestih.

2 PREGLED PODROČJA

2.1 Osnovne sestavine zraka

V splošnem je zrak zmes plinov, ki sestavlja ozračje. Pri tem se vedno navaja (Rakovec in Vrhovec 2007) delež posameznih plinov suhega zraka, ki je sestavljen iz: 78,084 % dušika N_2 , 20,947 % kisika O_2 , 0,934 % argona Ar in 0,033 % ogljikovega dioksida CO_2 . Poleg tega so v zraku še zelo majhne količine neona Ne, helija He, kriptona Kr, žveplovega dioksida SO_2 , metana CH_4 , vodika H_2 , dušikovega oksida N_2O , ksenona Xe, ozona O_3 , dušikovega dioksida NO_2 , joda I_2 , ogljikovega oksida CO in amonijaka NH_3 ter vodnih hlapov H_2O . Zrak lahko vsebuje od 0 do 7 % vodne pare in manj kot 1 % ogljikovega dioksida. Sestava zraka se z višino spreminja, na višjih mestih je zrak redkejši. Zrak je torej prozoren, brez barve, nima okusa niti vonja. Je neviden. Po podatkih iz poročila Evropske agencija za okolje EEA (Evropska okoljska agencija) (Evropska okoljska agencija, 2013) je v zraku poleg tega na tisoče drugih plinov in delcev vključno s sajami in kovinami, ki se v ozračje sproščajo iz naravnih in umetnih virov. Sestava zraka v troposferi se ves čas spreminja. Nekatere snovi v zraku so visoko reaktivne ali, drugače povedano, so bolj nagnjene k medsebojnemu učinkovanju z drugimi snovmi, pri čemer se oblikujejo nove snovi. Ko nekatere od teh reagirajo z drugimi, se lahko oblikujejo »sekundarna« onesnaževala, ki škodujejo našemu zdravju in okolju. Toplota, vključno s sončno toploto, je običajno katalizator, ki pomaga pri poteku kemijskih reakcij, lahko pa jih celo sproži.

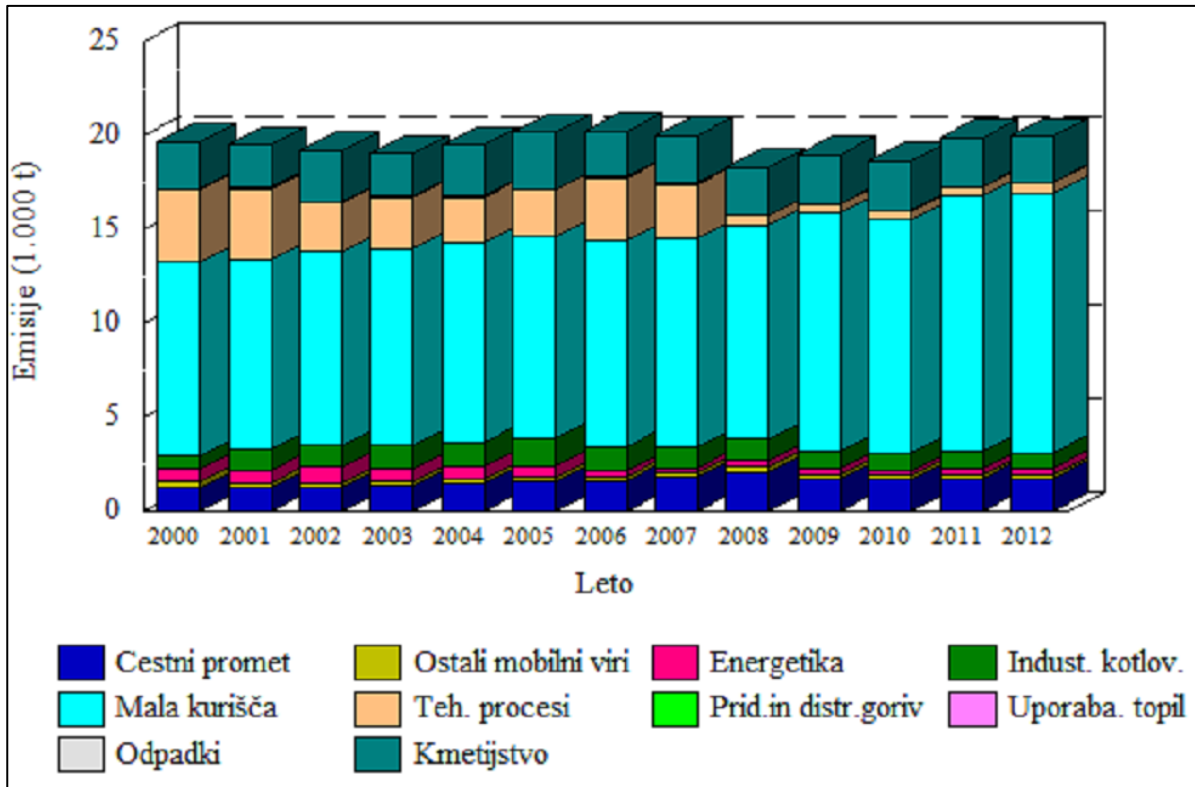
2.2 Kaj je onesnaženje zraka in osnovni pojmi

V osnovi ločimo dve vrsti onesnaženosti zraka (Evropska okoljska agencija, 2013); prvo povzročajo naravni pojavi in nastane kot posledica vulkanskih izbruhov, požarov in tudi erozije zemlje; gre za emisije iz zemlje in vode, lahko tudi cvetni prah. Druga vrsta onesnaženosti zraka je t. i. antropogeno onesnaževanje, ki je posledica uporabe odprtega ognja – prihaja do nepopolnega zgorevanja, uporabe premoga za vir energenta in industrije s pojavom smoga in zmanjšane vidljivost. Po naši zakonodaji (Uredba o kakovosti zunanjega zraka, 2011) je onesnaževalo katera koli snov, ki je prisotna v zraku in za katero je verjetno, da ima škodljive učinke na zdravje ljudi oziroma na okolje. Prav tako je definirana raven koncentracije onesnaževala v zraku ali njegove usedline na površinah v danem času. Ravni mejnih vrednosti so definirane štiristopenjsko. Določena mejna vrednost je raven, opredeljena na podlagi znanstvenih spoznanj, katere cilj je izogniti se škodljivim učinkom na zdravje ljudi oziroma okolje, jih preprečiti ali zmanjšati, in ki jo je v določenem roku treba doseči, ko pa se ta doseže, se ne sme preseči. Drugo je kritična vrednost, ki je določena na podlagi znanstvenih spoznanj in katere preseganje ima lahko za posledico neposredne škodljive učinke na nekatere receptorje, kakor so drevesa, druge rastline ali naravni ekosistemi, vendar ne na človeka. Tretja stopnja pa je sprejemljivo preseganje odstotka mejne vrednosti, za katerega se ta vrednost lahko preseže pod določenimi časovnimi ali krajevnimi pogoji. Zadnja, četrta stopnja pa je alarmna vrednost, katere raven preseganja pomeni tveganje za zdravje ljudi zaradi kratkotrajne izpostavljenosti celotnega prebivalstva in pri

kateri so potrebni takojšnji ukrepi. Izmerjene vrednosti posameznega onesnaževala na izpustu imenujemo emisije. Kljub velikemu napredku v zadnjih nekaj desetletjih onesnaženost zraka v Evropi še vedno pomeni nevarnost za naše zdravje in okolje. To velja zlasti za onesnaženost z delci in ozonom, ki pomenita veliko nevarnost za zdravje Evropejcev, saj vplivata na kakovost življenja in skrajšujeta pričakovano življenjsko dobo. Toda različna onesnaževala prihajajo iz različnih virov in imajo različne učinke. Zato si bomo glavna onesnaževala pogledali podrobneje. Vsa glavna onesnaževala je mogoče razvrstiti v pet osnovnih skupin. Prvi med njimi so trdni delci.

2.3 Trdni delci v zraku

Prvi so tako imenovani delci, ki jih označujejo s črkama PM (ang. Particulate matter), ločimo jih še s številkami, in sicer gre za PM_{10} ali $PM_{2,5}$. Delci z oznako PM_{10} ali PM_{10} (so trdni delci, ki imajo aerodinamični premer manjši od $10\ \mu\text{m}$) so torej delci, ki preidejo skozi dovod, kakor je opredeljen v referenčni metodi za vzorčenje in merjenje PM_{10} , po standardu (SIST EN 12341-2014, 2014), s 50-odstotno učinkovitostjo za odstranjevanje delcev z aerodinamičnim premerom nad $10\ \mu\text{m}$. Delci z oznako $PM_{2,5}$ ali $PM_{2,5}$ (so trdni delci, ki imajo aerodinamični premer manjši od $2,5\ \mu\text{m}$) so delci, ki preidejo skozi dovod, kakor je opredeljen v referenčni metodi za vzorčenje in merjenje $PM_{2,5}$, po standardu (SIST EN 12341-2014, 2014), s 50-odstotno učinkovitostjo za odstranjevanje delcev z aerodinamičnim premerom nad $2,5\ \mu\text{m}$. Delci, ki so onesnaževalo zraka v Evropi na prvem mestu (Evropska okoljska agencija, 2013), povzročajo tudi največ škode na zdravju ljudi. Predstavljajte si, da so ti delci tako lahki, da lebdi v zraku, in nekateri tako majhni (velikosti med eno tridesetino in eno petino premera človeškega lasu), da lahko prodrejo globoko v naša pljuča in preidejo celo v krvni obtok, prav tako kot kisik. Nekateri delci se sproščajo neposredno v ozračje. Drugi nastajajo v kemijskih reakcijah, pri katerih sodelujejo tako imenovani predhodniki delcev, kot so žveplov dioksid, dušikovi oksidi, amonijak in hlapne organske spojine. Delce sestavljajo različne kemijske snovi; njihov učinek na naše zdravje in okolje pa je odvisen od njihove sestave. V njih lahko najdemo tudi nekatere kovine, kot so arzen, kadmij, živo srebro in nikelj. V mestnih območjih so izpusti črnega ogljika predvsem posledica cestnega prometa, zlasti dizelskih motorjev. Tako črni ogljik v delcih negativno vpliva tako na zdravje ljudi kot na podnebne spremembe, saj vpija sončno toploto in segreva ozračje.



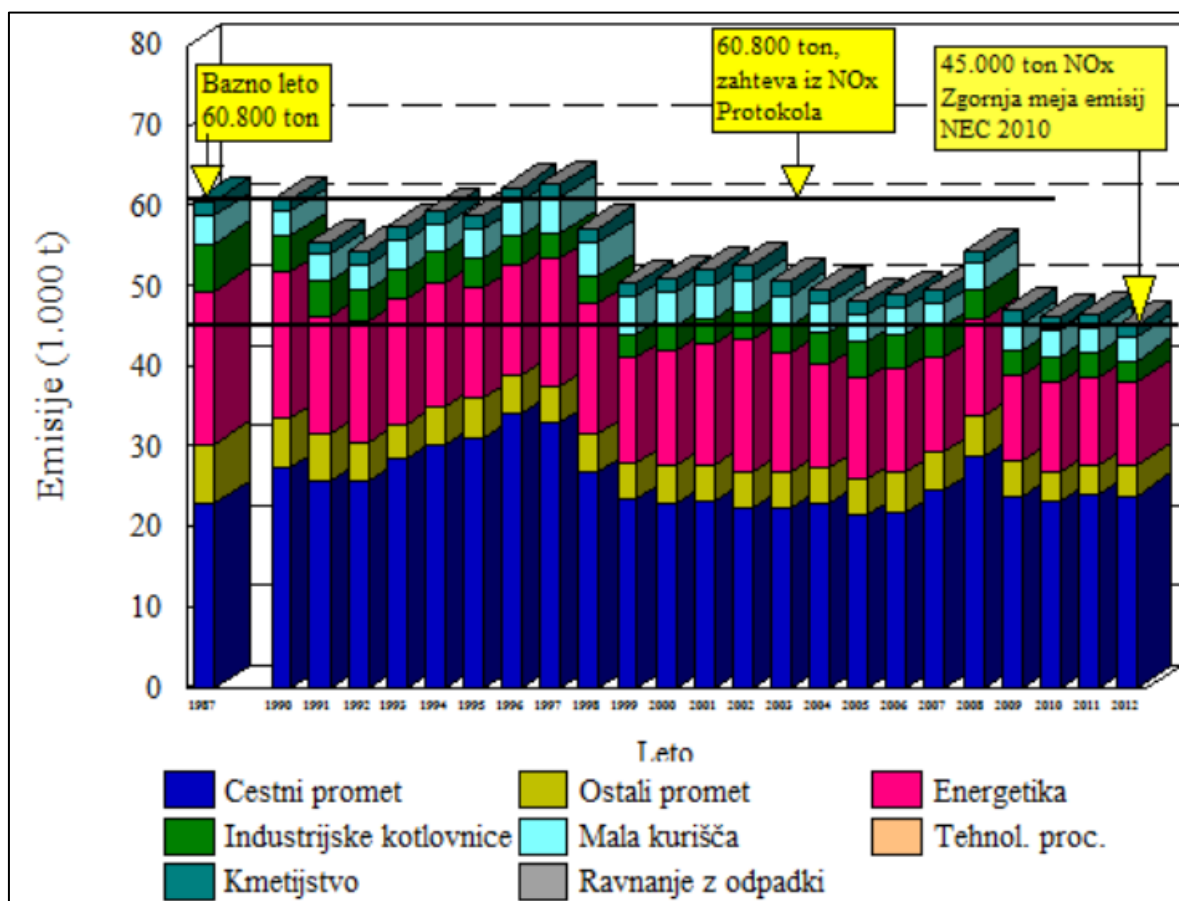
Prezeta slika 1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji (Cegnar et al., 2014 str. 16)

Adopted figure 1: Annual emissions of PM₁₀ by sector in Slovenia (Cegnar et al., 2014 p. 16)

Glede na izpuste delcev je Slovenija v samem vrhu EU (glej prevzeto sliko 1). Po izpustih delcev PM₁₀ na prebivalca je bila v letu 2012, za katerega so na voljo zadnji podatki o emisijah držav, na tretjem mestu takoj za Latvijo in Estonijo. Po izpustih delcev PM₁₀ na površino ozemlja je pred Slovenijo le Belgija, ki pa ima 3,5-krat večjo gostoto prebivalcev. Pri teh primerjavah niso upoštevali Malte in Luksemburga, ker rezultati za ti dve državi zaradi njune majhnosti in izračuna izpustov v prometu na osnovi prodanih količin goriva niso primerljivi. Visoke specifične emisije delcev PM₁₀ v Sloveniji so predvsem posledica velikega deleža ogrevanja gospodinjstev z lesom v zastarelih kurilnih napravah. Izpusti zaradi ogrevanja stavb se sproščajo le v hladni polovici leta. To dodatno povečuje njihov vpliv na kakovost zraka, saj so takrat v Sloveniji še posebej neugodne razmere za razredčevanje izpustov. Delci lahko (Evropska okoljska agencija, 2013) glede na svojo kemijsko sestavo vplivajo na podnebje na Zemlji tako, da prispevajo k segrevanju ali ohlajanju planeta. Tako je na primer črni ogljik, ena najpogostejših sestavin saj, ki jo najdemo predvsem v finih delcih (katerih premer je manjši od 2,5 mikrona), posledica nepopolnega izgorevanja goriv, in sicer fosilnih goriv in tudi lesa. V mestnih območjih so izpusti črnega ogljika predvsem posledica cestnega prometa, zlasti dizelskih motorjev. Črni ogljik v delcih torej negativno vpliva tako na zdravje ljudi kot na podnebne spremembe, saj vpija sončno toploto in segreva ozračje.

2.3.1 Dušikovi oksidi v zraku

Dušikovi oksidi so iz poročila ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje) (Cegnar et al., 2014) spojine, ki jih sestavljajo le atomi kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin, ki jih označujemo: NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅. V ozračju je največ prvih dveh, dušikovega monoksida in dušikovega dioksida. Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki se v ozračju dokaj hitro oksidira v dušikov dioksid. Zdravju je bolj škodljiv dušikov dioksid. Dušikovi oksidi spadajo med predhodnike ozona in zato posredno vplivajo na podnebni sistem. Neposredni toplogredni učinek ima sicer nestrupeni N₂O, ki je po učinku segrevanja ozračja takoj za ogljikovim dioksidom, metanom in halogeniranimi ogljikovodiki. Skupna oznaka za dušikove okside (NO, NO₂ ...) je NO_x. To so toplogredni strupeni plini, ki nastajajo v izpušnih sistemih dizelskih motorjev, kadar so ti obremenjeni, zaradi česar nastajajo visoki tlaki in temperature. Izpusti dušikovih oksidov se zaradi kemičnih sprememb v ozračju med različnimi dušikovimi oksidi podajajo kot vsota vseh dušikovih oksidov. Največ dušikovih oksidov prihaja v ozračje iz prometa, precejšen delež pa prispeva tudi energetika.



Prevzeta slika 2: Izpusti NO_x v Sloveniji po letih in sektorjih (Cegnar et al., 2014 str.42)

Adopted figure 2: Emissions of NO_x in Slovenia by years and sectors (Cegnar et al., 2014, p.42)

Letni izpusti NO_x v Sloveniji so leta 2012 po poročilu ARSO (Cegnar et al., 2014) znašali 45,38 tisoč ton. V primerjavi z letom 1987 (izhodiščno ali bazno leto za Protokol po NO_x) so se zmanjšali za 25 %. Več kot polovico izpustov NO_x je v letu 2012 prispeval cestni promet. Slovenija je po izpustih dušikovih oksidov na prebivalca na petem mestu, po izpustih na površino ozemlja pa na desetem mestu. V tej primerjavi nista upoštevani državi Malta in Luksemburg, saj sta premajhni po površini. Visoke emisije dušikovih oksidov na prebivalca so posledica velike uporabe osebnih vozil v Sloveniji in tudi intenzivnega cestnega tovornega tranzitnega prometa.

2.3.2 Ocene virov emisij v urbanih naseljih

Po podatkih Evropske agencija za okolje (Evropska okoljska agencija, 2013) lahko vzroke za emisije v urbanih naseljih iščemo tudi v naših vzorcih vedenja. V zadnjih letih predstavljajo pomemben vir onesnaženja z delci PM₁₀ v nekaterih mestnih območjih kurišča na premog in les za ogrevanje gospodinjstev. Seveda se podatki o ocenah virov emisij zbirajo na nivoju posamezne države in se nato ti podatki pošljejo na nivo EU, kje jih obdelajo in združijo, zato je zelo pomembno, da so metodologije in postopki zbiranja podatkov poenoteni. V Sloveniji (Bolte et.al., 2007) se za oceno emisij zbirajo po naslednjih kategorijah virov:

1. elektroenergetika in daljinsko ogrevanje,
2. kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča,
3. industrijske kotlovnice,
4. predelovalna dejavnost,
5. cestni promet.

Po Sloveniji je nameščenih 19 stacionarnih merilnih mest za emisije zraka, iz katerih ARSO pridobiva podatke (ARSO, 2013a) in jih uporablja za meritve kakovosti zunanlega zraka. Omenjena merilna mesta so stalna, meritve pa so kontinuirane. Poleg ekoloških parametrov (žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ozon, ogljikov monoksid, delci PM₁₀ in PM_{2,5}, težke kovine) spremljajo na vseh postajah še meteorološke parametre (smer in hitrost vetra, relativna vlaga, temperatura, sončno sevanje). Za vsako merilno mesto obstaja klasifikacija, na podlagi česa je to mesto uvrščeno v določeno kategorijo. Kot primer opišemo merilno mesto Ljubljana Bežigrad, ki je locirano na dvorišču Agencije RS za okolje, v neposredni bližini je parkirišče Agencije. Merilno mesto je tipa mestno ozadje. Reprezentativno je za velik del urbanih področij, za območja, ki niso izpostavljena neposrednim obremenitvam z zelo prometnih cest (več kot 10.000 vozil/dan). V neposredni bližini pa so tudi stanovanjsko-poslovni objekti. Meritve ravni onesnaževal so se na stalnih merilnih mestih v Sloveniji začele že leta 1968. Avtomatski merilniki onesnaženosti zraka so se začeli uvajati v okviru državne mreže (analitično-

nadzorni alarmni sistem) v začetku sedemdesetih let. Od tedaj se je merilna mreža počasi širila in nadgrajevala z meritvami večjega nabora onesnaževal.

2.3.3 Ocene virov emisij tovornega tranzitnega prometa in pričakovane projekcije

V poročilu Evropske agencija za okolje (Evropska okoljska agencija, 2013) je za leto 2010 celoten tovorni promet posebej porazdeljen glede na različne razdalje in glede na način prevoza (letalski, železniški, ladijski in cestni). Okoli 75 % vseh količin je bilo opredeljenih za dolge razdalje (nad 300 km), od tega skoraj polovica (37 %) nad 1000 km. Porazdelitve so konstantne v glavnem v času, vendar precej raznolike glede na načine: za letalski in ladijski promet, več kot 95 % je bilo prometa na dolge razdalje, medtem ko so za ceste in železnice te porazdelitve nižje. Skupni medkrajevni tovorni obseg prometa se je občutno zmanjšal od leta 2008 do 2009, ko se je konstantno povečeval. Obseg v letu 2010 se je spet povečal, vendar še ni dosegel vrha iz leta 2007. Ladijski promet dominira na dolge razdalje tovornega prometa, pri približno 53 % vseh tonskih kilometrov pripeljanega blaga po morju, in na kratkih razdaljah. Cestni tovorni promet sledi s približno 37 %, nato pa železniški s približno 10 %, medtem ko ima letalstvo zanemarljiv delež. Zmanjšanje tovornega prometa se pričakuje šele po letu 2030; zelo se sicer upočasni zaradi nižje rasti BDP, vendar bo še vedno sledil rasti gospodarstva in ga bo le-ta lahko omejila, kot rast v dejavnosti cestnega tovornega prometa v EU-13.

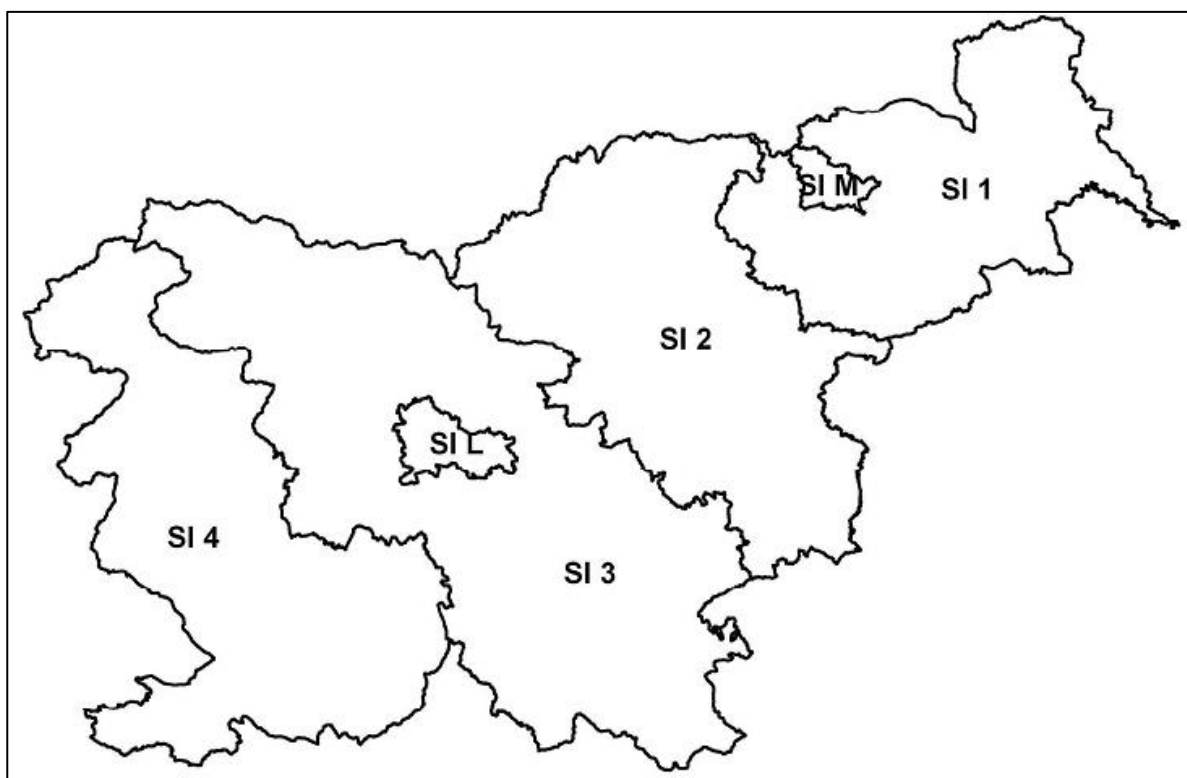
2.3.4 Določitev predpisanih mejnih vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} in preseganje

Za določitev predpisanih vrednosti PM₁₀ in PM_{2,5} je bila sprejeta Uredba o kakovosti zunanega zraka (Uredba o kakovosti zunanega zraka, 2011), ki je tako kot njena predhodna Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku, 2002) in Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanega zraka (Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanega zraka, 2007) predpisala najvišje vrednosti. Določena je mejna vrednost PM₁₀ in na podlagi znanstvenih spoznanj raven, katere cilj je izogniti se škodljivim učinkom na zdravje ljudi oziroma okolje, jih preprečiti ali zmanjšati in ki jo je v določenem roku treba doseči, ko pa se ta doseže, se ne sme preseči. Kritična vrednost je raven, določena na podlagi znanstvenih spoznanj, katere preseganje ima lahko za posledico neposredne škodljive učinke na nekatere receptorje, kakor so drevesa, druge rastline ali naravni ekosistemi, vendar ne na človeka. Sprejemljivo je preseganje za odstotek mejne vrednosti, za katerega se ta vrednost lahko preseže pod določenimi pogoji. Zakonsko predpisana 24-urna mejna vrednost za delce PM₁₀ je 50 µg/m³. Le-ta je lahko presežena 35-krat v koledarskem letu. V prilogah omenjene Uredbe o kakovosti zraka so določena vsa onesnaževala, posebej pa izpostavljamo samo delce in njihovo sprejemljivo preseganje. Za delce PM_{2,5} pa je predpisana letna mejna vrednost, ki je v letu 2013 (ARSO, 2013a) znašala 26 µg/m³, in ciljna vrednost, ki znaša 25 µg/m³. Iz omenjenega poročila tudi izhaja, da so dnevne koncentracije delcev PM₁₀ januarja 2013 prekoračile dnevno mejno vrednost na

vseh mestnih merilnih mestih, ki delujejo v sklopu DMKZ (Zbirka podatkov meritev državne mreže za spremljanje kakovosti zraka). Največkrat, petnajstkrat, je bila dnevna mejna vrednost presežena na merilnem mestu Murska Sobota Rakičan, ki je pod vplivom individualnih kurišč in prometa. Največ prekoračitev je bilo na merilnem mestu Celje. Aprila pa na merilnih mestih DMKZ ni bilo prekoračitev dnevne mejne vrednosti. Razmeroma nizka onesnaženost zraka z delci se je zaradi pogostih padavin, ki so spirale ozračje, nadaljevala tudi v maju.

2.3.5 Razdelitev meritev po območjih

Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka se lahko izvaja na osnovi rezultatov meritev na stalnih merilnih mestih, indikativnih meritev ali modeliranja kakovosti zraka. Za ocenjevanje kakovosti zraka je Slovenija razdeljena na štiri območja in dve aglomeraciji (glej prevzeto sliko 3). Za vsa onesnaževala na vseh območjih in aglomeracijah so na ARSO pripravili oceno onesnaženosti zraka za potrebe izbire načina ocenjevanja kakovosti zraka. Za vsako onesnaževalo sta določena spodnji in zgornji ocenjevalni prag. Če so ravni onesnaženja nad spodnjim ocenjevalnim pragom, so v posameznem območju ali aglomeraciji obvezne meritve na stalnih merilnih mestih.



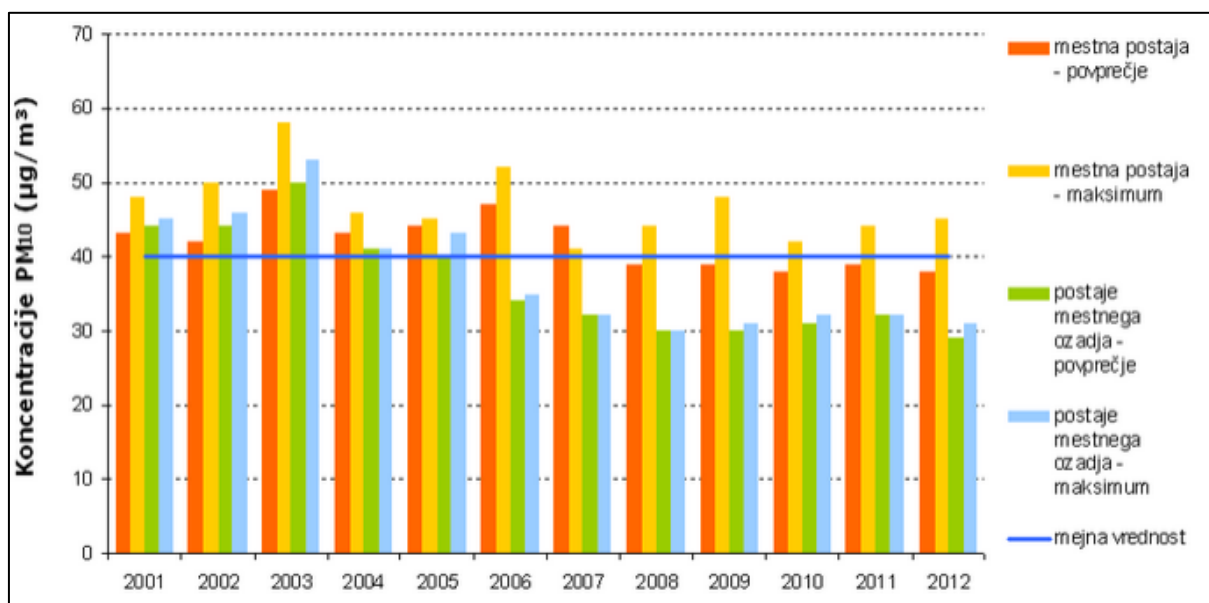
Prevzeta slika 3: Karta območij in aglomeracij (Uradni list RS, št. 9/2011, str. 964)

Adopted figure 3: Map of zones and agglomerations (Uradni list RS, št. 9/2011, p. 964)

2.3.6 Vpliv cestnega prometa na povečanje delcev (PM₁₀)

V letnih poročilih o kakovosti zunanjega zraka za obdobje od 2001 do 2007 so podrobneje obdelani in obrazloženi podatki o rezultatih meritev onesnaževal v zunanjem zraku na merilnih mestih, vendar ta

letna poročila ne vsebujejo podrobnejše analize virov onesnaževanja, ki pomembno prispevajo k onesnaženosti zunanjega zraka na mestu merjenja, prav tako v teh poročilih ni izdelanih ocen o reprezentativnosti merilnih mest glede na izpostavljenost celotnega prebivalstva v coni ali aglomeraciji, za katera veljajo izmerjene koncentracije PM_{10} . V novejših poročilih pa je (ARSO, 2013a) promet opredeljen kot eden glavnih povzročiteljev izpustov snovi, ki so vzrok za zakisovanje, nastanek prizemnega ozona in trdnih delcev. K izpustom v sektorju promet največ prispeva cestni promet. Za večino onesnaževal je ta delež večji kot 80 %. Med letoma 1990 in 2012 so se izpusti snovi, ki povzročajo zakisovanje, znižali za 36 %, od predhodnikov ozona pa za 56 %. Izpusti trdnih delcev so se glede na leto 2000 znižali za 4 %. Zmanjšanje izpustov je posledica uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila, obnova voznega parka in nižje vsebnosti žvepla v gorivu. V letih 2009 in 2010 je opazen precejšen upad izpustov v primerjavi z letom 2008, kar je odraz gospodarske krize in s tem posledično manjše porabe goriva. V letu 2011 je spet opazen blag porast izpustov v primerjavi z letom 2010, v letu 2012 se izpusti v primerjavi s predhodnim letom niso bistveno spremenili. Izpusti so še vedno nižji kot pred obdobjem krize. Večina emisij primarnih delcev iz cestnega prometa izvira iz izpuha dizelskega motorja.



Prevzeta slika 4: Povprečne in maksimalne povprečne letne koncentracije PM_{10} (ARSO, 2013a)

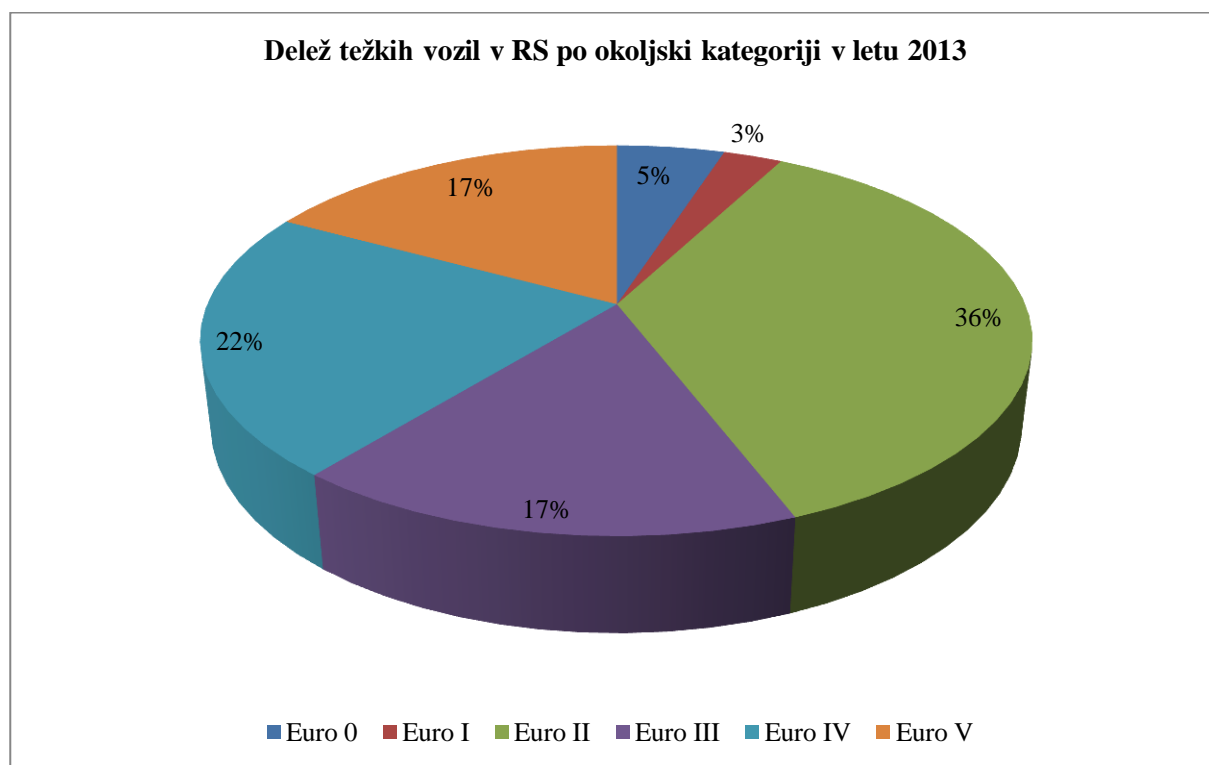
Adopted figure 4: Average and maximum average annual concentrations of PM_{10} (ARSO, 2013a)

Za razpršeno emisijo PM_{10} šteje emisija delcev zaradi resuspenzije delcev (npr. zaradi prometa, vetra ...) tako na cestnih površinah kot na drugih utrjenih površinah, emisija zaradi gradbenih in rušitvenih del v gradbeništvu, odpadni plini iz obratovanja naprav v industriji mineralnih surovin ter emisija prahu iz kmetijskih in drugih zemljišč zaradi vetra. Pri zgorevanju goriv v kurilnih napravah v široki rabi večina emisije nastane pri zgorevanju lesa. Podrobnejša analiza podatkov o prometnih tokovih ob

uporabi tehnologije COPERT 4 (računalniški program za oceno emisij iz cestnega prometa) v letih 2011 in 2012 pokaže, da je delež emisije PM_{10} iz cestnega prometa, ki ga povzroča tranzitni cestni promet, okoli 40 % celotne emisije iz cestnega prometa ali okoli 2,9 kt PM_{10} letno, oziroma 15 % celotne letne emisije PM_{10} .

2.4 Vpliv deleža težkega cestnega prometa na povečanje delcev (PM_{10})

Za ovrednotenje vpliva težkega cestnega prometa z emisijami in posledično s trdnimi delci se za potrebe tega magistrskega dela upoštevajo vsa težka dizelska vozila, ki so bila po podatkih ARSO (ARSO, 2013a) v Republiki Sloveniji v uporabi leta 2013 kot težka tovorna vozila in mestni ter drugi avtobusi. Razdelitev deleža po okoljski kategoriji se upošteva od razreda Euro 0 do Euro V. Vsa ostala dizelska vozila, osebna in kombinirana, pa predstavljajo drugi del vozil od celote vseh dizelskih vozil (544.433), ki so bila v uporabi leta 2013. Tako je delež težkih vozil komaj 7 % s skupnim številom 38.306 vozil v letu 2013.



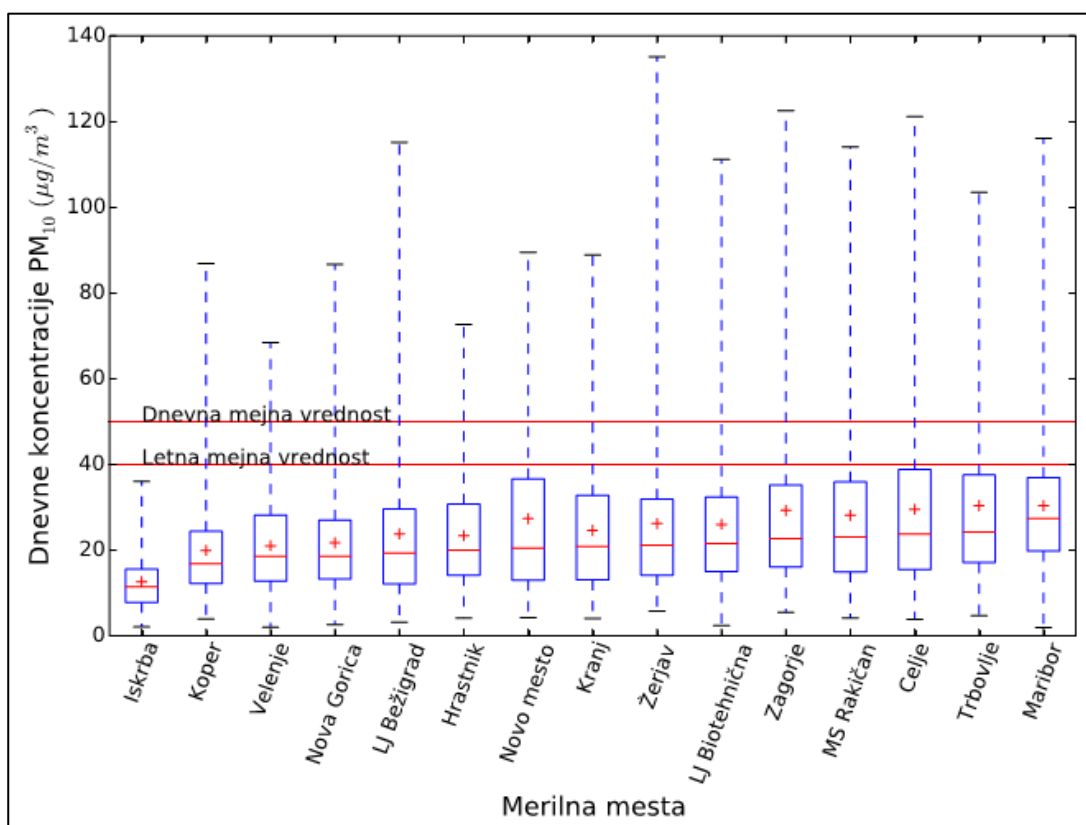
Grafikon 1: Delež vozil v RS po okoljski strategiji v letu 2013

Graph 1: The proportion of vehicles in RS the environmental strategy in 2013

2.5 Načini meritev in rezultati delcev (PM_{10})

Meritve delcev PM_{10} se na večini lokacij izvajajo z referenčnim merilnikom (Bolte et.al., 2007) Leckel. To je avtomatski vzorčevalnik z nizkim volumenskim pretokom. Vzorčevalnik je narejen za zunanje meritve pri vseh temperaturah in pogojih okolja. V magazinu je 15 filtrov, ki jih vzorčevalnik

samodejno menja ob datumu in uri, ki ju nastavimo. Pretok zraka skozi vzorčevalnik je konstanten, in sicer okoli $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Celoten vzorčevalni sistem se hladi s tokom zraka. Temperatura pretoka zraka se meri neposredno za filtrom, ko je le-ta v poziciji vzorčevanja. Pretok skozi vzorčevalnik je $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$, odklon od določene točke je $< 1 \%$, minimalni čas vzorčevanja na enem filtru je 1 ura, maksimalni čas pa 168 ur. Vzorčevalnik je običajno na vseh lokacijah lociran na strehi kontejnerja, tako je zajem vzorca na višini od 2 do 3,5 m od tal okolice. Časovna resolucija ekspozicije je nastavljena na 24 ur na enem filtru, začetek je ob 0:00 uri po lokalnem času. Kot medij za zbiranje delcev se uporabljajo kvarčni filtri Whatman, ki se jih pred vzorčenjem in po njem stehta (tehtnica Sartorius ali podobne). Filtre se pred vzorčenjem žari v žarilni peči, 3 ure pri $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Tehtanje filtrov se izvaja v skladu s standardom EN 12341. Filtre se pred vzorčenjem in po njem kondicionira 48 ur pri relativni vlagi $50 \pm 5 \%$ in temperaturi $20 \pm 1^\circ\text{C}$.



Prevzeta slika 5: Porazdelitev dnevnih vrednosti PM_{10} v letu 2013 za merilna mesta (Cegnar et al., 2014, str. 18)

Adopted figure 5: Distribution of daily PM_{10} values in 2013 for measurement points (Cegnar et al., 2014, p.18)

Pregled izmerjenih vrednosti delcev PM_{10} v letu 2013 je prikazan na (privzeti sliki 5). Najvišja dnevna vrednost v letu 2013 je bila izmerjena v Žerjavu. Na vseh lokacijah so bile najvišje koncentracije

izmerjene v zimskem obdobju, prav tako je do preseganj dnevne mejne koncentracije prihajalo skoraj izključno v hladnejšem obdobju leta, med oktobrom in aprilom.

Podatki o izpustih iz zgorevanja goriv so večinoma izračunani z uporabo statističnih podatkov o rabi goriv, kurilnih vrednosti goriv in emisijskih faktorjev. Za izračun izpustov iz cestnega prometa pa uporabljamo še vrsto drugih podatkov, najpomembnejši so podatki o vrsti in številu vozil ter prevoženih kilometrih. Priporočena metodologija za izračun izpustov onesnaževal zraka je EMEP/EEA (Zbirka podatkov o izpustih v zrak, ki temelji na oceni izpustov, izračunani na podlagi uporabe statističnih podatkov) metodologija, ki jo pripravlja mednarodna skupina za evidence izpustov in projekcij TFEIP (Protokol za posredovanje podatkov o meritvah onesnaženosti zraka med članicami EU) pod okriljem EEA. Za izračun izpustov iz cestnega prometa uporabljamo model COPERT 4, ki je bil razvit v okviru EEA. Model uporablja različne emisijske faktorje glede na vrsto goriva, starost in vrsto vozila, hitrost vožnje kot tudi klimatske pogoje. Izpusti so izračunani iz podatkov o prodanem gorivu, saj mednarodna zakonodaja zahteva, da se izpusti iz goriva, ki je bilo prodano v Sloveniji, prišteva k slovenskim izpustom, četudi je bilo gorivo prodano tujcem in porabljeno v tujini.

2.6 Opis in uporaba metodologije COPERT IV

Tako kot vse države članice EU mora tudi Slovenija na EEA poročati o državnih emisijah skladno z zahtevami direktive o nacionalnih zgornjih mejah emisij za nekatera onesnaževala zraka (Direktiva o nacionalnih zgornjih mejah emisij za nekatera onesnaževala zraka, 2001). Za poročanje o nacionalnih emisijah onesnaževal iz prometa uporablja program COPERT IV (Računalniški program za oceno emisij iz cestnega prometa), ki je tudi eden od modelov za nadzor emisij iz cestnega prometa, ki ga je razvil Laboratorij za uporabno termodinamiko Univerze v Solunu v Grčiji. Program je od junija 2015 dosegljiv na spletni strani <http://emisias.com/products/copert-4/download> v testni (demo) verziji 11.3, vendar za uporabo ni primeren, saj omogoča vnos samo ene vrste emisije vozila, in sicer Euro 1. Model predvideva povprečne potovalne hitrosti, ki so najpogosteje uporabljene, izračuni pa temeljijo na povprečnih vrednostih emisij na vožnjo z upoštevanjem povprečne hitrosti posameznega emisijskega razreda. S programom COPERT IV lahko izračunamo emisije onesnaževal: CO, CO₂, NO_x, NO₂, N₂O, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, NMVOC (nemetanski lahkohlapni ogljikovodiki), CH₄, težkih kovin, PAH (policiklični aromatski ogljikovodiki) in POPs (nerazgradljive organske spojine), ki nastajajo pri zgorevanju goriv v motorjih vozil cestnega prometa. Zelo pomembni pa so vhodni podatki, ki jih moramo vnesti v program. Sam program ponuja 105 različnih vrst vozil, kar je v praksi z našimi dostopnimi podatki iz evidence ARSO, ki jih zbira preko evidenc (ARSO, 2013b) Ministrstva za notranje zadeve, bistveno preveč, saj lahko po emisijskih stopnjah izberemo samo 6 različnih vozil. Za izračun emisij cestnega prometa s programom COPERT IV je treba vanj vnesti vrsto podatkov, kot so podatki o kvaliteti goriva, deležih različnih kategorij cest, hitrostih na posameznih vrstah cest, podnebnih razmerah, številu registriranih vozil, ki jih je treba razdeliti v razrede skladno z zahtevami programa, vrednosti parnih tlakov goriv RVP (Parni tlak goriva po Reidu) in povprečno dolžino

potovanja. Podatke o kvaliteti goriva predpisuje Uredba o fizikalno-kemijskih lastnostih tekočih goriv (Uredba o fizikalno-kemijskih lastnostih tekočih goriv, 2011) in glede tega ni dvoma o vnosu podatkov o gorivu. Drugi bistven podatek so prevoženi kilometri po posameznem emisijskem razredu, ki ga je treba vnesti v program. Iz priloge poročila o letnih izpustih (Logar et al., 2016), ki ga je Slovenija poslala na EEA, se za vnesene količine goriva razberejo podatki v tonah (t) in za leto 2013 se ugotovi, da so težka in lahka tovorna vozila ter avtobusi skupaj porabili 627.792 t goriva, medtem ko so samo osebna dizelska vozila porabila 665.213 t. Za prevožene kilometre pa se za leto 2013 pokažejo enake količine prevoženih kilometrov po vseh emisijskih stopnjah, in sicer 87.662 km. V metodologiji COPERT IV (Prajnc, 2013) so zahtevani trije načini vožnje, in sicer za avtoceste in primestne ter mestne ceste. Za vsak način vožnje je značilna povprečna hitrost, ki je odvisna od tipa vozila, saj so emisije in poraba goriva odvisni predvsem od hitrosti vozila. Za avtoceste so značilne hitrosti od 90 do 150 km/h, za primestna območja od 40 do 80 km/h in za mestna območja od 10 do 70 km/h. Prav tako sam program COPERT IV (Dimitris, 2012) omogoča določanje vzdolžnih nagibov vozišč v vrednosti $\pm 6\%$ in dolžino prevožene poti s hladnim motorjem ter končno število prevoženih kilometrov po posameznem potovanju.

2.6.1 Dosedanje raziskave metode COPERT IV

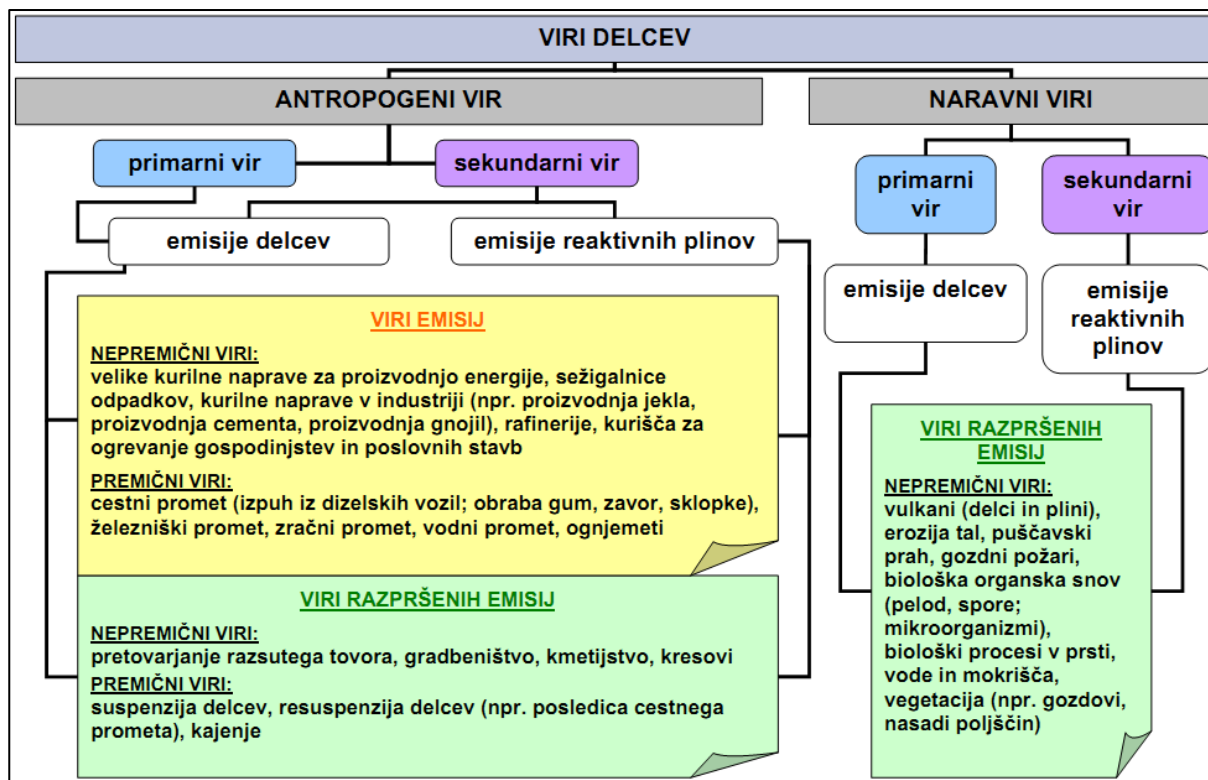
V letu 2010 je bila za mesti Maribor in Celje izvedena raziskava in pri načrtovanju prometnih ukrepov za zmanjšanje emisij onesnaževal v zraku uporabljena metoda COPERT IV (Prajnc, 2013). Že v vstavitvi podatkov o prometnih obremenitvah vozil so se vnesli podatki iz leta 2007, saj ni bilo drugih razpoložljivih podatkov. Prav tako so se količine prodanega goriva za to leto vnesle v količini 37.620 t dizelskega goriva. Dolžine cest so bile povzete po posameznih kategorijah po kategorizaciji občinskih in državnih cest na tem območju. Potovalne hitrosti pa so bile povzete po povprečju RS, ki naj bi bilo 30 km/h. Pri tem se ugotavlja, da padec hitrosti iz 30 na 20 km/h pomeni povečanje delcev PM_{10} za okoli 19 % iz modela COPERT IV. Omenjena raziskava je uvedla tudi poenostavljen model, ki je predvideval porabo goriva v l/100 km in upošteval enake prometne obremenitve za obe mesti. Za mesto Maribor je raziskava pokazala, da so se vrednosti emisij PM_{10} ob uporabi poenostavljenega modela zmanjšale do 17 % pri določeni vrsti vozila ali povečale za 57 %, za Celje pa je ta odstotek manjši do 3,49 %.

2.7 Porazdelitev delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ glede na vir nastanka

Poleg delitve po velikosti se delci lahko razdelijo tudi po viru nastanka. Delci se v zunanjem zraku (ARSO, 2013a) pojavljajo kot kompleksna in heterogena mešanica trdnih in tekočih delcev. Praviloma se ti delci glede na izvor uvrščajo med:

- primarne delce (so posledica neposredne emisije prahu v zrak) in
- sekundarne delce,

ki nastajajo kot posledica kemijske reakcije med onesnaževali, kot so dušikovi oksidi, žveplov dioksid, amonijak in hlapne organske snovi (imenujejo se tudi predhodniki sekundarnih delcev). Med sekundarne spadajo tudi delci, ki so se kot depozicija odložili na tla in se ponovno dvignejo v zrak, npr. kot posledica prometa ali vetra (v nadaljnjem besedilu: resuspenzija delcev).



Prezeta slika 6: Shematski prikaz virov delcev (Vlada RS, 2009, str 13)

Adopted figure 6: Schematic representation of resources particle (Government RS, 2009, p.13)

Delci iz cestnega prometa, ki nastanejo pri izgorevanju (Vlada RS, 2009) goriva, izvirajo predvsem iz izpuha dizelskih vozil. Količina emisije delcev ni odvisna samo od količine porabljenega goriva, temveč je zelo odvisna od vrste vozila (osebno vozilo, tovornjak, ...) in motorja, od starosti vozila, načina in hitrosti vožnje (najmanj delcev nastaja pri hitrosti okrog 60 km/h). Večina delcev iz izpuha dizelskih vozil spada pod $PM_{2,5}$, ki lahko prodrejo globoko v pljuča (90 % delcev glede na maso je manjših kot $1 \mu m$). Na delcih iz izpuha dizelskih vozil so adsorbirane tudi karcinogene in mutagene snovi, kot so PAH.

2.8 Ukrepi za zmanjšanje delcev PM_{10} po količini zmanjšanja

Pri izbiri ukrepov Vlade RS (Vlada RS, 2009) zmanjševanja emisij PM_{10} je treba upoštevati učinkovitost ukrepa na podlagi podatkov o ceni posameznega ukrepa za 1 kg zmanjšanja zimske oziroma poletne emisije PM_{10} in na podlagi podatkov o razpoložljivi količini zmanjšanja zimske oziroma poletne emisije PM_{10} , izražene v kg PM_{10} , ki jo zagotavlja izvedba tega ukrepa. Ukrepe zmanjšanja emisije PM_{10} se razvrsti po cenah za njihovo izvedbo za vsako obdobje leta posebej, in

sicer od najmanjše do največje cene. Za vsak ukrep je treba določiti tudi njegovo razpoložljivo količino zmanjšanja zimske oziroma poletne emisije PM₁₀. Vrstni red izvajanja ukrepov zmanjševanja emisije PM₁₀ se določi glede na ceno in število ukrepov, ki jih je treba izvajati, in je odvisno od vsote razpoložljive količine zmanjšanja zimske in poletne emisije PM₁₀, ki jo zagotavljajo najcenejši ukrepi zmanjševanja emisij.

Prevzeta preglednica 1: Izhodiščne vrednosti za učinkovitost najbolj pogostih ukrepov zmanjševanja emisije PM₁₀ pozimi za aglomeracijo s 100 000 prebivalci (35 000 gospodinjstev) (Vlada RS, 2009 str. 136).

Adopted table 1: Baseline values for the effectiveness of the most common measures to reduce emissions of PM₁₀ winter agglomeration with 100 000 inhabitants (35 000 households) (Government RS, 2009 p. 136)

Vrsta ukrepa	Emisijski faktor (PM ₁₀ /enota proizvoda)	Količina nastajanja proizvoda v času zime (5 mesecev)	Predvidena razpoložljiva količina zmanjšanja zimske emisije PM ₁₀ (kg/5 mesecev)	Ocenjena cena izvajanja ukrepa* (€/kg)
opuščanje uporabe peči (kamina in podobno) in štedilnika na trdna goriva	900 g/GJ	40 GJ (na 1 gospod.)	25 200 kg (2 % gospod.)	13 €/kg (12 €/GJ)
zamenjava trdnih goriv na območjih s plinskim ali toplotnim omrežjem	600 g/GJ	80 GJ (na 1 gospod.)	168 000 kg (10% gospod.)	20 €/kg (12 €/GJ)
zamenjava malih in srednjih kurilnih naprav z emisijo PM ₁₀ > 90 g/GJ	500 g/GJ	80 GJ (na 1 gospod.)	280 000 kg (20% gospod.)	33 €/kg (8 000 €/kotel)
vgradnja filtra na lahko tovorno vozilo (transport blaga po mestu)	0,5 g/km	10 000 km (na 1 vozilo)	5 000 kg (1 000 vozil)	100 €/kg (3 000 €/filter)
vgradnja filtra v vozilo javnega potniškega cestnega prometa	1,2 g/km	20 000 km (na 1 vozilo)	2 400 kg (100 vozil)	21 €/kg (3 000 €/filter)
ureditev parkirišč za osebna vozila na vstopu v območje mestnega okolja	0,1 g/km (na 1 vozilo)	3 000 km (na 1 vozilo)	6 000 kg (20 000 vozil)	55 €/kg (2 mio. € za parkirišča)
vzpostavljanje okoljskih con na območju mestnega okolja	0,2 g/km (na 1 vozilo)	1 000 km (na 1 vozilo)	4 000 kg (20 000 vozil)	83 €/kg (2 mio. €)
omejevanje hitrosti vozil na obvoznici na 80 km/h, zmanjšanje okoli 25 kg/dan	-	110 kg/dan (pri 110 km/h)	1 000 kg (40 dni)	150 €/kg (1 mio. €)
čiščenje cestišč za zmanjšanje resuspenzije delcev	-	-	500 kg (40 dni)	150 €/kg (0,5 mio. €)

Iz preglednice je razvidno, da je med devetimi navedenimi ukrepi pet takšnih, ki se nanašajo izključno na področje cestnega prometa.

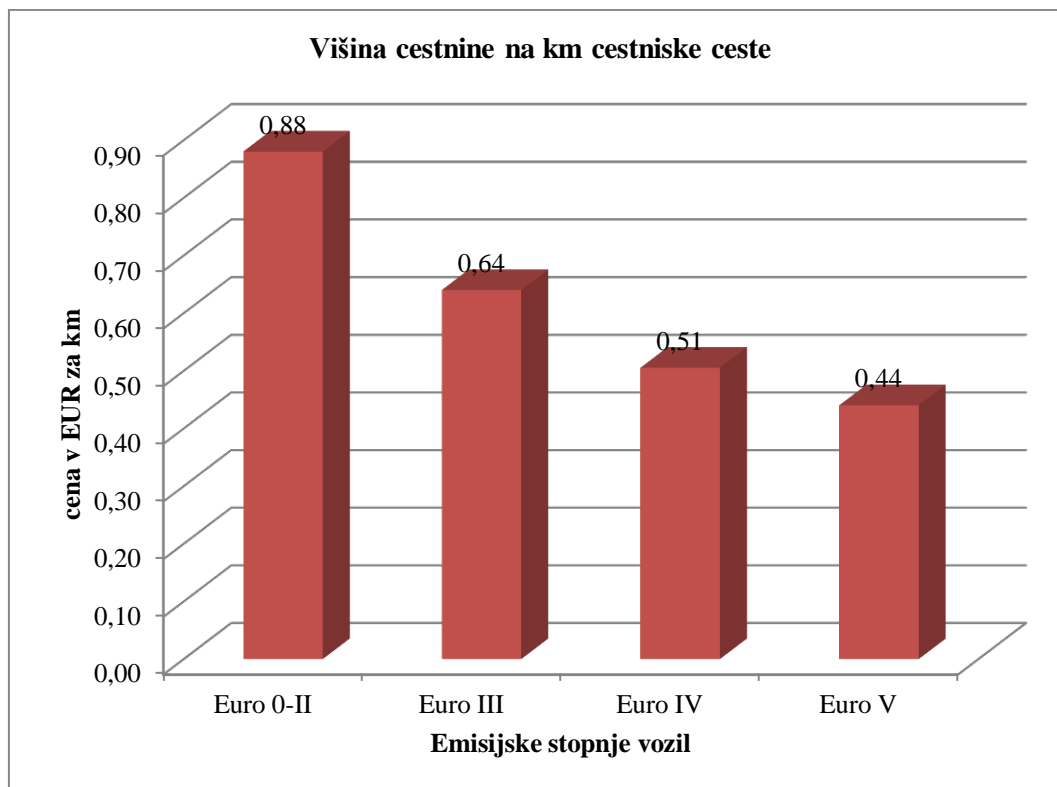
2.9 Ukrepi za omejevanje in spodbujanje težkih dizelskih vozil

Na državnem nivoju se neposredno že od leta 2011 razpisujejo finančne spodbude preko Eko sklada za (Eko sklad, 2016) nepovratna sredstva občanom za nova in predelana električna vozila, vendar med temi ni kategorije težkih tovornih vozil.

Tako se iz CEMT-a (Evropska konferenca ministrov za promet), večstranskega kontingenta prometnih dovolilnic, ki ureja usklajevanje konkurenčnih pravil med cestnimi prevozniki iz različnih držav, ki so članice tega kontingenta, določa pogoje za prevoze blaga preko držav članic. Ta večstranski kontingent spodbuja tudi uporabo okolju prijaznih in varnih vozil. S tem inštrumentom dovolilnic bi lahko država omejila vstop vozil nižjega emisijskega standarda, ki vozijo čez slovensko ozemlje. Seveda je za takšen ukrep potrebna uskladitev med državami članicami, ki sodelujejo v kontingentu, kar je seveda stvar pogajanj o izmenjavi dovolilnic in tega ukrepa ni mogoče oceniti, preden je dogovorjen in potrjen med vsemi članicami.

Po podatkih FURS-a (Finančne uprave Republike Slovenije) (Finančna Uprava RS, 2016) se iz pregleda davka na motorna vozila za kategorijo težkih tovornih vozil ne ugotovijo nobene spodbude za nakup okolju prijaznih težkih dizelskih vozil.

Edini učinkovit ukrep omejevanja okolju neprijaznih težkih dizelskih vozil, ki se je ponujal kar sam, pa je od leta 2013 Vlada RS omogočila s sprejetjem Zakona o cestnini za vozila, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg (Zakona o cestnini za vozila, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg, Uradni list RS, št. 69/08 in 109/09) in sprejemom Cenika cestnine za uporabo cestninskih cest (Cenik cestnine za uporabo cestninskih cest, Uradni list RS, št. 79/2013). Iz pregleda omenjenega cenika se ugotovi, da je cestninski razred R4 za težka motorna vozila razdelila po emisijskih stopnjah, in sicer je Euro 0 do vključno Euro II združila v eno skupino ter zanj predpisala enotno ceno cestnine po določeni cestninski cesti. Za vozila Euro III, Euro IV, Euro V in več pa tri različne cene cestnin po prevoženi določeni cestninski cesti, za katero uporabnik ob uporabi določene elektronske naprave plačuje znižano cestnino. Za ugotovitev stopnje spodbude se preračuna določena povprečno zahtevna cestninska cesta za posamezne stopnje in ugotovi naslednje višine cestnin.



Grafikon 2: Višina cestnine za različne emisijske stopnje vozil

Graph 2: The toll rates for different emission rates of vehicles

Iz zgornjega grafa (graf 2) se vidi, da je emisijska stopnja Euro 0–II brez znižanja oziroma popustov in se plačuje v povprečju do 0,88 evra/km, za emisijsko stopnjo Euro III se plačilo zniža za 27,7 %, za Euro IV za 42,6 %, za Euro V ali več pa se cestnina zniža za 50 % glede na konvencionalno emisijsko stopnjo vozila.

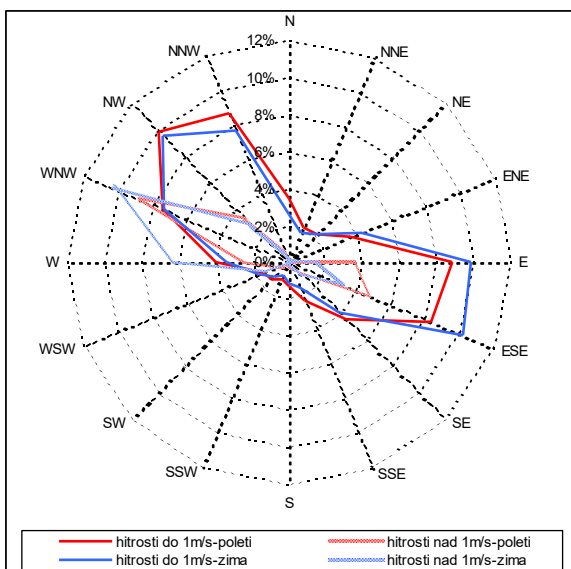
2.10 Vpliv vetra na širjenje delcev glede na višino zgradb v mestih (cestni kanjon)

Na območju z ravno površino in brez ovir se za širjenje primarnih delcev z vetrom zaradi emisije iz cestnega prometa in kurilnih naprav za ogrevanje stavb lahko uporabi poenostavljen računski model na podlagi Gaussove disperzijske funkcije (Vlada RS, 2009) (poenostavljen model disperzije delcev). Zaradi disperzije se v takih primerih koncentracija PM_{10} z razdaljo od virov onesnaževanja zmanjšuje, delci pa se razširjajo tudi pravokotno na smer vetra (navpično ter bočno na smer vetra). Pri neoviranem širjenju delcev je koncentracija PM_{10} na vsakem merilnem mestu, ne glede na njegovo razdaljo od vira onesnaževanja, sorazmerna gostoti in intenzivnosti emisijskih virov, zaradi potovalne hitrosti delcev v smeri z vetrom pa je koncentracija PM_{10} ne glede na razdaljo od vira onesnaževanja tudi obratno sorazmerna hitrosti vetra, ki prenaša delce od vira onesnaževanja do merilnega mesta. H koncentraciji PM_{10} , ki jo na merilnem mestu v smeri vetra povzročajo bližnji vplivni viri onesnaževanja, je treba prišteti tudi koncentracijo PM_{10} , ki je v zraku zaradi daljinskega transporta

onesnaževal. Če v urbanem okolju emisijo PM_{10} povzročata cestni promet ali male kurilne naprave, namenjene ogrevanju prostorov stavb, je koncentracija PM_{10} , ki jo povzročajo ti viri na merilnem mestu, sorazmerna velikosti območja poselitve, od koder piha veter in prinaša onesnaževala na merilno mesto. Daljinski transport onesnaževal sestavljata čezmejni daljinski transport PM_{10} in transport PM_{10} iz virov onesnaževanja v regiji, ki na merilnem mestu prispevajo k regionalnem ozadju onesnaženosti zunanjega zraka. Na merilnem mestu je koncentracija PM_{10} , ki jo povzročata regionalni daljinski transport, praviloma obratno sorazmerna s hitrostjo vetra, ker je za razsežnost posameznih con velika verjetnost, da sta smer in hitrost vetra pri virih onesnaževanja, ki prispevajo k regionalnemu daljinskemu transportu, zelo podobni smeri in hitrosti vetra na merilnem mestu. Korelacija hitrosti in smeri vetra med merilnim mestom in krajem emisije PM_{10} iz regionalnih virov onesnaževanja postane zanemarljiva samo v primeru poletnih turbulentnih gibanj zračnih mas, ki jih povzročata vzgon zraka zaradi segretyh tal, predvsem tistih na pozidanih območjih. Ovire, ki so v smeri vetra med virom onesnaževanja in merilnim mestom, praviloma zmanjšujejo hitrost vetra na mestu vzorčenja, na meritev koncentracije PM_{10} pa nimajo vpliva, razen če je merilno mesto znotraj turbulentnega predela izza ovire.

2.11 Širjenje delcev glede na smeri vetra v Celju

Na sliki (prevzeta slika 7) je iz rože vetrov (Vlada RS, 2009) razvidno, da na območju merilnega mesta Celja piha veter v letnem povprečju skoraj izključno iz zahod-severozahoda in vzhod-jugovzhoda s hitrostjo pod 1 m/s, s hitrostjo nad 1 m/s pa vetra skoraj ni oziroma piha z višjo hitrostjo. Merilno mesto je umeščeno v pozidanem predelu goste poselitve mesta Celja, kjer so bližnje stavbe razporejene tako, da ovirajo prosto gibanje zračnih mas predvsem iz jugovzhoda in delno tudi severovzhoda. Posledično te ovire na merilnem mestu Celje zmanjšajo hitrost vetra za okoli 50 %.



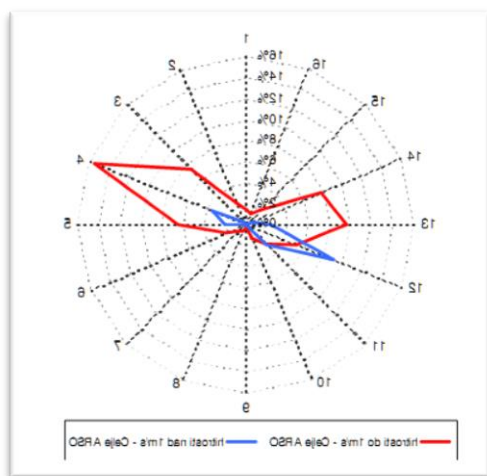
Prevzeta slika 7: Rože vetrov in hitrosti na merilnem mestu Celje (Vlada RS, 2009, str. 174) .

Adopted figure 7: Flowers winds and speed on the measuring site Celje (Government RS, 2009, p. 174)

Ker veter nad mestom Celje pretežno piha iz jugozahoda in severovzhoda, to je v smeri, ki je za okoli 45° odklonjena od smeri vetra na merilnem mestu, je razmerje med hitrostmi na merilnem mestu Celje in hitrostmi vetra, ki piha nad strehami bližnjih stavb, približno enako $\cos(45^\circ)$.

2.12 Dosedanje raziskave delcev PM₁₀ na merilnem mestu Celje

Raziskavo opredeljevanja virov delcev PM₁₀ na merilnem mestu v Celju je izvedla ARSO (Koleša et al., 2011) z izključnim namenom ugotoviti delce, ki jih povzročajo različni viri. Vzorčenje se je izvajalo v dveh časovno ločenih delih, razdeljenih na zimski in poletni del.



Prevzeta slika 8: Rože vetrov in hitrosti na merilnem mestu Celje (Koleša et al., 2011, str. 12)

Adopted figure 8: Flowers winds and speed on the measuring site Celje (Koleša et al., 2011, p. 12)

Že v osnovi so ugotovili, da je zimski del koncentracij bistveno večji od letnega. Prav tako je bila na omenjenem vzorcu narejena kemijska analiza PAH, ionov, elementarnega in organskega ogljika. Statistični model PCA (Statistični model določanja skupne odvisnosti od značilnih elementov za posamezen emisijski vir) določi skupno odvisnost od značilnih elementov za posamezen emisijski vir. Cilj metode PCA je poiskati tiste vire, ki nosijo največ informacij. Največji delež dnevne obremenitve z delci PM₁₀ so pripisali k deležu prometa z 31 % ($\sim 15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) emisij delcev PM₁₀; gre za mešanico dveh virov: prometa in industrije. Večina vseh indikatorjev, ki jih je izpostavil statistični model PCA, je značilna za oba vira, zato je težko ovrednotiti njun prispevek posamezno. Tudi drugi vir emisij s 24 % ($\sim 12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) predstavlja kurjenje lesa. PAH so indikator za promet in kurjenje lesa (biomasa, individualna kurišča na drva). V Avstriji so s študijo dokazali, da naj bi bilo razmerje za emisije PAH 20 % prometa in 80 % kurjenje lesa. Na tretjem mestu so bili s 17 % ($\sim 8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) delci PM₁₀, ki imajo vir sekundarnega izvora. Sekundarni delci so delci, ki jih prinese od drugod in nimajo lokalnega vira, indikatorja sta sulfat in amonij. Na četrtem mestu vira z 9 % ($\sim 4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) je v celoti resuspenzija.

Aluminij, kalcij in elementarni ogljik so indikatorji za cestni prah. Iz rože vetrov pa se vidi, da sta smer in hitrost vetra na merilnem mestu Celje zelo podobna v letu 2007.

2.13 Porazdelitev emisij z PM_{10} iz cestnega prometa

Emisijski modeli (Vlada RS, 2009) za cestni promet izražajo emisijo PM_{10} iz cestnega prometa v masi PM_{10} na km vožnje motornega vozila, s tem da je emisijski faktor reprezentativna vrednost, ki izraža količino onesnaževala, izpuščenega v okolje zaradi rabe posamezne vrste in tipa motornega vozila. Emisijski faktorji izražajo povprečno emisijo PM_{10} zaradi:

- izpuha odpadnih plinov iz motorja motornega vozila v njegovi pričakovani življenjski dobi,
- neposredne emisije delcev, ki nastajajo zaradi obrabe zgornjega sloja cestišča,
- neposredne emisije delcev, ki nastajajo zaradi obrabe gum in zavornih oblog, in
- posredne emisije delcev zaradi resuspenzije.

Obraba cestišča je neposredna emisija drobnih odpadnih delcev asfaltne ali betonske prevleke cestišča in nastaja zaradi trenja med cestiščem in avtomobilskimi gumami. Obraba cestišča je najmanj dvakrat večja, če je površina cestnega tlaka mokra.

Hitrost obrabe avtomobilskih gum in zavornih oblog je odvisna od vrste gum, sestave zgornjega sloja cestišča, lastnosti motornega vozila in njegove hitrosti. Obraba zavornih oblog je največja na območju cestnih križišč. Neposredno emisijo delcev zaradi obrabe gum sestavljajo delci gume, saj in drugih organskih snovi, emisijski faktor zaradi obrabe avtomobilskih gum pa je za težja motorna vozila večji kot za lažja. Neposredno emisijo delcev zaradi obrabe zavornih oblog sestavljajo različni kovinski, organski in anorganski materiali. K neposredni emisiji PM_{10} zaradi obrabe avtomobilskih gum in zavornih oblog prispeva okoli polovica prahu, ki nastaja zaradi obrabe avtomobilskih gum in zavornih oblog.

Resuspenzija predstavlja posredno emisijo delcev, ki so predhodno nastali in so se usedli na površino cestišča ter se spet dvignili v zrak kot PM_{10} kot posledica pritiska avtomobilskih gum, turbulence okoli motornega vozila, dejavnosti vetra ali drugih vzrokov, kot je hoja pešcev. Vstop delcev med suspendirane snovi v zraku je odvisen od več okoljskih in meteoroloških pogojev na območju cestišča. V zrak suspendirajo le delci, katerih velikost ne presega 100 μm , v zraku pa ostanejo dlje časa le delci z velikostjo, ki je manjša od 20 μm .

Praviloma je resuspenzija iz mokrih površin cestišča manjša od resuspenzije, ki nastaja zaradi prometa na suhih površinah cestišča.

Posipavanje cestišča s peskom in soljo povzroča neposredno emisijo PM_{10} in posredno zaradi resuspenzije. Neposredna in posredna emisija PM_{10} sta večji, če posipni material vsebuje zrnca z velikostjo, manjšo od $60 \mu m$. Posredna emisija PM_{10} zaradi resuspenzije nastaja tudi zaradi drobljenja zrnca posipnega materiala na cestišču. Medsebojno delovanje avtomobilskih gum, peska in zgornje plasti cestišča praviloma povzroča dodatno obrabo cestišča in avtomobilskih gum in s tem vpliva na povečanje emisije PM_{10} iz cestnega prometa.

Obseg ocenjenih vrednosti emisijskih faktorjev za neposredno emisijo PM_{10} iz cestnega prometa brez emisije zaradi izpusta odpadnih plinov in za resuspenzijo je prikazan v prevzeti preglednici 2.

Prevzeta preglednica 2: Emisijski faktorji za neposredno emisijo PM_{10} (brez emisije izpusta odpadnih plinov) in posredne emisije zaradi resuspenzije, izraženi v masi emisije PM_{10} na km ceste. (Vlada RS, 2009, str. 70)

Adopted table 2: Emission factors for direct emissions of PM_{10} (excluding emissions discharge of waste gases) and indirect emissions due to the resuspension, expressed in weight of PM_{10} emissions per km of road. (Government RS, 2009, p. 70)

Vrsta motornega vozila	Obraba cestišča (mg/km)	Obraba avtomobilskih gum (mg/km)	Obraba zavor (mg/km)	Resuspenzija (mg/km)
Lahka motorna vozila	7	4 – 10	4 – 10	40 – 780
Težka motorna vozila	29 -38	14 – 54	23 – 41	240 – 7800
Mešan promet motornih vozil	-	-	-	650 – 3010

Primerjava dejavnikov emisije PM_{10} iz cestnega prometa pokaže, da emisijo PM_{10} zaradi izpusta dimnih plinov sestavljajo skoraj izključno $PM_{2,5}$. Delež $PM_{2,5}$ v emisiji PM_{10} , ki jo sestavljata neposredna emisija zaradi obrabe cestišča, zavor in avtomobilskih gum ter posredna emisija zaradi resuspenzije, je med 30 in 40 %.

Količina emisije PM_{10} zaradi resuspenzije je med 35 in 37 % količine emisije PM_{10} zaradi izpusta dimnih plinov oziroma med 25 in 26 % količine celotne emisije PM_{10} iz cestnega prometa.

Količina emisije PM_{10} zaradi emisije, ki jo sestavljata neposredna emisija zaradi obrabe cestišča, zavor in avtomobilskih gum in posredna emisija zaradi resuspenzije, je med 39 in 45 % količine emisije PM_{10} zaradi izpusta dimnih plinov oziroma med 29 in 30 % količine celotne emisije PM_{10} iz cestnega prometa.

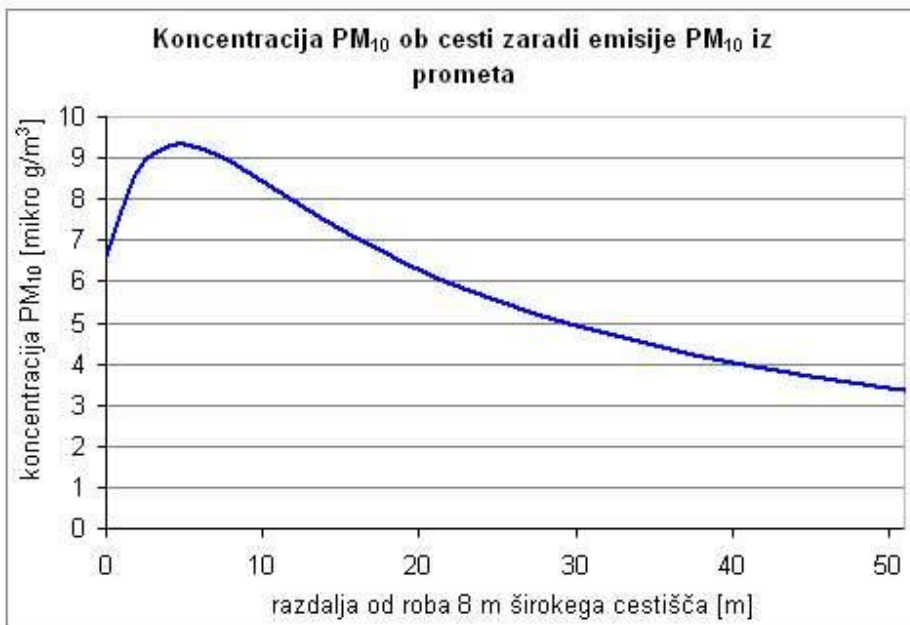
Količina emisije PM_{10} zaradi neposredne emisije zaradi obrabe cestišča, zavor in avtomobilskih gum je okoli 4 % količine celotne emisije PM_{10} iz cestnega prometa.

2.14 Postopek izračuna koncentracije PM_{10} na robu vozišča

Izračun koncentracije PM_{10} na robu cestišča je povzet po Moussiopoulos et al., 2005 prispevek posameznega voznega pasu ceste k koncentraciji K_0 se izračuna na podlagi enačbe:

$$K_{0,PM_{10}} = 0,34 \times m_{PM_{10}} + 1,4 \quad \text{kjer je:}$$

$K_{0,PM_{10}}$ koncentracija PM_{10} dodatne obremenitve zraka na robu cestišča v višini od 2 m nad cestiščem in v razdalji 8 m od sredine cestišča zaradi predvidenega prometa po 160 m dolgem cestnem odseku v urbanem okolju, ki je predmet posega; izražena je v mikro g/m^3 ; $m_{PM_{10}}$ pa je masa PM_{10} , ki jo v letnem povprečju v eni polni uri delovnega dne izpustijo v zrak motorna vozila na 160 m dolgem cestnem odseku vseh voznih pasov ceste, po katerih se odvija promet v isti smeri, izražena je v g/h.



Prezeta slika 9: Onesnaženost zunanjega zraka zaradi emisije snovi PM_{10} iz cestnega prometa v odvisnosti od razdalje od roba cestišča dvopasovne ceste v smeri vetra in pravokotno na smer osi cestišča. Vlada RS, 2009, str. 144)

Adopted figure 9: Ambient air pollution due to emission of PM_{10} from road traffic as a function of distance from the edge of the road two-lane road in wind direction and the direction perpendicular to the axis of the road. (Government RS, 2009, p. 144)

Masa PM_{10} se izračuna kot masa PM_{10} na podlagi modelnega izračuna po metodologiji (Moussiopoulos et al., 2005) COPERT 4. Za vhodne podatke pri izračunu mase PM_{10} se uporabijo podatki predvidenega povprečnega urnega pretoka motornih vozil za polno uro delovnega dne, ko je prometna obremenitev na tem odseku ceste največja, s tem da je koledarsko leto obdobje povprečenja

urnih pretokov motornih vozil, upoštevati pa je treba tudi predvideno sestavo motornih vozil v prometu.

Na sliki (prevzeta slika 9) je prikazana onesnaženost zunanjega zraka s PM_{10} zaradi emisije iz cestnega prometa v odvisnosti od razdalje od roba 8 m širokega cestišča dvopasovne ceste v smeri vetra in pravokotno na smer osi cestišča.

2.15 Vpliv delcev na zdravje ljudi

Onesnaženost zraka ima velik negativen vpliv na zdravje ljudi. Ocenjuje se (Bolte et al., 2007), da v svetu zaradi onesnaženega zraka prezgodaj umre 2 milijona ljudi na leto. Največ težav za doseganje ustrezne kakovosti zunanjega zraka v EU je pri doseganju predpisanih mejnih vrednosti za delce. V preteklih letih so bila prekomerna preseganja predpisanih mejnih vrednosti za PM_{10} zabeležena v 25 od 27 držav članic EU. Delci imajo lahko številne negativne vplive na zdravje: povzročajo in slabšajo astmo, povzročajo aterosklerozo, slabšajo obstoječe bolezni dihal, srca in ožilja, povzročajo raka itd. Smrtnost je v mestih, kjer je onesnaženost z delci velika, v primerjavi z mesti, ki imajo relativno čist zrak, povišana za 15–20 %. Ni varne mejne koncentracije, pod katero delci nimajo negativnega vpliva na zdravje ljudi. Študije kažejo, da imajo že nizke koncentracije delcev negativne vplive na zdravje. Priporočilo Svetovne zdravstvene organizacije za najvišjo letno povprečno koncentracijo delcev PM_{10} je $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je najvišja povprečna letna koncentracija, ki jo še dopušča direktiva (Direktiva o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo, 2008), $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

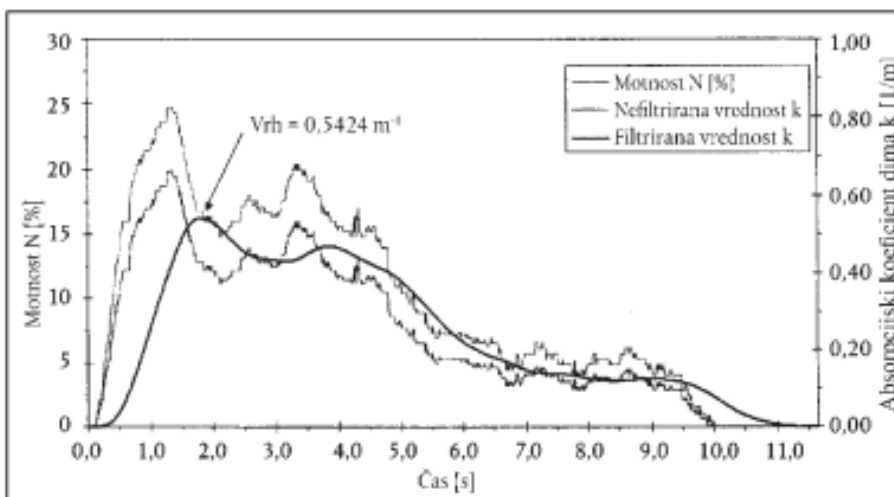
3 METODE

3.1 Postopki meritev izpušnih plinov motorjev na kompresijski vžig

Pri motorjih na kompresijski vžig ali pri vozilih z dizelskim motorjem se vrednosti emisij določajo po dveh osnovnih metodah in eni dodatni, preden se dajo na trg in se določijo njihove stopnje. Po direktivi (Direktiva o približevanju zakonodaje držav članic v zvezi z ukrepi, ki jih je treba sprejeti proti emisijam plinastih in trdnih onesnaževal iz motorjev na kompresijski vžig, ki se uporabljajo v vozilih, ter emisijam plinastih onesnaževal iz motorjev na prisilni vžig, ki za gorivo uporabljajo zemeljski plin ali utekočinjeni naftni plin in se uporabljajo v vozilih, 2005 v nadaljevanju Direktiva EU št. 55/2005) se za emisije iz izpuha motorja, ki se merijo NO_x, izvede preizkus ESC, za delce preizkus ETC ter za dimljenje preizkusu ELR.

Za vsako onesnaževalo se izračuna emisija v gramih na kilovatno uro ali v gramih na prevožen kilometer poti. Za merjenje delcev se izpušni plini razredčijo s kondicioniranim okoliškim zrakom z uporabo sistema redčenja s celotnim tokom ali sistema redčenja z delnim tokom. Za vse tri preizkuse obstajajo določene mejne vrednosti. Mejne vrednosti preizkusov ESC in ELR so navedene za vse vrste emisijskih razredov motorjev, medtem ko so za preizkus ETC vedno navedene posebej.

Na sliki prevzeta slika 10 so prikazane krivulje izmerjenega neobdelanega signala motnosti ter nefiltriranih in filtriranih koeficientov absorpcije svetlobe (vrednost k) prve stopnje obremenitve pri preizkusu ELR, nakazana je tudi največja (temenska) vrednost $0,5424 \text{ m}^{-1}$. Filtriranje je bilo izvedeno s konstantami Besselovega algoritma, ki se za začetek postopka postavijo na nič. Zaradi velikega števila podatkov so v tabeli samo odseki krivulje dimljenja, ki so okrog začetka in temena.



Prevzeta slika 10: Vrednosti pri preizkusu ELR (Direktiva EU št. 55/2005, str 226)

Adopted figure 10: The values in the test ELR (EU Directive no. 55/2005, p. 226)

Temenska vrednost $0,5424 \text{ m}^{-1}$ pokaže absorpcijski koeficient dima $k = 0,5424 \text{ m}^{-1}$. Tako se z omenjenimi preizkusi določajo stopnje dimljenja, ki imajo določene mejne vrednosti po direktivi

(Direktiva EU št. 55/2005), in korigirani absorpcijski koeficienti glede na okolico za vsako posamezno vrsto motorja, kar se mora vpisati na deklaracijo motorja oziroma na homologacijo vozila, preden gre na tržišče. Tako je določena tudi specifična masa ogljikovega monoksida, vseh ogljikovodikov, dušikovih oksidov in delcev, na podlagi preskusa ESC, ter motnosti dima, določena na podlagi preskusa ELR in ne sme presegati vrednosti, ki jih določa omenjena direktiva (Direktiva EU št. 55/2005).

3.2 Postopki meritev emisij izpušnih plinov pri tehničnem pregledu

Meritve emisij izpušnih plinov so sestavni del vsakega tehničnega pregleda vozila. Postopek merjenja izpušnih plinov pri dizelskem motorju se izvaja z merilniki, ki jih je določil Pravilnik o meroslovnih zahtevah za merila za merjenje izpušnih plinov motornih vozil na kompresijski vžig (Pravilnik o meroslovnih zahtevah za merila za merjenje izpušnih plinov motornih vozil na kompresijski vžig, 2001). Ta pravilnik se nanaša na merila, ki so namenjena kontroli motornih vozil na kompresijski vžig in ki so izdelana kot merila za meritev motnosti. Merilna veličina pri merilih za meritev motnosti je sprememba jakosti svetlobnega toka pri prehodu svetlobe skozi izpušne pline zaradi saj, dispergiranih v izpušnih plinih. Spremembo jakosti svetlobnega toka določata koeficient motnosti k , izražen v (m^{-1}), in alternativna stopnja motnosti N , izražena v %. Stopnja motnosti (%) je določena kot $100(1 - \tau)$, pri čemer je to prepustnost. Ta definicija velja za dolžino poti svetlobe 430 mm. Koeficient motnosti (m^{-1}) je določen kot $(1/d) \ln(1/\tau)$, kjer je d debelina plasti izpušnih plinov.

Območje kazanja mora biti za:

- koeficient motnosti k : od 0 do 9,99 (m^{-1}),
- stopnjo motnosti: od 0 do 99,9 %.

Merilno območje mora ležati znotraj območja kazanja in mora biti za:

- koeficient motnosti: od 0 do 5,50 (m^{-1}),
- stopnjo motnosti: od 0 do 99,9 %.

Najmanjša vrednost razdelka kazalne naprave je lahko največ:

- 0,02 (m^{-1}) za koeficient motnosti,
- 0,1 % za stopnjo motnosti.

Predpisani obratovalni pogoji so:

- a) temperatura okolice: od 5 °C do 40 °C,

- b) relativna vlažnost zraka: do 90 %,
- c) spremembe omrežne napetosti: od -15 % do +10 % omrežne napetosti,
- d) spremembe omrežne frekvence: ± 2 % omrežne frekvence.

Največji dopustni pogrešek je:

- za koeficient motnosti: $\pm 0,3$ (m^{-1}),
- za stopnjo motnosti: ± 5 % (absolutni pogrešek).

Merjenje dimnosti dizelskih motorjev po (Direktiva o homologaciji motornih vozil in motorjev glede na emisije iz težkih vozil (Euro VI) in o dostopu do informacij o popravilu in vzdrževanju vozil ter o spremembi Uredbe (ES) št. 715/2007 in Direktive 2007/46/ES ter o razveljavitvi direktiv 80/1269/EGS, 2005/55/ES in 2005/78/ES po direktivi (Direktiva EU št. 595/2009) obsega naslednje postopke:

- vizualni pregled vozila,
- segrevanje motorja na delovno temperaturo,
- tri čistilna pospeševanja,
- tri meritve absorpcije svetlobe k (m^{-1}) in določitev aritmetične srednje vrednosti faktorja k ,
- vrednotenje rezultatov.

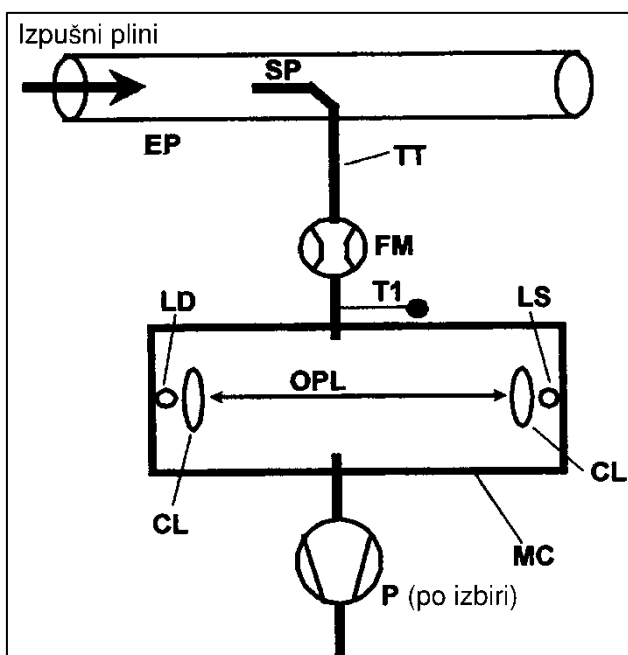
Aritmetična srednja vrednost koeficientov dimnosti (k) izpušnih plinov, izmerjenih pri zadnjih treh zaporednih pospeševanjih, ne sme preseči vrednosti, ki jo je podal proizvajalec vozila (absorpcijski koeficient). V primeru, da referenčnih vrednosti za posamezno vozilo ni na razpolago, dimnost ne sme preseči najvišje predpisane vrednosti, predpisane s pravilnikom o minimalnim zahtevah, ki jih morajo izpolnjevati nekatere naprave in oprema vozil v cestnem prometu, kjer je določeno, da faktor dimnosti ne sme preseči vrednosti, ki jo poda proizvajalec vozila, če pa teh vrednosti ni, ne sme preseči naslednjih vrednosti:

- $k = 2,5$ m^{-1} za sesalne motorje,
- $k = 3,0$ m^{-1} za nadtlačno polnjene motorje.

Pasovna širina posameznih koeficientov dimnosti (Δk) izpušnih plinov ne sme preseči $0,5$ m^{-1} . Pasovna širina je definirana kot razlika med največjim in najmanjšim koeficientom motnosti (k) izpušnih plinov, izmerjenim pri zadnjih treh pospeševanjih. V primeru, da je po prvem čistilnem pospeševanju izmerjena vrednost dimnosti izpušnih plinov v okviru določenih referenčnih vrednosti, se postopek meritev zaključi in se kot rezultat meritve upošteva ta vrednost.

3.2.1 Postopek meritev v celotnem in delnem merilnem toku

Uporabita se lahko dva (Direktiva EU št. 55/2005) splošna tipa merilnika motnosti v delnem in celotnem toku. Ker se bom v nalogi ukvarjal samo z meritvami v delnem merilnem toku, bom opisal le ta postopek. Pri merilniku motnosti v delnem toku se iz izpušne cevi odvzame reprezentančen vzorec izpušnih plinov in pošlje skozi merila v merilno komoro. Pri tem tipu merilnika motnosti je dejanska dolžina optične poti funkcija konstrukcije merilnika motnosti. Odzivni časi, navedeni v nadaljevanju, se nanašajo na najmanjšo stopnjo pretoka merilnika motnosti, ki jo določi proizvajalec merila.



Prezeta slika 11: Merilnik motnosti v delnem toku (Direktiva EU št. 55/2005, str. 208)

Adopted figure 11: The opacimeter partial flow (EU Directive no. 55/2005, p. 208)

EP – izpušna cev mora biti od konice sonde ravna najmanj 6 premerov cevi v smeri proti toku in 3 premere cevi v smeri s tokom.

SP – sonda za vzorčenje naj bo odprta cev na ali ob središčni črti izpušne cevi, ki gleda v smeri proti toku. Razmik od stene zadnjega (izstopnega) dela izpušne cevi naj bo najmanj 5 mm. Premer sonde mora zagotavljati reprezentančno vzorčenje in zadosten pretok skozi merilnik motnosti.

TT – cev za prenos vzorca:

- mora biti čim krajša in mora ob vstopu v merilno komoro zagotavljati temperaturo izpušnih plinov $373 \pm 30 \text{ K}$ ($100 \text{ °C} \pm 30 \text{ °C}$);
- mora imeti temperaturo sten zadosti višjo od rosišča izpušnih plinov, da se prepreči kondenzacija;
- mora imeti po vsej dolžini enak premer kot sonda za vzorčenje;

- mora imeti odzivni čas pri najmanjšem pretoku merila krajši od 0,05 s;
- ne sme bistveno vplivati na največjo koncentracijo dima.

FM – naprava za merjenje pretoka je merilo za zaznavanje pravilnega pretoka v merilno komoro. Največjo in najmanjšo stopnjo pretoka določi proizvajalec merila in mora biti takšna, da sta izpolnjeni zahtevi o odzivnem času TT in dolžini optične poti. Naprava za merjenje pretoka je lahko nameščena v bližini črpalke za vzorčenje P, če se le-ta uporablja.

MC – merilna komora mora imeti neodbojno notranjo površino ali enakovredno optično okolje. Škodljivi vpliv razpršene svetlobe na detektor zaradi notranjih odbojev ali učinkov razprševanja je treba zmanjšati do najmanjše možne mere. Tlak plinov v merilni komori se od atmosferskega tlaka ne sme razlikovati za več kot 0,75 kPa. Če to s konstrukcijo ni mogoče, je treba merilnik motnosti pretvoriti na atmosferski tlak. Temperatura sten merilne komore se nastavi na območje od 343 K (70 °C) do 373 K (100 °C) ± 5 K, v vsakem primeru pa zadosti nad rosiščem izpušnih plinov, da se prepreči kondenzacija. Merilna komora mora biti opremljena z ustreznimi napravami za merjenje temperature.

OPL – dolžina optične poti je dolžina z dimom zamračene optične poti med svetlobnim virom merilnika motnosti in sprejemnikom, po potrebi korigirana za neenakomernost, ki je posledica stopnje spreminjanja gostote in učinka obrobni plasti. Dolžino optične poti navede proizvajalec merilnika motnosti upošteva morebitne ukrepe proti osajenosti (npr. splakovanje z zrakom). Če dolžina optične poti ni na voljo, jo je treba določiti v skladu z ISO 11614 (ISO 11614:1999).

LS – svetlobni vir naj bo žarnica z barvo temperature v območju od 2800 do 3250 K ali zelena svetleča dioda (LED) s temensko spektralno vrednostjo med 550 in 570 nm. Svetlobni vir mora biti proti osajenju zaščiten s sredstvi, ki na dolžino optične poti ne vplivajo preko meja, ki jih je postavil proizvajalec.

LD – detektor svetlobe naj bo fotocelica ali fotodioda (po potrebi s filtrom). Če je svetlobni vir žarnica, mora imeti sprejemnik v območju od 550 do 570 nm največjo spektralno občutljivost podobno kot pri fotooptični krivulji človeškega očesa (največja občutljivost), pod 430 nm in nad 680 nm pa mora biti v območju manj kot 4 % te največje občutljivosti. Detektor svetlobe mora biti proti osajenju zaščiten s sredstvi, ki na dolžino optične poti ne vplivajo preko meja, ki jih postavi proizvajalec.

CL – kolimator oziroma izstopna svetloba se kolimira v snop z največjim premerom 30 nm. Žarki svetlobnega snopa morajo biti vzporedni, z dovoljenim odstopanjem od optične osi za 3 °.

T1 – temperaturni senzor (po izbiri) za spremljanje temperature izpušnih plinov na vstopu v merilno komoro.

P – črpalka za vzorčenje za prenos vzorčnih plinov skozi merilno komoro se lahko namesti v smeri toka od merilne komore.

3.2.2 Okoljevarstvene oznake vozil - standardi Euro

Okoljevarstvene oznake, standardi Euro ali emisijske stopnje vozil se označujejo z oznakami od Euro 0 do Euro 6, in sicer z arabskimi številkami za osebna in za lahka tovorna vozila, za težka tovorna vozila in za avtobuse pa z rimskimi številkami od Euro 0 pa vse do Euro VI, kar je v veljavi od leta 2014; za potrebe tega dela so opisane samo od Euro 0 do V.

Euro 0

V to skupino so uvrščena vozila, ki so bila prvič registrirana pred 1. oktobrom 1993. Vozila, ki so bila izdelana do tega leta, spadajo v razred tako imenovanih konvencionalnih vozil, saj je njihova skupna značilnost posredno vbrizgavanje goriva v motor brez dodatne obdelave izpušnih plinov.

Euro I

V to skupino spadajo vozila, ki so bila prvič registrirana 1. oktobra 1993 ali kasneje, vendar pred 1. oktobrom 1996.

Euro II

V tej skupini so vozila, ki imajo pri podatku o okoljevarstveni kategoriji vpisano: Euro II (ali Euro 2 za osebna vozila) ali pa podatek o direktivi ES, po kateri je bilo vozilo homologirano, to je 91/542 oziroma 96/1, pri obeh z dodatno oznako B. Če pa ni oznake o direktivi, pa vozila, ki so bila prvič registrirana 1. oktobra 1996 ali kasneje, vendar pred 1. oktobrom 2001.

Euro III

V to skupino so uvrščena vozila, ki imajo pri podatku o okoljevarstveni kategoriji vpisano: Euro III (ali Euro 3 za osebna vozila) ali pa podatek o direktivi ES, po kateri je bilo vozilo homologirano, to je 1999/96 oziroma 2001/27, ali 2005/55, ali 2005/78, ali 2006/51, pri vseh z dodatno oznako A. Če pa ni oznake o direktivi, pa vozila, ki so bila prvič registrirana 1. oktobra 2001 ali kasneje, vendar pred 1. oktobrom 2005.

Euro IV

V tej skupini so vozila, ki imajo pri podatku o okoljevarstveni kategoriji vpisano: Euro IV (ali Euro 4 za osebna vozila) ali pa podatek o direktivi ES, po kateri je bilo vozilo homologirano, to je 1999/96,

ali 2001/27, ali 2005/55, ali 2005/78, pri vseh z dodatno oznako B1, oziroma 2006/51 z dodatno oznako B ali C.

Euro V

V to skupino so uvrščena vozila, ki imajo pri podatku o okoljevarstveni kategoriji vpisano Euro V (ali Euro 5 za osebna vozila) ali pa podatek o direktivi ES, po kateri je bilo vozilo homologirano, to je 1999/96 oziroma 2001/27, ali 2005/55, ali 2005/78, pri vseh z dodatno oznako B2 ali C, oziroma 2006/51 z eno od naslednjih dodatnih oznak: D, E, F, G, H, I, J ali K.

Od septembra 2014 je na voljo že najvišji emisijski standard Euro VI, ki pa glede trdnih delcev PM_{10} in dušikovih oksidov NO_x ne prinaša strožjih mejnih vrednosti kot predhodni standard Euro V. Prinaša pa že tako kot Euro V določitev števila delcev, ki lahko emitirajo na km prevožene poti; za obe stopnji sta vrednosti 6×10^{11} delcev.

Za potrebe te naloge v spodnji tabeli navajam samo podatke o mejnih vrednostih trdnih delcev in dušikovih oksidov (NO_x) za posamezno emisijsko stopnjo vozila oziroma motorja.

Prevzeta preglednica 3: Mejne vrednosti trdnih delcev po emisijskih stopnjah (Direktiva EU št. 595/2009)

Adopted table 3: Particulate limit values for emission levels (EU Directive no. 595/2009)

Emisijska stopnja vozila	Datum uveljavitev (LLLL.MM)	Mejna vrednost trdnih delcev PM_{10} v g/km	Mejna vrednost Dušikovih oksidov (NO_x) v g/km
Euro I	1992.07	0,14	-
Euro II	1996.01	0,10	-
Euro III	2000.01	0,05	0,5
Euro IV	2005.01	0,025	0,25
Euro V	2011.09	0,005	0,18

Preizkusna cikla ESC in ELR določata tri stopnje obremenitve, ki so označeni z velikimi črkami A, B in C. Vrtilne frekvence motorja A, B in C se izračunajo (Direktiva EU št. 595/2009) takole:

$$\text{Vrtilna frekvenca A} = n_{lo} + 25 \% (n_{hi} - n_{lo})$$

$$\text{Vrtilna frekvenca B} = n_{lo} + 50 \% (n_{hi} - n_{lo})$$

$$\text{Vrtilna frekvenca C} = n_{lo} + 75 \% (n_{hi} - n_{lo})$$

Pri čemer je najvišja vrtilna frekvenca motorja za to vrednost izhodne moči na krivulji moči označena z n_{hi} , najnižja frekvenca pa z n_{lo} in so v tem razmerju dodani deleži. Pri preizkusu motorja na dinamometru se upošteva naslednji delovni cikel, ki ga sestavlja 13 faz:

Prevzeta preglednica 4: Faze preizkusnih ciklov in obremenitve dinamometra motorja preskusa ESC in ELR (Direktiva EU št. 55/2008, str. 80)

Adopted table 4: Phase test cycles and load of the engine dynamometer test ESC and ELR (EU Directive no. 55/2008 p. 80)

Faza št.	Vrtilna frekvenca motorja	Odstotek obremenitve [%]	Utežni faktor	Trajanje faze [min]
1	prosti tek	—	0,15	4
2	A	100	0,08	2
3	B	50	0,1	2
4	B	75	0,1	2
5	A	50	0,05	2
6	A	75	0,05	2
7	A	25	0,05	2
8	B	100	0,09	2
9	B	25	0,1	2
10	C	100	0,08	2
11	C	25	0,05	2
12	C	75	0,05	2
13	C	50	0,05	2

Preskus se izvede po vrstnem redu številčk faz 1 do 13. V vsaki fazi deluje motor predpisani čas, s tem da se celotna sprememba vrtilne frekvence motorja in obremenitve izvede v prvih 20 sekundah. Predpisana vrtilna frekvenca se vzdržuje v območju ± 50 vrt./min, predpisani navor pa v območju ± 2 % največjega navora pri preskusni vrtilni frekvenci. Na zahtevo proizvajalca se lahko zaporedje preskusov ponovi tolikokrat, kot je potrebno, da se nabere večja masa delcev na filtru.

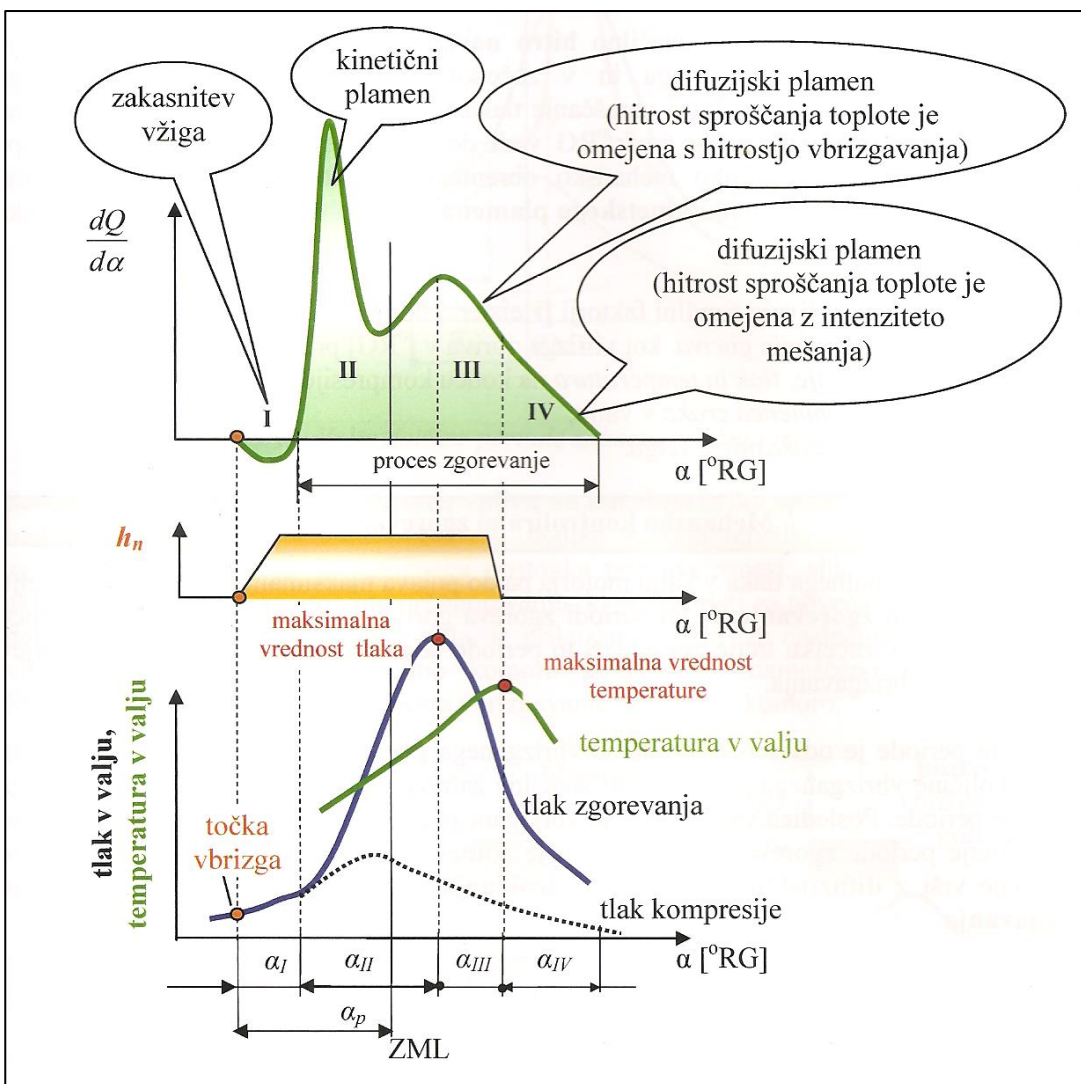
3.2.3 Potek zgorevanja pri dizelskih motorjih in škodljivi produkti zgorevanja

Pri dizelskih motorjih ločimo popolno in nepopolno zgorevanje (Fischer et al., 2011). Pri popolnem zgorevanju pri optimalnih pogojih zgorijo ogljikovodiki v ogljikov dioksid CO_2 in vodo H_2O . Pri nepopolnem zgorevanju nastajajo škodljive spojine, kot so ogljikov monoksid CO , nezgoreli ogljikovodiki HC , kakor tudi prašni delci PM . Prašni delci imajo ogljeno – sajasto jedro, na katerega se odložijo kovinski oksidi in nezgoreli ogljikovodiki. Od sistema za dobavo (Bosch, 2005) goriva in od sistema priprave zmesi goriva je večinoma odvisen sam proces in potek zgorevanja. Osnovni pogoji za nastanek saj so visoka temperatura, pomanjkanje kisika in nezadostna pomešanost reaktantov, na nastanek saj pa vpliva tudi sestava goriva in priprava delovne snovi. Emisija NO_x je odvisna od trajanja periode zakasnitve vžiga, od procesa vžiga in od vbrizgane količine goriva v času zakasnitve vžiga (Kegl, 2006).

Periode zgorevanja (Kegl, 2006) pri motorjih s samovžigom lahko v splošnem razdelimo na štiri periode:

- I – zakasnitev vžiga,
- II – zgorevanje s hitrim naraščanjem tlaka ali nekontrolirano zgorevanje,
- III – mehansko kontrolirano zgorevanje in
- IV – zakasnelo zgorevanje ali dogorevanje.

Omenjene periode so določene na osnovi karakteristik sproščanja toplote $dQ/d\alpha$, dviga igle h_n v šobi in tlaka ter temperature v valju. Trajanje posamezne periode v kotu zavrtitve ročične gredi (v nadaljevanju RG) je podano z α_I , α_{II} , α_{III} in α_{IV} .



Prezeta slika 12: Periode zgorevanja v motorju s samovžigom (Kegl, 2006, str. 163)

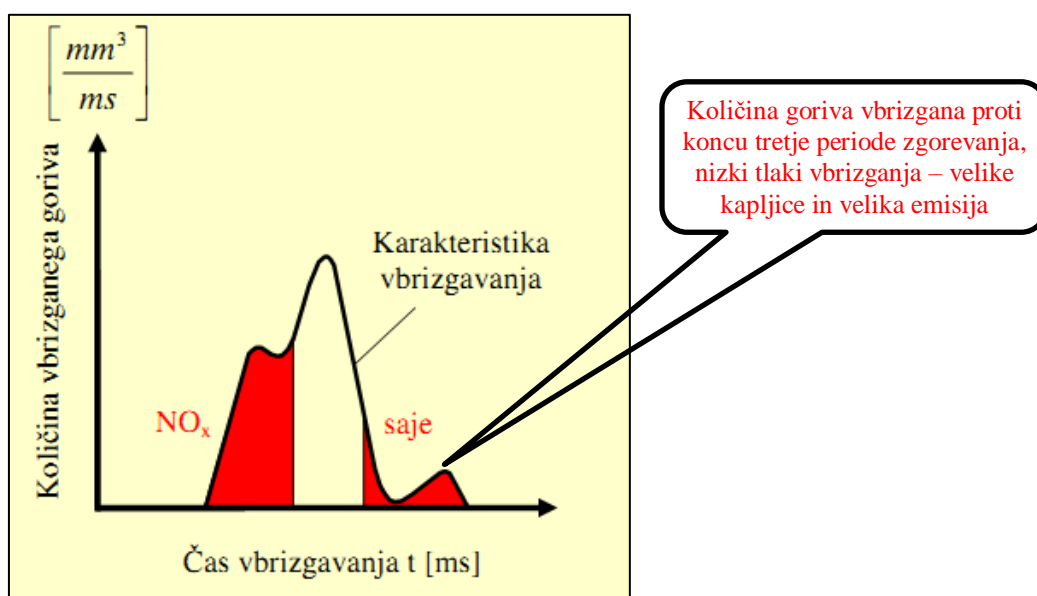
Adopted figure 12: Periods combustion engine with self-ignition (Kegl, 2006, p. 163)

Na zgornji sliki (prevzeta slika 12) je prikazano zgorevanje v motorju s samovžigom, kjer je ZML kotirana kot zgornja mrtva lega bata. Vsaka od navedenih period ima svoje specifičnosti, zato povzemam samo bistvene za razumevanje zgovalnega procesa. Za nastanek škodljivih produktov sta

pomembni prva in zadnja faza. V prvi nastajajo NO_x, v zadnji, četrti periodi pa **dogorevajo** nastali produkti kemičnih reakcij. To dogorevanje je pomembno zlasti za zgorevanje **saj**.

3.2.4 Karakteristika vbrizga goriva

Karakteristiko vbrizgavanja (Kegl, 2006) lahko podamo po času t (ms) in nam prikazuje potek količine vbrizganega goriva. Večinoma vpliva na nastanek škodljivih komponent v produktih zgorevanja, kot so NO_x in saje, zato je za doseg zmanjševanja NO_x emisij zaželena postopna rast vbrizgavanja, torej majhna vbrizgana količina goriva v začetni fazi. Prav tako je zaradi doseganja čim nižjih emisij **saj** potreben hiter spust igle oziroma majhne količine vbrizganega goriva proti koncu vbrizgavanja.



Prevzeta slika 13: Dejanska karakteristika vbrizga (Kegl, 2006, str. 169)

Adopted figure 13: The actual characteristic diagram (Kegl, 2006, p. 169)

Saje oz. PM₁₀ delci nastanejo v prvi vrsti iz ogljika v dizelskem gorivu. Najprej nastanejo komaj razpoznavni delci premera manj kot 2 nm. Nato sledi rast delcev, ki zajema njihovo strjevanje in medsebojno združitve. V splošnem velja – bolj je gorivo razpršeno, boljše je zgorevanje in manjše so emisije; vse to pa lahko dosežemo ob ustrezno krmiljenem procesu zgorevanja, ki mora zagotavljati meritev tlaka v realnem času.

3.2.5 Nove tehnologije zmanjševanja emisij pri zgorevanju dizla

Pri zmanjšanju škodljivih produktov zgorevanja dizelskega goriva igra odločilno vlogo nadzor nad zgorevanjem, ki se odraža izključno nad količino dovedenega goriva v valj motorja in porastom tlaka v valju v določeni fazi zgorevanja. Tako so slovenski raziskovalci in razvijalci za nadzor tlaka v tolminskem podjetju Hidria (Pavšič, 2015) v sodelovanju z nemškimi raziskovalci razvili dragoceno

tehnološko inovacijo – čepne svečke z nadzorom tlaka. Gre za merilce tlaka med zgorevanjem goriva v realnem času, hkrati pa čepne svečke krmilnemu sistemu omogočajo bolj optimizirano vbrizgavanje goriva. Ključni funkciji sistema sta torej stalno merjenje tlaka v valju motorja in žarilna funkcija do tisoč stopinj Celzija v dveh sekundah. Tako bo sistem Hidrie hladnega zagona dizelskega motorja z nadzorovanjem tlaka čez nekaj let zaganjal vsak tretji novi dizelski avtomobil in porabo znižal za 30 odstotkov, s tem pa se bodo vsaj za tolikšen delež zmanjšale tudi emisije PM_{10} v okolje. Predvidena serijska proizvodnja za drugo generacijo sistemov je v letu 2017 in naprej, ko bo na trgu veljala že raven Euro VII.

3.3 Postopki čiščenja izpušnih plinov dizelskih motorjev

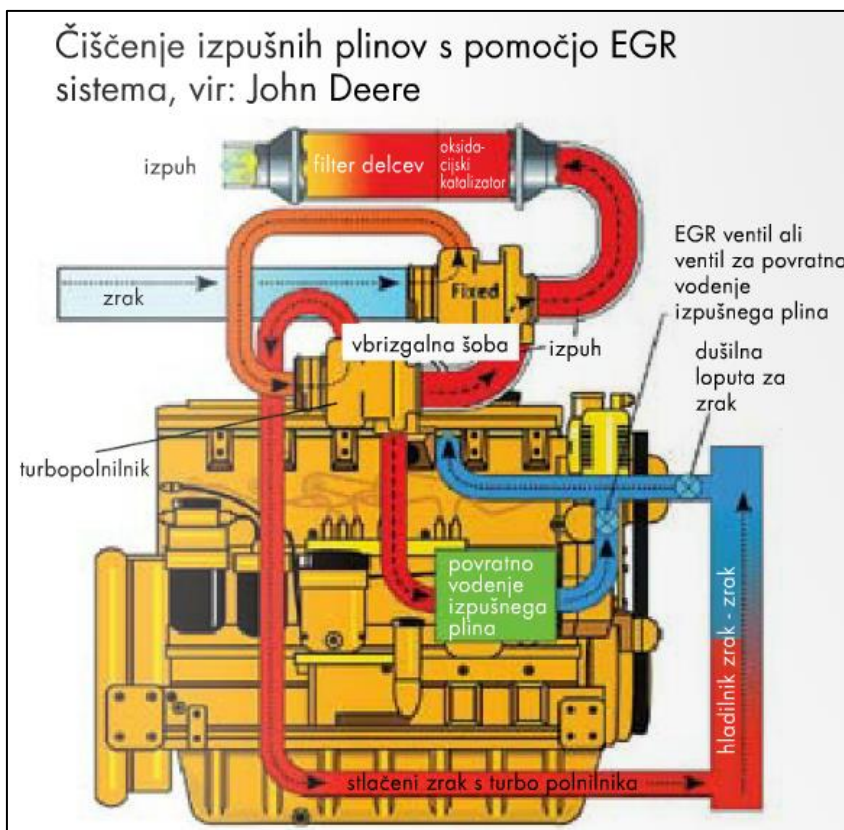
Med izpušnimi plini najdemo 60 okolju škodljivih sestavin, od katerih so najbolj nevarne:

- dušikovi oksidi,
- ogljikovodiki,
- ogljikov monoksid,
- žveplovi oksidi,
- saje oziroma trdni delci PM_{10} in $PM_{2,5}$.

Uvajanje norm Euro IV in Euro V je izkristaliziralo (Jejčič, 2014) dva osnovna načina, s katerima so proizvajalci dosegali zahtevane standarde: EGR (ang. Exhaust Gas Recirculation) – ponovno vodenje izpušnih plinov v zgorevalni prostor in SCR (ang. Selective Catalytic Reduction) – selektivna katalitična redukcija.

3.3.1 Sistem čiščenja izpušnih plinov s povratni vodenjem izpušnih plinov - EGR

EGR je tehnologija, pri kateri se izgoreli plini ponovno vračajo v valj, kjer »de facto« igrajo vlogo inertnega plina. Razlog za povratek plinov je v dejstvu, da morajo dizelski motorji delovati s t. i. presežkom zraka oziroma morajo imeti dvakratno količino zraka glede na stehiometrično količino za popolno izgorevanje celotnega goriva. To pripelje do situacije, v kateri obstajajo v valju proste molekule kisika in dušika iz zraka, ki se pod pogoji visoke temperature in tlaka spajajo. Pri tem nastajajo skrajno neželeni dušikovi oksidi (dušikov monoksid NO in dušikov dioksid NO_2), za katera uporabljamo skupno oznako NO_x . Z vračanjem izgorelih plinov je del zraka v valju zamenjan z inertnim plinom, s čimer se zmanjšuje možnost nastanka NO_x , ker je na voljo manj prostega kisika. Povratni plini lahko zavzamejo do 30 % volumna v fazi sesanja. Kot vedno pojavi v naravi vplivajo drug na drugega; povratni plini po eni strani zmanjšujejo nastajanje NO_x , po drugi strani pa je izgorevanje manj kakovostno z nekoliko nižjimi vršnimi temperaturami, kar vodi v porast količine trdnih delcev. Proces nastajanja NO_x in trdnih delcev imata nasprotne kemične dejavnike. Večji delež povratnih plinov (EGR) v vsesanem zraku pomeni večjo količino trdnih delcev PM, zato je v večini primerov nujna vgradnja filtra.



Prezeta slika 14: Čiščenje izpušnih plinov s pomočjo EGR sistema (Jejčič, 2014, str. 39)

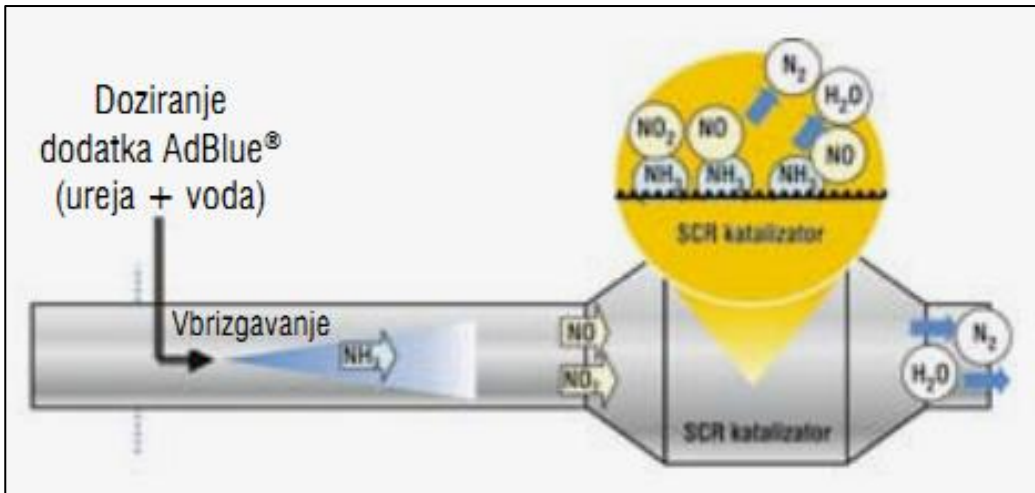
Adopted figure 14: Cleaning of exhaust gases through the EGR system (Jejčič, 2014, p. 39)

Večji delež povratnih plinov povečuje porabo goriva, zato odstotek povratnega toka nikoli ne presega od 30 do 40 %, ker bi se nad tem emisija NO_x znatno znižala, zgorevanje v valjih pa bi postalo nepopolno, kar bi povzročilo, da bi poraba goriva skokovito narastla, s tem pa bi se delež nezgorelih ogljikovodikov HC in trdnih delcev v izpušnih plinih močno povečal zaradi primanjkljaja kisika.

3.3.2 Sistem čiščenja izpušnih plinov s selektivno katalitično redukcijo - SCR

Nekateri proizvajalci so za doseganje norme Euro IV in Euro V uporabljali le tehnologijo SCR brez EGR. Gre za relativno enostavno, a učinkovito rešitev, pri kateri se v izpuh vbrizgava raztopina ureje (poznane pod trgovskim imenom AdBlue), iz katere nastaja amonijak, ki se veže z NO_x , pri tem pa nastaja nenevarni dušik in vodna para. Taka rešitev zahteva poleg vgradnje posebnega katalizatorja SCR tudi vgradnjo dodatne posode za AdBlue, ki jo je treba polniti. Potreba dodatka AdBlue je okoli 5 % porabe goriva. Glede na izjemno nizke količine škodljivih sestavin v izpuhu se je večina proizvajalcev odločila, da za doseganje norme Euro 5 uporablja kombinacijo obeh tehnologij, EGR in SCR. Z uporabo EGR se zmanjšuje količina NO_x , vendar je potrebna vgradnja katalizatorja SCR, da se popolnoma izloči NO_x . Uporabljen je tudi filter delcev, ki se periodično regenerira (najpogosteje avtomatično, razen v posebnih režimih vožnje) zaradi nekoliko večje količine trdnih delcev, povezane

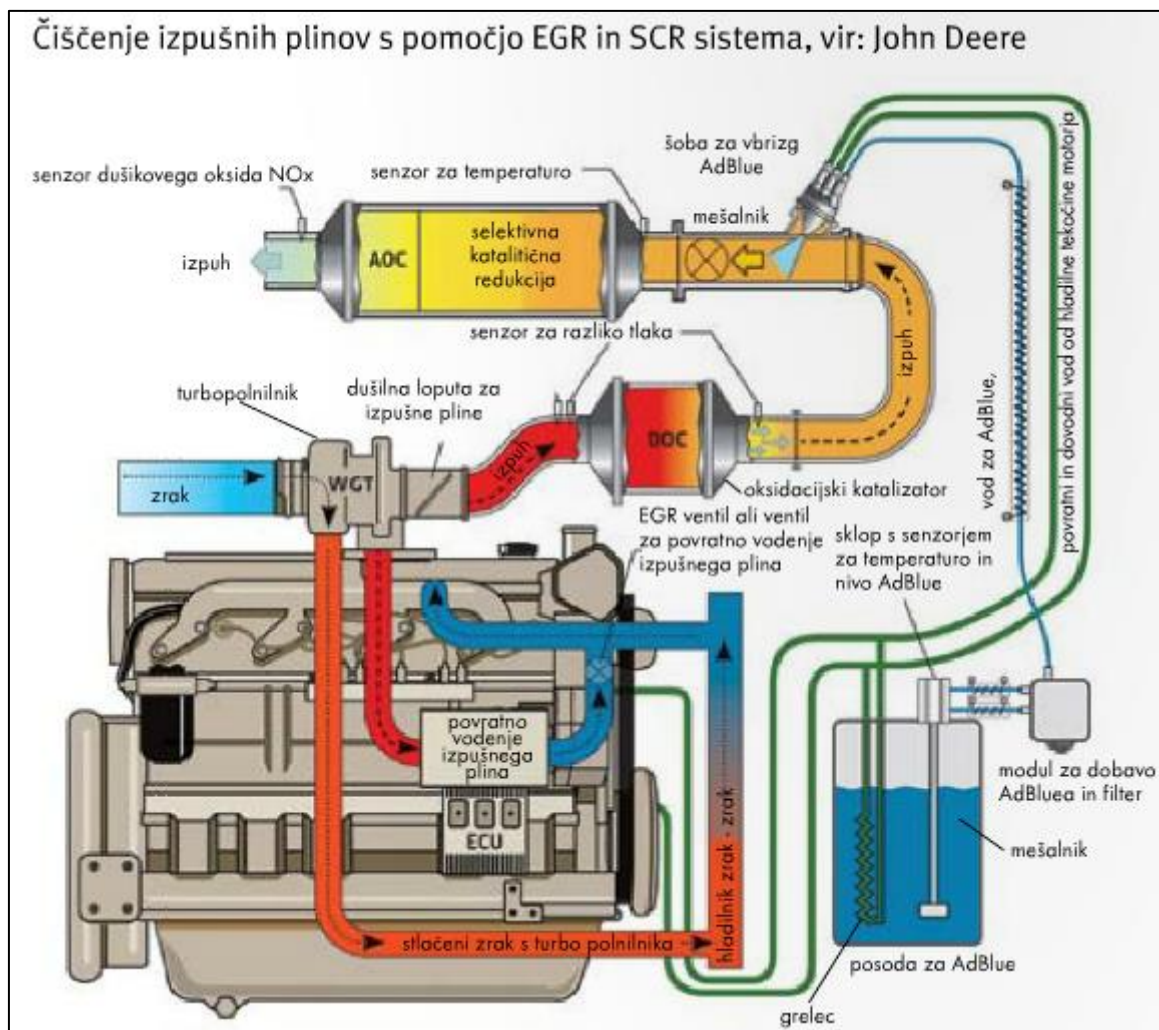
z EGR. Nekateri proizvajalci uporabljajo samo SCR, kar pomeni, da je v izpuhu relativno malo delcev (vendar je vseeno potrebna vgradnja filtra), in katalizator SCR, ki v tem primeru potrebuje nekoliko več dodatka AdBlue, ker je treba izločiti večjo količino NO_x . Prav tako je v obeh primerih nujna vgradnja dodatnega katalizatorja, ki »lovi« morebitne ostanke amonijaka iz procesa SCR.



Prezeta slika 15: Prikaz postopka sistema SCR (Jović, 2015, str. 6)

Adopted figure 15: Illustration of the SCR system (Jović, 2015, p. 6)

Čiščenje izpušnih plinov je kompleksen proces, zato se izpušni plini na izstopu iz motorja vodijo skozi dizelski oksidacijski katalizator. DOC (Dizelski oksidacijski katalizator) (Jejčič, 2014) je namenjen istočasnemu zmanjševanju emisij ogljikovega monoksida CO in ogljikovodikov HC. V njem zgorijo (oksidirajo) nezgoreli ogljikovodiki HC, ogljikov monoksid CO in en del organskih delcev ter nekatere druge snovi. V njem se ustvarijo razmere za pretvorbo škodljivih snovi v ogljikov dioksid CO_2 in vodno paro H_2O . Iz njega se lahko izpušni plini naprej vodijo skozi DPF (filter za trdne delce), ki omogoča, da se izločijo tudi najbolj fini trdni delci v izpuhu (ti delci kasneje izgorijo v procesu samočiščenja). Ko delci zapustijo filter za trdne delce, se vodijo v sistem za naknadno obdelavo izpušnih plinov s selektivno katalitično redukcijo. To pomeni, da se mora v tem sistemu zmanjšati količina dušikovih oksidov NO_x ; izraz selektivno pomeni, da sistem lahko izloči samo dušikove okside, izraz katalitična pa, da sistem to stori s pomočjo katalizatorja, v katerega se dozira kemični reagent. Za kemični reagent se uporabi 32,5 % ureje in 67,5% destilirane vode; v tej koncentraciji ni nevarna za uporabnika. Ureja v tem razmerju v motorju izpareva in po razpadu ustvarja amonijak in ogljikov dioksid, ki v katalizatorju pretvarjata dušikove okside v končni produkt – dušik in vodno paro.



Prezeta slika 16: Čiščenje izpušnih plinov s pomočjo EGR in SCR sistema (Jejčič, 2014, str. 40)

Adopted figure 16: Cleaning of exhaust gases through the EGR and SCR systems (Jejčič, 2014, p. 40)

Na koncu pred izpustom izpušnih plinov v okolje ali tudi pred izvedbo selektivne katalitične redukcije (Kegl, 2006) se ti vodijo preko filtra za trdne delce, ki ga je treba po določenem času regenerirati.

3.3.3 Sistem čiščenja izpušnih plinov s filtri za prašne delce - DPF

V lopataste zareze filtra, ki so vrezane v valovito kovinsko folijo, kjer je sintrano predivo, se ujamejo trdni delci. Regeneracija poteka (Fischer et al., 2011) neprestano s pomočjo oksidacije ogljika z dušikovim dioksidom NO_2 ; za pridobivanje tega potrebujemo v filtru katalizator in povišano temperaturo med okoli 450–500 °C. Če se ta temperatura ne dosega, se žepi oziroma kanali na filtru ne polnijo s prašnimi delci (trdnimi delci), tako tečejo neočiščeni plini naprej v ozračje. Jedro filtra je sestavljeno iz satastega keramičnega jedra in silicijevega karbida. Skozi kanale in porozne stene tečejo izpušni plini, se tam ujamejo in zapolnijo delovne površine filtra. Upor pretakanja plinov se povečuje, prav tako poraba goriva, zmanjša pa se moč motorja. Zato je treba filter regenerirati oziroma očistiti.

V osnovi lahko delež ogljika, ki odteka iz motorja v obliki trdnih delcev, oksidiramo (zažgemo) z razpoložljivim presežkom kisika pri temperaturah nad 600 °C. Tako visoke temperature dosegajo samo motorji z velikimi močmi, zato je za manjše motorje zadovoljiva tudi nižja temperatura, okoli 450–500 °C.



Prezeta slika 17: Filter trdnih delcev dizel motorjev (Fischer et al., 2011, str 339)

Adopted figure 17: A particulate filter of diesel engines (Fischer et al., 2011, p. 339)

Za zvišanje temperature izpušnih plinov se lahko uporabi povečana količina goriva v motorju, s čimer naraste poraba v času regeneracije filtra. Ko diferenčno tlačno zaznavalo zazna spremembo (dvig tlaka) upora pretakanja izpušnih plinov, nastopi trenutek za začetek aktivne regeneracije filtra.

3.4 Podatki za pripravo meritev emisij

Za izvedbo meritev je treba določiti in oceniti, katere podatke je mogoče dobiti pred meritvijo in katere s samo meritvijo. Ugotovimo, da je možno pred meritvijo dobiti iz tehničnih podatkov o vozilu (izhajajoč iz predložene homologacije vozila) letnik tega vozila, okoljevarstveno oznako za vozila od Euro 0 do Euro V, prevožene kilometre in korigiran absorpcijski koeficient pri vozilih od okoljevarstvene oznake za vozila od Euro III do Euro V, saj za oznake med Euro 0 in Euro II ni razpoložljivih podatkov, pa tudi velikost trdnih delcev, ki so podani samo za novejša vozila od okoljevarstvene oznake Euro IV dalje. Tako se bo za absorpcijski koeficient pri vozilih okoljevarstvene oznake za Euro 0 izpisala črka »A«, pri vozilih okoljevarstvene oznake za Euro I črka »B« in pri vozilih okoljevarstvene oznake za Euro II črka »C«. Prav tako so iz dokumentacije posameznega motorja vidni podatki o velikosti motorja oziroma njegovi prostornini, podani v kubičnih centimetrih (cm³).

Podatki, ki se pridobivajo izključno iz meritev, so: izmerjen faktor dimnosti k , temperatura motorja in povišani obrati motorja, pri katerih se vrši meritve.

3.5 Naprava za izvedbo meritev

Naprava za izvedbo meritev se imenuje Analizator dimnih plinov pri dizelskih motorjih MAHA MDO 2 LON proizvajalca MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG iz Nemčije.



Slika 1: Analizator dimnih plinov MAHA MDO 2 LON

Figure 1: Emission Tester MAHA MDO 2 LON

Naprava za uspešno in hitro meritev mora biti preko monitorja za odčitavanje vrednosti in preko računalnika povezana na sistem za beleženje in hranjenje izmerjenih vrednosti. Naprava deluje po principu merilnika motnosti v delnem toku, zato je nanjo priključena velika (27 mm) sonda za vzorčenje, ki vodi izpušne pline na merilno komoro.

3.5.1 Tehnični podatki merilne naprave

Merilna naprava zaznava spremembe jakosti svetlobnega toka pri prehodu svetlobe skozi izpušne pline in pri tem spremembo jakosti svetlobnega toka določa koeficient motnosti, izražen v m^{-1} . Dolžina merilne celice je 430 mm. Valovna dolžina emisije svetlobe je 567 mm. Zunanji in notranji premer merilne celice je od 25 do 28 mm. Dimenzije merilne naprave so: dolžina 550 mm, širina 245 mm in

višina 240 mm. Teža naprave je približno 13 kg. Napajalna napetost je 230 V/50 Hz. Naprava se povezuje preko serijskega vmesnika RS 232 (Komunikacijski vmesnik za potrebe nadaljnje računalniške obdelave). Če se merilna naprava uporablja brez prikazovalnika (monitorja), je nanjo možno priključiti tudi ročni terminal s tipkovnico, ki ima vgrajen tiskalnik za izpis merilnih rezultatov.

3.5.2 Oprema in prostori za izvedbo meritev

Skupaj z merilno napravo, analizatorjem dimnih plinov pri dizelskih motorjih MAHA MDO 2 LON se uporabljata tudi dve sondi za vzorčenje, in sicer gre za sondo (1) manjše velikosti premera 10 mm, ki se uporablja za osebna vozila, in sondo (2) za vzorčenje, večje velikosti in premera 27 mm, ki se uporablja za tovorna vozila in avtobuse. Sonda za vzorčenje se namesti ob središčni črti izpušne cevi, razmik od zadnje stene izpušne cevi pa naj bo najmanj 5 mm. Pri vozilih, ki ne morejo vzpostaviti komunikacije preko vmesnika OBD¹ ali EOBD (Sistem za diagnostiko na vozilu), se za meritve števila vrtljajev motorja lahko uporabi merilnik zgornje mrtve točke ali spojka za merjenje števila obratov. Cev za prenos vzorca od sonde za vzorčenje do merilne komore mora biti čim krajša in mora ob vstopu v merilno komoro zagotavljati temperaturo izpušnih plinov $100\text{ °C} \pm 30\text{ °C}$, temperaturo sten pa zadosti višjo od rosišča izpušnih plinov, da se prepreči kondenzacija. Premer cevi za prenos mora imeti po vsej dolžini enak premer, kot ga ima sonda za vzorčenje. Prav tako se v primeru vozil, ki ne morejo vzpostaviti komunikacije preko vmesnika OBD ali EOBD, za meritve temperature motorja uporabi merilnik temperature, ki ga vstavimo preko merilne cevke nivoja olja v motorju. Prostor, v katerem se izvajajo meritve, mora po direktivi (Direktiva EU št. 595/2009) imeti nadmorsko višino, ki ne presega 1000 m ali ekvivalentno 90 kPa atmosferskega tlaka, temperatura okolja mora biti med 2 in 30 °C, temperatura hladilne tekočine pa med 70 in 100 °C. Če ni mogoče zagotoviti zgoraj navedenih pogojev, se meritve ne more izvesti, dokler niso izpolnjeni vsi pogoji. Samo merilno mesto za merjenje emisij izpušnih plinov tovornih vozil in avtobusov mora imeti vgrajeno napravo za odsesavanje izpušnih plinov iz motorja med meritvijo. Pretok zraka na odsesovalnem priključku mora znašati najmanj 1700 m³/h in največ 2300 m³/h. Odsesovalni lijak mora biti nastavljiv po višini in kotu osi izstopa iz izpušne cevi, pri čemer mora biti omogočeno odsesavanje izpušnih plinov iz vseh vrst horizontalnih in vertikalnih izpušnih sistemov, odsesovalna cev mora biti odporna na temperaturne in kemične vplive izpušnih plinov.

¹ Direktiva 98/69/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. oktobra 1998 o ukrepih proti onesnaževanju zraka z emisijami iz motornih vozil (1) od leta 2000 zahteva za avtomobile z bencinskim motorjem in lahka gospodarska vozila ter za vozila z dizelskim motorjem od leta 2004 dalje uvedbo vgrajenih sistemov za diagnostiko na vozilu (OBD – On-board diagnostic ali EOBD), s katerimi se spremlja delovanje sistema za uravnavanje emisij vozila v obratovanju.



Slika 2: Prostor za izvajanje meritev izpušnih plinov

Figure 2: Area measurements of exhaust gas

Zgoraj (na sliki 2) prikazani prostor je prostor preizkušanja izvajanja tehničnih pregledov na stezi za tovorna vozila in avtobuse v podjetju Avto Celje Tehnični pregledi, d. o. o., na Ipavčevi ulici 21 v Celju.

3.6 Postopek izvedbe meritev po navodilih proizvajalca merilne opreme

Postopek meritve je predpisan (Novak, 2003) posebej za meritve brez uporabe senzorja števila obratov motorja in za uporabo njega.

3.6.1 Izvedba meritev brez uporabe senzorja števila obratov motorja

Najprej je treba merilno celico segreti na obratovalno temperaturo (Novak, 2003), pri tem naprava kaže trenutno temperaturo merilne celice. Pri prvem merjenju lahko postopek traja tudi do 5 minut. Ko je merilna celica dosegla svojo obratovalno temperaturo, sledi avtomatsko umerjanje. Po doseženi obratovalni temperaturi sledi 10 sekundni postanek, nato se lahko začne prva meritev. Za izvajanje prve meritve izpušnih plinov je treba dodati polni plin; ko se trenutna dimnost dvigne za 5 %, se sproži oziroma začne meritev. Če dimnost ne doseže 5 %, se lahko nadaljuje, tako da jo ročno dokončamo s

sprejemom merjenih vrednosti. Na prikazovalniku so izpisane stopnje dimnosti K v m^{-1} . Ko merilec dobi največjo vrednost K , se na prikazovalniku izpiše zahteva za sprostitve stopalke za plin in s tem je prva meritev končana. Čez štiri sekunde se na prikazovalniku pokaže vrednost prve meritve in čas do druge meritve, ki je namenjen umiritvi obratov motorja. Zdaj se lahko začne druga meritev po prej opisanem postopku. Meritev je uspešno zaključena, če je po vsaj treh zaporednih meritvah rezultat pod podano referenčno vrednostjo ter maksimalno odstopanje merilnih rezultatov ne presega tolerančne meje $0,5 \text{ m}^{-1}$. Na eno vozilo se lahko opravi največ šest meritev, če se po teh šestih meritvah merjenje nadaljuje, je rezultat meritev neuspešen. Po izvedenih meritvah je možno vnesti še podatke merilca in rezultate izpisati.

3.6.2 Izvedba meritev z uporabo senzorja števila obratov motorja

Če meritev izpušnih plinov izvedemo s senzorjem za merjenje števila obratov motorja (Novak, 2003), se na prikazovalniku prikaže trenutno stanje števila obratov motorja. Na začetku izberemo meritev obratov v prostem teku in jih potrdimo, nato se začne preverjanje nastavljenega števila obratov in tu se preverja, ali je število obratov konstantno ali podvrženo visokim nihanjem. Preden nadaljujemo merjenje izpušnih plinov, je treba velika nihanja odpraviti. Da bi bilo neko število obratov konstantno, mora biti več kot dve sekundi enako. Od tu naprej je postopek izvedbe meritev enak, kot je brez uporabe senzorja števila obratov. Izračun, ki ga opravi naprava za srednjo vrednost ovrednotenih maksimalnih meritev K , zadnji treh meritev se opravi po spodnji enačbi:

$$K = \frac{\sum_{n=1}^3 K_{maxn}}{3} \quad (1)$$

Enačba 1: Srednja vrednost ovrednotenih maksimalnih vrednosti K

Equation 1: The mean value of the evaluated maximum value K

Tako lahko z gotovostjo sprejmemo prikazane rezultate, kot že izračunane vrednosti zadnjih treh meritev, če pa je prva izmerjena vrednost pod referenčno določeno vrednostjo K , druge in nadaljnje meritve niso potrebne.

4 IZVEDBA MERITEV

4.1 Postopek izvedbe meritev po fazah

Za posamezno meritev je bilo treba vozilo motorja najprej segreti na določeno temperaturo, če ta ni bil pripeljan na merilno mesto z dovolj segretim motorjem. Pri tem se je v izpuh vozila vstavila ustrezna (velika 27 mm) sonda za izvedbo meritev izpušnega sistema.



Slika 3: Vstavitve sonde v izpuh vozila

Figure 3: Inserting the probe into the exhaust

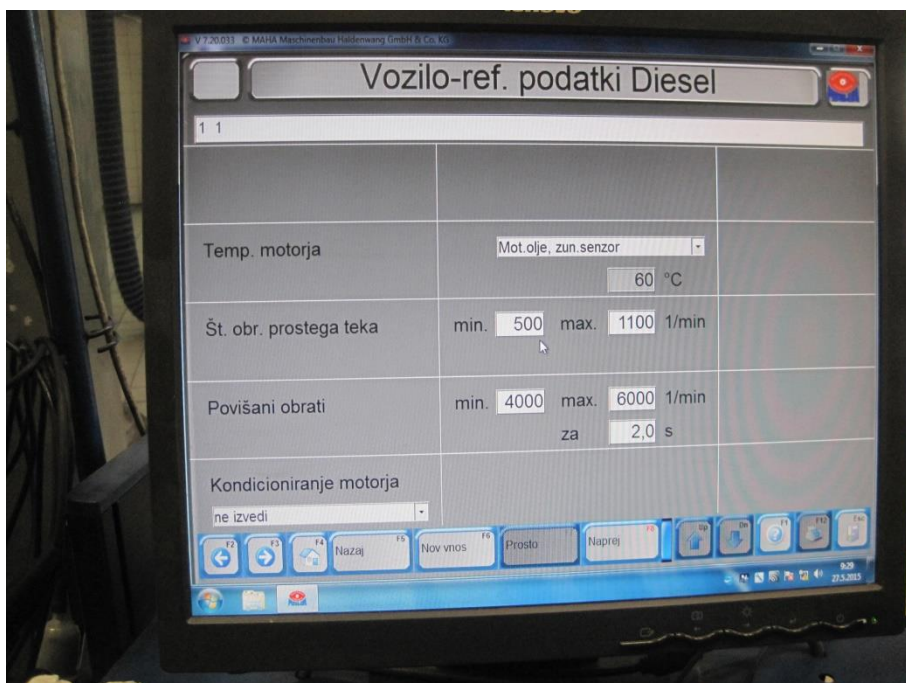
Po vstavitvi sonde se začne komunikacija med vozilom in merilno napravo preko OBD vmesnika, ki je iz procesne enote vozila pridobil podatke o trenutnem številu vrtljajev motorja in o njegovi temperaturi. Tako je merilna naprava vedno ponudila obe možnosti in merilec se je odločil najprej za merjenje dimnosti s pomočjo podatkovne baze vozil preko OBD vmesnika. Če komunikacija med merilno napravo in podatkovno bazo vozila ni bila vzpostavljena, se je merilec lahko odločil za meritev brez podatkovne baze vozil, kar pa je povzročilo dodatno zbiranje podatkov iz vozila z uporabo posameznega števca števila obratov motorja in z uporabo posamezne sonde temperature motorja preko merilnika za nivo olja motorja.



Slika 4: Izbira načina meritve dimnosti z ali brez podatkovne baze vozil

Figure 4: Select mode measurements smoke with or without a database of vehicles

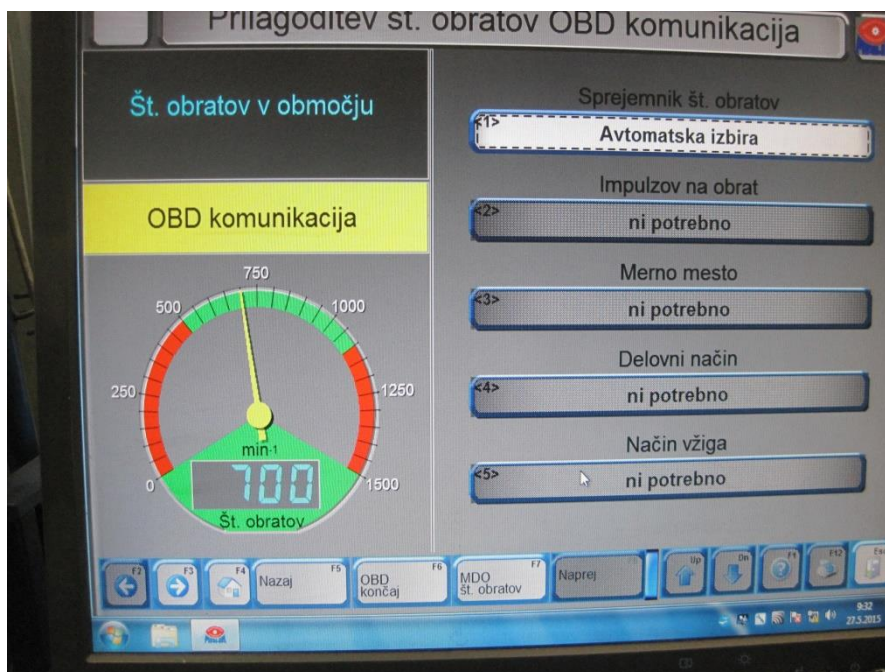
Po določitvi metode meritve so se vpisali referenčni podatki za vsako vozilo, ki so bili na razpolago iz predložene listine o številu obratov prostega teka in o številu povišanih obratov.



Slika 5: Referenčni podatki izbranega vozila

Figure 5: Reference data of the selected vehicle

Po vzpostavitvi OBD komunikacije so se iz vozila izpisali podatki:



Slika 6: Vzpostavljena OBD povezava in število obratov motorja

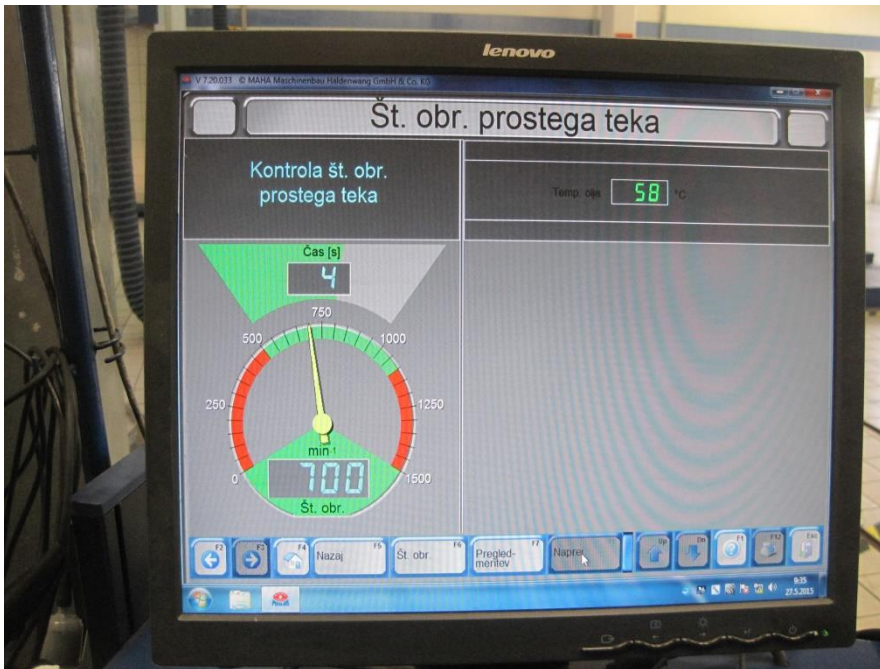
Figure 6: Established OBD connection and the number of engine revolutions



Slika 7: Temperatura olja je pod referenčno vrednostjo

Figure 7: The temperature of the oil is below the reference value

Na zgornji sliki (slika 7) je primer prenizke vrednosti temperature olja, zato meritev ni mogla biti izvedena. Po uskladitvi temperature se začne kontrola obratov prostega teka motorja.



Slika 8: Kontrola obratov prostega teka motorja

Figure 8: Control plants of engine idle

Po opravljeni kontroli prostega teka obratov motorja se začne še kontrola povišanih obratov.



Slika 9: Kontrola povišanih obratov motorja

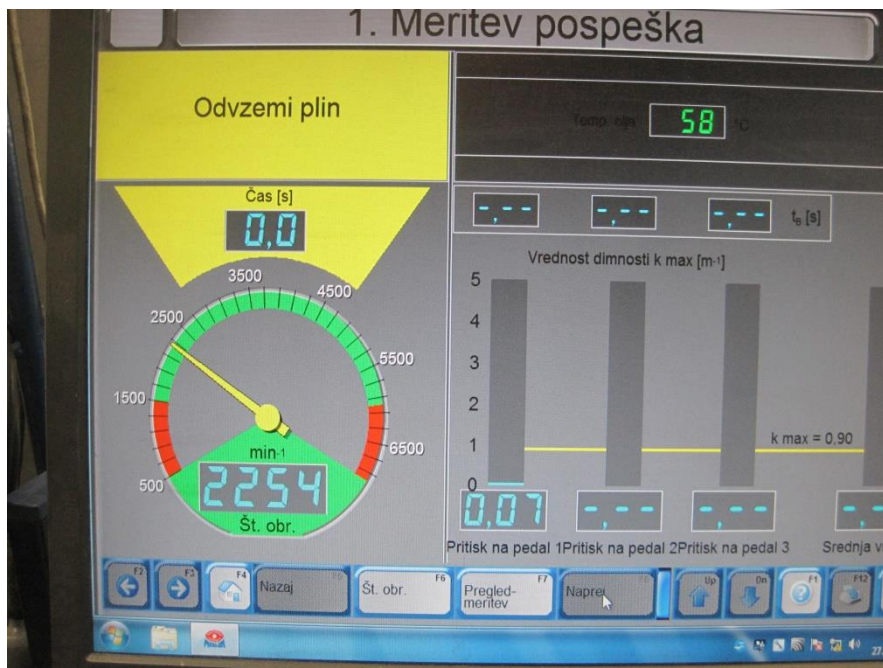
Figure 9: Checking elevated RPM

Po obeh preverjanjih števila obratov se prva meritev začne s pritiskom na stopalko plina na polno.



Slika 10: Začetek prve meritve s postavljenjo omejitvijo K vrednosti

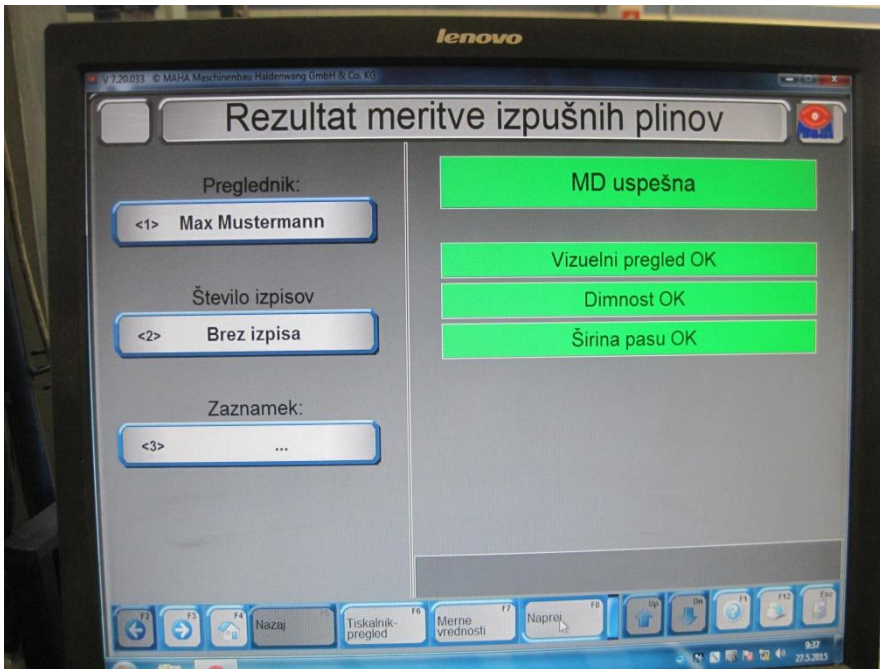
Figure 10: Beginning with the first measurement sets limits to the value of K



Slika 11: Konec prve meritve s prikazom izmerjene K vrednosti

Figure 11: At the end of the first measurements of the display measured values K

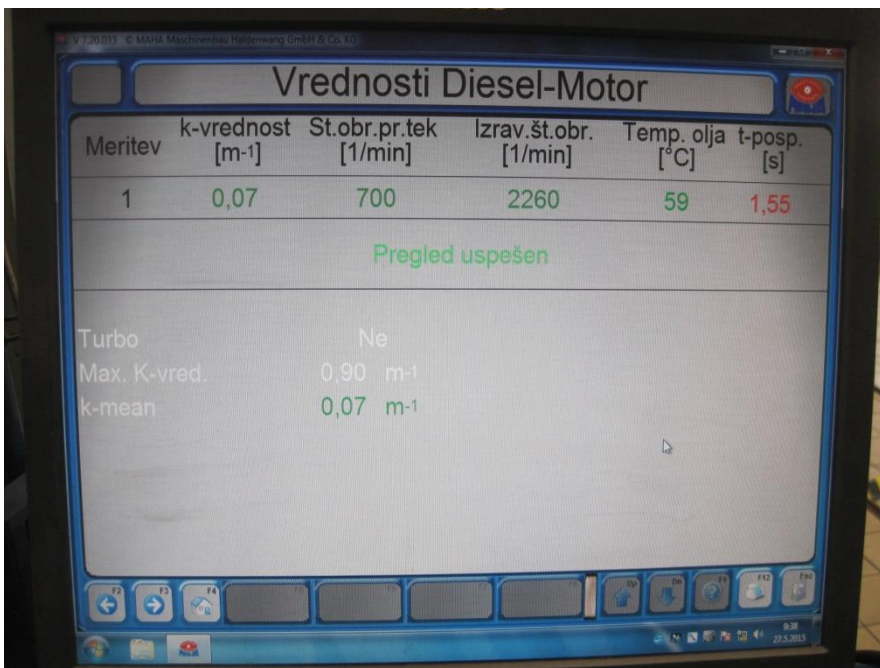
Z zahtevo po odvzemu plina na prikazovalniku se je prva meritev uspešno izvedla in je njena izmerjena vrednost faktorja dimnosti v konkretnem primeru $k = 0,07 \text{ m}^{-1}$, postavljena dopustna vrednost pa je $0,9 \text{ m}^{-1}$.



Slika 12: Obvestilo merilne naprave o rezultatih meritev izpušnih plinov

Figure 12: Notice the measuring device on the results of measurements of exhaust gas

Po obvestilu v zelenem prikazovalniku (slika 12) o uspešno opravljeni meritvi sledi prikaz izmerjenih vrednosti z možnostjo izpisa ali možnostjo shranitve teh vrednosti v bazo, kjer se shrani samo vrednost izmerjenega podatka o dimnosti koeficienta k v m^{-1} .



Slika 13: Vrednosti meritve izpušnih plinov s prikazom vseh izmerjenih vrednosti

Figure 13: Measurement value of the exhaust gas with the display of all measured values

4.2 Rezultati meritev emisij po zaporedju meritev

Po zaporedju izvedenih meritev je bilo izvedenih skupno 180 meritev, med katerimi so tudi podatki, ki so se odčitali iz dokumentacije posameznih vozil, kot so letnik vozila, okoljska oznaka, korigiran absorpcijski koeficient, izpusti CO, HC, NO_x, delci in prostornima motorja, izražena v cm³. Pri tem se osredotočam samo na delce, ki so bili podani iz homologacijskih listin in so bili izraženi v g/km ali g/kWh. Ti podatki so dostopni samo na motorjih okoljevarstvene oznake Euro IV in Euro V. Vrednosti korigiranega absorpcijskega koeficienta so lahko podane tudi na ploščicah motorja vozila in se seveda morajo ujemati s podatki iz listin vozila.



Slika 14: Vrednost korigiranega absorpcijskega koeficienta na ploščici motorja

Figure 14: The value of the corrected absorption coefficient on motor nameplate

Vrednost korigiranega absorpcijskega koeficienta na ploščici motorja se mora ujemati z izpisano vrednostjo na homologacijski listini vozila.

Preglednica 1: Rezultati prvih 40 meritev po vrsti meritev**Table 1: The results of the first 40 measurements per type of measurement**

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci
1	4	2007	30.678	0,14	72	2150	0,615	0,534	0,027	2,998	0,020
2	2	1997	430.688	1,45	81	2300	C				
3	4	2008	272.861	0,09	59	2200	1,048	0,55	0,026	2,363	0,019
4	3	2006	412.000	0,11	82	2450	1,020	1,04	0,08	4,83	0,065
5	3	2003	584.202	0,36	75	2400	1,100				
6	5	2009	208.780	0,07	60	2350	0,800	0,02	0,02	1,79	0,013
7	2	2001	381.000	0,26	80	2230	C				
8	4	2007	305.045	0,17	66	2254	0,600	0,074	0,013	3,296	0,018
9	3	2005	205.186	0,09	74	2100	1,100				
10	2	1999	351.156	0,18	85	2200	C				
11	3	2003	461.285	1,19	76	2225	1,100				
12	2	1998	310.394	0,23	77	2335	C				
13	2	2001	559.560	0,24	83	2250	C				
14	4	2007	212.150	0,09	65	2150	1,100	0,44	0,11	4,25	0,070
15	5	2010	110.336	0,02	58	2500	0,800	0,055	0,005	1,838	0,015
16	2	1999	244.786	0,37	76	2215	C				
17	2	2000	482.182	0,12	87	2255	C				
18	5	2008	426.780	0,04	61	2550	0,790	0,3	0,03	2	0,020
19	2	1998	465.900	0,30	81	2335	C				
20	4	2009	152.484	0,09	66	2540	0,760	0,27	0,011	2,426	0,010
21	0	1991	110.153	0,57	85	2050	A				
22	2	1998	600.000	0,19	82	2210	C				
23	5	2011	52.420	0,08	62	2650	0,766	0,374	0,0105	1,984	0,007
24	5	2011	135.200	0,01	66	2560	0,560	0,1	0,011	1,45	0,008
25	3	2004	35.212	0,17	75	2210	1,300	0,53	0,16	4,6	0,061
26	2	1999	428.000	0,09	80	2150	C				
27	3	2004	28.097	0,08	74	2445	1,100				
28	3	2004	299.688	0,09	80	2345	1,100				
29	3	2003	274.862	0,30	76	2540	1,100				
30	2	1991	518.045	1,15	86	2020	C				
31	2	1999	898.320	0,47	88	2100	C				
32	3	2003	535.240	0,21	79	2345	1,100				
33	0	1983	9.851	0,92	74	2020	A				
34	0	1987	380.540	0,78	80	2150	A				
35	3	2006	117.151	0,35	75	2235	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054
36	1	1996	430.220	0,13	88	2210	B				
37	1	1995	750.421	1,07	82	2300	B				
38	3	2003	596.888	0,08	76	2450	1,100				
39	2	1996	622.158	0,35	77	2145	C				
40	4	2007	130.100	0,05	62	2560	1,048	0,42	0,023	3,14	0,015

Za podatke, ki iz razpoložljivih listin niso bili na voljo, v prejšnji preglednici (Preglednica 1) ostaja prazen prostor.

4.3 Meritve obratov ob speljevanju in na klančini

Za primerjavo emisij delcev med meritvami na cesti in ob tehničnem pregledu se uporabi metoda primerjanja števila obratov motorja na prikazovalniku armaturne plošče ob speljevanju z mesta in ob

vožnji po klančini do vrednosti vzpona 7 %. Meritve se izvedejo za obe okoljski kategoriji Euro IV in Euro V, za kateri so na razpolago podatki o izpustih trdnih delcev. Za meritve klančine sem uporabil merilec Leica Disto D5, za število obratov pa kar merilnik števila obratov motorja na prikazovalniku armaturne plošče, prav tako za hitrost. Obe vozili sta bili opremljeni s samodejnim (avtomatskim) menjalnikom, tako da je vpliv voznika na način vožnje prestavnega razmerja zanemarljiv. Prav tako sta obe vozili peljali po isti poti, tudi vzponi so bili.

4.3.1 Rezultati meritev obratov motorja ob speljevanju in na klančini za motor Euro IV

Meritve so bile izvajane na ravni cesti od ustavljenega vozila do pospeševanja hitrosti do 50 km/h in nato še v nadaljevanju brez ustavljanja do hitrosti 90 km/h.

Preglednica 2: Meritve obratov na ravni cesti do vrednosti 90 km/h za Euro IV

Table 2: Measurements of establishments at the level of the road up to 90 km/h for Euro IV

Faza gibanja	Povprečni obrati/min	klančina v °	hitrost v km/h
Mirovanje	500	0	0
Pospeševanje	1.400	0	10
Pospeševanje	1.800	0	20
Pospeševanje	1.600	0	40
Pospeševanje	1.550	0	50
Konstantno	1.520	0	50
Pospeševanje	1.600	0	80
Pospeševanje	1.720	0	90
Konstantno	1.650	0	90

Tako se na ravni cesti brez vzpona za doseganje hitrosti iz mirovanja do 50 km/h izkaže povprečno število obratov motorja 1588/min, ustali pa se pri 1520 obratov/min, od 50 km/h do 90 km/h pa povprečno 1657 obratov/min, ustali pa se pri 1650 obratov/min.

Drugi del meritve pa se izvede od ustavitve vozila do pospeševanja do 50 km/h in nato pospeševanje do hitrosti, ki jo je lahko vozilo doseglo ob stopnjevanju klančine do 7 %.

Preglednica 3: Meritve obratov na klančini do vrednosti klanca 7 % za Euro IV

Table 3: Measurements of installations on the ramp up to the value of the slope 7% for Euro IV

Faza gibanja	Povprečni obrati/min	klančina v °	hitrost v km/h
Mirovanje	500	0	0

Faza gibanja	Povprečni obrati/min	klančina v °	hitrost v km/h
Pospesevanje	1.550	0	50
Pospesevanje	1.800	2	55
Pospesevanje	1.600	3	55
Pojemek	1.800	4	40
Konstantno	1.800	5	50
Pojemek	1.800	6	30
Pojemek	1.500	7	40
Konstantno	2.000	7	35

Tako se na klančini vzpon dviguje do vrednosti 7 %, hitrost pa se spreminja od 55 do 35 km/h, kjer se ustali in izkaže se povprečno število obratov motorja 1757/min.

4.3.2 Rezultati meritev obratov ob speljevanju in na klančini za motor Euro V

Meritve so bile izvajane od ustavljenega vozila na ravni cesti do pospeševanja hitrosti na 50 km/h in nato še brez ustavljanja do hitrosti 90 km/h.

Preglednica 4: Meritve obratov na ravni cesti do vrednosti 90 km/h za Euro V

Table 4: Measurements of establishments at the level of the road up to 90 km/h for Euro V

Faza gibanja	Povprečni obrati/min	klančina v °	hitrost v km/h
Mirovanje	600	0	0
Pospesevanje	1.580	0	50
Konstantno	1.200	0	50
Pospesevanje	1.580	0	55
Pospesevanje	1.400	0	60
Pospesevanje	1.520	0	70
Pospesevanje	1.600	0	80
Pospesevanje	1.390	0	90
Konstantno	1.300	0	90

Na ravni cesti se brez vzpona za doseganje hitrosti iz mirovanja do 50 km/h izkaže povprečno število obratov motorja 1580/min, ustali pa se pri 1200 obratov/min, od 50 km/h do 90 km/h pa 1427/min.

Drugi del meritve se izvede od ustavitve vozila do pospeševanja do 50 km/h in nato pospeševanje do hitrosti, ki jo je lahko vozilo doseglo ob stopnjevanju klančine do 7 %.

Preglednica 5: Meritve obratov na klančini do vrednosti klanca 7 % za Euro V**Table 5: Measurements of installations on the ramp up to the value of the slope 7% for Euro V**

Faza gibanja	Povprečni obrati/min	klančina v °	hitrost v km/h
Mirovanje	600	0	0
Pospeševanje	1.580	0	50
Pospeševanje	1.510	1,5	60
Pospeševanje	1.660	2	85
Pospeševanje	1.200	3	90
Pojemek	1.500	5	75
Pojemek	1.200	6	68
Pojemek	1.500	7	65
Konstantno	1.500	7	65

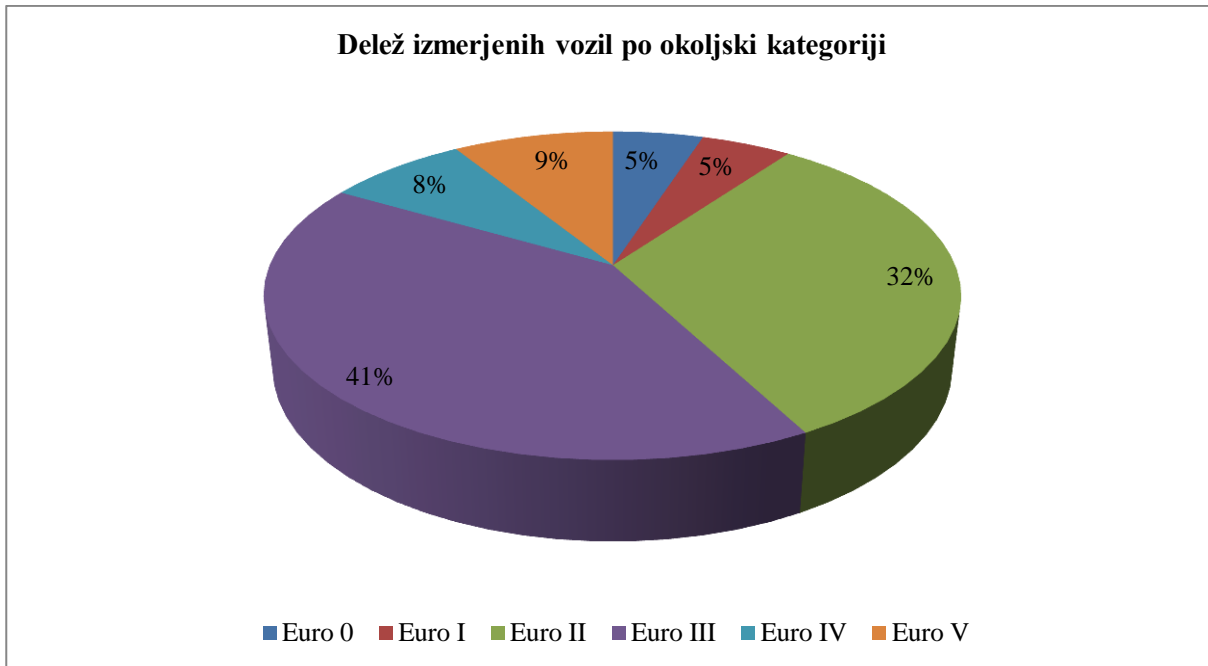
Na klančini se vzpon dviguje do vrednosti 7 %, hitrost pa se spreminja od 50 do 65 km/h, kjer se ustali, izkaže pa se povprečno število obratov motorja 1439/min.

5 ANALIZA MERITEV**5.1 Analiza meritev po posameznih parametrih**

Skupno število opravljenih meritev je bilo 180 in tudi toliko vozil je bilo zajetih v analizo. Vsa merjenja so bila opravljena po enakem postopku in v enakem merilnem okolju ter z isto merilno napravo. Z meritvami so bili dobljeni podatki o dimnosti, podani v m^{-1} , o temperaturi motorja in o številu povišanih obratov, pri katerih so se izvajale meritve v vrednosti do okoli 75 % maksimalnih povišanih obratov. Vsi drugi podatki, kot so okoljevarstvena oznaka oziroma kategorija ali razred, število prevoženih kilometrov in letnik izdelave, prostornina motorja, so bili pridobljeni iz predloženih listin posameznega vozila pred izvedbo meritev ali po njej.

5.2 Razvrstitev meritev po okoljski kategoriji

Skupno 180 vozil je bilo izmerjenih in razvrščenih po okoljski kategoriji od Euro 0 do Euro V, meritve so se začele septembra 2012 in nadaljevale v letu 2013 ter se v maju 2014 zaključile, odstotek je viden v spodnjem grafu.



Grafikon 3: Delež izmerjenih vozil po okoljski kategoriji

Graph 3: The proportion of vehicles measured by environmental category

Okoljska kategorija vozil Euro III je na prvem mestu s 41 %, sledi ji Euro II z 32 %, nato je z 9 % Euro V, sledi Euro IV z 8 %, zadnji dve mesti pa si delita Euro I in Euro 0, oba s 5 %. Iz odstotkov lahko ugotovimo, da je bil zajet zadosten in ustrezen delež meritev glede na delež vozil po okoljski kategoriji za leto 2013, saj se ta v celoti ujema z deležem po okoljski kategoriji vozil v RS za leto 2013 z izjemo razreda II in III, ki sta zamenjala mesti, saj se je število Euro II toliko zmanjšalo po uporabi v letu 2014, ko so bile še izvajane meritve, kar pa je posledica normalne uporabe in pripisa novih vozil višjega Euro razreda ter odpisa vozil nižjega Euro razreda.

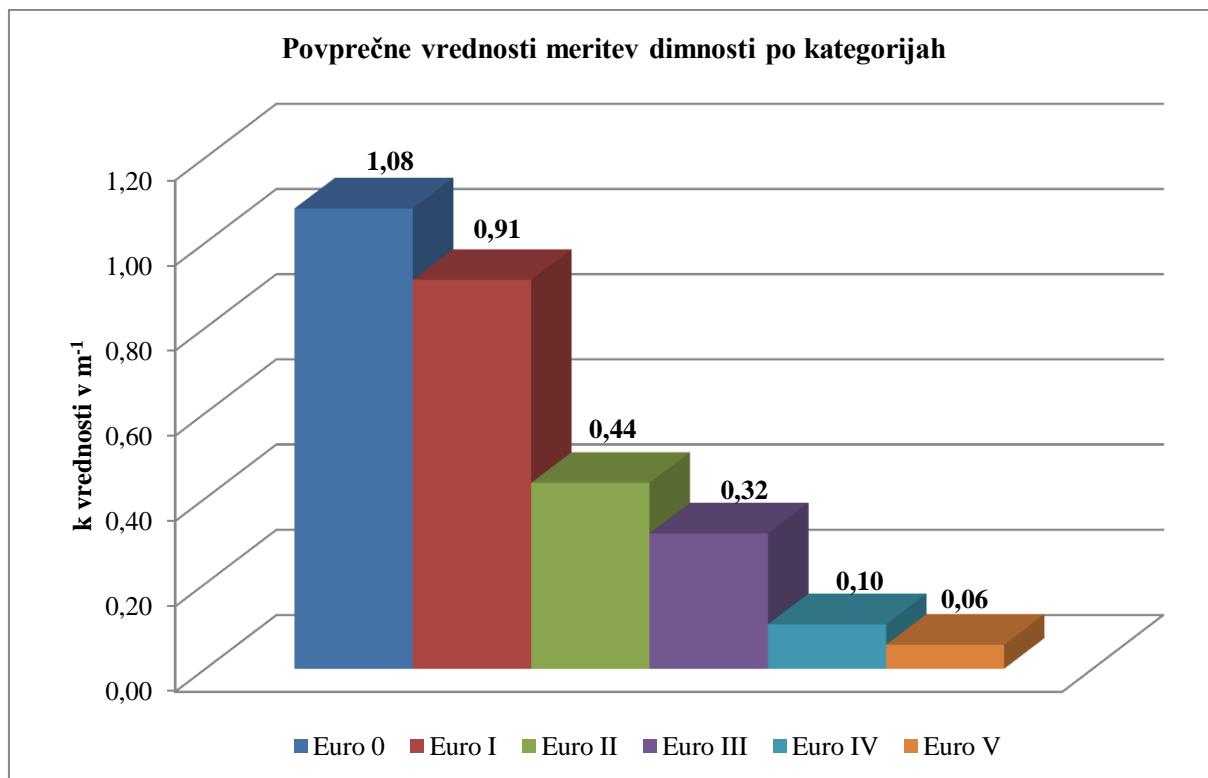
5.3 Razvrstitev meritev po dimnosti in okoljski kategoriji

Za določitev dimnosti posameznega okoljskega razreda oziroma kategorije je treba razvrstiti povprečne vrednosti po vsakem razredu posebej. Za določitev le-tega se uporabi naslednja formula:

$$\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

Pri čemer je:

\bar{k} – povprečna vrednost dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 n – število vseh meritev dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 k_i – vrednost meritve dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V.



Grafikon 4: Povprečne vrednosti meritev po okoljskih kategorijah

Graph 4: Average values for measurements under environmental categories

Iz rezultatov meritev povprečnih vrednosti dimnosti po posameznih okoljskih kategorijah vozil ugotovimo, da je največje absolutno odstopanje med Euro 0 in Euro V, ki je v razmerju slednjega za 18,0-krat večje, prav tako med Euro I in Euro V, ki je v razmerju slednjega za 15,0-krat večje, nato med Euro II in Euro V, ki je v razmerju slednjega za 7,7-krat večje, nato med Euro III in Euro V, ki je v razmerju slednjega za 5,3-krat večje, in nato med Euro IV in Euro V, ki je v razmerju slednjega za 1,6-krat večje.

5.4 Standardni odklon meritev dimnosti posamezne okoljske kategorije

Za določitev standardnega odklona po posameznih okoljskih razredih oziroma kategorijah je treba izdelati izračune za celotne vrednosti rezultatov, dobljenih pri meritvah. Za vsak okoljski razred se uporabi izračun po naslednji enačbi:

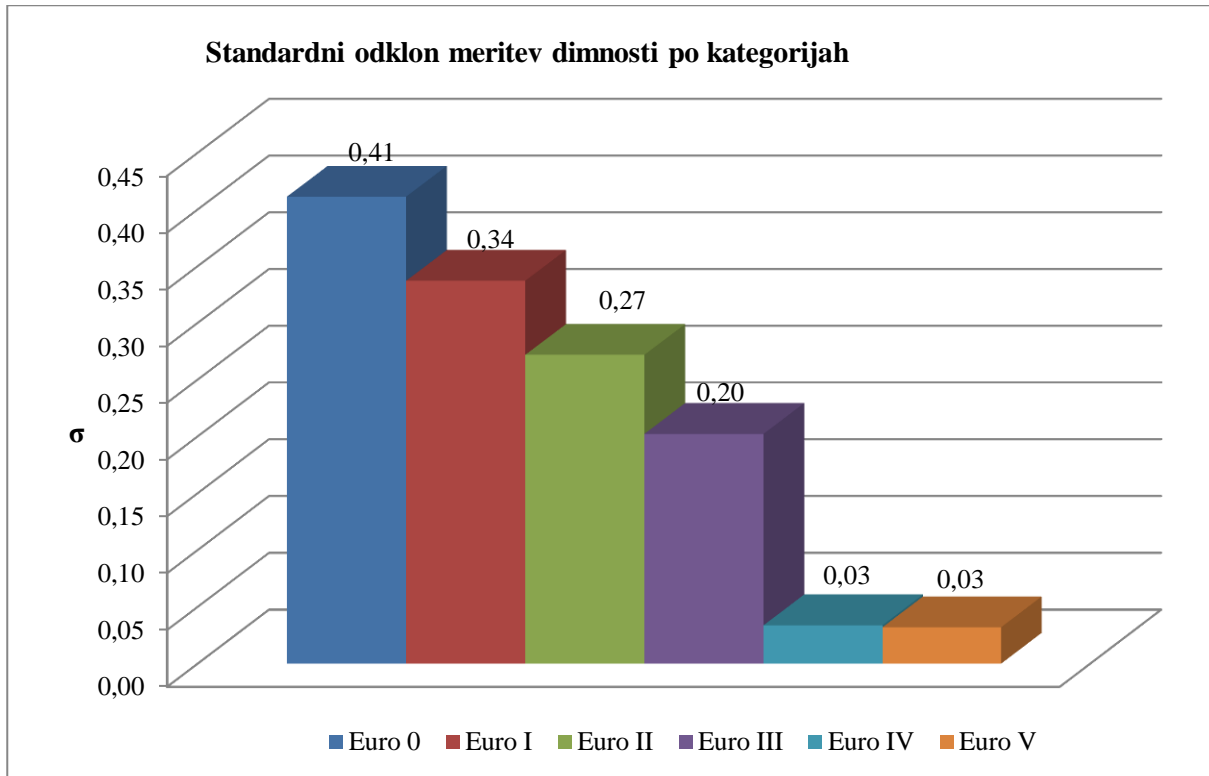
$$\sigma_{Euro0...V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2}{N}} \quad (3)$$

Pri čemer je:

σ – standardni odklon dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 n – število vseh meritev dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 k_i – vrednost meritve dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 \bar{k} – povprečna vrednost dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,

N – število meritev dimnosti posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V.

Tako dobimo izračune standardnega odklona za vsako okoljsko kategorijo od Euro 0 do Euro V posebej.



Grafikon 5: Standardni odklon meritev dimnosti po kategorijah

Graph 5: Standard deviation measurements smoky by category

Standardni odklon potrjuje odstopanja, in sicer je ta največji pri Euro 0, sledi od Euro I do Euro III skoraj proporcionalno, nato sledi izrazit padec do razreda Euro IV. Pri Euro IV in Euro V pa sta odklona enaka.

5.5 Povprečne temperature motorja izmerjene po okoljski kategoriji

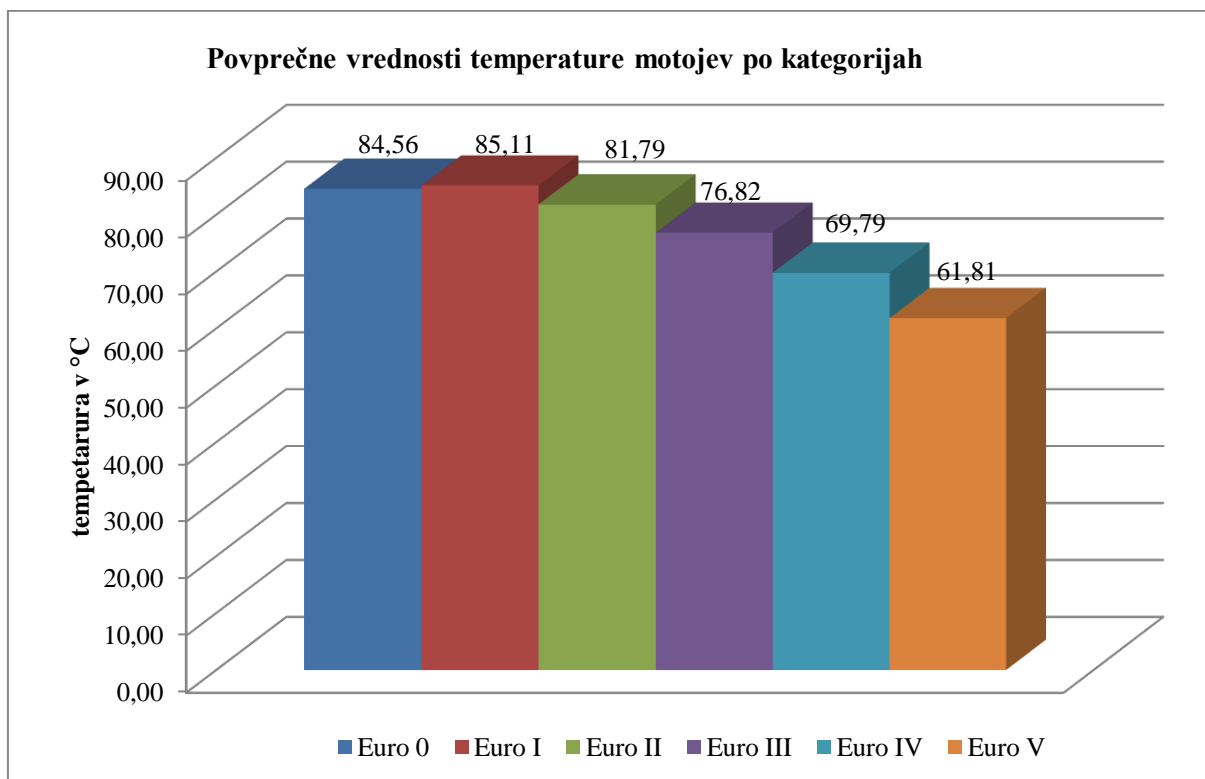
Za določitev povprečnih temperatur motorja je treba izmeriti temperature za vsako okoljsko kategorijo posebej po spodnji enačbi.

$$\bar{t}_{Euro0...V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

Pri čemer je:

\bar{t} – povprečna vrednost temperature posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 n – število vseh meritev temperature posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 t_i – vrednost meritve temperature posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V.

Temperature so bile merjene po obeh metodah z uporabo komunikacije preko vmesnika OBD ali EOBD in z uporabo merilnika temperature, ki ga vstavimo preko merilne cevke nivoja olja v motorju.



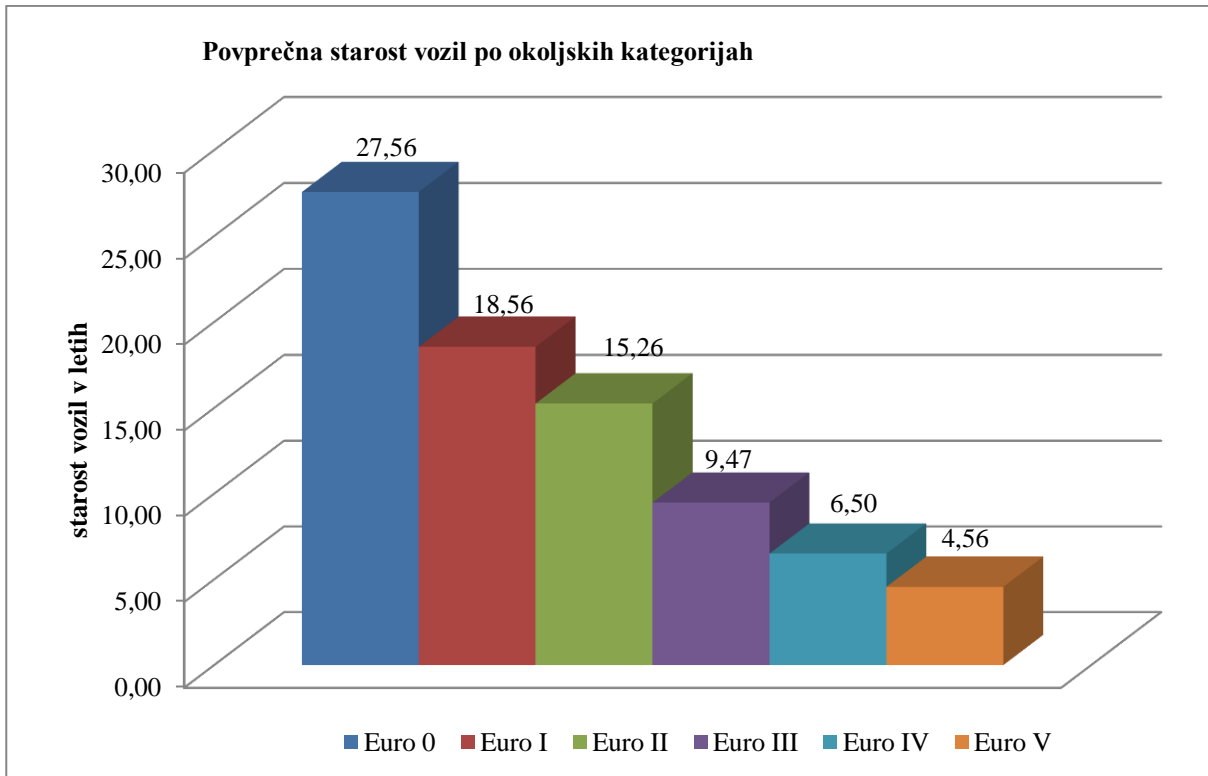
Grafikon 6: Povprečne vrednosti temperature motorjev po okoljskih kategorijah

Graph 6: The average values of temperature motors for environmental categories

Rezultati povprečnih vrednosti posameznih izmerjenih okoljskih kategorij motorjev prikazujejo izrazito manjšanje povprečne temperature po posameznih okoljskih kategorijah od Euro 0 do Euro V. Z izjemo Euro I se vse vrednosti povprečne temperature spuščajo od okoli 84,5 °C pri Euro 0 do 61,8 °C pri Euro V.

5.6 Povprečna starost vozil po posamezni okoljski kategoriji

Starost vozila je sicer lahko pokazatelj določene okoljske kategorije motorja, v kateri je le-ta vgrajen v vozilo, vendar sama starost vozila še ne pomeni določene povečane stopnje dimnosti. Vse povprečne starosti vozil po posamezni okoljski kategoriji so bile preračunane za leto 2014, v katerem se je končalo izvajanje meritev. Postavljena je bila domneva, da se starost vozil zmanjšuje z večanjem nivoja okoljske kategorije. Podatki o letniku izdelave vozila so bili dobljeni iz prometnega dovoljenja ali iz spremljajoče dokumentacije, kot je izjava o skladnosti vozila ali homologacija vozila. Uveljavitev Euro I kategorije se upošteva z letom 1992, Euro II z letom 1996, Euro III z letom 2000, Euro IV z letom 2005 in Euro V z letom 2009, vse kategorije vozil pred letom 1992 pa se štejejo kot konvencionalno vozilo ali Euro 0.



Grafikon 7: Povprečna starost vozil po okoljskih kategorijah

Graph 7: The average age of vehicles on the environmental category

Zgornji graf potrjuje domnevo o povprečni starosti vozil po okoljskih kategorijah, saj je pri Euro 0 povprečna starost 27,5 leta in pada vse do razreda Euro V, kjer je povprečna starost vozila še samo 4,5 leta.

5.7 Povprečni obrati motorja pri meritvah po posamezni okoljski kategoriji

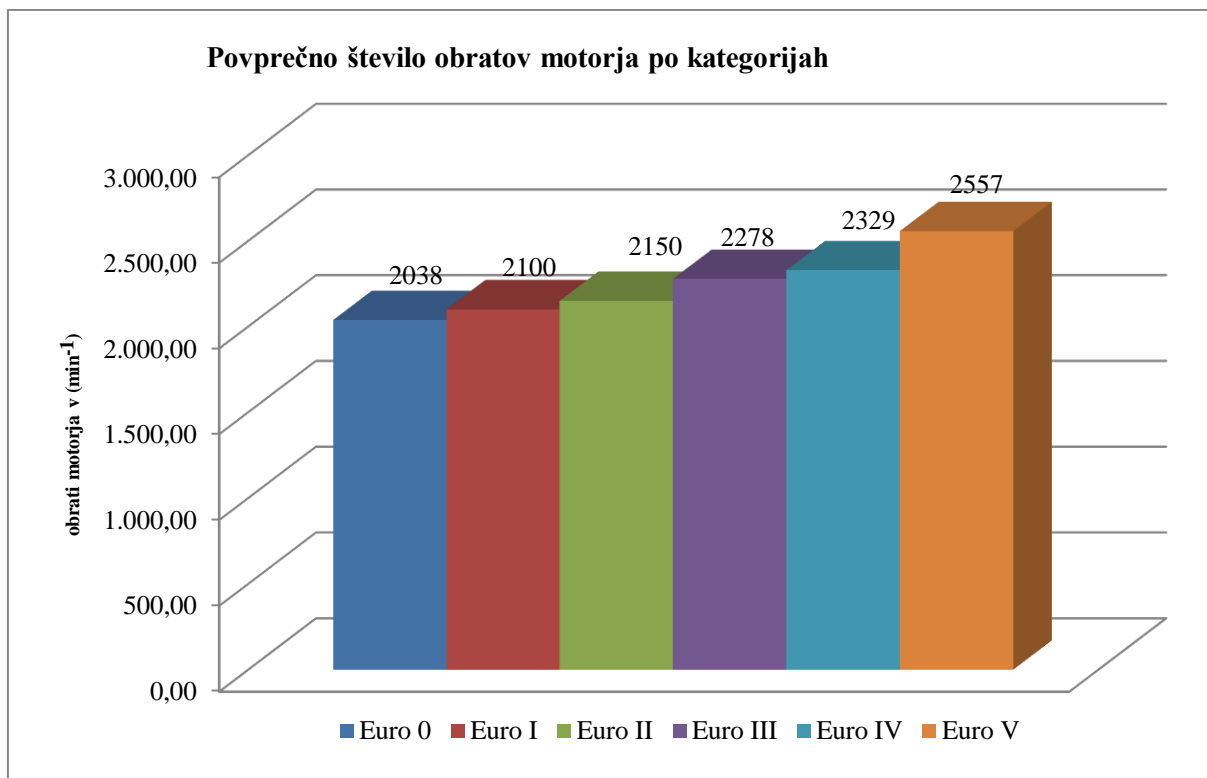
Povprečne obrate motorja pri meritvah dimnosti izračunamo za vsako okoljsko kategorijo posebej po spodnji enačbi.

$$\bar{n}_{Euro0...V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_i \quad (5)$$

Pri čemer je:

\bar{n} – povprečna vrednost obratov motorja posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 n – število vseh meritev obratov motorja posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,
 n_i – vrednost meritev obratov motorja posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V.

Za izračun povprečnega števila obratov ni možno postaviti domneve glede na posamezno okoljsko kategorijo in je tudi ni možno potrditi ali ovreči z izračuni, saj so režimi delovanja pri posameznih motorjih različni in s tem tudi ni povezano število obratov pri izvedbi meritev. Obrati motorja se podajajo v številu obratov na časovno enoto minuta z oznako (min^{-1}).



Grafikon 8: Povprečno število obratov motorja po okoljskih kategorijah

Graph 8: Average number of engine revolutions by environmental category

Iz pregleda in analize povprečnega števila obratov motorja lahko ugotovimo, da število obratov raste s stopnjo okoljske kategorije. Tako je najmanjše število pri Euro 0, okoli 2038 obratov/min, sledijo Euro I z okoli 2100 obrati/min, Euro II z okoli 2150 obrati/min, Euro III z okoli 2278 obrati/min, Euro IV z okoli 2329 obrati/min, največ pa jih dosega Euro V, in sicer okoli 2557 obratov/min. Povprečno število obratov iz vseh kategorij dosega vrednosti 75 % obremenitve pri 2242 obratih/min, kar pomeni povprečno maksimalno število 2803 obrate/min in predstavlja 100 %, 1401 obrat/min je 50 % in 701 obrat/min je 25 %.

5.8 Primerjava obratov preizkusa ESC in ELR z meritvami povišanih obratov dimnosti

Za meritve obratov ob preizkusih ESC in ELR se uporabijo vrednosti, ki so možne glede na posamezni motor v razmerjih 25 % = 701 obrat/min, 50 % = 1401 obrat/min in 75 % = 2242 obratov/min možnega števila obratov.

Preglednica 6: Izračunani obrati glede na predvideno razmerje in obremenitev**Table 6: Calculated plants according to the intended ratio and load**

Faza št.	Vrtilna frekven motorja	Odstotek obremenitve [%]
1	prosti tek	—
2	701	100
3	1401	50
4	1401	75
5	701	50
6	701	75
7	701	25
8	1401	100
9	1401	25
10	2242	100
11	2242	25
12	2242	75
13	2242	50

Iz zgornje tabele se izračuna povprečno število obratov vseh fazah preizkusa na 1448 obratov/min ob povprečni obremenitvi 62,5 %.

5.9 Povprečni prevoženi kilometri pri meritvah po posamezni okoljski kategoriji

Predpostavljamo, da so pri najmanjši okoljski kategoriji Euro 0 prevoženi km (kilometri) največji, saj so ta vozila najstarejša. Pri tem prav tako predpostavljamo, da je tudi dimnost temu primerno povečana in obratno. Pri največji okoljski stopnji Euro V se pričakuje najmanjše število prevoženih kilometrov, saj so ta vozila najkrajši čas v uporabi. Povprečne prevožene kilometre motorja pri meritvah dimnosti izračunamo za vsako okoljsko kategorijo posebej po spodnji enačbi.

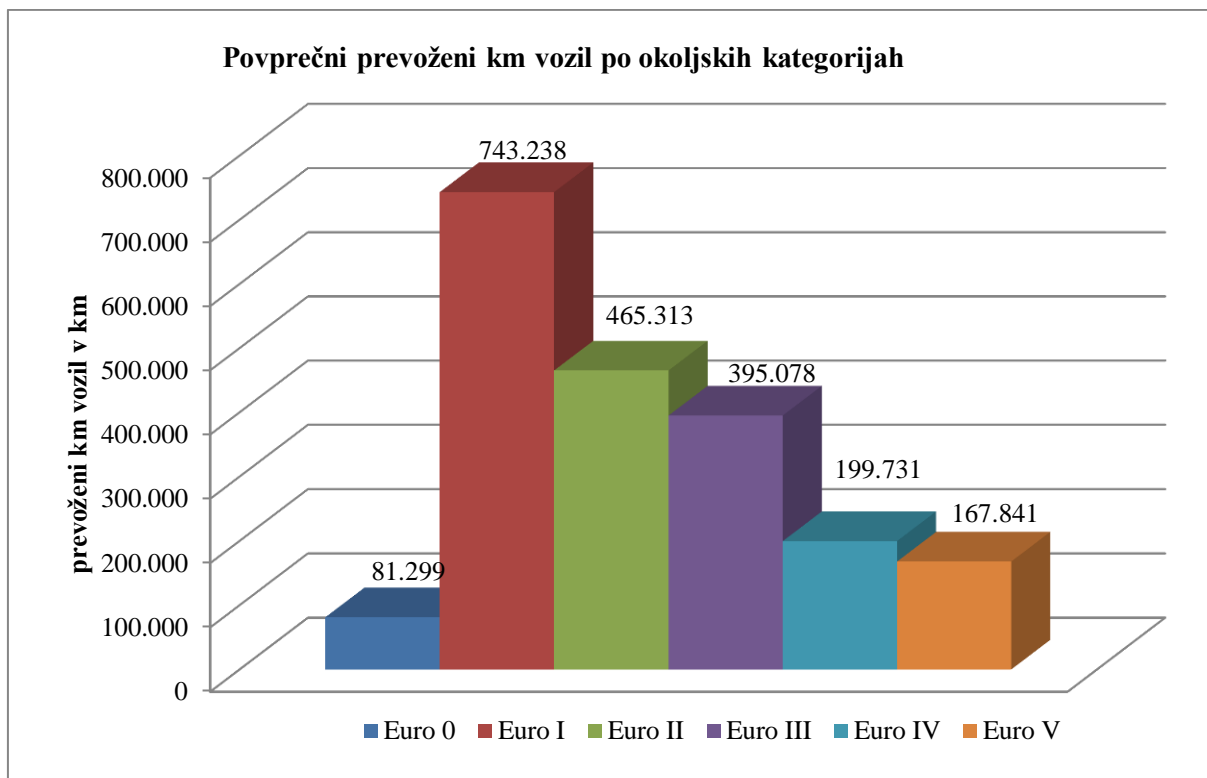
$$\overline{km}_{Euro0...V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n km_i \quad (6)$$

Pri čemer je:

\overline{km} – povprečna vrednost prevoženih km posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,

n – število vseh meritev prevoženih km posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V,

km_i – vrednost meritev prevoženih km posameznega okoljskega razreda od Euro 0 do Euro V.



Grafikon 9: Povprečni prevoženi km vozil po okoljskih kategorijah

Graph 9: Average vehicle km traveled by environmental category

Predpostavka, da ima največ prevoženih kilometrov najmanjša okoljska kategorija, pri okoljski kategoriji razreda Euro 0 ne drži, pri vseh drugih okoljskih razredih pa ta predpostavka drži. Vzroke za takšna odstopanja je možno iskati predvsem v vrsti vozil, ki še imajo vgrajen motor z okoljsko oznako konvencionalno vozilo ali Euro 0, saj gre za vozila, ki niso več v komercialni uporabi in se uporabljajo občasno, kot so gasilka vozila, ter letno naredijo zelo malo prevoženih kilometrov, ali pa so to specialna vozila, predelana za posebne namene, kot so vozila za prevoz čebel ali potujoče knjižnice, ki letno prevozijo zelo malo kilometrov.

5.10 Analiza meritev delcev za motor Euro IV in Euro V

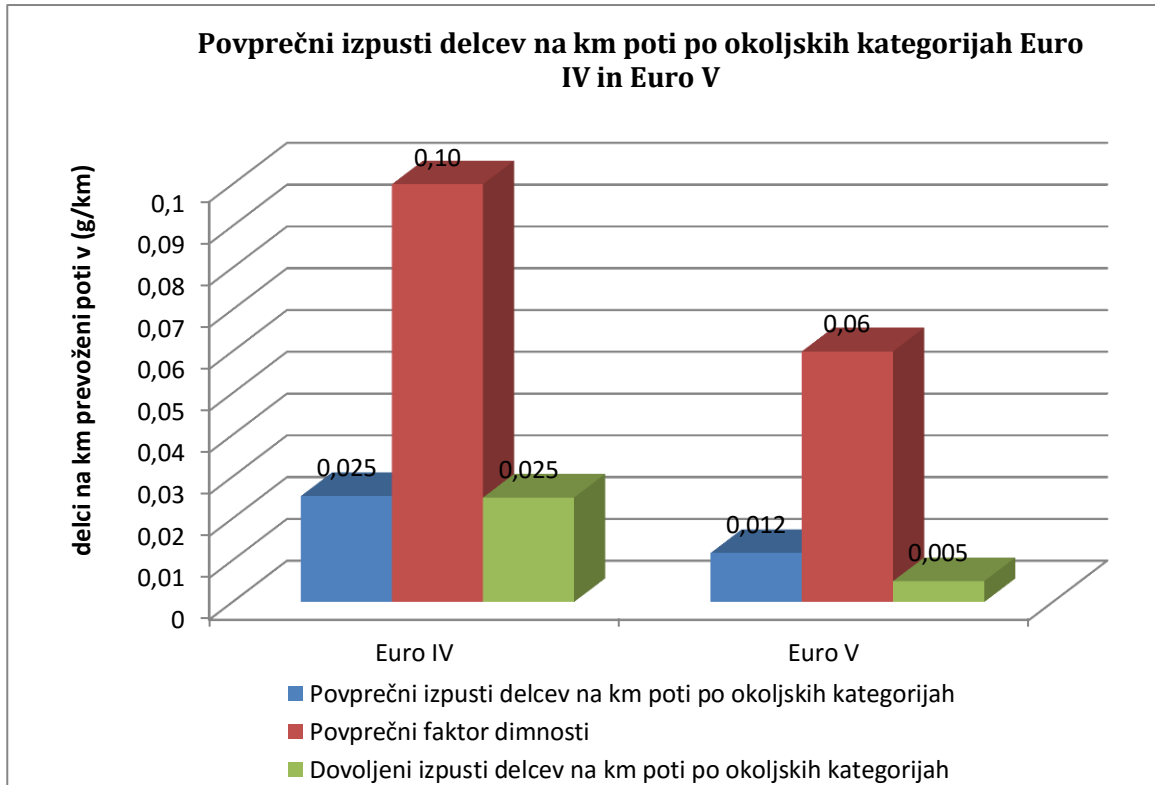
Namen meritev trdnih delcev je ugotoviti število delcev in jih ovrednotiti z vrednostjo faktorja dimnosti. V ta namen se za obe vrsti motorja izračuna povprečje izpuščenih delcev na km prevožene poti po naslednji enačbi.

$$\overline{PM}_{EuroIV,V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PM_i \quad (7)$$

Pri čemer je:

\overline{PM} – povprečna vrednost PM posameznega okoljskega razreda od Euro IV do Euro V,
 n – število vseh meritev PM posameznega okoljskega razreda od Euro IV do Euro V,
 PM_i – vrednost meritev PM posameznega okoljskega razreda od Euro IV do Euro V.

Tako znašajo za Euro IV = 0,025 g/km ob izmerjenem povprečnem faktorju dimnosti, ki znaša 0,1 m⁻¹. Za Euro V = 0,025 g/km ob izmerjenem povprečnem faktorju dimnosti, ki znaša 0,06 m⁻¹. Podatki o delcih na km prevožene poti so za ti dve vrsti motorja dobljeni iz vsakega posameznega motorja Euro IV in Euro V.



Grafikon 10: Povprečni izpusti delcev na km poti po okoljskih kategorijah Euro IV in Euro V

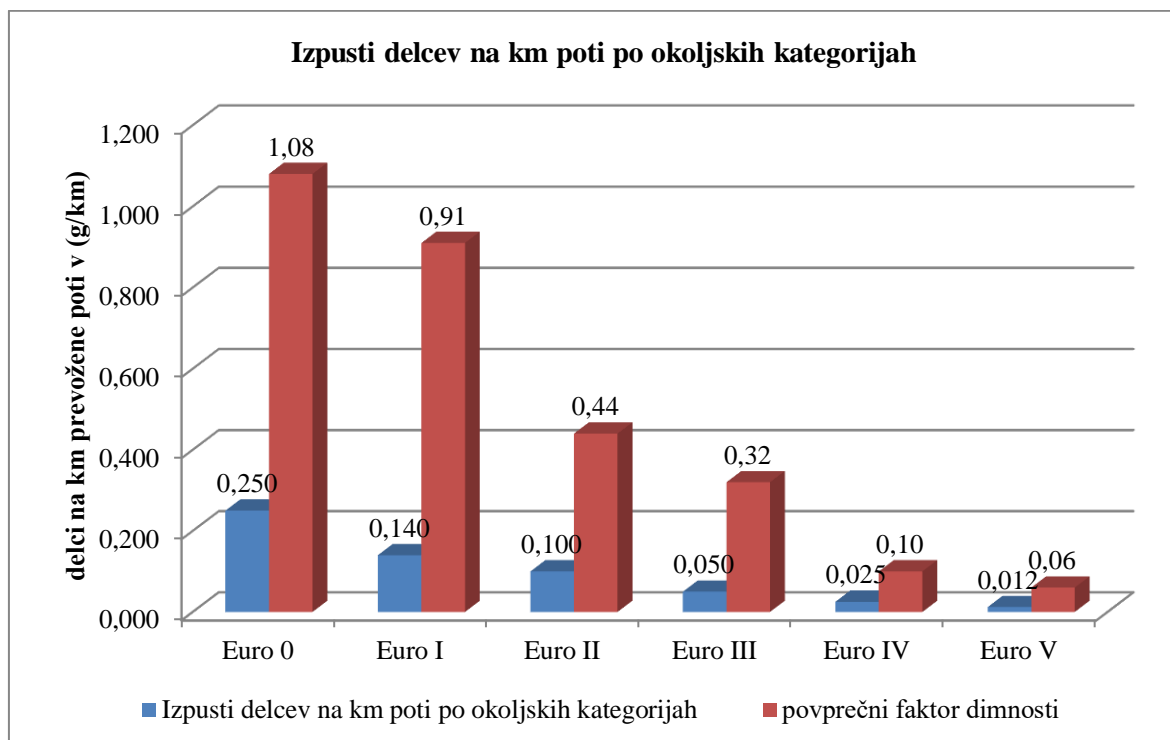
Graph 10: The average emissions of particles per km routes for environmental categories Euro IV and Euro V

Zgornje vrednosti v grafu so zaskrbiljujoče predvsem pri vrednosti okoljske kategorije Euro V, saj ta presega dovoljene izpuste trdnih delcev PM₁₀ do 0,005 g/km prevožene poti za 2,4-krat. To nakazuje na nedoslednost spoštovanja okoljske zakonodaje oziroma normativov pri dajanju vozil v uporabo na slovenskem območju oziroma tržišču.

5.10.1 Količina trdnih delcev za vse kategorije glede na faktor dimnosti

Za določitev mase trdnih delcev PM na km prevožene poti v g/km za okoljske razrede od Euro 0 do Euro III se uporabi primerjalna metoda glede na maksimalno dovoljeno vrednost delcev po posamezni okoljski kategoriji v korelaciji s povprečnim koeficientom dimnosti za vsako posamezno okoljsko kategorijo. Pri tem se podatki omejitve pridobijo iz preizkusov (Direktiva EU št. 595/2009) ESC, ELR in za nekatere tudi s preizkusom ETC za posamezno okoljsko kategorijo, ki so lahko podani tudi v g/kWh ali g/km prevožene poti. Pri tem je treba upoštevati, da so vrednosti delcev za te motorje (od

Euro 0 do Euro III) dobljene iz maksimalnih dovoljenih izpustov, in ne iz povprečja zbranih meritev, kot je bilo to ugotovljeno za motorje okoljske kategorije Euro IV in Euro V.



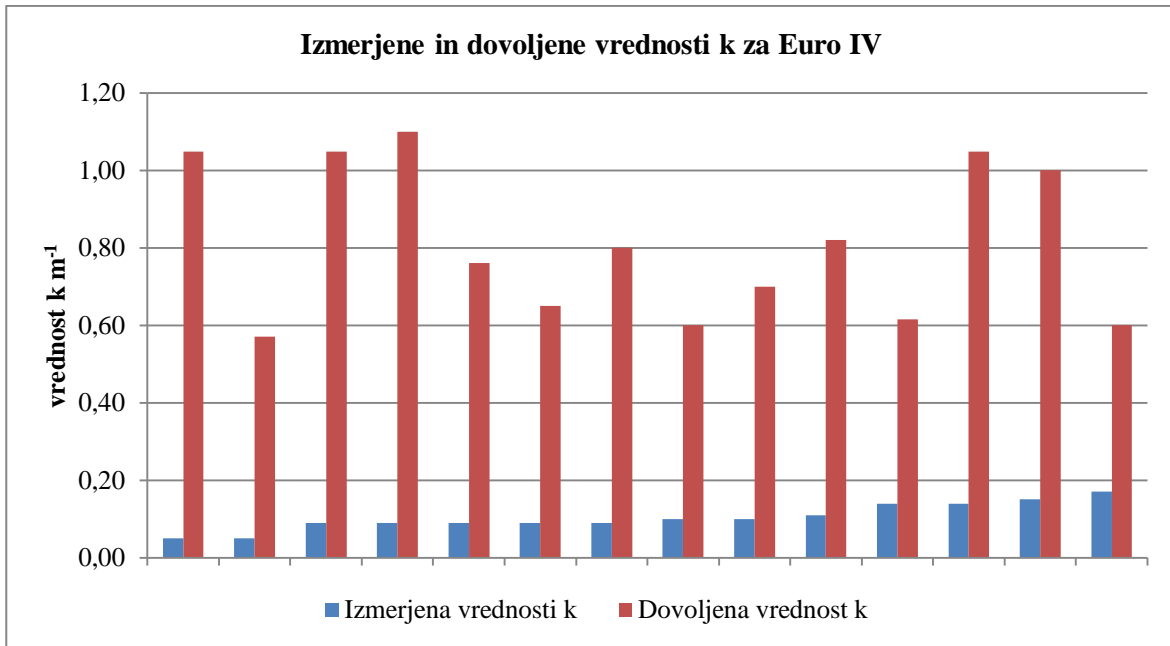
Grafikon 11: Izpusti delcev na km poti po vseh okoljskih kategorijah

Graph 11: Emissions of particulate matter per kilometer journey across all environmental categories

Iz zgornjega grafa je razvidna obremenitev okolja s trdnimi delci v g/km prevožene poti, ki je bila izmerjena glede na povprečni faktor dimnosti in določena iz testov za Euro I do Euro III ter iz povprečnih odčitanih vrednosti (za vozila Euro IV in Euro V) količin izpustov glede na posamezno okoljsko kategorijo motorja, razen za Euro 0, kjer so bili delci izbrani na podlagi rastočega razmerja delcev med Euro III in Euro I.

5.10.2 Analiza med izmerjeno vrednostjo dimnosti in dovoljeno za motor Euro IV in Euro V

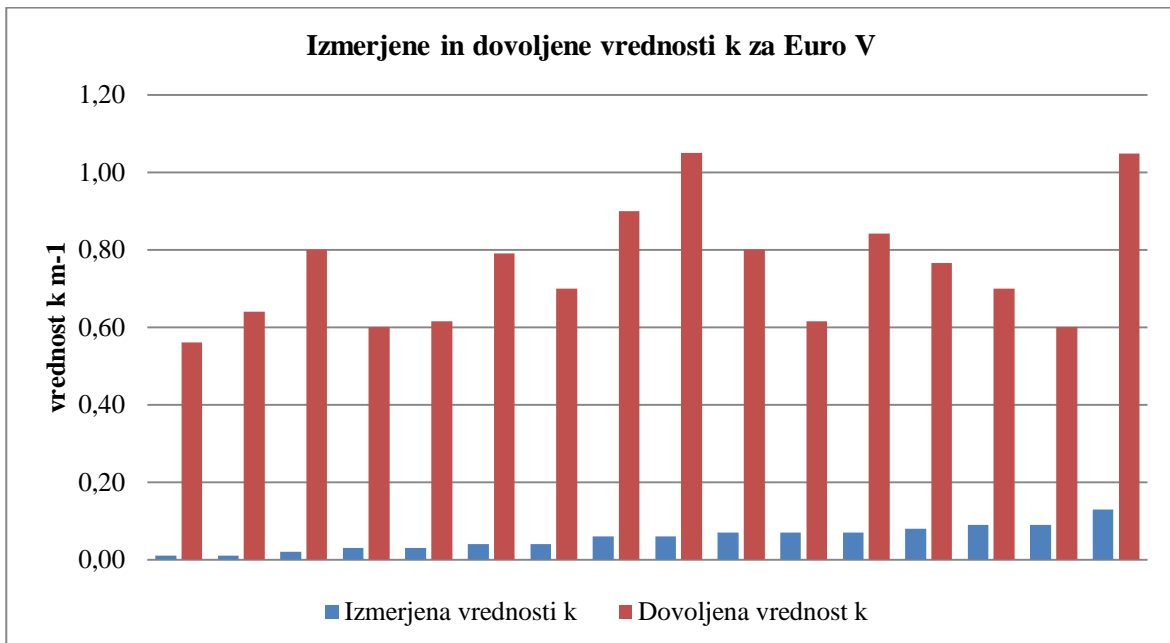
Podatke o dovoljenih vrednostih za kategoriji motorjev Euro IV in Euro V je možno razbrati iz dokumentacije vozila in se v listinah zabeležijo kot korigiran absorpcijski koeficient pri dizelskih motorjih z enoto m^{-1} , ki je določena za vsak tip motorja posebej. Tako lahko primerjamo vse izmerjene vrednosti kategorije Euro IV, kot prikazuje spodnji graf (Grafikon 12).



Grafikon 12: Izmerjene in dovoljene vrednosti k za Euro IV

Graph 12: Measured and allowed value k for the Euro IV

Zgornji graf (Grafikon 12) nazorno pokaže, da nobena izmerjena vrednost dimnosti k ni bila nad dovoljeno; v povprečju je izmerjena vrednost 0,10, dovoljena pa 0,81, tako da je 8-krat nižja od dovoljene vrednosti pri Euro IV. Prav tako lahko primerjamo vse izmerjene vrednosti kategorije Euro V, kot jih prikazuje spodnji graf (Grafikon 13).



Grafikon 13: Izmerjene in dovoljene vrednosti k za Euro V

Graph 13: Measured and allowed value k for the Euro V

Iz grafa se vidi, da tudi nobena izmerjena vrednost k za Euro V ni bila nad dovoljeno in je v povprečju izmerjena vrednost 0,06 dovoljena pa je 0,75 in je za 12,5 krat nižja od dovoljene vrednosti.

5.11 Preračun faktorja dimnosti v motnost

Za vsako izmerjeno vrednost se meritev lahko opravi tudi z analizatorjem dimnih plinov MAHA MDO 2 LON ob upoštevanju prestavitve v drugo obliko izpisa oziroma prikaza vrednosti. Tako lahko za vsak faktor dimnosti k dobimo tudi podatke o motnosti N , ki jih lahko poda naprava. Osnovna merska enota vseh merilnikov je motnost; vrednosti stopnje dimljenja se iz motnosti N pretvorijo v koeficient absorpcijske svetlobe k po formuli:

$$k = -\frac{l}{L_A} \times \left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (8)$$

kjer je:

k = faktor dimnosti, v m^{-1} ,

L_A = dejanska dolžina optične poti, ki jo navede proizvajalec instrumenta, v m (0,430 m),

N = motnost, v %.

Če zgornjo enačbo (9) pomnožimo z vrednostjo -0,430 in logaritmiramo po naravnem logaritmu z osnovo e , dobimo vmesno enačbo:

$$e^{-0,430k} = 1 - \frac{N}{100} \quad (9)$$

To enačbo (10) pa pomnožimo s 100 in izpostavimo N , da dobimo:

$$N = 100 - 100e^{-0,430k} [\%] \quad (10)$$

Po tej enačbi (10) je možno vsako vrednost koeficienta absorpcije svetlobe (k) pretvoriti v motnost, izraženo v %, vendar je v praksi to nepotrebno in ni smotno, saj so podatki o dovoljenih koeficientih absorpcije svetlobe (k) izpisani tako v listinah vozila (homologaciji) kot tudi na identifikacijskih ploščicah vozila oziroma oznakah motorja v vrednostih k in enoti m^{-1} . Podatke je možno razbrati tudi iz posamičnih primerov tabele v poglavju 4.2 te naloge.

5.12 Ovrednotenje izpustov delcev glede na vrednost dimnosti k

Če želimo primerjati izpuste delcev iz vozil z delci, ki jih beležijo z referenčni merilniki (Bolte et al., 2007) Leckel, moramo določiti volumenski pretok izpušnih plinov (Bizjan, 2009) suhe snovi. Iz podatkov o tehničnih karakteristikah proizvajalcev posamičnih motorjev ni možno dobiti podatkov o volumenskem pretoku zraka izpušnih plinov suhe snovi, prav tako ni bilo mogoče ugotoviti podatkov o nazivnem pretoku zraka v preizkusih ETC in ELR (Direktiva EU št. 595/2009), ki ga navajajo v litrih/sekundo. Za vse izmerjene motorje je bilo možno pridobiti delovno prostornino (V_h), ki je

podana v kubičnih centimetrih (cm^3). Tako se iz posameznega volumenskega pretoka zraka motorja izpušnih plinov suhe snovi (V_a) izračuna stopnja polnitve na dva načina (Dobovišek, 1994):

$$V_a = V_h \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \quad (11)$$

kjer je:

V_h – prostornina motorja,

ε – kompresijsko razmerje.

Lahko se uporabi tudi pretvorba po izračunu:

$$V_a = \frac{n}{60} \cdot \frac{V_h}{\tau} \cdot n_v \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right], \quad (12)$$

kjer je:

V_h – prostornina motorja,

n – obrati motorja, podani v št. obratov/min,

τ – taktnost motorja, pri čemer velja za štiritakti dizelski motor $\tau = 4$,

n_v – stopnja polnitve ali volumetrični izkoristek.

Enačba (12) je sicer pravilna, vendar še ni uporabna zaradi enot in znanih parametrov takta, zato jo preoblikujemo v uporabno obliko:

$$V_a = 60n \frac{V_h}{4} \cdot n_v \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right], \quad (13)$$

kjer je:

V_h – prostornina motorja,

n – obrati motorja, podani v št. obratov/min,

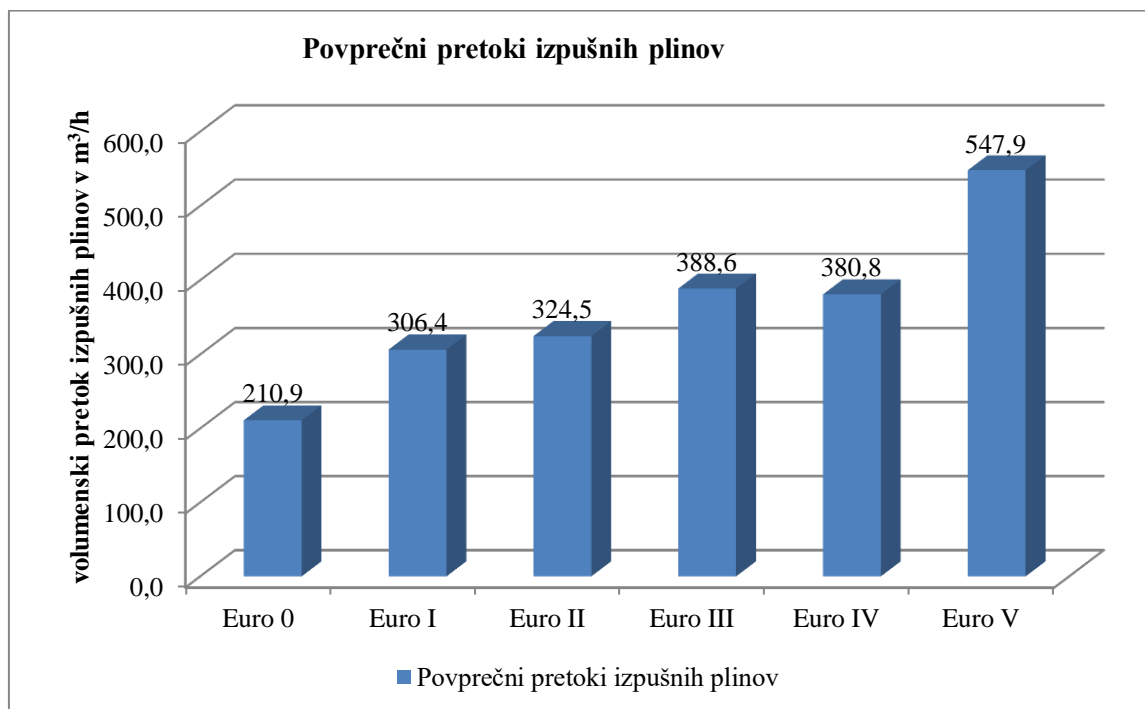
n_v – stopnja polnitve ali volumetrični izkoristek.

Ta oblika enačbe (13) nam omogoča izračun ob upoštevanju vrednosti stopnje polnitve ali volumetričnega izkoristka, ki ga lahko izberemo za vsako okoljevarstveno kategorijo motorja glede na vrsto njegove polnitve, omogoča izračun. Pri tem iz orientacijskih podatkov izmenjave delovne (Dobovišek, 1994) zmesi dobimo, da se za vrednosti od Euro 0 do Euro V lahko uporabijo naslednje stopnje polnitve (n_v) ali volumetrični izkoristek, ki lahko pri posamezni kategoriji motorja malenkostno odstopajo od vrste izvedbe.

Prezeta preglednica 5: Stopnje polnitve ali volumetrični izkoristki po emisijski stopnji vozila (Dobovišek, 1994, str. 38)**Adopted table 5: Degree of filling or volumetric yields the emission level of vehicles (Dobovišek, 1994 p. 38)**

Emisijska stopnja vozila	Stopnja polnitve ali volumetrični izkoristek
Euro 0	0,91
Euro I	0,97
Euro II	1,10
Euro III	1,25
Euro IV	1,35
Euro V	1,48

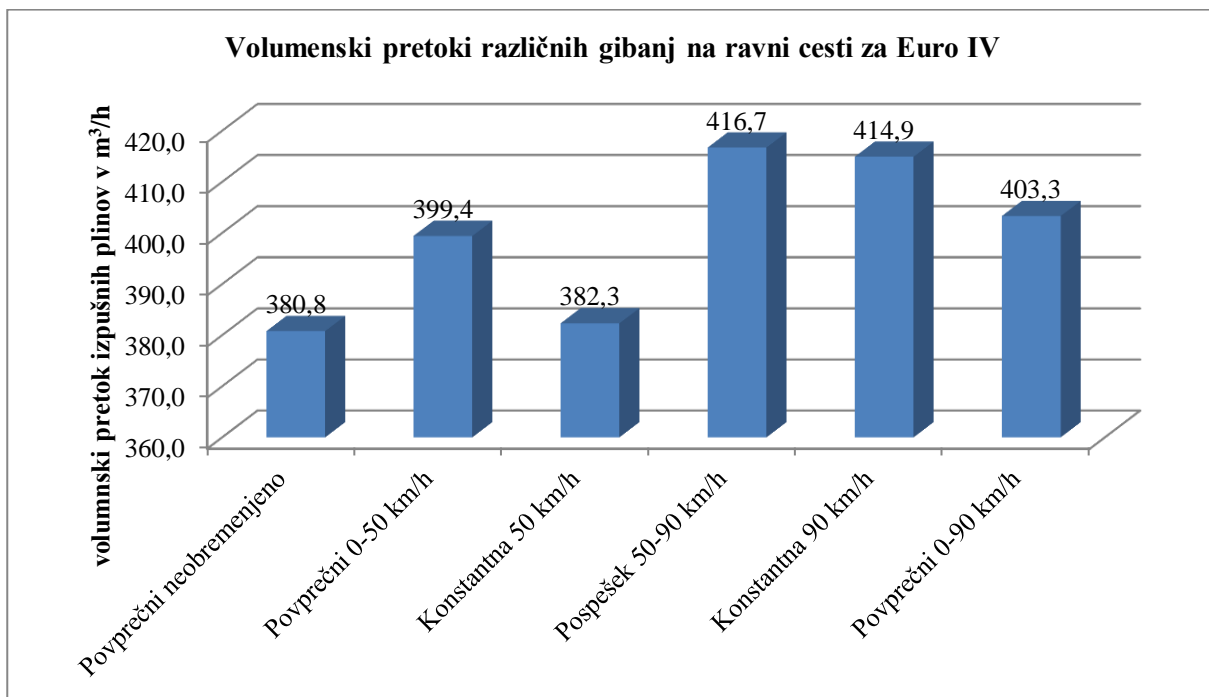
Pri emisijskih stopnjah vozil Euro 0 in Euro I so nekateri motorji še brez sistemov tlačno polnjenih zmesi, od stopnje Euro II do Euro V pa so vsi motorji tlačno polnjeni in so efektivne moči motorja s tem tudi večje. Tako lahko izračunamo povprečne pretoke izpušnih plinov po posameznih okoljskih kategorijah; upoštevajoč enačbo 13 in prevzeto preglednico (prevzeta preglednica 5) dobimo naslednje rezultate.

**Grafikon 14: Povprečni pretoki izpušnih plinov po posameznih okoljskih kategorijah****Graph 14: Average flow of the exhaust gas after different environmental categories**

Iz zgornjega grafa se vidi, da se pretoki izpušnih plinov po okoljskih kategorijah od Euro 0 do Euro V povečujejo in je pretok okoljske kategorije Euro V največji. Zgornji graf ne določa vrednosti pretokov okoljevarstvenih skupin, ampak so te v celoti odvisne od izbire velikosti prostornine motorja. Iz posameznih pretokov izpušnih plinov pa lahko določimo količino trdnih delcev.

5.13 Primerjava pretokov izpušnih plinov meritev pri različnih obremenitvah za Euro IV

V primerjavi pretokov pri spreminjajočih se hitrostih za Euro IV ugotovimo, da se na ravni cesti brez vzpona za doseganje hitrosti iz mirovanja do 50 km/h izkaže povprečno število obratov motorja 1588/min, ustali pa se pri 1520 obratih/min, od 50 km/h do 90 km/h pa je povprečno 1657 obratov/min, število pa se ustali pri 1650 obratih/min.

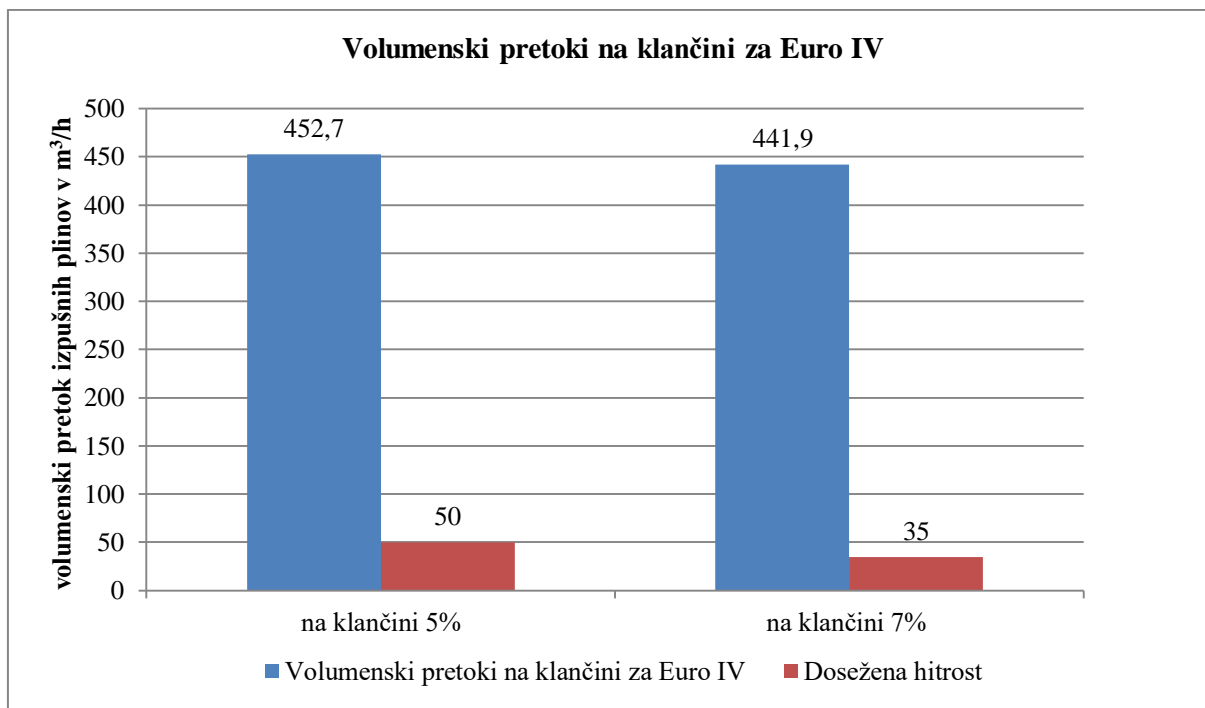


Grafikon 15: Pretoki izpušnih plinov različnih gibanj na ravni cesti za Euro IV

Graph 15: The exhaust gas flow of different movements at the level of the road to Euro IV

Iz prejšnjega grafa (Grafikon 15) se odčita povprečni pretok izpušnih plinov 380,8 m³/h za neobremenjeno vozilo meritve na testu. Na ravni cesti ob različnih gibanjih od pospeševanja do konstantne hitrosti pa je treba izpostaviti dve vrednosti, in sicer povprečni pretok izpušnih plinov 399,4 m³/h od 0 do 50 km/h in povprečni pretok izpušnih plinov 403,3 m³/h od 0 do 90 km/h. Povprečni pretok izpušnih plinov 380,8 m³/h za neobremenjeno vozilo pa se zelo približa pretoku pri obremenjenemu vozilu na ravni cesti s konstantno hitrostjo 50 km/h, ki znaša 382,3 m³/h.

Na klančini so podatki drugačni, in sicer je za doseganje hitrost 50 km/h ob klančini 5 % število obratov motorja 1800/min, pri klančini 7 % pa se izkaže 1757 obratov/min in se hitrost zmanjša na 35 km/h, kot prikazuje naslednji graf (Grafikon 16).



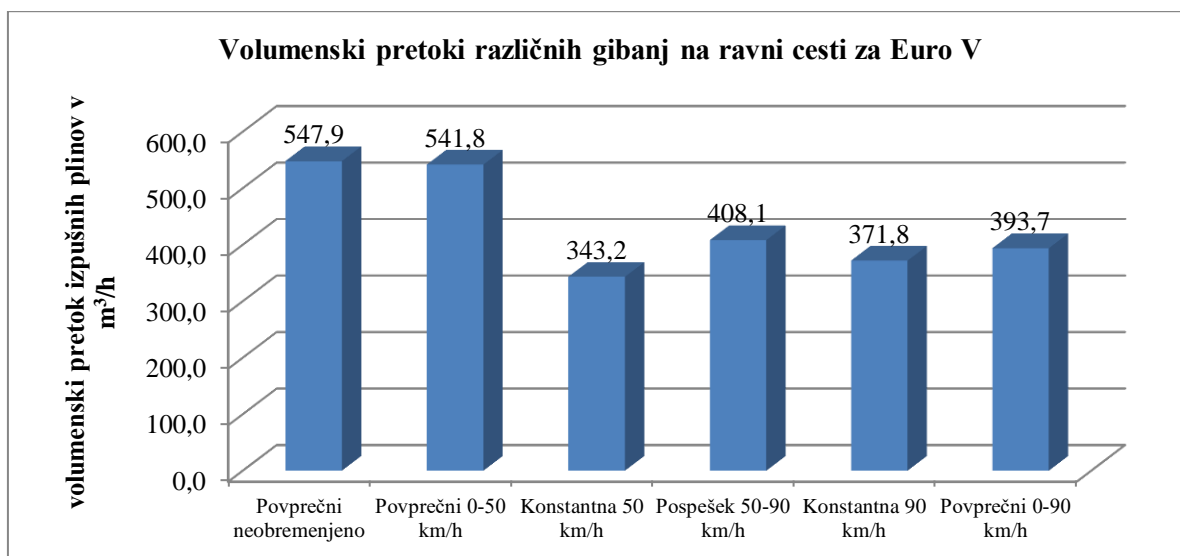
Grafikon 16: Pretoki izpušnih plinov na klančini za Euro IV

Graph 16: The exhaust gas flow on a ramp for the Euro IV

Prejšnji graf (Grafikon 16) prikazuje padec hitrosti iz 50 km/h na 35 km/h ob povečanju klančine iz 5 % na 7 % ob skoraj neznatnem zmanjšanju volumenskega pretoka iz 452,7 na 441,9.

5.14 Primerjava pretekov izpušnih plinov meritev pri različnih obremenitvah za Euro V

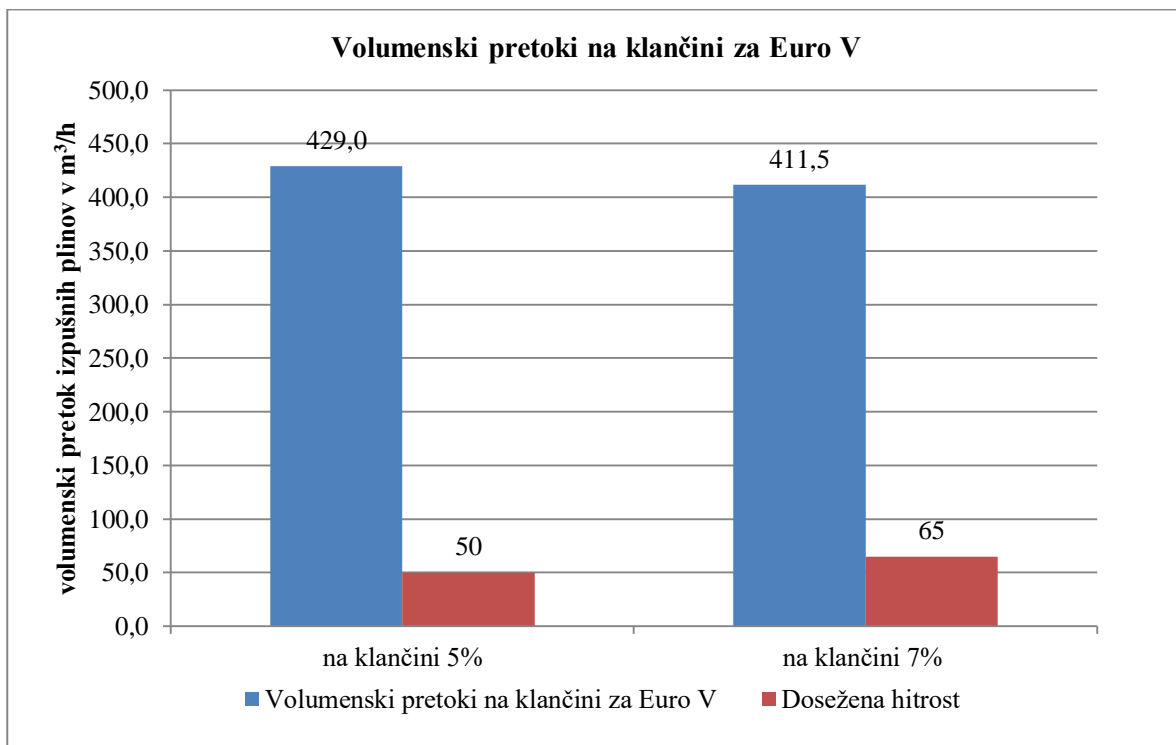
V primerjavi pretokov pri spreminjajočih se hitrostih za Euro V se na ravni cesti brez vzpona za doseganje hitrosti iz mirovanja do 50 km/h izkaže povprečno število obratov motorja 1580/min, ustali pa se pri 1200 obratov/min, od 50 km/h do 90 km/h pa povprečno 1427 obratov/min, ustali pa se pri 1300 obratov/min.



Grafikon 17: Pretoki izpušnih plinov različnih gibanj na ravni cesti za Euro V**Graph 17: The exhaust gas flow of different movements at the level of the road to Euro V**

Iz prejšnjega grafa je razviden povprečni pretok izpušnih plinov $547,9 \text{ m}^3/\text{h}$ za neobremenjeno vozilo meritve na testu. Na ravni cesti ob različnih gibanjih od pospeševanja do konstantne hitrosti pa je treba izpostaviti dve vrednosti, in sicer povprečni pretok izpušnih plinov $541,8 \text{ m}^3/\text{h}$ od 0 do 50 km/h in povprečni pretok izpušnih plinov $393,7 \text{ m}^3/\text{h}$ od 0 do 90 km/h. Povprečni pretok izpušnih plinov $547,9 \text{ m}^3/\text{h}$ za neobremenjeno vozilo se zelo približa pretoku pri povprečni hitrosti pospeševanja 0–50 km/h pri obremenjenem vozilu na ravni cesti, ki znaša $541,8 \text{ m}^3/\text{h}$ pretoka zraka.

Na klančini pa so podatki drugačni, in sicer je za doseganje hitrost 50 km/h ob klančini 5 % število obratov motorja 1500/min, pri klančini 7 % pa se izkaže 1439 obratov/min in se hitrost zmanjša na 65 km/h, kot prikazuje naslednji graf.

**Grafikon 18: Pretoki izpušnih plinov na klančini za Euro V****Graph 18: The exhaust gas flow on a ramp for the Euro V**

Prejšnji graf prikazuje pretoke izpušnih plinov pri hitrosti 50 km/h na klančin 5 % vzpona s povečevanjem na hitrost 90 km/h in nato padec na 65 km/h ob povečanju klančine na 7 % ob skoraj minimalnem zmanjšanju volumenskega pretoka, za manj kot $18 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.15 Vpliv in primerjava trdih delcev PM_{10} na dnevne obremenitve

Izhajajoč iz dnevnih obremenitev na lokaciji merilnega mesta Celje, tipa mestno ozadje, za leto 2013 ugotovimo, da so bile povprečne dnevne koncentracije trdnih delcev PM_{10} okoli $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Iz tega podatka izhaja dejstvo, da je delež celotnega cestnega prometa dizelskih vozil 25 %, torej četrtnina vseh izpustov trdnih delcev, ki so bili izmerjeni na tem merilnem mestu. Tako je delež vseh dizelskih vozil $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od tega podatka je treba še odšteti delež osebnih in kombiniranih dizelskih vozil v povprečnem sorazmernem deležu, glede na povprečno delovno prostornino $V_{h/ostali}$ motorja, v primerjavi s prostornino motorja težkih tovornih vozil $V_{h/težka}$. Iz povprečne delovne prostornine kombiniranih in osebnih dizelskih vozil se deloma ugotovi in oceni, da ta prostornina, ki je podana v kubičnih centimetrih velikosti $V_{h/ostali} = 2000 \text{ cm}^3$, glede na povprečno delovno prostornino težkih tovornih vozil $V_{h/težka} = 8931 \text{ cm}^3$ predstavlja 22% delež. Iz tega razmerja določimo, da v povprečju eno težko vozilo obremenjuje okolje enako kot 4,5 drugih dizelskih vozil ob upoštevanju enake emisijske stopnje vozila. Ob upoštevanju 7% deleža težkih vozil na celotno število dizelskih vozil in glede razmerja prostornine motorja predstavlja delež težkih tovornih vozil 25% udeležbo glede na vsa dizelska vozila. Tako je treba od zgornje dnevne obremenitve $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ odšteti še 75 % obremenitev, ki jih povzročajo druga dizelska vozila, s čimer dobimo le vrednosti obremenitev, ki jih povzročajo težka motorna vozila, in te znašajo $PM_{10} = 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na dan. S tem podatkom pa se lahko začne primerjava na izbranem merilnem mestu Celje ob upoštevanju povprečnega deleža sestave emisijske stopnje vozila iz meritev vozil. Zaradi poznavanja lokalnih razmer okolja in višine stavb v okolici merilnega mesta Celje se osredotočam samo na to merilno mesto in ga skušam primerjati glede na njegovo dnevno obremenitev. Za primerjavo je treba izračunati koncentracijo PM_{10} na robu vozišča, in sicer po naslednji enačbi:

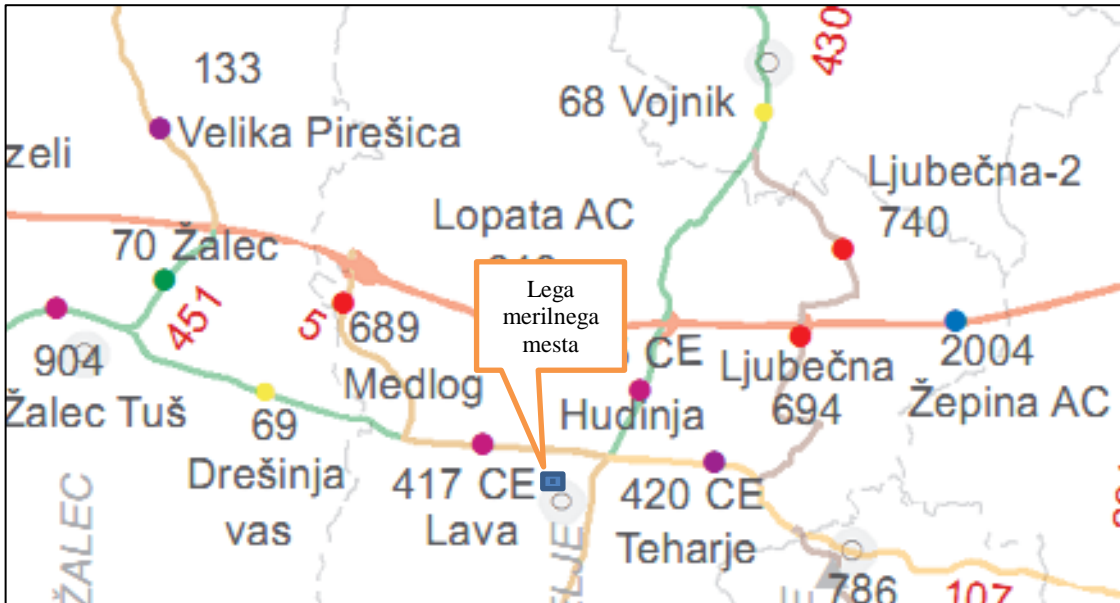
$$\boxed{K_{0,PM_{10}} = 0,34 \times m_{PM_{10}} + 1,4} \quad \text{v } [\mu\text{g}/\text{m}^3], \quad (14)$$

kjer je:

$K_{0,PM_{10}}$ – koncentracija PM_{10} zaradi emisij iz izpuha v $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$,

$m_{PM_{10}}$ – masa urnega pretoka z upoštevanjo sestavo emisijske stopnje vozila $[\text{g}/\text{h}]$.

Vsako emisijsko stopnjo vozila moramo izračunati posebej in nato izračunati povprečno obremenitev na merilno mesto. Za doseganje primerljivih podatkov s podatki ARSO (ARSO, 2013a) zgornjo enačbo preoblikujemo in za število težkih vozil uporabimo podatke PLDP (povprečnega letnega dnevnega prometa) iz poročila DRSC (Direkcija Republike Slovenije za ceste) (DRSC, 2013) za leto 2013 za to merilno mesto.



Slika 15: Števni mesti za PLDP in položaj merilnega mesta emisij

Figure 15: Counting station for ADT and the position of the measuring point emissions

Števni mesti za štetje PLDP-ja sta tipa QLTC8, in sicer je eno števno mesto št. 90, Košnica na glavni cesti G1-5, odsek 0328 na prometnem odseku Celje–Laško, in drugo št. 417, Celje Lava na glavni cesti G1-5, odsek 0370 na prometnem odseku Medlog–Celje, merilno mesto emisij pa je od obeh cest oddaljeno v smeri vzhod–zahod 190 m in v smeri sever–jug 380 m. Za določitev vpliva vetra na merilno mesto emisij je treba upoštevati še smeri in jakost vetra iz rože vetrov. Ugotovimo, da je glede na hitrosti in smer vetra vzhod–zahod ta smer bistveno bolj izrazita in je v njej tudi odsek ceste Celje–Laško, tako da je zaradi tega vpliv obeh prometnic na merilno mesto izenačen in ju lahko obravnavamo kot eno obremenitev, kar pomeni, da bomo število PLDP-ja za obe števni mesti lahko združili in obravnavali kot en linijski vir emisije oddaljen okoli 180 m od merilnega mesta. Za obravnavo enačbe o koncentraciji na robu vozišča le-to preoblikujemo v ustrezne enote, kjer g/km izrazimo v g/h, upoštevati pa je treba tudi povprečno potovalno hitrost teh vozil. Iz uporabniških navodil aplikacije (Dimitris, 2012) ugotovimo, da je priporočena in povprečna hitrost potovanja skozi mestna središča okoli 40 km/h. Za primerjavo moramo upoštevati tudi odsek dolžine 160 m, ki ga predvideva metoda iz navodil (Dimitris, 2012); tako v to enačbo vstavimo tudi ta podatek in podatek o posameznem PM_{10} glede na emisijske stopnje vozila ter celotno enačbo delimo s 24, da dobimo urno maso delcev PM_{10} .

$$K_{0Euro\ 0...5,PM_{10}} = 0,34 \times \text{št. voz. Euro}_{0,5} \times \frac{160}{1000} m_{Euro\ 0,5,PM_{10}} \times 40 \times \frac{1}{24} + 1,4 \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3] \quad (15)$$

kjer je:

št. voz. Euro_{0,5} - št. vozil posamezne emisijske stopnje vozila

$m_{Euro0,5,PM_{10}}$ - masa delcev PM_{10} posamezne emisijske stopnje vozila izražena v g/km

Uporabimo vhodne podatke za PLDP za leto 2013 (DRSC, 2013) za obe točki in ugotovimo, da za števno mesto Celje Lava znaša 405 težkih motornih vozil in za števno mesto Košnica 749 težkih motornih vozil, skupno 1154 vozil po vseh emisijskih stopnjah. Za posamezno okoljsko kategorijo se podatki o vrednosti delcev PM_{10} , ki so podani v g/km prevožene poti, pridobijo iz podanih maksimalnih dovoljenih izpustov (in ne iz povprečja zbranih meritev, kot je bilo to ugotovljeno za motorje okoljske kategorije Euro IV in Euro V), razen za Euro 0, kjer so bili delci izbrani na podlagi rastočega razmerja delcev med Euro III in Euro I.

Preglednica 7: Mejne vrednosti delcev po emisijskih stopnjah iz meritev

Table 7: The limit values for particulate emission levels form measurements

Emisijska stopnja vozila	Mejna vrednost trdnih delcev PM_{10} v g/km
Euro 0	0,25
Euro I	0,14
Euro II	0,10
Euro III	0,05
Euro IV	0,025
Euro V	0,005

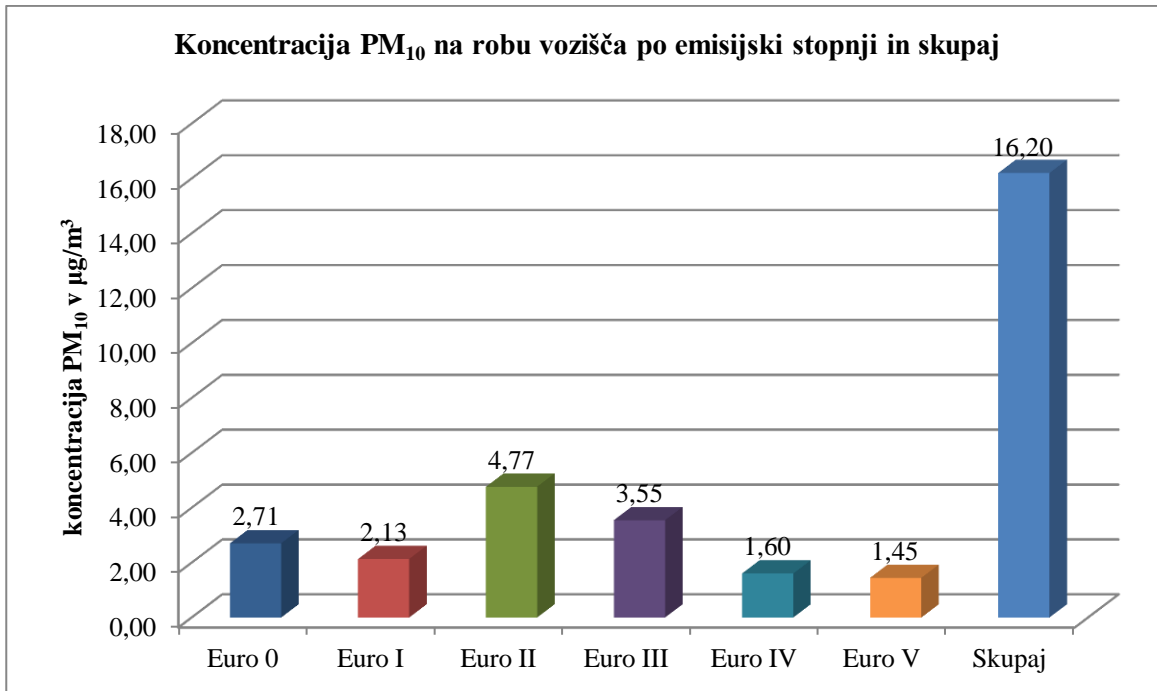
Iz teh podatkov in iz deležev, ugotovljenih iz meritev vseh 180 vozil (grafikon št. 0-3), lahko naredimo izračun za posamezno emisijsko stopnjo vozila z upoštevanjem te stopnje, ki je bila dobljena iz meritev, in sicer v deležu vozil Euro III, ki je na prvem mestu z 41 %, sledi ji emisijska stopnja Euro II z 32 %, nato Euro V z 9 % in Euro IV z 8 %, na zadnjih dveh mestih pa sta Euro I in Euro 0 s 5 %. Iz tega razmerja dobimo naslednje število vozil po posameznih emisijskih stopnjah.

Preglednica 8: Število izmerjenih vozil in delež po emisijskih stopnjah

Table 8: The number of measured vehicles and the proportion of the emission levels

Emisijska stopnja vozila	Št. izmerjenih vozil	Delež (%)	Št. vozil PLDP
Euro 0	9	5	58
Euro I	9	5	58
Euro II	58	32	372
Euro III	74	41	474
Euro IV	14	8	90
Euro V	16	9	103
SKUPAJ	180	100	1.154

Po zbranih in obdelanih vseh vrednostih se preračunajo vrednosti koncentracije izpustov emisij težkih dizelskih vozil PM_{10} na robu vozišča po posamezni emisijski stopnji in skupni vrednosti.



Grafikon 19: Koncentracija PM₁₀ po emisijskih stopnjah na robu vozišča

Graph 19: The concentration of PM₁₀ emission rate at the edge of the carriageway

Prejšnji graf nam prikaže koncentracije PM₁₀ na robu vozišča po posamezni emisijski stopnji in skupno vrednost te koncentracije, ki je $K_{0/Euro\dots} = 16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Za preveritev izračunane koncentracije na robu vozišča oziroma 8 metrov od sredine se uporabi enačba:

$$K_0 = \frac{q_m}{\pi^{1/2} \times \sigma_z \times u} \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3], \quad (16)$$

kjer je:

K_0 – koncentracija PM₁₀ zaradi emisij iz izpuha v [$\mu\text{g}/\text{m}^3$],

q_m – masni pretok z upoštevanjo sestavo emisijske stopnje vozil [g/h],

σ_z – standardni odklik razporeditve koncentracije PM₁₀ v navpični smeri po privzeti zvezi (De Visscher, 2014),

$$\sigma_z = 0,22 \cdot x^{0,78} \quad [m], \quad (17)$$

x – razdalja od sredine vozišča do meritve emisij,

u – hitrost vetra na kraju povzročanja vira emisij v pravokotni smeri na os vozišča in v vzdolžni smeri na merilno mesto v smeri vetra v [m/s].

Prejšnja enačba (17) nam na razdalji 8 m od sredine vozišča ob upoštevanju izračunanega masnega pretoka $q_m = 22,9 \text{ g/h}$ in upoštevanju povprečne hitrosti vetra iz rože vetrov tega merilnega mesta $u = 0,7 \text{ m/s}$ da rezultat $K_0 = 16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je zelo dobro ujemanje z rezultatom, izračunanim na podlagi izmerjenih in predpostavljenih izpustov iz vozil, $K_{0/euro} = 16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Za popolno določitev vpliva emisije omenjene ceste na merilno mesto je treba določiti disperzijski model, ki je glede na vir disperzije privzet kot linijski vir, kar pomeni, da je vzdolž vozišča

enakomerno porazdeljen. Samo merilno mesto nam ponuja uporabo Gaussovega disperzijskega modela (Žabkar, Rakovec, 2012), kjer je reliefno merilno mesto na enakem nivoju kot vozišče, dvignjeno samo za višino zajema delcev v višini od tal $z = 2$ m, vir onesnaženja pa je pri težkem prometu v povprečju na višini $H = 0,5$ m od tal. Za določitev padca koncentracije od roba vozišča do merilnega mesta se uporabi enačba:

$$C_{\text{dodatna}} = K_o \times \left(e^{\left\{ \frac{-(H-z)^2}{2x\sigma_z^2} \right\}} + e^{\left\{ \frac{-(H+z)^2}{2x\sigma_z^2} \right\}} \right), \quad (18)$$

kjer je:

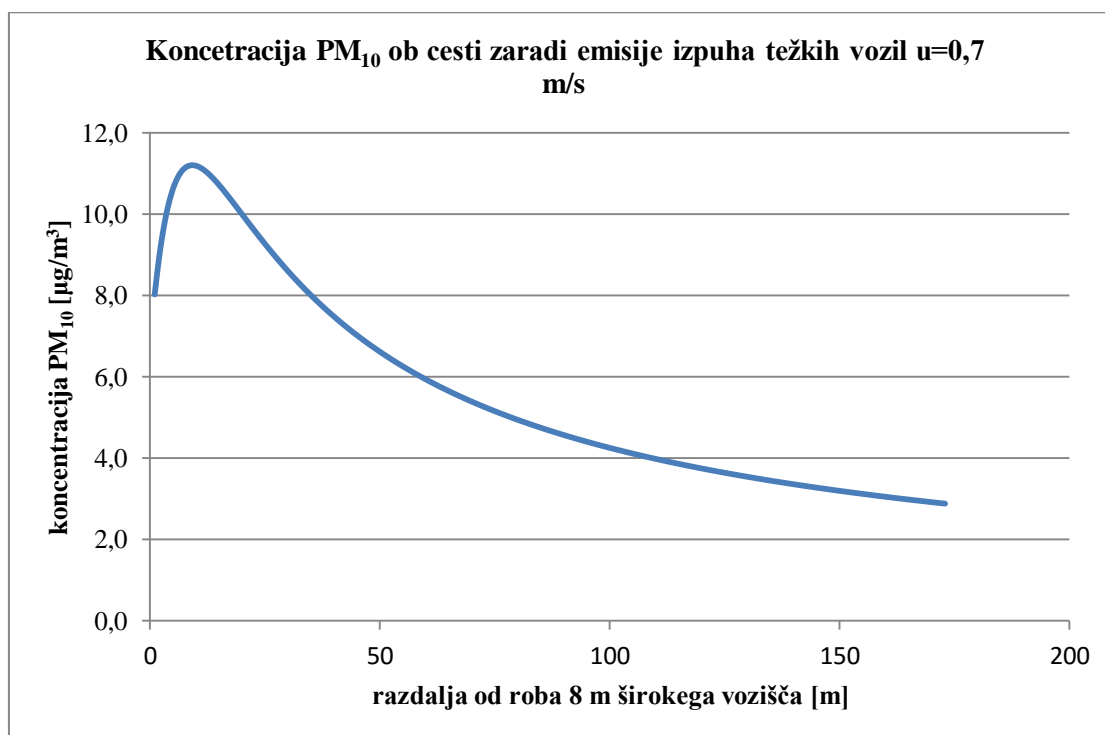
C_{dodatna} – koncentracija izračuna zunanjega zraka zaradi emisije PM_{10} v $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$,

K_o – koncentracija PM_{10} zaradi emisij iz izpuha v $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$,

σ_z – standardni odmik razporeditve koncentracije PM_{10} v navpični smeri,

H – povprečna višina izpustov težkega prometa merjena od tal $H = 0,5$ m,

z – višina za zajem delcev merjena od tal $z = 2$ m.

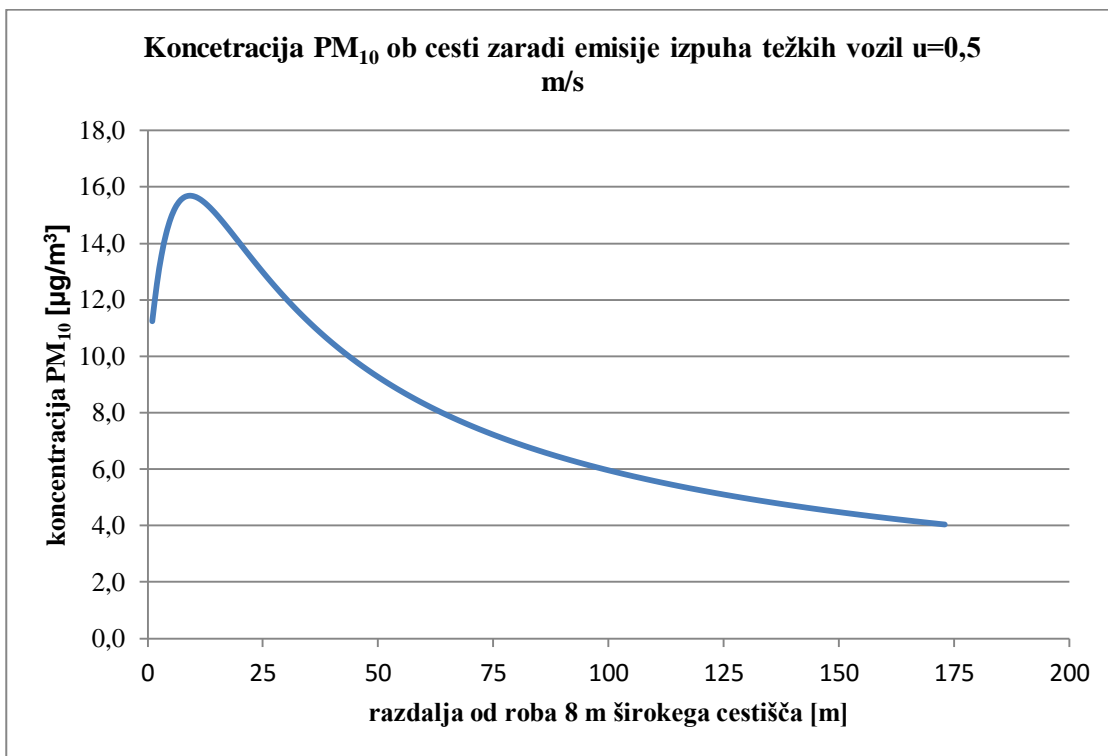


Grafikon 20: Koncentracija PM_{10} v oddaljenosti od roba vozišča

Graph 20: The concentration of PM_{10} in the distance from the edge of the carriageway

Iz prejšnjega grafa je razvidna porazdelitev koncentracije PM_{10} glede na oddaljenost od roba vozišča, pri čemer ugotavljamo, da le-ta narašča v oddaljenosti do 8 m od roba vozišča, nato pa začne padati in opazimo, da je 180 m od roba vozišča, kjer je merilno mesto, ta še v vrednosti $PM_{10(180)} = 2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je bistveno nižja vrednost, kot je bila izmerjena iz vseh določenih virov težkih dizelskih vozil na

merilnem mestu, kjer je znašala $PM_{10} = 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, glede na delež dnevnih obremenitev težkih dizelskih vozil. Če upoštevamo še bolj neugodne razmere na mestu povzročanja emisij pa vse do mesta meritve emisij glede na hitrost vetra, ki ga lahko razberemo iz rože vetrov, lahko predpostavimo, da je ta $u = 0,5 \text{ m/s}$. S tem podatkom pa dobimo drugačno porazdelitev koncentracije PM_{10} glede na oddaljenost od roba vozišča, saj se ob nespremenjenih drugih parametrih izračuna vrednost na merilnem mestu v vrednosti $PM_{10(180)} = 4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je še vedno nižja vrednost, kot je bila izmerjena iz vseh določenih virov težkih dizelskih vozil na merilnem mestu, kjer je znašala $PM_{10} = 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, glede na delež dnevnih obremenitev težkih dizelskih vozil. Pri tem je treba poudariti, da so v tem primeru zajeti najbolj neugodni meteorološki pogoji (De Visscher, 2014) glede na smer in hitrost vpliva vetra na merilno mesto.



Grafikon 21: Koncentracija PM_{10} v oddaljenosti od roba vozišča

Graph 21: The concentration of PM_{10} in the distance from the edge of the carriageway

Iz izračuna ugotovimo, da se vrednosti koncentracije na robu vozišča v oddaljenosti do 8 m od roba dvignejo skoraj na vrednost $K_0 = 16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar nakazuje, da so vetrovne razmere na tem mestu oziroma vplivi vetra, ki prispevajo k onesnaženosti v smeri vetra na razdalji od merilnega mesta do virov onesnaževanja, zelo neugodne ob majhnih hitrostih vetra glede na koncentracijo PM_{10} . Tako je na merilnem mestu izračunana disperzija v vrednosti $PM_{10} = 3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar predstavlja skoraj 50 % manjše vrednosti glede na meritve iz vseh določenih virov težkih dizelskih vozil na merilnem mestu. Vzroke za takšno odstopanje je možno iskati na območju samega merilnega mesta, saj je vzporedno z

obravnavano glavno cesto speljana proga, po kateri se odvija železniški promet na relaciji Celje–Velenje; ta vir sicer ni zajet v to vrednost, ima pa zagotovo določen odstotek vpliva.

6 ZAKLJUČEK

6.1 Ugotovitve iz meritev in modela disperzije

Iz razlike ocenjenih meritev emisij deleža dnevnih koncentracij težkih dizelskih vozil delcev PM_{10} na merilnem mestu in iz disperzijskega modela porazdelitve koncentracij glede na neugodne meteorološke razmere izhaja večja razlika, ki je lahko tudi do 53 % večja na strani meritev emisij deleža dnevnih koncentracij težkih dizelskih vozil delcev PM_{10} . Vzrokov za takšno odstopanje je zagotovo več, največji med njimi pa je ta, da se delež industrije, ki ima zagotovo močan vpliv na merilno mesto, ne da natančno določiti in izločiti iz tega odstotka. To so potrdile že predhodne raziskave, ki so se izvajale na tem merilnem mestu z uporabo kemijske analize in indikatorji policikličnih aromatskih ogljikovodikov. Seveda ni v tem odstotku zajet tudi delež resuspenzije delcev, ki ima po izvedeni kemijski analizi okoli 9% delež in je zagotovo posledica izvajanja cestnega prometa ne le težkega dizelskega, ampak celotnega prometa, ki se odraža v dviganju cestnega prahu. Pri določanju kurjenja lesa v razmerju 24 % na celotno vrednost dnevnih koncentracij so tuje študije (Koleša et al., 2011) razdelile vrednosti PAH v dve veliki skupini, in sicer v razmerju 20 % deleža prometa in 80 % deleža kurjenja lesa. Tako lahko vidimo, da gre za tri prispevke različnih virov emisij PM_{10} , ki niso natančno opredeljeni v skupino cestnega prometa; ker pa je opredelitev deleža glede na meritve, ki se izvajajo na merilnih mestih po Sloveniji in tudi na merilnem mestu Celje, skoraj nemogoče ovrednotiti brez kemijske analize, se deleži koncentracij PM_{10} porazdelijo med vse vire emisij, žal pa je cestni promet skupaj z industrijo največji vir emisij in se mu prišteje tudi največji delež neporazdeljenih koncentracij. Za določitev pravih vrednosti emisij PM_{10} iz cestnega prometa z uporabno metodologije Copert IV, ki jo uporabljajo skoraj vse evropske države za poročanje, bi bilo treba vključiti število prevoženih kilometrov za posamezno emisijsko stopnjo vozila. Prav tako bi za realno sliko po posameznih območjih, kot so občine ali cone, za ocenjevanje kakovosti zraka postavili avtomatske števec prometa (PLDP), ki bi bili sposobni ločevati med težkimi motornimi vozili in drugim prometom, s temi podatki pa bi bila metodologija veliko bolj uporabna za določitev emisij PM_{10} po vseh kategorijah vozil.

6.2 Ovrednotenje izpustov iz testov meritev in dejanske vožnje

Vrednosti izpustov iz težkih motornih vozil niso take, kot so prikazane v poročilih (Logar et al., 2016) zunanjega zraka (25 %), ki temeljijo na prodanih količinah dizelskega goriva. Ni namreč mogoče določiti, kje bo neko vozilo opravljalo dejavnost, četudi je bilo gorivo prodano v Sloveniji. Težava je predvsem glede dizelskega goriva, ki je bilo prodano tujim prevoznikom, ki so zapustili naše območje oziroma državo. Prav tako je v prodanem gorivu zajet delež goriva, ki se uporablja v kmetijstvu, gozdarstvu in drugih necestnih vozilih ter delovnih strojih in po podanih poročilih predstavlja skoraj 10 % prodanega dizelskega goriva vsem težkim tovornim vozilom. Največji delež zmanjšanja emisij pa je zagotovo pri vrednotenju izpustov delcev na km prevožene poti, saj so v vseh poročilih uporabljene zgornje dopustne mejne vrednosti, določene glede na emisijsko stopnjo vozila oziroma

motorja, ki nikakor ne more biti merilo, saj so te vrednosti dobljene iz testov proizvajalcev vozil, testiranih na stopnji do 75 % deklariranih obratov motorja in pri povprečnih obremenitvah v vrednosti okoli 62,5 % motorja glede na faze preizkusa, kar pa v praksi na ravni cesti ne predstavlja takšne obremenitve glede na število obratov. Omenjene zgornje mejne vrednosti se lahko začnejo primerjati šele na klančini in še to na večji od 5 % ter pri emisijski stopnji vozila manjši od Euro IV, vključno s to stopnjo vozila. Omenjeno dejstvo potrjujejo tudi izmerjene vrednosti faktorja dimnosti, ki so bile pri motorjih emisijske stopnje Euro IV v povprečju za 8-krat nižje od dovoljenih, pri motorjih emisijske stopnje Euro V pa v povprečju celo do 12,5-krat nižje od dovoljenih. Rezultati meritev dimnosti v korelaciji z izpusti delcev na km prevožene poti so potrdili hipotezo, da so delci pri najnižji emisijski stopnji vozila najvišji, pri najvišji emisijski stopnji pa najnižji. Tako se oblikuje razmerje med največjo emisijsko stopnjo Euro V in Euro 0, ki je 0,05 ali povedano drugače, da eno vozilo najnižje emisijske stopnje izpusti na km prevožene poti toliko delcev kot 20 vozil največje emisijske stopnje, upoštevajoč enake obremenitve in delovne prostornine obeh vozil. Povprečni prevoženi kilometri po posamezni emisijski stopnji vozila so obratno sorazmerni, kar je bila tudi postavljena hipoteza, razen pri emisijski stopnji Euro 0, kjer je bilo iz analize posameznih vozil ugotovljeno, da ne gre za komercialna vozila za prevoz potnikov ali blaga, ampak so to vozila za posebne namene ali celo specialna vozila, ki na leto prevozijo zelo malo kilometrov, njihova glavna dejavnost pa ni premagovanje razdalj. Zelo dobro se je pokazala korelacija med povprečnim absorpcijskim koeficientom dimnosti in izpuščenimi delci PM_{10} emisij na km prevožene poti po posamezni emisijski stopnji, ki pa nikakor ni v povezavi s številom prevoženih kilometrov in se na delež povečanega števila km ali celo starosti vozil, kot to navajajo v poročilih (Logar et al., 2016) zunanjega zraka, ne povečuje delež emisij PM_{10} , zato je za povečanje emisij PM_{10} iz izpuhov težkih motornih vozil odločujoča samo emisijska stopnja vozila in število letih vozil na določenem območju.

6.3 Ukrepi za zmanjšanje emisij trdih delcev PM_{10} težkih vozil in njihovo izvajanje

Različne organizacije za stanje ozračja ali kakovost zraka v urbanih središčih, v katerih živimo, so predpostavile veliko ukrepov za zmanjševanje emisij trdnih delcev PM_{10} . Ukrepi so v splošnem administrativni in tehnični. Tehnične ukrepe izvajajo neposredno najprej proizvajalci vozil, drugi pa so projektanti in prometni načrtovalci. V stopnjevanju emisijskih stopenj vozil bo zagotovo sledil Euro 7/VII, ki bo prinesel zmanjšanje porabe in posledično zmanjšanje izpustov emisij tako PM kot NO_x , saj se z nadzorom tlaka v realnem času to lahko dosega, kar omogočajo najnovejše tehnologije, ki so plod razvoja slovenskih inovatorjev. Najpomembnejša med navedenimi ukrepi sta s cestnim prometom neposredno povezana dva tehnična ukrepa, in sicer vgradnja filtra za trdne delce na lahko tovorno vozilo za dostavo po mestu in vgradnja filtra na vozila javnega potniškega prometa. Prav tako sta bila določena dva administrativna ukrepa, in sicer zmanjšanje hitrosti vozil na obvoznici na 80 km/h in vzpostavitev okoljskih con na območju mestnega okolja. Slednjega je izbrala (Rubin, 2013) Mestna

občina Maribor, a je ostalo le pri eksperimentu, ker občina ni imela rešitve, da bi zamenjala vozila javnega potniškega prometa z novejšimi vozili in bi s tem ohromila javni potniški promet v samem mestu. Za vgradnje filtrov na vozila nikoli ni bilo izdanega administrativnega ukrepa, prav tako ni prišlo do tehnične realizacije tega ukrepa. Za izboljšanje stanja na področju emisij trdnih delcev iz cestnega prometa ali iz izpuha težkih motornih vozil je potrebno usklajeno delovanje različnih institucij in organov na različnih področjih. Tako lokalne skupnosti ne bodo mogle same izvajati ukrepov zmanjšanja trdnih delcev na svojem področju, brez pomoči na državnem nivoju, kjer bi bilo treba določiti tiste vire trdnih delcev, ki se na področju celotne države sploh ne bi več smeli gibati, posamično emisijsko stopnjo v smislu omejitve pa bi potem na podlagi usmeritev države predpisale posamezne lokalne skupnosti. Pri procesu zmanjševanja izpustov trdnih delcev na področju prometa je treba najprej doseči dosledno spoštovanje administrativnega ukrepa pri dajanju novih ali posamično uvoženih vozil na trg, za kar morajo poskrbeti organi, ki so zadolženi za izdajanje homologacijskih listin, saj je bilo na področju uvajanja emisijske stopnje Euro V ugotovljeno, da so bila na slovensko območje v uporabo dana vozila, ki niso izpolnjevala predpisanih izpustov trdnih delcev na km prevožene poti. Med tehničnimi ukrepi za zmanjšanje emisij trdnih delcev so tudi priporočila projektantom glede vzdolžnih nagibov vozišča pri vodenju težkega prometa skozi urbana središča – če je mogoče, naj se uporabljajo vzdolžni nagibi do vrednosti 5 %, saj se do te vrednosti bistveno ne povečujejo emisije težkih vozil in se ne zmanjša potovalna hitrost; če pa je ta meja presežena, naj ne presega vrednosti 7 % vzdolžnega naklona, saj se začnejo nad to vrednostjo povečevati obrati motorja in zmanjševati potovalna hitrost težkih vozil, s tem pa se okolje posledično zelo obremenjuje s trdnimi delci PM_{10} . Za izvajanje nadzora emisij predvsem delcev PM_{10} so proizvajalci vozil zavezani, da voznika preko mehanske ali elektronske indikacije na armaturni plošči obveščajo o stanju reagenta (Adblue), ko se ta spusti pod nivo 10 %, prav tako se ob popolnem praznem rezervoarju reagenta aktivira t. i. odklopna strategija, ki je pri večini proizvajalcev izražena z omejitvijo navora moči motorja na 75 %, s čimer prisili voznika, da ponovno napolni omenjeni rezervoar za nemoteno delovanje sistema za zmanjševanje emisij delcev. Med izvajanjem meritev sem vzpostavil stike z vozniki težkih vozil, ki so med drugimi težavami poudarili problem uporabe dodatka Adblue, ki je potreben za selektivno katalitično redukcijo, saj jim ga delodajalec ne priznava kot strošek prevoza in ga zato tudi ne uporabljajo, namesto njega pa, da ne pride do zmanjšanja moči motorja, kot varovalko sistema nadzora emisij naližejo kar navadno vodo. Noben administrativni ukrep v Republiki Sloveniji ne določa, kateri nadzorni organi bi na cesti nadzirali pravilno uporabo reagenta v težkih motornih dizelskih vozilih, saj je sistem proizvajalca narejen samo za »poštene« voznike oziroma uporabnike, ki z uporabo reagenta v sistemu za naknadno obdelavo izpušnih plinov skrbijo za njegovo pravilno delovanje. Nujna bi bila uvedba nadzora ustrezne uporabe reagenta v vozilih (kjer se ta zahteva) po sistemu nadzora pogonskih goriv glede namenske uporabe energentov v prevoznih sredstvih, ki ga v RS izvaja finančna uprava. Znotraj resolucije CEMT bi lahko država kot administrativni ukrep omejila število tranzitnih dovolilnic za najnižje emisijske stopnje do vključno Euro III, kar bi morala doseči s

soglasjem vseh članic CEMT-a, vendar ob upoštevanju vzajemnosti izmenjave dovolilnic ta ukrep v praksi glede na majhnost naše države ne bo nikoli zaživel.

Največji administrativni ukrep za omejitev nizkih emisijskih stopenj od Euro 0 do Euro II za domače in tuje prevoznike, ki je legalen in nediskriminira glede na poreklo prevoznika, je zagotovo dvig cestnine. Pred izvedbo dviga cestnin pa bi bilo treba z vidika emitiranih delcev v ozračje razdeliti zdaj združeni emisijski razred Euro 0 do Euro II na vsaj dva ali najbolje tri razrede, saj je trenutna združitev nepravilna do prevoznikov z vozili Euro I in Euro II. Dvig cestnine po emisijskih stopnjah ne sme biti proporcionalen po številu vseh cestninskih razredov, ampak mora slediti količini emitiranih delcev na km poti. Omenjeni administrativni ukrep ima dva učinka – voznike vozil z nizkimi emisijskimi stopnjami sili k zamenjavi z višjimi, sredstva, ki bi se zbrala z dvigom cestnine po emisijskih stopnjah, pa bi se morala uporabiti v spodbude za sofinanciranje ali kreditiranje ekološko prijaznih vozil.

7 POVZETEK

Kvaliteta ozračja ali samega zraka, v katerem ljudje bivamo in delamo, postaja v urbanih središčih vse bolj cenjena dobrina, ki je ni mogoče natančno opredeliti, pa tudi meritve so zaradi meteoroloških pogojev zahtevne. Zagotovo je ARSO pri nas institucija, ki se trudi javnosti posredovati kvalitetne informacije o kakovosti zunanega zraka po vseh merljivih parametrih preko mesečnih in letnih poročil. Prav tako ni dvoma o postopkih meritev in o izmerjenih rezultatih, predvsem lahko to potrdimo za trdne delce, ki jih merijo na merilni mreži za meritve kakovosti zunanega zraka na področju celotne RS, ki jo postopoma povečujejo in nadgrajujejo.

Tako lahko ugotovimo, da se je v zadnjih letih sistem meritev z njihovimi metodami zelo izpopolnil in posodobil predvsem zaradi višje stopnje informacijske tehnologije. Prav tako so bili zajeti vsi točkovni viri onesnaževal in ovrednoten njihov delež v skupni meritvi. Žal pa se premični vir onesnaževal, kamor spadajo tudi težka vozila, na strani izvora delcev ni nikoli natančno ovrednotil v smislu njegovega gibanja in kolikšen je zaradi tega gibanja njegov delež glede na celotno izmerjeno stopnjo trdnih delcev na posameznem merilnem mestu ali območju. Tako se bodo morali organi, ki upravljajo različne baze podatkov (DRSC, DARS), med seboj povezati in si na enostaven ter preprost način glede na tehnične možnosti izmenjevati podatke PLDP, da bodo lahko ocenjevali vpliv težkega prometa na posamezno lokacijo ali območje. Pri tem se je treba zavedati, da vseh podatkov o gibanju prometa ne bo mogoče zajeti, saj obstaja veliko lokalnih cest in drugih neprometnih površin, na katerih se nikoli ne bodo izvajale meritve. Za take primere izpustov (traktorji, delovni stojji, lokomotive itd.) pa se bo na nivoju države moral sprejeti administrativni ukrep, ki bo v prvi vrsti zabeležil vsaj število takih vozil in njihovo letno delovanje v obliki delovnih ur ali prevoženih kilometrov, odvisno od načina beleženja. Za vsa motorna vozila, ki se udeležujejo rednih tehničnih pregledov, ki jih izvajajo pooblaščenice organizacije, se z uvedbo novih administrativnih ukrepov lahko ob izvajanju tehničnega pregleda pridobijo prevoženi kilometri; ob dveh zaporednih letnih pregledih so podatki hitro dostopni za vsako posamezno emisijsko kategorijo vozila in bi lahko v poročilih o kakovosti zraka uporabili zelo relevantne podatke o prevoženih kilometrih in ne bi imeli vseh prevoženih kilometrov enakih po posamezni emisijski kategoriji, kar je v praksi nemogoče doseči.

Vsi podatki, dobljeni iz različnih virov in institucij (tehnični pregledi, baze motornih in drugih vozil itd.), se bodo morali sproti pošiljati na ARSO, kot skrbniku za zagotavljanje kakovosti zraka, ki jih bo lahko vključil v svoje okoljske modele. Seveda bo zajem teh podatkov najprej povzročil precejšno oviro, na dolgi rok pa bodo lahko ti podatki zelo dobri pokazatelji trdnih delcev za premične linijske vire, glede na njihovo porazdelitev po posameznih conah, kjer se izvajajo te meritve že danes.

8 SUMMARY

The quality of atmosphere or the air that surrounds people at home or work in urban centres is becoming increasingly respected value which cannot be precisely defined. Moreover, its measurements are complex due to meteorological conditions. The Slovenian Environment Agency is indisputably trying to communicate high quality information on ambient air according to all measurable parameters through monthly and yearly reports. What is more, there is no need to doubt the measurement procedures and the measured results. This can be certified especially for particulate matter measured at the measuring network for ambient air quality measurement in the entire area of the Republic of Slovenia which is being gradually expanded and upgraded.

Therefore, it can be established that in the recent years the measurement system and the measurement methods were refined and upgraded to the highest level, mainly because of high-level information technology. On the other hand, all point sources were also covered and their share in the overall measurement was evaluated. Unfortunately, mobile pollutant sources that cover also heavy-duty vehicles at particulate matter source have not been exactly defined in terms of their movement and their share in the overall measured level of particulate matter at each measurement site or area. The authorities that manage various data bases, i.e. Slovenian Roads Agency and Motorway Company of the Republic of Slovenia, will have to cooperate for straightforward exchange of AADT data in line with technical possibilities to facilitate the assessment of heavy-duty traffic impact on the individual location or area. Regarding this it should be noted that traffic movement data cannot be fully covered because of a vast number of local roads and other non-traffic areas where measurements will not be carried out. For such cases of emissions (tractors, machinery, locomotives, etc.) a state-level administrative action will have to be taken which will primarily record at least the number of such vehicles and the operation of these vehicles on yearly basis in the form of work hours or transport kilometres, depending on the recording approach. For all motor vehicles being regularly tested for roadworthiness by authorised organisations the implementation of new administrative actions enables the acquisition of transport kilometres data at the roadworthiness testing. With two consecutive yearly tests the data is easily accessible for each emission category of the vehicle. Therefore, air quality reports could contain highly relevant data on transport kilometres, whereas not all transport kilometres would be the same for each emission category which is impossible in practice.

All the data collected from various sources and institutions (roadworthiness tests, motor and other vehicle registers, etc.) will have to be forwarded, in real time, to the Slovenian Environment Agency as the air quality provider to incorporate them in its environmental models. Naturally, the acquisition of these data will present a serious obstacle; however, in the long term these data may be a significant indicator of particulate matter for mobile line sources considering their distribution across individual zones where measurements are already taking place.

VIRI

ARSO. 2013a. Vplivi prometa na kakovost zraka v mestih. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=574. (Pridobljeno 19. 6. 2015.)

ARSO. 2013b. Evidenca registriranih motornih in priklopnih vozil v Republiki Sloveniji, Ministrstvo za notranje zadeve.

http://kazalci.arso.gov.si/xml_table?data=graph_table&graph_id=14105&ind_id=672. (Pridobljeno 15. 9. 2015.)

Bizjan F. 2009. Zbirka nalog iz motorjev z notranjim zgorevanjem. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 341 str.

Bolte, T., Turšič J., Gominšek B., Rode B., Šegula A., Vehovar J., Lešnik M., Koleša T., Tratnik S., Pavli P., Debeljak J., Rus J. 2007. Poročilo pilotnega projekta Opredelitev virov delcev PM₁₀ V Sloveniji.

https://www.google.si/search?q=Opredelitev+virov+delcev+PM10+v+Celju&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gws_rd=cr&ei=Iks7V4njCoGHaeq0hsAL (Pridobljeno 11. 6. 2015.)

Bosch, R. 2005. Diesel- engine management. Plochingen, Avtomotive Aftermarket: 504 str.

Cegnar, T., Gjerek M., Logar M., Murovec M., Planinšek A., Paradiž B., Pucer J., Rode B., Rus M., Turšič J. 2014. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2013. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.

https://www.google.si/search?q=Kakovost+zraka+v+Sloveniji+v+letu+2013&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gws_rd=cr&ei=OG07V82XGIeTU7LbnOgD (Pridobljeno 15.6. 2015.)

Cenik cestnine za uporabo cestninskih cest. Uradni list RS št. 79-2854/2013: 8839.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=114528#!/Cenik-cestnine-za-uporabo-cestninskih-cest> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Dimitris, G. 2012. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport User manual (version 9.0), Emisia, 70 str.

<http://emisias.com/products/copert-4/documentation> (Pridobljeno 28. 3. 2016.)

De Visscher, A. 2014. Air dispersion modeling. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey: 662 str.

Direktiva o nacionalnih zgornjih mejah emisij za nekatera onesnaževala zraka. UL. EU št. 81/2001: 22 – 30

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32001L0081&from=SL>

(Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Direktiva o kakovosti zunanjšega zraka in čistejšem zraku za Evropo. UL. EU št. 50/2008: 1 – 44

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050&from=SL>

(Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Direktiva o približevanju zakonodaje držav članic v zvezi z ukrepi, ki jih je treba sprejeti proti emisijam plinastih in trdnih onesnaževal iz motorjev na kompresijski vžig, ki se uporabljajo v vozilih, ter emisijam plinastih onesnaževal iz motorjev na prisilni vžig, ki za gorivo uporabljajo zemeljski plin ali utekočinjeni naftni plin in se uporabljajo v vozilih. UL. EU št. 55/2005: 1 – 163

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32005L0055&from=SL>

(Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Direktiva o homologaciji motornih vozil in motorjev glede na emisije iz težkih vozil (Euro VI) in o dostopu do informacij o popravilu in vzdrževanju vozil ter o spremembi Uredbe (ES) št. 715/2007 in Direktive 2007/46/ES ter o razveljavitvi direktiv 80/1269/EGS, 2005/55/ES in 2005/78/ES. UL. EU št. 595/2009: 1 – 13

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009R0595&from=SL>

(Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Dobovišek, Ž. 1994. Motorji z notranjim zgorevanjem (I. del, realnicikluisi), Zbrano gradivo. TF Maribor, Oddelek za strojništvo, Založniško tiskarska dejavnost TF Maribor, 166 str.

DRSC, 2013. Podatki o prometu, prometne obremenitve preglednica. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo: 21 str.

http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/podatki_o_prometu/

(Pridobljeno 7. 5. 2016)

Eko sklad. 2016. Nepovratne finančne pomoči/spodbude pravnim osebam za električna vozila. Eko sklad

<https://www.ekosklad.si/razpisi/prikazi/tenderID=63>. (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Evropska okoljska agencija, 2013. Kakšen zrak dihamo, Kopenhagen, 39 str.

<http://www.eea.europa.eu/sl/publications/eea-signali-2013-kaksen-zrak-dihamo> (Pridobljeno 11. 6. 2015.)

Finančna Uprava RS. 2016. Davek na motorna vozila, Finančna Uprava RS. http://www.fu.gov.si/davki_in_druge_dajatve/podrocja/davek_na_motorna_vozila_dmvt/. (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Fischer R., Gscheidle F., Heider U., Hohmann B., Keil W., Jochen M., Schlougl B., Wimmer A., Wormer G. 2011. Motorno vozilo. 29. prenovljena izdaja, Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 716 str.

Halderman, J.D. 2011. Automotive engines:theory and servicing. 7. izdaja, New Jersey, Pearson Education, 588 str.

ISO 11614:1999 Reciprocating internal combustion compression-ignition engines -- Apparatus for measurement of the opacity and for determination of the light absorption coefficient of exhaust gas

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11614:en> (Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Jejčič, V. 2014. Naknadna obdelava izpušnih plinov. Revija stroji 28: 38-40.

Jović, M. 2015. Kamion & Bus. V: Tehnološke ekološke rešitve. Jović, M. (ur.), Priloga revije Kamion & Bus. 3, 14:12.

Kegl, B. 2006. Osnove motorjev z notranjim zgorevanjem. Maribor, Fakulteta za strojništvo: 279 str.

Koleša T, Šegula A., Muri G. 2011. Opredelitev virov delcev PM₁₀ v Celju. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija za okolje in prostor: 24 str.

<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/ViriCelje.pdf>

(Pridobljeno 2. 6. 2015.)

Logar, M., Rode, B., Verbič, J., Mekinda Majaron T. 2016. Informative inventory report 2016 for Slovenia. 2016. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje: 235 str.

http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_zraka/uploads/datoteke/IIR_2016_Slovenia.pdf (Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Majaron Mekinda, T., Česen M., 2014. Izpusti toplogrednih plinov energetskega izvora. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=559

Moussiopoulos, N., Kalognomou, A. Papathanasiou, S. Eleftheriadou, P. Barmpas, C. Vlachokostas. 2005. Street Emissions Ceiling exercise Phase 2 report, European Topic centre on Air and Climate Change: 146 str.

http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TechPaper_2004_5_SEC_Phase2Rep.

Novak, P. 2003. Navodila za uporabo. Ljubljana, Produkt oprema za avtoservisno dejavnost d.o.o.: 45 str.

Pavšič, G. 2015. Slovenska inovacija, ki bo vžigala vsak tretji dizelski avtomobil in nižala porabo goriva.

<http://siol.net/avtomoto/reportaze/slovenska-inovacija-ki-bo-vzigala-vsak-tretji-dizelski-avtomobil-in-nizala-porabo-goriva-119588>. (Pridobljeno 11. 6. 2015.)

Prajnc, S. 2013. Razvoj poenostavljene metodologije za nadzor emisij cestnega prometa v urbanem okolju. Magistrsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo (samozaložba S, Prajnc): 116 f.

Pravilnik o meroslovnih zahtevah za merila za merjenje izpušnih plinov motornih vozil na kompresijski vžig. Uradni list RS št. 106-5152/2001: 11277.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=34138#!/Pravilnik-o-meroslovnih-zahtevah-za-merila-za-merjenje-izpusnih-plinov-motornih-vozil-na-kompresijski-vzig> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjskega zraka. Ljubljana, Uradni list RS št. 36-1933/2007: 5106.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=79844#!/Pravilnik-o-monitoringu-kakovosti-zunanjskega-zraka> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2007. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. 3. izdaja, Ljubljana, DMFA – Založništvo: 313 str.

Rubin, M., Červek U. 2013. Okoljska cona bo ostala eksperiment. Delo (11.sep. 2013) 55, 210:str. 10. <http://www.delo.si/novice/slovenija/okoljska-cona-bo-ostala-eksperiment.html> (Pridobljeno 11. 10. 2015)

SIST EN 12341-2014. 2014. Zunanji zrak – Standardna gravimetrijska metoda za določevanje masne koncentracije frakcije lebdečih delcev PM₁₀ ali PM_{2,5} Ambient air – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter

Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku. Uradni list RS št. 52-2530/2002: 5292.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=36908#!/Uredba-o-zveplovem-dioksidu-dusikovih-oksidih-delcih-in-svincu-v-zunanjem-zraku> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Uredbo o fizikalno-kemijskih lastnostih tekočih goriv. Uradni list RS št. 74-3198/2011: 9834.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=105143#!/Uredba-o-fizikalno-kemijskih-lastnostih-tekocih-goriv> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Uredba o kakovosti zunanjega zraka. Ljubljana. Uradni list RS št. 9-368/2011: 954.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=102172#!/Uredba-o-kakovosti-zunanjega-zraka> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Vlada RS, 2009. Operativni program varstva zunanjega zraka pred onesnaževanjem s PM 10. Ljubljana, Vlada RS: 205 str.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo_okolja/operativni_programi/op_onesnazevanje_pm10.pdf (Pridobljeno 4.5.2015.)

Zakona o cestnini za vozila, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg. Uradni list RS št. 69-3013/2008: 9461.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=87563> (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Žabkar, R., Rakovec, J. 2012. Zrak v Sloveniji. Celje, Fit Media. Str. 104-107, https://issuu.com/fit_media/docs/zrak_v_sloveniji (Pridobljeno 11. 10. 2015.)

Horvat, S., 2016. Vpliv težkih motornih vozil na okolje.

Mag. d., Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Prometna smer.

SEZNAM PRILOG

Priloga A: REZULTATI VSEH MERITEV: FAKTORJA DIMNOSTI, TEMPERATURE
MOTORJA, POVIŠANIH OBRATOV IN DRUGIH VREDNOSTI, DOBLJENIH IZ
DOKUMENTACIJE POSAMEZNEGA VOZILA

PRILOGA A:**REZULTATI VSEH MERITEV: FAKTORJA DIMNOSTI, TEMPERATURE MOTORJA, POVIŠANIH OBRATOV IN OSTALIH VREDNOSTI DOBLJENIH IZ DOKUMENTACIJE POSAMEZNEGA VOZILA**

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
1	4	2007	30.678	0,14	72	2150	0,615	0,534	0,027	2,998	0,020	12.883
2	2	1997	430.688	1,45	81	2300	C					9.572
3	4	2008	272.861	0,09	59	2200	1,048	0,55	0,026	2,363	0,019	3.920
4	3	2006	412.000	0,11	82	2450	1,020	1,04	0,08	4,83	0,065	5.880
5	3	2003	584.202	0,36	75	2400	1,100					11.705
6	5	2009	208.780	0,07	60	2350	0,800	0,02	0,02	1,79	0,013	6.871
7	2	2001	381.000	0,26	80	2230	C					11.967
8	4	2007	305.045	0,17	66	2254	0,600	0,074	0,013	3,296	0,018	10.518
9	3	2005	205.186	0,09	74	2100	1,100					11.967
10	2	1999	351.156	0,18	85	2200	C					6.370
11	3	2003	461.285	1,19	76	2225	1,100					6.871
12	2	1998	310.394	0,23	77	2335	C					7.685
13	2	2001	559.560	0,24	83	2250	C					11.967
14	4	2007	212.150	0,09	65	2150	1,100	0,44	0,11	4,25	0,070	10.518
15	5	2010	110.336	0,02	58	2500	0,800	0,055	0,005	1,838	0,015	11.946
16	2	1999	244.786	0,37	76	2215	C					4.249
17	2	2000	482.182	0,12	87	2255	C					11.967
18	5	2008	426.780	0,04	61	2550	0,790	0,3	0,03	2	0,020	11.705
19	2	1998	465.900	0,30	81	2335	C					10.964
20	4	2009	152.484	0,09	66	2540	0,760	0,27	0,011	2,426	0,010	7.790
21	0	1991	110.153	0,57	85	2050	A					5.958
22	2	1998	600.000	0,19	82	2210	C					11.946
23	5	2011	52.420	0,08	62	2650	0,766	0,374	0,0105	1,984	0,007	7.790
24	5	2011	135.200	0,01	66	2560	0,560	0,1	0,011	1,45	0,008	12.777
25	3	2004	35.212	0,17	75	2210	1,300	0,53	0,16	4,6	0,061	3.674
26	2	1999	428.000	0,09	80	2150	C					3.674
27	3	2004	28.097	0,08	74	2445	1,100					6.374
28	3	2004	299.688	0,09	80	2345	1,100					2.800
29	3	2003	274.862	0,30	76	2540	1,100					6.871
30	2	1991	518.045	1,15	86	2020	C					11.967

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
31	2	1999	898.320	0,47	88	2100	C					11.967
32	3	2003	535.240	0,21	79	2345	1,100					6.871
33	0	1983	9.851	0,92	74	2020	A					4.570
34	0	1987	380.540	0,78	80	2150	A					9.572
35	3	2006	117.151	0,35	75	2235	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	9.572
36	1	1996	430.220	0,13	88	2210	B					2.987
37	1	1995	750.421	1,07	82	2300	B					11.967
38	3	2003	596.888	0,08	76	2450	1,100					11.967
39	2	1996	622.158	0,35	77	2145	C					11.967
40	4	2007	130.100	0,05	62	2560	1,048	0,42	0,023	3,14	0,015	5.880
41	3	2002	10.123	0,21	78	2210	1,100					11.967
42	2	1999	368.128	0,18	83	2100	C					4.949
43	3	2005	258.702	0,26	76	2245	1,000	0,65	0,247	4,74	0,109	2.953
44	3	2003	368.329	0,08	77	2455	1,100					11.967
45	2	1998	847.178	0,58	84	2115	C					6.871
46	5	2010	2.800	0,06	59	2650	0,900	0,02	0,02	1,47	0,013	6.871
47	3	2006	341.809	0,25	76	2344	1,100					10.518
48	2	1999	578.581	0,38	79	2056	C					11.967
49	2	1999	476.623	0,24	82	2015	C					11.967
50	2	1999	448.220	0,23	86	2041	C					6.871
51	3	2005	653.218	0,36	75	2344	1,020	1,04	0,08	4,83	0,065	5.880
52	3	2005	385.405	0,38	73	2387	1,153	0,91	0,136	4,74	0,087	2.998
53	3	2002	189.154	0,24	74	2280	1,100					12.882
54	2	2001	337.212	0,20	75	2080	C					4.249
55	3	2004	637.483	0,32	77	2268	1,400					11.946
56	4	2008	106.213	0,15	68	2250	1,000	0,323	0,023	3,14	0,030	2.464
57	2	2000	812.508	0,23	79	2030	C					6.871
58	3	2003	505.261	0,31	77	2320	1,100					11.946
59	2	1999	748.535	0,51	83	2101	C					11.946
60	2	1998	656.120	0,54	85	2049	C					10.984
61	2	2001	213.151	0,56	87	2085	C					4.249
62	2	1999	524.132	0,43	88	2076	C					4.580
63	5	2007	210.187	0,13	59	2650	1,048	0,42	0,023	3,14	0,015	5.880
64	0	1985	36.520	1,14	88	2021	A					3.860
65	1	1995	478.523	0,85	85	2010	B					5.958
66	2	2004	250.132	0,42	82	2214	C					6.871

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
67	0	1985	12.500	1,38	88	2005	A					5.638
68	2	1999	328.580	0,22	84	2210	B					11.946
69	4	2007	108.520	0,14	74	2465	1,048	0,42	0,023	3,14	0,015	5.880
70	2	1999	483.632	0,41	79	2210	C					12.130
71	3	2005	801.600	0,27	76	2355	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
72	2	1996	392.611	0,53	77	2187	0,000					9.572
73	1	1996	1.070.220	1,23	85	2065	0,000					11.967
74	3	2006	369.120	0,14	76	2421	0,900	0,44	0,11	4,25	0,070	11.967
75	5	2007	665.777	0,07	63	2650	0,615	0,089	0,01	1,645	0,009	10.518
76	2	1997	757.462	0,72	79	2385	0,000					6.871
77	2	1997	608.244	0,85	77	2256	0,000					6.871
78	2	1999	527.140	0,18	78	2198	0,000					11.968
79	2	1999	541.777	0,22	77	2099	0,000					11.967
80	5	2011	2.300	0,04	62	2480	0,700	0,047	0,002	1,625	0,006	7.201
81	3	2004	926.048	0,47	78	2278	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
82	3	2005	543.943	0,41	75	2305	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
83	3	2004	937.080	0,47	74	2265	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
84	3	2004	700.000	0,16	76	2184	1,100	0,76	0,23	4,66	0,061	6.374
85	2	1999	567.167	0,72	85	2354	0,000					6.871
86	2	1999	485.814	0,59	84	2189	0,000					11.967
87	1	1995	1.110.710	1,21	83	2255	B					12.763
88	0	1988	16.951	1,55	88	2006	A					9.572
89	3	2005	1.000.000	0,81	76	2365	0,900					4.966
90	2	2001	7.039	0,55	84	2010	C					6.871
91	3	2003	954.183	0,44	76	2286	1,100					12.816
92	3	2003	319.560	0,82	75	2159	1,100					2.463
93	2	2001	810.120	0,18	76	2014	C					6.374
94	2	1999	493.501	0,29	85	2080	C					11.967
95	2	1997	417.201	0,60	83	2088	C					6.871
96	5	2009	418.210	0,01	65	2540	0,640	0,03	0,05	1,8	0,014	12.902
97	5	2011	27.805	0,03	63	2630	0,600	0,159	0,004	1,743	0,009	10.518
98	3	2005	448.302	0,22	84	2054	1,100					10.518
99	3	2006	634.145	0,21	78	2168	1,400					11.946
100	3	2008	150.305	0,25	82	2275	1,100					2.998
101	0	1990	101.747	0,98	86	2010	A					5.075

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
102	3	2002	348.171	0,21	75	2385	1,100					7.790
103	3	2006	240.153	0,18	74	2295	1,100					6.374
104	2	1999	289.350	0,28	76	2165	C					11.964
105	2	1999	700.000	0,15	76	2305	C					11.946
106	3	2004	42.000	0,12	88	2369	1,100					12.882
107	3	2004	64.832	0,10	78	2466	1,100					12.882
108	2	1998	555.881	0,19	85	2106	B					15.078
109	2	1998	890.220	0,22	84	2300	B					8.970
110	2	1997	253.420	0,33	82	2054	B					10.964
111	2	1999	484.215	0,73	86	2056	B					6.871
112	3	2002	303.173	0,11	75	2247	1,500					4.249
113	1	1995	777.342	1,24	86	2046	B					11.967
114	3	2004	68.959	0,65	85	2295	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	12.882
115	2	1999	460.372	0,30	78	2066	C					6.871
116	2	1998	218.020	0,12	79	2055	C					11.946
117	3	2004	53.780	0,26	72	2165	1,100					12.882
118	2	1996	245.283	0,34	84	2201	1,158	0,91	0,136	4,74	0,087	11.967
119	5	2010	29.763	0,06	63	2458	1,050	0,41	0,022	1,712	0,011	5.880
120	3	2006	316.031	0,54	77	2265	0,930	0,91	0,14	3,8	0,090	2.998
121	0	1989	50.390	1,83	86	2015	A					12.763
122	2	1998	59.220	0,88	79	2295	C					4.580
123	0	1980	13.041	0,57	86	2065	A					11.040
124	3	2005	4.775	0,24	85	2284	1,100					7.201
125	3	2006	460.211	0,51	79	2306	0,930	0,91	0,14	3,8	0,090	10.308
126	4	2008	191.000	0,09	72	2404	0,650	0,044	0,011	1,985	0,011	6.764
127	2	1999	513.287	0,43	86	2085	C					11.967
128	3	2006	411.182	0,40	84	2105	1,158	0,91	0,136	4,74	0,087	2.998
129	4	2007	282.220	0,05	76	2466	0,570	0,074	0,015	2,572	0,013	10.873
130	2	2001	162.473	0,24	81	2096	C					2.800
131	3	2005	560.220	0,58	76	2230	1,100					10.518
132	3	2006	229.341	0,39	75	2396	1,100					2.998
133	4	2009	118.640	0,11	69	2403	0,820	0,022	0,042	3,37	0,020	6.871
134	3	2004	366.182	0,21	79	2385	1,100					4.249
135	3	2005	5.250	0,24	81	2199	0,640	0,62	0,11	4,94	0,071	12.882
136	3	2005	674.820	0,59	79	2158	0,930	0,91	0,14	3,8	0,090	10.308
137	3	2006	689.521	0,45	77	2205	0,930	0,91	0,14	3,8	0,090	10.380

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
138	2	2001	219.221	0,72	84	2250	C					2.800
139	3	2005	503.404	0,47	77	2395	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
140	3	2007	361.552	0,19	79	2388	1,100	0,63	0,03	4,86	0,080	4.580
141	3	2005	486.221	0,28	72	2154	1,100	0,38	0,19	4,81	0,065	11.967
142	3	2007	199.110	0,22	76	2199	1,100	0,63	0,03	4,86	0,080	4.580
143	2	2000	454.900	0,71	85	2086	C					11.967
144	2	1996	429.150	0,92	81	2088	C					9.572
145	2	2000	364.150	0,45	80	2105	C					11.967
146	3	2006	264.310	0,13	78	2095	1,200	0,79	0,06	4	0,077	10.518
147	3	2005	395.152	0,15	76	2068	1,200	0,79	0,06	4	0,077	10.518
148	3	2003	538.103	0,33	79	2236	1,100					11.967
149	1	1995	683.960	0,79	86	2004	B					6.871
150	5	2007	91.500	0,03	59	2541	0,615					12.882
151	2	2001	206.047	0,35	86	2106	C					6.871
152	3	2006	74.968	0,15	75	2254	1,100					5.880
153	4	2006	725.199	0,10	77	2256	0,600					10.518
154	4	2008	97.221	0,10	75	2265	0,700					11.946
155	4	2007	63.902	0,09	76	2236	0,800					6.871
156	5	2010	72.053	0,07	65	2658	0,841					7.800
157	3	2006	750.523	0,14	77	2266	1,300					6.871
158	3	2006	233.731	0,64	76	2198	1,020					5.880
159	3	2004	17.120	0,47	75	2209	0,640					12.882
160	3	2006	20.686	0,47	78	2365	0,640					12.882
161	3	2003	478.421	0,66	78	2288	0,000					6.871
162	5	2010	130.211	0,09	62	2542	0,700	0,017	0,004	1,688	0,012	10.518
163	3	2005	21.512	0,65	75	2254	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	12.882
164	3	2005	27.321	0,25	76	2165	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	12.882
165	3	2005	15.551	0,16	74	2188	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	12.882
166	3	2006	18.839	0,34	70	2205	0,640	0,55	0,18	4,91	0,054	12.882
167	2	2000	388.772	0,44	85	2014	0,000					11.946
168	3	2005	284.222	0,29	75	2215	0,000					11.967
169	1	1996	946.527	0,67	83	2005	0,000					11.967
170	5	2010	101.340	0,09	62	2500	0,600	0,159	0,004	1,743	0,009	12.419
171	3	2000	1.588.380	0,15	75	2236	1,300					11.946
172	3	2005	1.046.820	0,38	74	2365	1,300					10.518

Št. meritve	EURO oznaka motorja	Letnik izdelave	Prevoženi km	Faktor dimnosti (m ⁻¹)	Temperatura motorja °C	Povišani obrati	Korigiran absorpcijski koeficient (m ⁻¹)	CO	Hc	Nox	Delci	Prostornina motorja (cm ³)
173	3	2002	570.122	0,22	74	2387	1,300					11.967
174	3	2002	494.591	0,17	75	2254	1,100					6.374
175	3	2006	510.113	0,26	77	2205	1,300					11.705
176	3	2003	667.524	0,18	77	2264	1,400					4.580
177	2	1997	339.680	0,87	85	2106	0,000					4.580
178	1	1996	441.218	1,02	88	2007	0,000					13.798
179	2	1997	781.520	0,65	78	2198	1,100					11.967
180	3	2005	145.325	0,24	77	2279	1,100					11.967