

# Utjecaj načina vožnje na eksploatacijske parametre vozila

---

**Bunjevac, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:799989>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-04**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Marko Bunjevac**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing. stroj.

Student:

Marko Bunjevac

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem se prvenstveno svom mentoru prof. dr. sc. Zoranu Luliću na ukazanom povjerenju, nesebičnom odvajanju vremena i mnogim sugestijama tijekom vođenja ovog rada koje su značajno pridonijele njegovoj kvaliteti te velikoj motivaciji pruženoj kroz zajednički rad tijekom cijelog diplomskog i preddiplomskog studija. Također se zahvaljujem svim djelatnicima Katedre za motore i vozila na iskazanoj susretljivosti i pomoći.

Na kraju, posebno se zahvaljujem svojim roditeljima, Vlatki i Draženu, na pruženoj podršci i pomoći bez koje ne bih uspješno završio studij. Također, zahvaljujem se bratu i svim bližnjim prijateljima na podršci, a veliko hvala mojoj dugogodišnjoj djevojci Mateji na pruženoj podršci, ljubavi i razumijevanju tijekom cijelog studija.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Bunjevac**

Mat. br.: 0035196921

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj načina vožnje na eksploatacijske parametre vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Driving Style Influence on Vehicle Exploitation Parameters**

Opis zadatka:

Na tržištu se nalazi sve više uređaja za koje se tvrdi da svojim djelovanjem mogu utjecati na prolaznost vozila na EKO testu, kao i na emisije vozila. Promatrana skupina uređaja najčešće radi na principu elektrolize pri čemu vodu rastavljaju na vodik i kisik, a zatim se ti plinovi usisavaju u motor zajedno s okolišnim zrakom.

S ciljem određivanja učinka jednog od takvih uređaja, u flotu sastavljenu od 19 osobnih i lakih gospodarskih vozila ugrađeni su uređaji za praćenje kretanja vozila putem GPS-a. Uređaji prikupljaju podatke o vremenu, trenutnoj lokaciji i brzini vozila, a za neka (novija) vozila iz flote prikupljaju i neke podatke s CAN sabirnice npr. podatke o trenutačnoj brzini vrtnje motora, stupnju prijenosa i trenutačnoj potrošnji goriva. Također, za svako vozilo iz promatrane skupine, od vlasnika vozila zahtijeva se da vodi redovitu evidenciju o potrošnji goriva.

Na temelju prikupljenih podataka treba ispitati korelaciju između stila vožnje i eksploatacijskih parametara vozila.

U okviru diplomskoga rada potrebno je:

- opisati način provedbe ispitivanja ispušnih plinova uređajem Bosch BEA 350;
- provesti ispitivanje ispušnih plinova na vozilima različitih proizvođača i starosti;
- dati pregled rezultata ispitivanja;
- osmisliti način validacije stila vožnje iz podataka o vremenu, lokaciji i brzini vozila;
- pomoću promatranog uređaja provesti postupak „čišćenja“ vozila i ispitati rezultate EKO testa;
- dijagnosticirati kvarove u pogonskom sustavu vozila temeljem analize rezultata EKO testa.

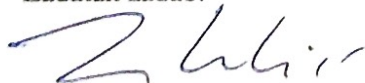
Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu diplomskoga rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
17. siječnja 2019.

Datum predaje rada:  
21. ožujka 2019.

Predviđeni datum obrane:  
27., 28. i 29. ožujka 2019.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
1.1. O emisiji štetnih tvari i utjecaju na zdravlje ljudi.....	1
1.2. Ispitivanje ispušnih plinova pri homologaciji .....	3
1.2.1. HFID metoda mjerenja ugljikovodika.....	4
1.2.2. NDIR metoda mjerenja ugljikovih oksida .....	5
1.2.3. Mjerenje dušikovih oksida metodom kemoluminiscencije (CLD) .....	7
1.3. Ispitivanje ispušnih plinova na periodičnom tehničkom pregledu .....	8
1.3.1. Funkcionalni opis EKO testa i potrebna oprema .....	9
1.3.2. EKO test vozila s Ottovim motorom.....	12
1.3.3. EKO test vozila s Dieselovim motorom.....	13
2. VOZILA NA KOJIMA JE PROVEDENO ISPITIVANJE .....	14
3. OCJENA NAČINA VOŽNJE.....	17
3.1. Sustav za praćenje vozila – Mireo .....	17
3.1.1. Izbornik „Dashboard“ .....	18
3.1.2. Izbornik „Reports“ .....	19
3.1.3. Izbornik „Backoffice“ .....	20
3.2. Ciklusi vožnje i ocjena .....	21
3.2.1. Veza između brzine i sigurnog ubrzanja .....	21
3.2.2. Izračun udaljenosti između dva uzastopn položaja vozila .....	23
3.2.3. Art.Kinema vrijednosti i parametri .....	26
4. BOSCH BEA 350 .....	29
4.1. Funkcionalni opis uređaja.....	30
4.2. Opis uređaja.....	31
4.3. Održavanje uređaja .....	33
5. PLAN ISTRAŽIVANJA.....	35
5.1. Gantogram istraživanja.....	38

---

5.2.	Prikupljanje podataka o vožnji .....	40
5.2.1.	Detaljnouiščitavanje i obrada podataka vožnje .....	41
5.3.	Prikupljanje podataka o ispitivanju emisija.....	48
5.4.	Genijator .....	50
6.	REZULTATI.....	51
6.1.	Rezultati ocjene vožnje.....	51
6.2.	Rezultati EKO testa .....	58
6.2.1.	Neprozirnost ispušnih plinova vozila s Dieslovim motorom .....	58
6.2.2.	Sastav ispušnih plinova vozila s Ottovim motorom.....	63
6.3.	Analiza potrošnje goriva.....	67
6.4.	Dijagnostika putem EKO testa .....	68
6.4.1.	Neispravnost u radu Dieslovih motora .....	68
6.4.2.	Neispravnost u radu Ottovih motora .....	70
7.	ZAKLJUČAK .....	72
	LITERATURA.....	74
	PRILOG .....	76
	OBRAZLOŽENJE PRILOGA .....	76

## POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz analizatora ispušnih plinova [8] .....	3
Slika 2. Princip rada HFID analizatora [9].....	4
Slika 3. Princip rada NDIR senzora [10].....	5
Slika 4. Apsorbicija u ovisnosti o valnoj duljini zračenja [11] .....	7
Slika 5. Princip rada CLD senzora [12] .....	7
Slika 6. Razlika u brzini odaziva različitih NO senzora [13].....	8
Slika 7. Dijagram toka redovnog tehničkog pregleda vozila s ispitivanjem ispušnih plinova motornih vozila [14].....	10
Slika 8. Odnos snage i specifične snage ispitne flote.....	15
Slika 9. Podjela flote prema ECE kategoriji vozila i godištu proizvodnje.....	15
Slika 10. Ukupni prijeđeni broj kilometara u ovisnosti o starosti vozila .....	16
Slika 11. Sučelje sustava za praćenje vozila Mireo .....	17
Slika 12. „Dashboard“ podaci .....	18
Slika 13. Izbornik „Backoffice“ s prikazom podataka o vozilu Citroen C-Crosser (ZG8345AG) .....	20
Slika 14. Skripta za preračunavanje iz WPT u WGS koordinatni sustav .....	23
Slika 15. Pogreška izračuna udaljenosti prilikom prolaska kroz zavoj.....	25
Slika 16. Prednja strana uređaja BEA 350 [19] .....	31
Slika 17. Prikaz priključaka i senzora sa stražnje strane uređaja BEA 350 [19] .....	32
Slika 18. Filtar za zaštitu pumpe GF3 .....	34
Slika 19. Dijagram toka istraživanja .....	35
Slika 20. Primjer prednje strane putnog radnog lista za vozilo Renault Kangoo (ZG2537EK) .....	36
Slika 21. Primjer stražnje strane putnog radnog lista za vozilo Renault Kangoo (ZG2537EK) .....	37
Slika 22. Gantogram provedenog istraživanja .....	39
Slika 23. Primjer naredbe za iščitavanje podataka .....	40
Slika 24. Proces prikupljanja, obrade i spremanja informacija o vožnji.....	41
Slika 25. Preuzimanje podataka o vožnji .....	42
Slika 26. Preinaka JSON formata podataka za konverziju u CSV format .....	43
Slika 27. Učitavanje, sortiranje, filtriranje i razdioba učitanih podataka.....	44
Slika 28. Primjer proračunskog lista vozila ZG8345AG na dan 15.1.2019. ....	45



Slika 29. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i vremena vožnje .....	46
Slika 30. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i prijeđenog puta .....	46
Slika 31. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i brzine vozila .....	47
Slika 32. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti brzine i prijeđenog puta.....	47
Slika 33. Primjer ispitivanja ispušnih plinova Ottovog motora (lijevo) i Dieselovog motora (desno).....	48
Slika 34. „Čišćenje“ vozila uređajem „Genijator“ .....	50
Slika 35. Primjer prikupljenih usporedivih vrijednosti za vozilo ZG7600EK.....	51
Slika 36. Ukupni prijeđeni broj kilometara i ukupni broj analiziranih vožnji za vozilo ZG7600EK .....	51
Slika 37. Ovisnost vremena ubrzanja i usporavanja za vozilo ZG7600EK .....	52
Slika 38. Ovisnost broja ubrzanja i usporenja za vozilo ZG7600EK.....	52
Slika 39. Međusobna ovisnosti srednjeg usporenja i srednjeg ubrzanja za vozilo ZG7600EK	53
Slika 40. Ovisnost RPA i prijeđenog puta na primjeru vozila ZG7600EK.....	54
Slika 41. Ovisnost RPA i srednjeg ubrzanja na primjeru vozila ZG7600EK .....	54
Slika 42. Ovisnost RPA i srednjeg ubrzanja na primjeru vozila ZG7600EK .....	55
Slika 43. RPA ocjena vožnje.....	55
Slika 44. Neovisnost prekoračenja brzine i RPA .....	56
Slika 45. Ovisnost prekoračenja brzine i prosječne brzine .....	57
Slika 46. Neovisnost prijeđenoga puta i vremenskog udjela prekoračenja brzine.....	57
Slika 47. Srednja vrijednost neprozirnosti ispuha vozila emisijske razine Euro 2-5 prilikom nultog mjerenja.....	58
Slika 48. Srednja vrijednost neprozirnosti ispuha vozila emisijske razine Euro 6 prilikom nultog mjerenja.....	59
Slika 49. Pojava oscilacija u srednjoj vrijednosti neprozirnost ispuha vozila emisijske razine Euro 6 prilikom mjerenja prije „čišćenja“ .....	59
Slika 50. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG7600EK .....	60
Slika 51. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG7600EK..	60
Slika 52. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG2538EK .....	61
Slika 53. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG2538EK..	61
Slika 54. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG8465GS.....	62

---

Slika 55. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG8465GS ..	62
Slika 56. Rezultati vrijednosti lambde za sve faze ispitivanja vozila ZG3419AB .....	64
Slika 57. Rezultati vrijednosti ugljikova monoksida za sve faze mjerenja vozila ZG3419AB	65
Slika 58. Rezultati vrijednosti neizgorjelih ugljikovodika za sve faze mjerenja vozila ZG3419AB .....	66
Slika 59. Potrošnja goriva vozila ZG7589GH prije i nakon „čišćenja“ .....	67
Slika 60. Primjer neispravnog rada termostata na vozilu ZG2537EK .....	68
Slika 61. Neispravan rad vozila ZG1544H .....	69
Slika 62. Vozilo ZG1544H u praznom hodu (lijevo) i pod opterećenjem (desno) .....	69
Slika 63. Nepravilnost u radu motora vozila ZG1498H.....	70
Slika 64. Usporedba temperature ulja u motoru za dva identična vozila.....	71
Slika 65. Neispravan rad u praznom hodu vozila ZG7353Z.....	71

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Flota vozila nad kojima je provedeno ispitivanje rada uređaja „Genijator“ .....	14
Tablica 2. Zastupljenost ispitivanih vozila prema vrsti goriva i EURO emisijskoj razini.....	15
Tablica 3 Izvještaji i njihov opis .....	19
Tablica 4. Parametri ocjene ispitnog ciklusa prema Art.Kinema [18] .....	26
Tablica 5. Tehnički podaci uređaja Bosch BEA 350 [19].....	29
Tablica 6. Opseg i rezolucija mjerenja uređaja Bosch BEA 350 [20] .....	30
Tablica 7. Popis dijelova prikazanih na slikama 16. i 17.....	32
Tablica 8. Ključni podaci putnog radnog lista .....	37
Tablica 9. Opis sintakse jezika MSQl.....	40
Tablica 10. Opis oznaka podataka u Excelu .....	44
Tablica 11. Vrijednosti EKO testa u praznom hodu za vozilo ZG3419AB.....	63
Tablica 12. Vrijednosti EKO testa pri povišenoj brzini vrtnje za vozilo ZG3419AB .....	63

## SAŽETAK

U okviru diplomskoga rada sakupljena je flota od 18 osobnih i lakih gospodarskih vozila u koje je ugrađen sustav za praćenje kretanja vozila putem GPS-a. Uređaji prikupljaju podatke o vremenu, lokaciji i brzini vozila, a u novijim vozilima prikupljaju dodatne podatke poput brzine vrtnje motora, stupnju prijenosa i trenutačnoj potrošnji goriva s CAN sabirnice.

Kako put, brzina i akceleracija daju osnovni opis gibanja vozila, upravo ti parametri su temelj definiranja ponašanja pojedinog vozača u prometu. Na temelju velikoga broja prikupljenih podataka osmišljen je način ispitivanja stila vožnje u svrhu ocjenjivanja.

Na osnovu vrijednosti parametara prijednoga puta, brzine i ubrzanja, dat je prijedlog ocjene vožnje putem RPA (engl. *Relative Positive Acceleration*). Za ocjenu vožnje, odnosno definiranja agresivne ili ne agresivne vožnje, najbitnija je upravo akceleracija. Vrijednost RPA se pokazala konzistentnom pri svim brzinama vožnje i najveći utjecaj na nju ima upravo akceleracija.

U drugom dijelu rada ispitano je djelovanje jednog od uređaja za elektrolizu vode na emisiju štetnih tvari iz vozila. Na tržištu se nalazi sve više uređaja za koje se tvrdi da svojim djelovanjem mogu utjecati na prolaznost vozila na EKO testu pri redovnom tehničkom pregledu. Promatrana skupina uređaja najčešće radi na principu elektrolize pri čemu vodu rastavlja na kisik i vodik, a zatim se plinovi usisavaju u motor zajedno sa okolišnim zrakom.

Ispitivanje emisije štetnih tvari provedeno je ukupno četiri puta, od čega dva puta prije postupka „čišćenja“ i dva puta nakon. Prvi puta se mjerenje provodilo radi ustanovljenja donje granice emisije. Između drugog i trećeg mjerenja proveden je postupak „čišćenja“ vozila, a zadnje mjerenje obavljeno je kao kontrolno mjerenje s ciljem da se ustanovi djelotvornost uređaja. Ocjenom vožnje bilo je moguće ustanoviti razliku u eksploataciji vozila u periodu prije „čišćenja“ i nakon „čišćenja“ vozila.

## SUMMARY

In this master's thesis a fleet of 18 passenger and light commercial vehicles with an imbedded vehicle tracking system via GPS has been assembled. The devices collect data concerning time, location and speed of vehicles, while in late models they collect additional data such as engine speed, gear ratio and current fuel consumption via CAN bus.

As the path, speed and acceleration give the basic description of a motion of a vehicle, these parameters can be used as the basis of defining the behaviour of a certain driver in traffic. Based on a large number of collected data, a way of testing driving style was designed for evaluation purposes.

Depending on the value of parameters such as travelled distance, speed and acceleration, an RPA (*Relative Positive Acceleration*) rating has been given. For driving reviews or definition of aggressive or non-aggressive driving, one of the most important parameters is acceleration. The RPA's value has shown its consistency at all driving speeds, and the acceleration had the biggest impact on it.

In the second part of the thesis, the influence of the electrolysis devices on the emission of harmful substances from the vehicle was investigated. There are more and more devices showing up on the market claiming that their actions can affect the passage of vehicles on the emission test at periodical technical inspection. The observed unit of the devices most often works on the electrolysis principle whereby water molecules are separated into hydrogen and oxygen molecules, and then the gases are sucked into the engine together with the ambient air.

The emission test was conducted in total of four times, from which two times were conducted before the "cleaning" procedure and two times after. The first measurement was carried out to establish the standard vehicle emission limit. The vehicle cleaning procedure was undertaken after second measurement which was followed up by third measurement. Last measurement was performed as a control measurement to determine the effects of the device. In the driving test, it was possible to determine the difference in vehicle utilization during the before "cleaning" period and after the „cleaning“ of the vehicle.

## 1. UVOD

Briga za okoliš i očuvanje kvalitete zraka u sredini u kojoj živimo zadaća je svakog pojedinca, ali i društva kao cjeline. Vozila kao takva nisu izuzeta iz tog problema, čak štoviše, briga oko vozila za vrijeme proizvodnje, uporabe i završnog odlaganja ili reciklaže je vrlo velika te postaje ne samo zakonska obaveza, već i predmet marketinškog nastupa prema ekološki svjesnom kupcu. Upravo iz tog razloga su rezultati zakonskih obveza da su proizvodni pogoni ekološki prihvatljivi, vozila u prometu što tiša, emisije štetnih tvari što niži itd. Homologacijski pravilnici ili smjernice su obvezujući propisi za proizvođače automobila koji nastoje proizvodnju automobila zadržati unutar strogih ekoloških (homologacijskih) granica.

Razmišljajući o vezi ekologije i vozila, vodeće zakonodavne institucije u svijetu se ne zadovoljavaju više samo s kontrolom proizvođača vozila prilikom homologacijskih ispitivanja, već su odredili da ispušni plinovi vozila koja prometuju moraju biti periodično kontrolirani u za to predviđenim rokovima. Dakle, propisima su osim proizvođača vozila, zahvaćeni i njihovi korisnici jer se postavlja pitanje da li se za vrijeme eksploatacije vozila došlo do bitnijih promjena koje za posljedicu imaju povećanje koncentracije emisije štetnih tvari u plinovima ispuha. Smisao periodične kontrole ispušnih plinova jest utvrđivanje jesu li ispušni plinovi, odnosno njihov sastav, još uvijek u zakonski propisanim granicama koje je propisao zakonodavac. Bitno je naglasiti kako ispitivanje ispušnih plinova pri homologacijskom ispitivanju vozila, koje obavlja proizvođač vozila, nisu usporedivi s periodičnim ispitivanjem ispušnih plinova koje obavlja nadležna institucija kroz uporabni vijek vozila. Radi se o dva potpuno odvojena i različita ispitivanja koja dijele zajednički cilj, a to je što niža emisija štetnih tvari.

### 1.1. O emisiji štetnih tvari i utjecaju na zdravlje ljudi

Osnovne produkte izgaranja koji nastaju u motorima s unutarnjim izgaranjem može se podijeliti na štetne i one koji nisu štetni na ljudsko zdravlje. Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), kisik, dušik i vodena para nisu štetni, dok su ugljikov monoksid (CO), neizgorjeli ugljikovodici (HC), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) i krute čestice (PM) štetne. Emisija štetnih tvari iz cestovnih motornih vozila u okoliš ograničena je „Euro“ emisijskim razinama. Euro emisijske razine uvedene su 1992. godine, a trenutno je na snazi emisijska razina Euro 6d (od rujna 2017. godine).

Ugljikov monoksid (CO) plin je bez boje i mirisa koji nastaje nepotpunim izgaranjem krutih, tekućih i plinovitih goriva na bazi ugljika. Opasan je za ljude jer njegovim udisanjem može

doći do trovanja. Naime, hemoglobin koji se nalazi u crvenim krvnim stanicama, na sebe znatno brže veže ugljikov monoksid nego kisik, čime je spriječena normalna opskrba stanica kisikom. Prvi simptomi trovanja primjećuju se kad je koncentracija ugljikovog monoksida u zraku iznad 70 ppm, dok su već i niže koncentracije opasne za srčane bolesnike.

Dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) nastaju oksidacijom atmosferskog dušika u pravilu pri temperaturama višim od 1800 K. [1] Dijele se na dušikov monoksid ( $\text{NO}$ ) i dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ). Dušikov monoksid oksidacijom u atmosferi prelazi u dušikov dioksid koji u daljnjim kemijskim procesima dovodi do stvaranja kiselih kiša. Također, dušikovi oksidi uzrokuju stvaranje štetnog prizemnog ozona. Osim nepovoljnog utjecaja na okoliš, dušikovi oksidi imaju i negativan utjecaj na zdravlje ljudi. Uzrokuju nadraženost očiju i dišnih putova, umor i mučninu. Kod dugotrajne izloženosti postoji opasnost od pojave astme te trajnog oštećenja pluća i živčanog sustava, a mogu čak uzrokovati i genetska oštećenja. Također, kao i ugljikov monoksid, onemogućuju normalan prijenos kisika krvlju [2].

Krute čestice (PM) najvećim se dijelom sastoje od čađe. Prema prosječnom promjeru dijele se na  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$ .  $\text{PM}_{10}$  su čestice čiji je aerodinamički promjer manji od 10 mikrometara, a  $\text{PM}_{2,5}$  one kod kojih je promjer manji od 2,5 mikrometra. Takve fine krute čestice posebno su opasne za ljudsko zdravlje jer lako prodiru u pluća i krvotok [3]. Dokazano je da čestice povećavaju smrtnost uzrokovanjem kronične opstruktivne bolesti pluća i karcinoma pluća [4].

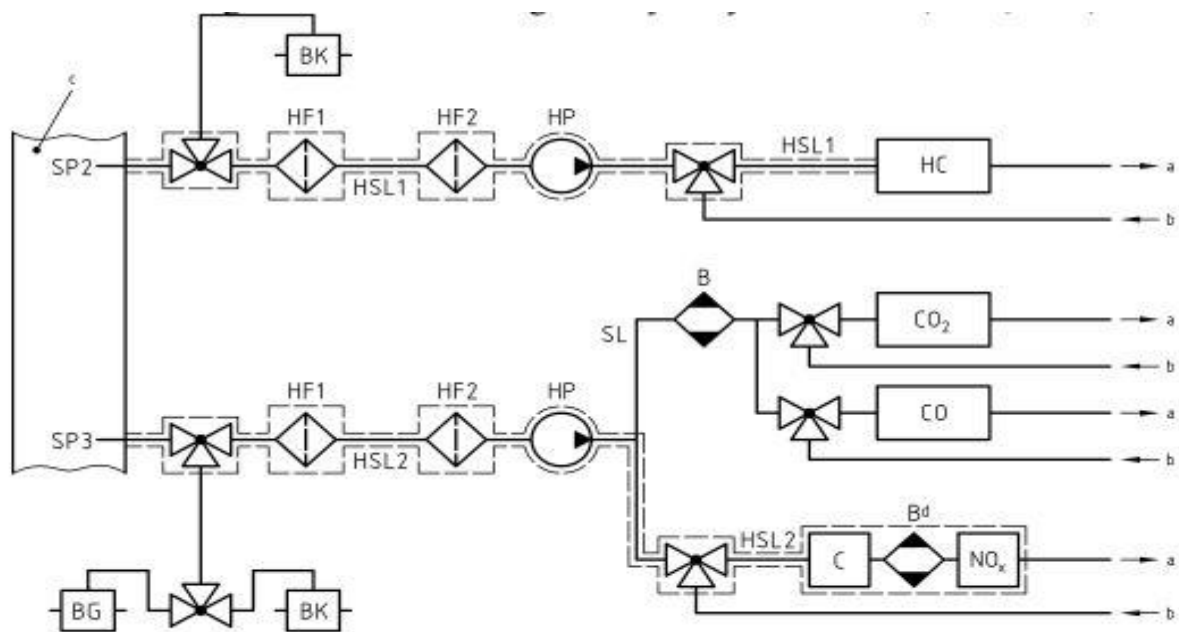
Neizgorjeli ugljikovodici (HC) nastaju prilikom nepotpunog izgaranja. Posebno su opasni aromatski ugljikovodici, među kojima se ističe benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Benzen je na sobnoj temperaturi i atmosferskom tlaku bezbojna lakohlapljiva tekućina karakterističnog mirisa čije su pare iznimno toksične. Kod trovanja benzenom javljaju se glavobolje, zamagljen vid, poremećaji rada srca i bubrega, oštećenje jetre, psihološke smetnje i dr. [5].

Ugljikov dioksid je staklenički plin koji je klasificiran kao ne otrovan, ali u koncentracijama većim od 7% može uzrokovati gušenje. Uz to iznimno nepovoljno utječe na efekt staklenika. Naime, povećanje koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi dovodi do promjena temperature, količine oborina i drugih klimatoloških elemenata. [6]

Prostor na kojem se produkti izgaranja iz motora s unutarnjim izgaranjem rasprostiru ovisi o vrsti emitirane tvari. Tako na primjer štetne tvari poput dušikovih oksida i krutih čestica nastale izgaranjem ostaju u blizini izvora, odnosno u krugu od nekoliko desetaka kilometara dok se staklenički plinovi akumuliraju u atmosferi. Kako danas većina stanovništva živi u gradovima u kojima je koncentriran i promet, gradska središta postaju žarišta onečišćenja.

## 1.2. Ispitivanje ispušnih plinova pri homologaciji

Dokumente koji se bave emisijom štetnih tvari iz ispušnih plinova motornih vozila moguće je podijeliti u dvije glavne skupine, pravilnike čiji je glavni fokus na ograničenjima i postupku ispitivanja, te na pravilnike koji su fokusirani na mjerenje i tumačenje rezultata [7]. Ti pravilnici propisuju korištenje analizatora ispušnih plinova, pa je tako u pravilniku UN GTR br. 4, naziva „Postupak ispitivanja za motore s kompresijskim paljenjem smjese i motore s paljenjem smjese pomoću iskre pogonjene prirodnim plinom ili ukapljenim naftnim plinom obzirom na emisiju štetnih plinova“ pod aneksom 3 naslova „Mjerna oprema“ nalazi opis opreme koja se koristi pri homologaciji vozila- Na slici 1 prikazan je shematski prikaz takvog analizatora.



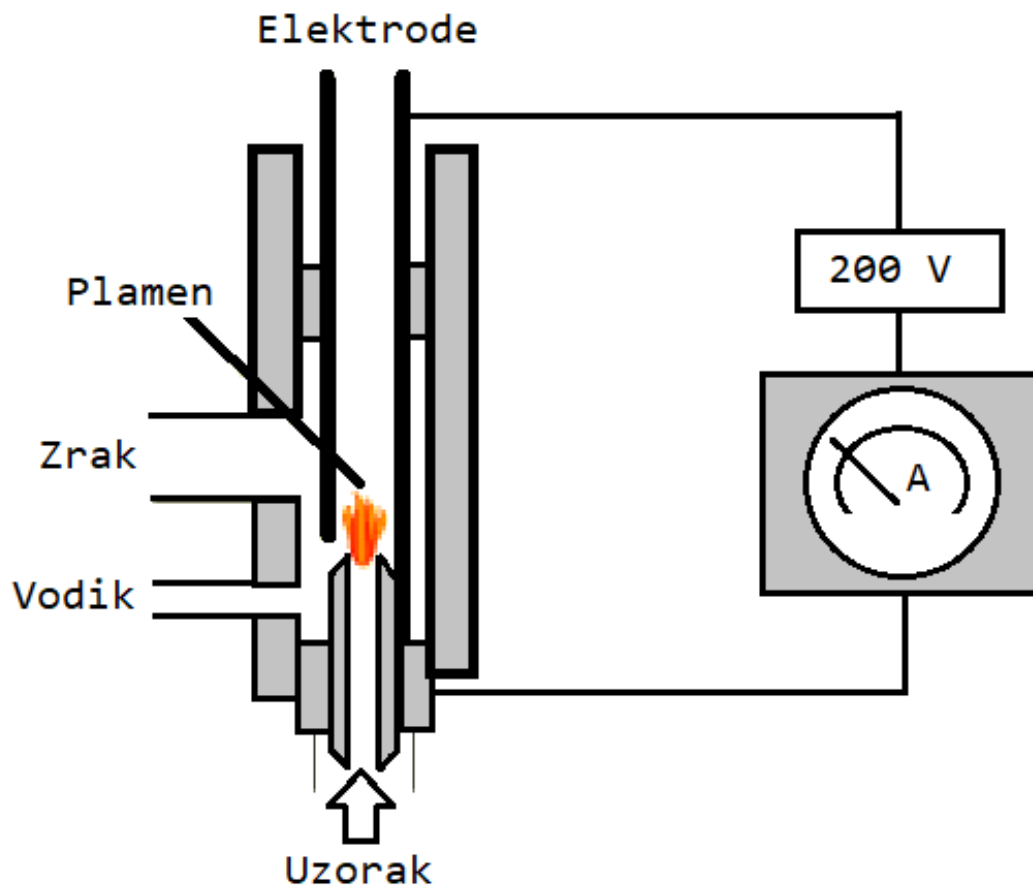
<b>SP</b>	Sonda za prikupljanje uzoraka (engl. <i>Sampling Probe</i> )
<b>HF</b>	Grijani filtar (engl. <i>Heated filter</i> )
<b>HP</b>	Grijana pumpa (engl. <i>Heated Pump</i> )
<b>HSL</b>	Grijana cijev za ozorke (engl. <i>Heated Sample Line</i> )
<b>SL</b>	Cijev za uzorke (engl. <i>Sample Line</i> )
<b>BG</b>	Vrećica za uzorke (engl. <i>Sample Bag</i> )
<b>BK</b>	Pozadinska vrećica za uzorke (engl. <i>Background Bag</i> )
<b>HC</b>	HFID analizator za ugljikovodike (engl. <i>Heated Flame Ionization Detector</i> )
<b>CO,CO<sub>2</sub></b>	NDIR analizator za ugljikove okside (engl. <i>Non Dispersive Infra Red</i> )
<b>NO<sub>x</sub></b>	CLD analizator za dušikove okside (engl. <i>Heated Chemoluminescence Detector</i> )

Slika 1. Shematski prikaz analizatora ispušnih plinova [8]



### 1.2.1. HFID metoda mjerenja ugljikovodika

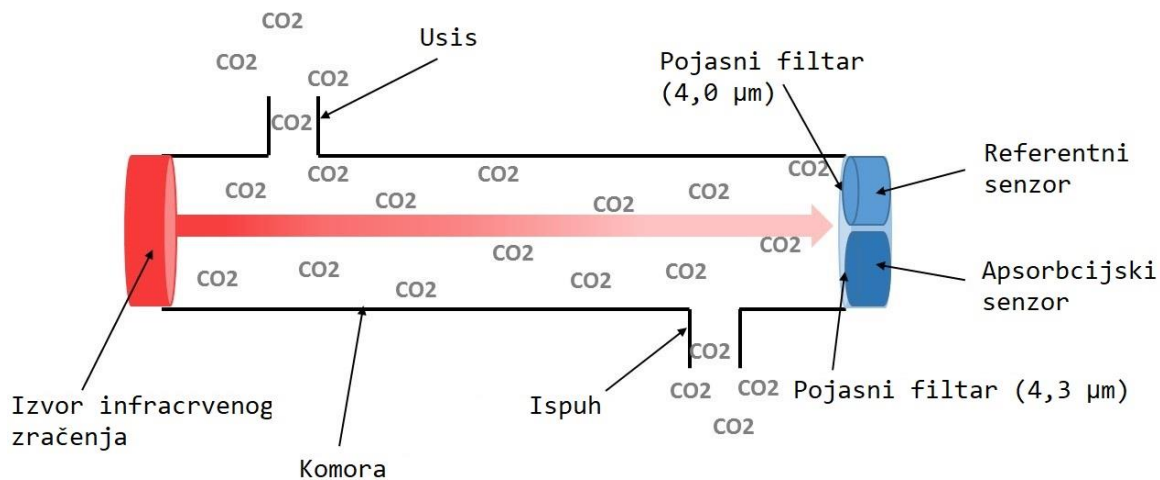
Engl. *Heated Flame Ionization Detector* je vrsta plinske kromatografije. Provodi se na način da se ispitivani ispušni plinovi dovode na plamen vodika koji izgara unutar uređaja. Ukoliko se u ispušnim plinovima ne nalaze ugljikovodici, neće doći do ionizacije, tj. stvaranja električki nabijenih čestica, iona. Ako se u analiziranom plinu nalaze ugljikovodici, doći će do nastanka iona koji će se detektirati pomoću elektroda spojenih na visoki napon istosmjerne struje, na način da se mjeri jakost struje koja je proporcionalna stupnju ionizacije. Vrijeme odaziva ovog uređaja iznosi do nekoliko sekundi, odnosno koliko je potrebno da se ispitivani plin dovede do plamena, jer se sam proces ionizacije odvija iznimno velikom brzinom.



Slika 2. Princip rada HFID analizatora [9]

### 1.2.2. NDIR metoda mjerenja ugljikovih oksida

Određivanje udjela ugljikovih oksida zasniva se na metodi apsorpcije infracrvenog svjetla. engl. *Non Dispersive Infra Red*. To je vrsta spektrometrije koja koristi infracrveno zračenje, bazirana na principu da molekule plina imaju sposobnost apsorpcije infracrvenog zračenja na određenoj valnoj duljini. Kako bi se precizno odredila koncentracija nekog plina najčešće se koristi termopar s ugrađenim filtrom. Tako na primjer CO<sub>2</sub> najbolje apsorbira infracrveno zračenje valne duljine 4,26 μm. Kako bi se eliminirala sva preostala zračenja ostatka ispušnih plinova potrebno je koristiti i pojasni filtar. Na slici 3. prikazan je princip rada NDIR senzora.



Slika 3. Princip rada NDIR senzora [10]

Apsorbiranu energiju moguće je prikazati preko Lambert-Beerovog zakona koji glasi:

$$I = I_0 \cdot e^{-kcl} \left[ \frac{W}{m^2} \right].$$

Gdje je:

- $I$  – intenzitet infracrvenog zračenja koje je preneseno na termopar,
- $I_0$  – inicijalni intenzitet zračenja izvora,
- $k$  – specifični koeficijent apsorpcije promatranog plina,
- $c$  – koncentracija plina,
- $l$  – duljina apsorbcijskog puta (udaljenost izvora od senzora).

Termopar se može promatrati kao dvostruki senzor i koristi se za otkrivanje promjene intenziteta zračenja. Njegov izlazni napon prikazuje se kao:

$$U = n \cdot \Delta\alpha \cdot (T_{izvora} - T_{komore}) \quad [V].$$

Gdje je:

- $\Delta\alpha$  – razlika Seebechovih koeficijenata materijala termopara,
- $n$  – broj termoparova u detektoru,
- $T_{izvora}$  – temperatura crnog tijela koje zrači,
- $T_{komore}$  – temperatura komore.

Unutar komore se energija zračenja može smatrati kao zračenje idealno crnog tijela. Zračenje crnog tijela kao rezultat razlike temperatura crnog tijela i okoline poznato je kao toplinsko zračenje koje je prema Stefan-Boltzmanovom zakonu:

$$R_T = \sigma \cdot (T_{izvora}^4 - T_{komore}^4) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right].$$

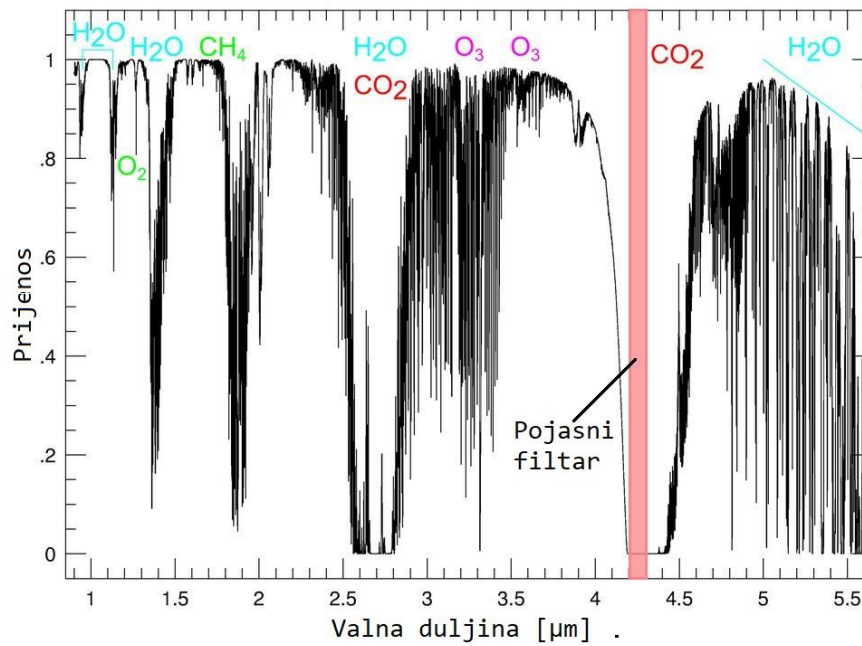
Gdje je  $\sigma$  Stefan-Boltzmanova konstanta i iznosi:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}.$$

Uz pretpostavku da ne postoje gubici u intenzivnosti zračenja, iz gornjih izraza moguće je doći do izraza za razliku potencijala na termoparu:

$$U = \frac{n \cdot \Delta\alpha \cdot (I_0 \cdot e^{-kcl})}{\sigma \cdot (T_{izvora}^2 - T_{komore}^2) \cdot (T_{izvora} + T_{komore})} \quad [V].$$

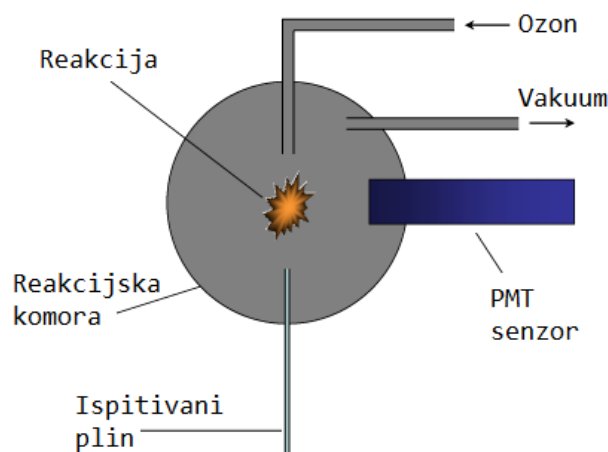
Analizom dobivene jednadžbe vidljivo je kako će na izlazni napon termopara utjecati temperatura komore i intenzitet infracrvenog zračenja. Kako bi se postigla maksimalna preciznost sustava, posebna pažnja se posvećuje konstrukciji sklopa senzora.



Slika 4. ApSORbcija u ovisnosti o valnoj duljini zračenja [11]

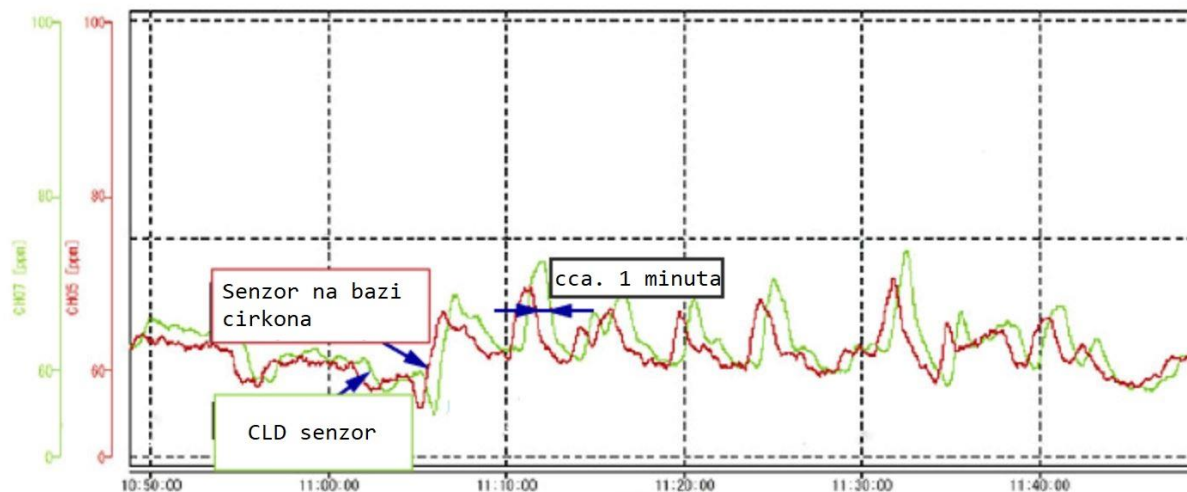
### 1.2.3. Mjerenje dušikovih oksida metodom kemoluminiscencije (CLD)

Engl. *Chemi-luminescence Detector* predstavlja standardnu industrijsku metodu za mjerenje koncentracije dušikova monoksida (NO). Reakcija između dušikovog monoksida (NO) i ozona (O<sub>3</sub>) emitira svjetlost, odnosno fotone. Nastali fotoni detektiraju se i broje pomoću PMT senzora (engl. *Photo Multiplier Tube*), gdje je izlazni napon iz senzora proporcionalan koncentraciji dušikovog monoksida.



Slika 5. Princip rada CLD senzora [12]

Reakcija koja se odvija unutar senzora je iznimno brza pa je odaziv uređaja također potrebno smanjiti na njegov minimum. Iz tog razloga razvijeni su novi sustavi mjerenja na bazi cirkona, te su takvi senzori i do 60 sekundi brži od prijašnjih kako je i vidljivo na slici 6.



Slika 6. Razlika u brzini odaziva različitih NO senzora [13]

### 1.3. Ispitivanje ispušnih plinova na periodičnom tehničkom pregledu

Ograničenja sadržaja ispušnih plinova i njihova periodička kontola započela je šezdesetih godina prošloga stoljeća u Kaliforniji. Danas se izučavanjem ispušnih plinova i njihovog sastava bave sve razvijenije države svijeta, pa tako i Europska Unija čija je članica i Republika Hrvatska. Europska Unija je u vidu EEC, odnosno EC smjernica (77/143/EEC, 88/449/EEC, 91/225/EEC, 91/328/EEC, 92/54/EEC, 92/55/EEC, 94/23/EC, 96/96/EC, 99/52/EC, 2001/9/EC, 2001/11/EC, 2003/27/EC itd.) propisala da sve članice s periodičnom kontrolom ispušnih plinova moraju započeti najkasnije do:

- 01. siječnja 1994. godine - za vozila opremljena motorima bez katalizatora ili s nereguliranim katalizatorom (BEZ-KAT)
- 01. siječnja 1996. godine - za vozila opremljena dizelskim motorom
- 01. siječnja 1997. godine - za vozila opremljena motorima s reguliranim katalizatorom (REG-KAT)

Ispitivanje ispušnih plinova je sastavni dio redovitog tehničkog pregleda vozila i popularno se naziva „EKO test“. Tim ispitivanjem obuhvaćene su M i N kategorije kao najbrojnije homologacijske kategorije motornih vozila. Izuzeta su jedino vozila pogonjena Ottovim motorom proizvedena prije 1970. godine, vozila opremljena s Diesellovim motorom proizvedena prije 1980. godine, vozila s tehnološki zastarjelim procesom (npr. dvotaktni motori) i vozila s alternativnim pogonom (metan, propan-butan itd.). Također, iznimno se EKO testu ne podvrgavaju ni spora vozila pogonjena Ottovim motorom brzine niže od 50 km/h i vozila opremljena Diesellovim motorom brzine niže od 30 km/h.

### **1.3.1. Funkcionalni opis EKO testa i potrebna oprema**

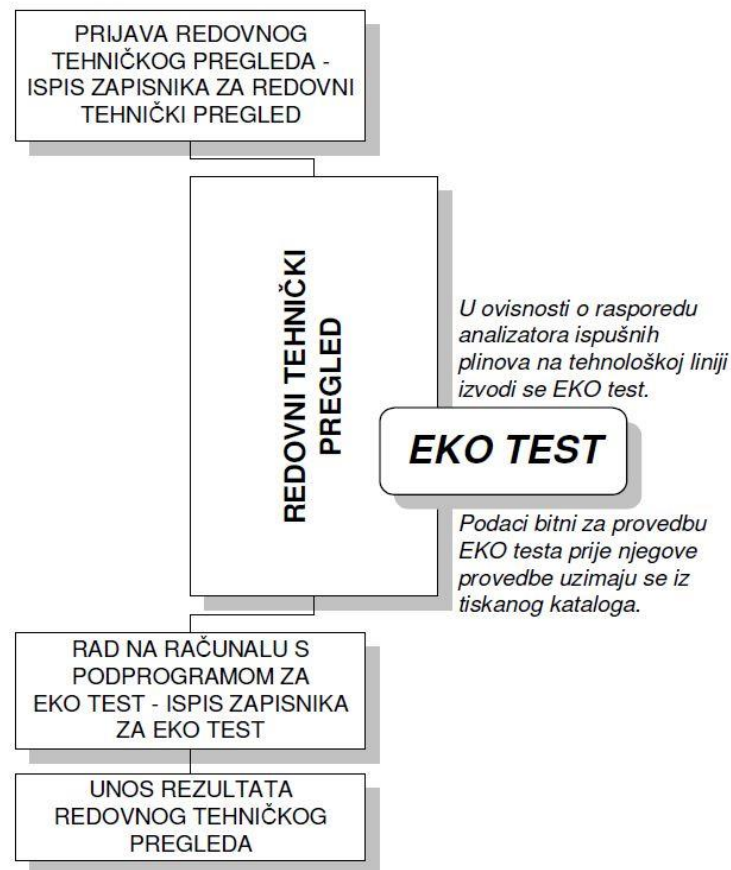
Iz ranije navedenog je moguće zaključiti kako se za potrebe EKO testa motori ugrađeni u vozila dijele na tri osnovne skupine:

- Ottovi motori bez katalizatora ili motori s nereguliranim katalizatorom (BEZ KAT)
- Ottovi motori s reguliranim katalizatorom (REG KAT)
- Diesellovi motori s ili bez prednabijanja (DIZEL)

Nova vozila prvom EKO testu trebaju pristupiti tek nakon dvije godine od datuma prve registracije, a nakon toga svakih godinu dana. Također, na vozilu se ne provodi EKO test prilikom prve registracije.

Već registriranim vozilima, registriranim dulje od dvije godine, ritam obavljanja EKO testa poistovjećuje se s ritmom obavljanja redovnog tehničkog pregleda. Sukladno tome, rabljena vozila iz uvoza, čija je prva registracija obavljena izvan Republike Hrvatske, podliježu EKO testu prvi prvom redovnom tehničkom pregledu.

Kako se EKO test obavlja u sklopu redovnog tehničkog pregleda, on je postao jedan od uvjeta da bi vozilo bilo proglašeno tehnički ispravnim. Također, to znači da se EKO test ne može obaviti u jednoj stanici za tehnički pregled, a redovni tehnički pregled u drugoj.



Slika 7. Dijagram toka redovnog tehničkog pregleda vozila s ispitivanjem ispušnih plinova motornih vozila [14]

EKO test nije moguće i ne smije se izvoditi ako je temperatura radne okoline analizatora niža od 5°C. Tako je na primjer, u stanicama s temperaturom nižom od potrebne gdje nije moguće grijati cijeli radni prostor stanice, analizator potrebno postaviti u lokalno grijani prostor.

Za provedbu EKO testa stanica za tehnički pregled vozila mora biti opremljena sa sljedećom opremom:

- Analizatorom ispušnih plinova benzinskih motora odobrenog tipa. Takav uređaj mora imati mogućnost analize volumnih udjela ugljikovog monoksida (CO), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), ugljikovodika (HC) i kisika (O<sub>2</sub>). Također, mora imati mogućnost izračunavanja faktora pretička zraka ( $\lambda$  faktor). U uređaju mora biti sadržan i uređaj za mjerenje temperature ulja iz kućišta motora ili temperature rashladne tekućine, kao i uređaj za mjerenje brzine vrtnje motora. Svi rezultati mjerenja moraju se moći ispisati na pisaču analizatora. Najmanji obavezni broj analizatora benzinskih motora je jedan na svakoj tehnološkoj liniji stanice, uz obavezu rezervnog analizatora u slučaju da stanica provodi više od 15.000 tehničkih pregleda godišnje.

- Analizatorom za mjerenje neprozirnosti ispušnih plinova dizelskih motora odobrenog tipa. Uređaj mora imati mogućnost mjerenja najmanje tri najveće neprozirnosti ispušnoga plina prilikom uzastopnih ubrzanja neopterećenog motora od brzine vrtnje praznog hoda do najveće postizive brzine vrtnje motora. Uređaj mora imati mogućnost izračunavanja srednje neprozirnosti ispušnoga plina. Kao i analizator benzinskih motora, mora biti opremljen uređajima za mjerenje temperature ulja ili rashladne tekućine motora i uređajem za mjerenje brzine vrtnje motora. Svi rezultati moraju se moći ispisati na pisaču analizatora. Svaka tehnološka linija mora imati po jedan analizator uz obavezu rezervnog za slučaj kada stanica provodi više od 15.000 tehničkih pregleda godišnje.
- Svi analizatori moraju biti postavljeni na kolicima kako bi se osiguralo lako manipuliranje uređaja oko vozila. Kolica moraju biti opremljena dovoljnim brojem prihvata kako bi se na njima mogla uredno pospremiti sva obavezna oprema uređaja.
- Svaka linija mora biti opremljena uređajem za odsis ispušnih plinova vozila koji je moguće postaviti u blizini ispušne cijevi vozila.
- Sitnim automehaničarskim alatom kao što je set običnih i okastih ključeva, komplet odvijača, komplet kliješta, čekić, baterijska svjetiljka i slično. Alat mora biti ispravan, čist i uredno spremljen u posebnoj kutiji za alat ili uredno spremljen negdje u blizini tehnološke linije.
- Katalozima podataka za EKO test u tiskanom i elektroničkom obliku.



### 1.3.2. EKO test vozila s Ottovim motorom

Ako je vozilo opremljeno mjerачem temperature rashladne tekućine u motoru, potrebno je provjeriti njegov rad. Također je na ploči s instrumentima potrebno provjeriti da li se nakon pokretanja motora gasi kontrolna lampica paljenja i ubrizgavanja goriva. U motor se postavlja senzor temperature ulja. Pri tome pažljivo treba utvrditi duljinu mjerne sonde prema duljini šipke za ulje. Konusni završetak temperature sonde treba nepropusno utisnuti u otvor šipke za ulje. Ako to nije moguće napraviti, potrebno je pomoću senzora izmjeriti temperaturu kako bi se osigurala njena valjana vrijednost i zatim vratiti originalnu šipku za ulje.

Motor treba upaliti i pustiti ga da se grije do svoje radne temperature. Ubrzano zagrijavanje motora se može izvoditi samo na konstantnoj povišenoj brzini vrtnje, a ne neprekidnim zaletavanjem motora pritiskanjem i otpuštanjem pedale snage. Također, nakon paljenja motora treba provjeriti da li analizator dobiva signale temperature ulja i brzine vrtnje. Do trenutka kada se motor ne zagrije na potrebnu temperaturu nije potrebno umetati sondu za mjerenje sastava ispušnog plina u ispušnu cijev.

Kada je motor dovoljno zagrijan, u ispuh se postavlja mjerna sonda. Nakon toga slijedi kondicioniranje katalizatora. Prilikom kondicioniranja katalizatora motor treba vrtjeti na povišenoj brzini vrtnje, ali istodobno to treba izvoditi tako da ne dolazi do variranja brzine vrtnje. Brzinu vrtnje treba zadržati što je moguće više konstantnom.

Nakon što se odrade uvjeti potrebni za kondicioniranje katalizatora, kako je sonda već postavljena u ispušnu cijev, obavlja se samo prilagodba brzine vrtnje na zahtijevanu brzinu vrtnje te ispitivanje ispušnih plinova pri povišenoj brzini vrtnje. Nakon što se pričeka 30 sekundi da se rezultati mjerenja stabiliziraju na povišenoj brzini vrtnje, oni se memoriraju. Nakon memoriranih rezultata mjerenja na povišenoj brzini vrtnje, potrebno je otpustiti pedalu snage tako da motor radi na brzini vrtnje praznog hoda. U tom trenutku započinje mjerenje ispušnog plina na praznom hodu. Nakon što se pričeka neko vrijeme da se rezultati mjerenja stabiliziraju na brzini vrtnje praznog hoda obavlja se ispis ukupnih rezultata mjerenja.

Nakon ispisa rezultata mjerenja, motor se gasi te s vozila skinu svi mjerni priključci (senzor brzine vrtnje motora, senzor temperature ulja i mjerna sonda iz ispušne cijevi) te se vrati šipka ulja.

### 1.3.3. EKO test vozila s Diesellovim motorom

Postupak pripreme za mjerenje je sličan kao i kod vozila s Ottovim motorom. Na jednak način se provodi ispitivanje temperature ulja i brzine vrtnje motora. Razlika je što se nakon što je osigurana ispravna vrijednost temperature ulja u motoru, u ispušnu cijev postavlja sonda za mjerenje neprozirnosti ispušnog plina.

Nakon što se motor zagrije na potrebnu temperaturu slijedi kontrola najmanje i najveće brzine vrtnje motora. Najmanja brzina vrtnje kontrolira se tako da se motor nakon zagrijavanja pusti da radi određeno vrijeme kako bi analizator memorirao ovu brzinu vrtnje. Najveća brzina vrtnje mjeri se tako da se motor vrlo laganim pritiskom na pedalu snage ubrzava do svoje najveće brzine vrtnje. Najveću brzinu vrtnje potrebno je zadržati sekundu ili dvije kako bi je analizator memorirao.

Nakon provjere minimalne i maksimalne brzine vrtnje motora, u ispušnu cijev postavlja se mjerna sonda. Mjernu sondu treba čvrsto postaviti na ispušnu cijev kako, uslijed pojačanog strujanja ispušnog plina za vrijeme mjerenja, ne bi izletjela iz ispušne cijevi

Slijedi propuhivanje motora. Propuhivanjem se motor zalijeće do najveće brzine šrilikom čega se izbacuje čađa koja se kroz vožnju nakupila na stijenke ispušnog sustava. Nakon propuhivanja slijedi mjerenje koje se provodi na isti način kao i propuhivanje. Ubrzanje motora se izvodi jednolikim pritiskom na pedale snage do kraja njenog fizički raspoloživog hoda, čime se postiže najveće brzine vrtnje motora. Pritiskanje treba trajati jednu sekundu. Zadržavanje motora na najvećoj brzini vrtnje smije trajati od 0,5 do 2 sekunde, a nakon toga slijedi slobodno otpuštanje pedale snage. Do sljedećeg slobodnog ubrzanja motora treba pričekati najmanje 15 sekundi pa opet ubrazavati na isti način.

Nakon mjerenja stupnja zacrnenja analizator samostalno izračunava srednju vrijednost stupnja zacrnenja, nakon čega slijedi ispis svih rezultata. Za kraj potrebno je ugaziti motor i odspojiti sve mjerne priključke te vratiti šipku ulja.

## 2. VOZILA NA KOJIMA JE PROVEDENO ISPITIVANJE

Da bi se ostvarila vjerodostojnost ispitivanja rada uređaja „Genijator“, potrebno je provesti ispitivanje na vozilima različitih Euro emisijskih razina, starosti, pogonskoga goriva i uvjeta eksploatacije. Za istraživanje je na raspolaganju bila flota koja se sastoji od ukupno 18 vozila od kojih su Zagrebačke ceste ustupile 16 vozila, dok su preostala dva ustupljena vozila iz privatnog vlasništva.

Tablica 1. Flota vozila nad kojima je provedeno ispitivanje rada uređaja „Genijator“

Reg. oznaka	Vozilo	God. proizvodnje	Snaga [kW]	Tip goriva	EURO	Vlasništvo
ZG 1544 H	Mazda B2500	1998	63	dizel	EURO 2	Zagrebačke ceste
ZG 1497 H	Mazda 323	1998	65	benzin	EURO 2	Zagrebačke ceste
ZG 1498 H	Mazda 323	1998	65	benzin	EURO 2	Zagrebačke ceste
ZG 7353 Z	Opel Astra	2001	44	benzin	EURO 3	Zagrebačke ceste
ZG 7354 Z	Opel Astra	2001	44	benzin	EURO 3	Zagrebačke ceste
ZG 3619 AA	Opel Corsa	2001	55	benzin	EURO 3	Zagrebačke ceste
ZG 3419 AB	Mazda 626	2001	100	benzin	EURO 4	Zagrebačke ceste
ZG 2612 AM	Renault Megane	2003	88	dizel	EURO 3	Zagrebačke ceste
ZG 7300 GR	VW Sharan	2007	103	dizel	EURO 4	Privatno
ZG 2536 EK	Renault Kangoo	2011	50	dizel	EURO 5	Zagrebačke ceste
ZG 2537 EK	Renault Kangoo	2011	50	dizel	EURO 5	Zagrebačke ceste
ZG 2539 EK	Renault Kangoo	2011	50	dizel	EURO 5	Zagrebačke ceste
ZG 2538 EK	Renault Kangoo	2011	50	dizel	EURO 5	Zagrebačke ceste
ZG 7600 EK	Toyota RAV4	2011	110	dizel	EURO 5	Privatno
ZG 7618 GH	VW Caddy	2017	55	dizel	EURO 6	Leasing*
ZG 7589 GH	VW Transporter	2017	75	dizel	EURO 6	Leasing*
ZG 7603 GH	Fiat Ducato	2017	96	dizel	EURO 6	Leasing*
ZG 8465 GS	VW Amarock	2017	150	dizel	EURO 6	Leasing*

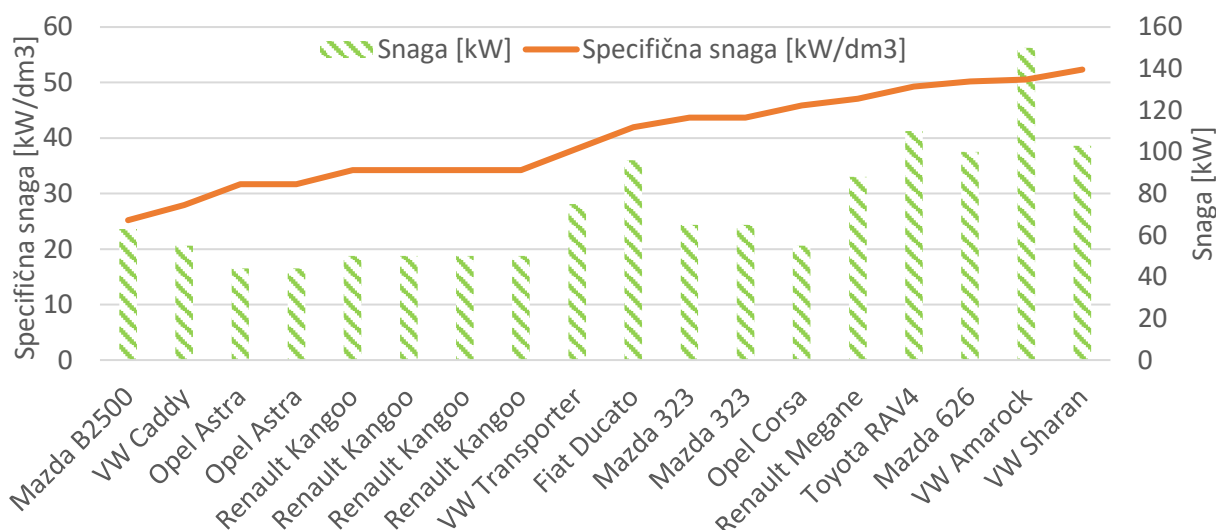
\* – vlasnik vozila je Porsche Leasing d.o.o., ali je korisnik vozila Zagrebački Holding - podružnica Zagrebačke ceste

Da bi se ispitivanje bilo relevantno, potrebno je ispitati vozila svih kategorija i vrsta pogonskoga goriva. Danas je gotovo nemoguće pronaći vozila emisijske razine Euro 1 ili niže, te je iz tog razloga takva kategorija zanemarena prilikom ispitivanja. Također, prilikom kupnje novoga vozila u Republici Hrvatskoj, pravne osobe su sklonije kupovini vozila s Dieselovim motorom te iz tog razloga nije bilo moguće pristupiti novijim vozilima s Ottovim motorom.

Tablica 2. Zastupljenost ispitivanih vozila prema vrsti goriva i EURO emisijskoj razini

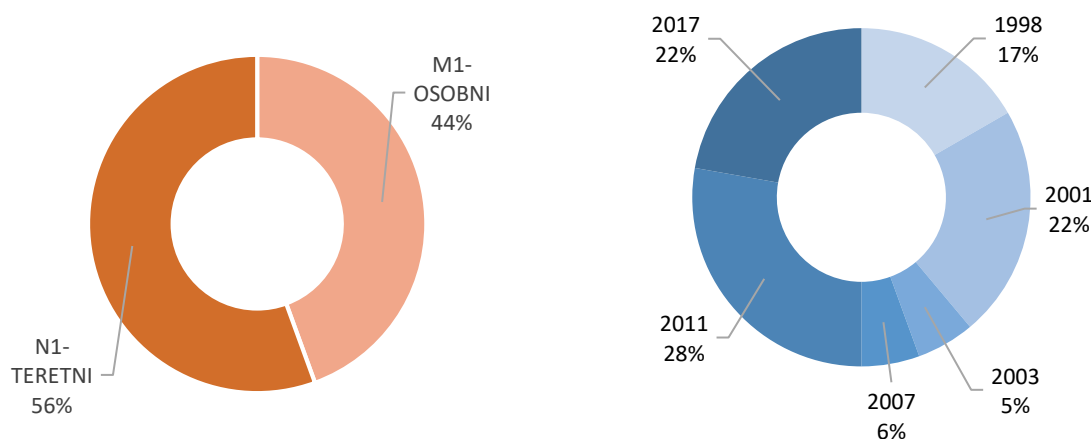
	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
<b>Benzin</b>	✗	✓	✓	✓	✗	✗
<b>Diesel</b>	✗	✓	✓	✓	✓	✓

Uz vrstu goriva i emisijsku razinu, vozila je moguće razvrstati prema snazi motora, odnosno prema specifičnoj snazi u odnosu na radni volumen motora kako je prikazano na slici 8.



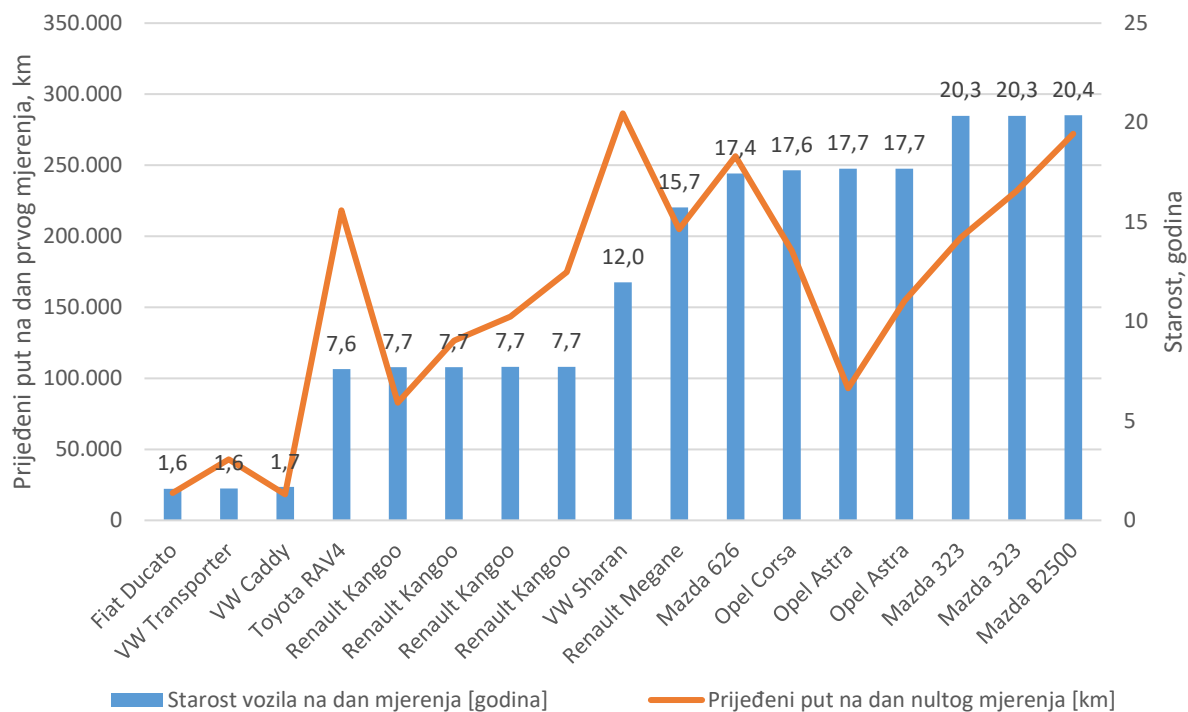
Slika 8. Odnos snage i specifične snage ispitne flote

Specifična snaga može služiti kao mjera opterećenosti motora s unutarnjim izgaranjem. Najnižu vrijednost specifične snage postiže vozilo Mazda B2500 sa 63 kW, odnosno 25,2 kW/dm<sup>3</sup>. Niska specifična snaga posljedica je stare tehnologije nenabijenog Dieselog motora. Najvišu vrijednost ostvaruje Volkswagen Sharan s prednabijenim Dieselovim motorom snage 103 kW radnog volumena 1968 cm<sup>3</sup> čime dostiže visoku vrijednost specifične snage od 52,3 kW/dm<sup>3</sup>.



Slika 9. Podjela flote prema ECE kategoriji vozila i godištu proizvodnje

Za potpunu karakterizaciju flote potrebno je još sagledati ukupni prijeđeni put vozila do trenutka početka provedbe ispitivanja uređaja „Genijator“.



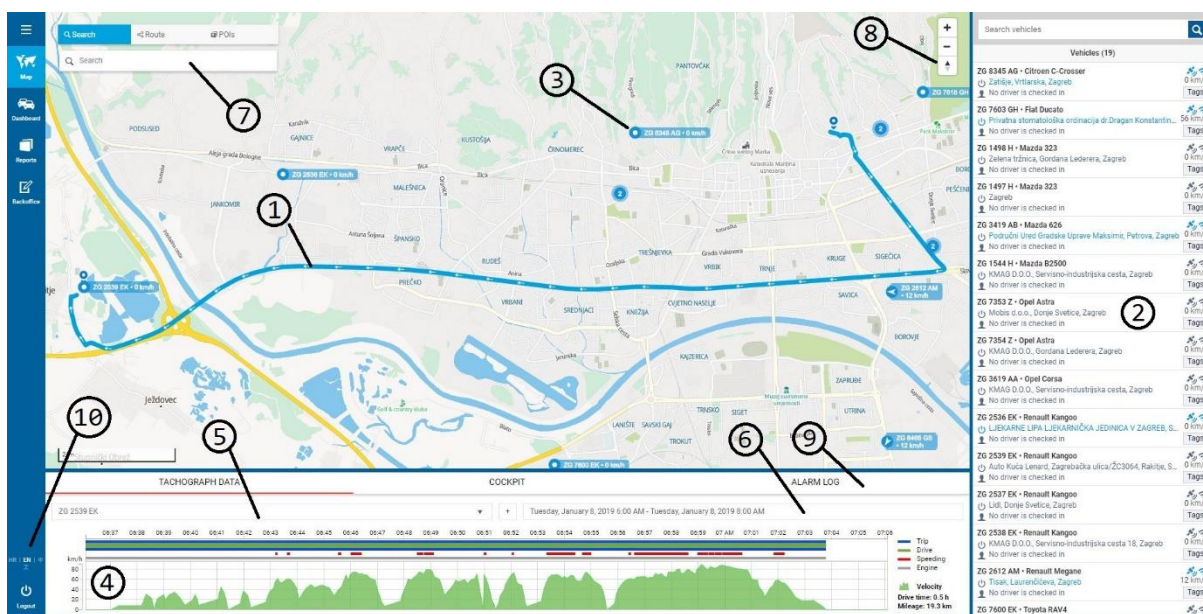
Slika 10. Ukupni prijeđeni broj kilometara u ovisnosti o starosti vozila

Prijeđeni put vozila najčešće je opisan na način da novija vozila u prosjeku rade veći prosječni godišnji broj kilometara od starijih vozila. Tri vozila znatno odstupaju od pravila. To su vozila Toyota RAV4 (ZG7600EK) i VW Sharan koji su u privatnom vlasništvu i Opel Astra (ZG7353Z) u vlasništvu Zagrebačkih cesta. Toyota RAV4 i VW Sharan su od trenutka prve registracije do trenutka početnoga mjerenja prešli veći broj kilometara nego li je uobičajeno za njihovu starost, dok je Opel Astra prešla značajno manji broj kilometara od vozila slične starosti.

### 3. OCJENA NAČINA VOŽNJE

#### 3.1. Sustav za praćenje vozila – Mireo

Tvrtka Mireo je razvila sustav za praćenje vozila u stvarnom vremenu koji nudi vrlo detaljnu analizu različitih parametara praćenja vozila. Sustav se bazira na kombinaciji GPS i GSM/GPRS prijenosa podataka. Sustav je moguće koristiti na pojedinačnom vozilu ili na cijeloj floti vozila. Baza sustava sastoji se od podataka koji se pohranjuju na server, a zatim pridodaju na kartu kako bi se opisala vožnja svakog vozila. Sustav je također u mogućnosti razvrstati prometnice po tipu i ograničenju brzine te je na taj način omogućeno realno praćenje poštivanja prometnih propisa. Uz to, korisniku je omogućeno pregledati izvještaje o vožnji koji sadrže vrijeme početka i kraja, ukupni prijeđeni put, prekoračenje brzine i njegovo ukupno trajanje, ukupni prijeđeni put cijele flote razvrstan prema tipu prometnice, ukupan prijeđeni put flote razvrstan po satu ili danu. Grafičko sučelje sustava prikazano je na slici 11.

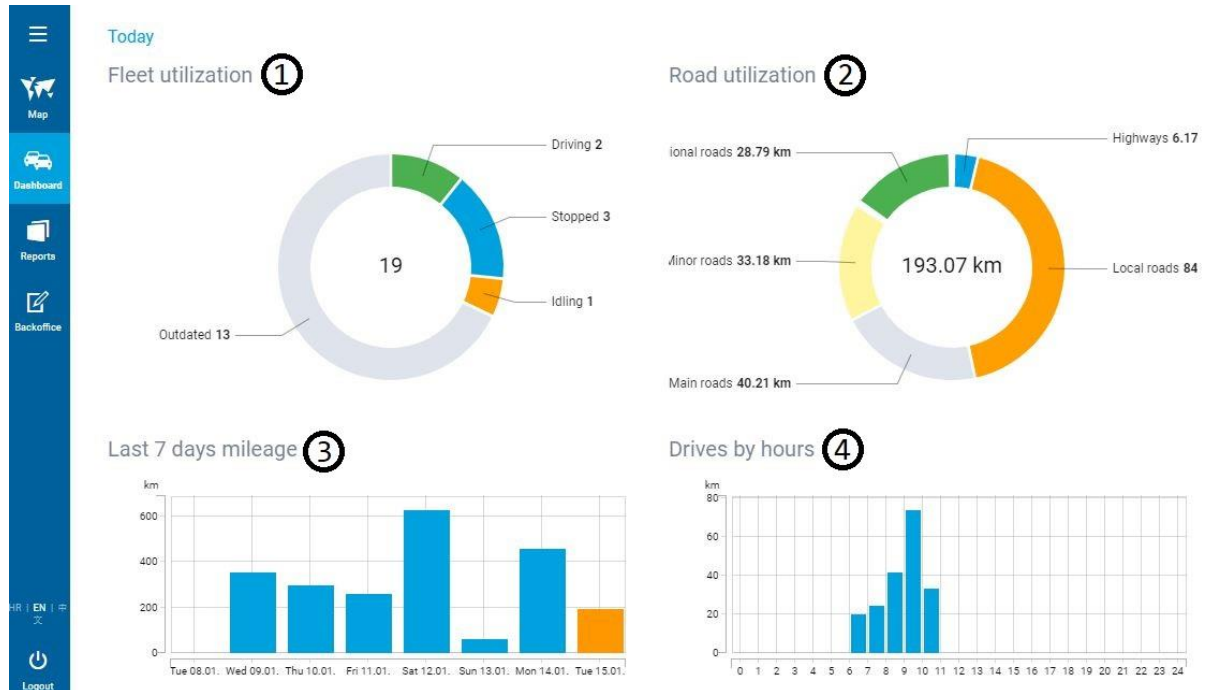


Slika 11. Sučelje sustava za praćenje vozila Mireo

Plavom linijom (1) je označena jedna od analiziranih vožnji praćenoga vozila prikazana na karti. S desne strane nalazi se popis svih praćenih vozila (2) zajedno sa njihovom trenutnim stanjem (plavo – vozilo je aktivno, sivo – vozilo nije aktivno). Sva vozila vide se i na karti (3) u realnome vremenu. Na dnu ekrana vide se podaci o odabranoj vožnji (4) uz izbornike za odabir vozila (5) i vrijeme razmatranja (6). Uz lijevi rub ekrana nalaze se dodatni izbornici. Još su prikazani: tražilica (7), alatna traka za pregled karte (8), zapis o alarmima (9), izbornik jezika (10) i odjava iz sustava (11).

### 3.1.1. Izbornik „Dashboard“

Na slici 12. vidi se prikaz izbornika *Dashboard* koji prikazuje podatke vezane za taj dan.



Slika 12. „Dashboard“ podaci

Na slici 12. prikazani su podaci o vožnji za taj dan. Četiri skupine podataka prikazuju trenutnu iskoristivost flote (1), broj prijeđenih kilometara po određenom tipu ceste (2), ukupni prijeđeni put flote izražen u km za zadnjih sedam dana (3) i satnu raspodjelu prijeđenog puta toga dana (4). Ceste se dijele na pet tipova: autocesta, lokalna (glavna gradska) cesta, sporedna gradska cesta, regionalna (županijska) cesta i ostale nerazvrstane ceste. Trenutna iskoristivost flote sadrži četiri kategorije: aktivna vozila, vozila koja su nedavno ugašena (plavo), vozila koja su upaljena ali ne voze (narančasto) i ugašena vozila (sivo).

### 3.1.2. Izbornik „Reports“

U izborniku *Reports* moguće je dobiti čitav niz detaljnih izvještaja. Popis svih mogućih izvještaja s opisom moguće je pronaći u tablici 3. Uz unaprijed pripremljene i ponuđene izvještaje dodatno je moguće precizirati i zatražiti podatke iz baze putem *Mireo Query* izbornika.





Tablica 3 Izvještaji i njihov opis

Naziv izvještaja	Opis
<b>Vožnje</b>	Za odabrano vozilo i odabrani vremenski period prikazuju se sve vožnje s njihovim početnim i završnim vremenima i lokacijama, prijedenom udaljenošću i ukupnim trajanjem.
<b>Prekoračenje brzine</b>	Za odabrani vremenski period prikazuju se sva vozila koja su prekoračila dozvoljenu brzinu. Uz svako vozilo moguće je vidjeti i ukupni prijeđeni put s prekoračenjem brzine te udio i trajanje prekoračenja s dodatnom podjelom na 10-20 %, 20-30 % i >30 % prekoračenja brzine.
<b>Prekoračenje brzine 10 %</b>	Za odabrani vremenski period prikazuju se sva vozila čije je prekoračenje brzine iznosilo više od 10 % dozvoljene brzine. Uz svako vozilo moguće je vidjeti i ukupni prijeđeni put s prekoračenjem brzine te udio i trajanje prekoračenja u vožnjama.
<b>Vožnje na autocestama</b>	Za odabrani vremenski period prikazuju se sva vozila koja su u tom periodu vozila autocestom. Dodatno je prikazan ukupni prijeđeni put i prijeđeni put proveden na autocesti, udio autoceste prema ostalim tipovima prometnica i udio trajanja vožnje po autocesti u odnosu na ukupno trajanje vožnje u tom periodu.
<b>Vožnje po tipovima cesta</b>	Za odabrani vremenski period prikazuje se ukupni prijeđeni put cijele flote uz dodatno razvrstavanje na prijeđeni put prema tipovima cesta.
<b>Vožnje po satima</b>	Za odabrani dan prikazuje se ukupni prijeđeni put svih vozila po satu. Dodatno se prikazuje i sveukupno trajanje vožnji tijekom tog sata.
<b>Tjedna prijeđeni put</b>	Za odabrani tjedan prikazuje se ukupni prijeđeni put razvrstan po danima.



### 3.1.3. Izbornik „Backoffice“

Na slici 13. prikazano je sučelje izbornika *Backoffice* u kojemu je moguće definirati opće (1), organizacijske (3) i teretne (4) podatke o vozilu, kao i njegove specifikacije (2).

INFO		FUEL ⑤	MAINTENANCE ⑥
<b>General ①</b> 		<b>Specifications ②</b> 	
Internal name	Citroen C-Crosser	Color	SREBRNA-S EFEKTOM
Registration	ZG 8345 AG	Tire size	215/70R16100H
VIN	VF7VUSFZF9Z951494	Number of seats	
Manufacturer	CITROEN	Engine Number	
Model	C-CROSSER	Additions	
Year made	2009	Trailer hitch	No
Engine type	Petrol	Extra equipment	Krovni nosač
Engine power	125	Expense per distance	
Engine transmission	4x4		
<b>Organizational ③</b> 		<b>Cargo ④</b> 	
Department		Cargo weight capacity	685
Vehicle type	M1 - OSOBNi AUTOM...	Cargo area volume	441
Vehicle purpose	PRIVATNO	Number of palett spaces	0
Description			
Garage location			
Parking location			
Internal key			

Slika 13. Izbornik „Backoffice“ s prikazom podataka o vozilu Citroen C-Crosser (ZG8345AG)

Izborom kartice *Fuel* (5) je također moguće bilježiti podatke o dopunjavanju vozila gorivom uz pomoć koje je lako izračunati i pratiti potrošnju goriva u ovisnosti o prijeđenome putu, kao i ukupnu cijenu potrošenoga goriva za bilo koji odabrani vremenski period. Također je moguće preuzeti podatke o potrošnji i pomoću njih kreirati izvještaje o potrošnji. Izborom kartice *Maintenance* (6) moguće je unositi i pratiti sve servise i popravke vezane za odabrano vozilo. Uz pomoć ovih dvaju kartica moguće je pratiti ukupne troškove pojedinog vozila čime se znatno olakšava kreiranje financijskih izvješća vezanih za vozila.

### 3.2. Ciklusi vožnje i ocjena

Kretanje vozila moguće je opisati kinematičkim parametrima poput brzine ili ubrzanja, međusobno povezanih prostorom i vremenom. Kinematičke parametre vozila moguće je bilježiti u stvarnim uvjetima vožnje po određenoj prometnici što dalje omogućava detaljnu analizu podataka u svrhu ocjene stila vožnje svakog pojedinog vozila, odnosno vozača. Poznato je kako različiti vozači imaju i različite vozačke sposobnosti. Najjednostavnije je vozače razvrstati u kategorije ovisno o njihovom stilu vožnje koji se definira s učestalošću prekoračenja brzine, iznosu prekoračenja brzine i iznenadnih promjena u brzini uzrokovanih iznenadnim ubrzanjima i usporenjima. Što je veća varijacija u brzini vozila, veća je i interakcija između vozila u prometu (pretjecanja, zaustavljanja i slično). Posljedično se može tvrditi kako su vozači s agresivnim pristupom vožnji nesigurni za promet i imaju povećanu vjerojatnost sudjelovanja u prometnoj nesreći. Pojedini istraživači razvrstavaju vozače u agresivne i obazrive [15]. Obazrivi vozači okarakterizirani su kao oprezni, gdje se opreznim smatra održavanje konstantne brzine vozila bez naglih ubrzanja ili usporenja.

Postoje mnoga istraživanja vezana za kategorizaciju stilova vožnje. Pregled literature, odnosno zaključci nekih od istraživanja objavljeni su u sklopu rada [16] koji ističe kako je glavna razlika između karakterizacija stilova vožnje način prikupljanja i obrade podataka. Starije studije koristile su stacionarne sustave za nadzor prometa, dok su novije svoj fokus prebacile na uređaje koji se postavljaju unutar vozila.

#### 3.2.1. Veza između brzine i sigurnog ubrzanja

Većina autora razmatra stilove vožnje ovisno o dva ili tri kinematička parametra poput uzdužnog ubrzanja, bočnog ubrzanja i brzine vozila. Međutim, stvarni uvjeti vožnje vrlo često su mnogo kompleksniji.

Prilikom kretanja vozila po prometnici dolazi do uzdužnog ubrzanja koje djeluje u smjeru kretanja vozila i bočnog ubrzanja okomitog na smjer kretanja vozila.

$$|\bar{a}| = \sqrt{a_{uzd}^2 + a_{boč}^2}$$

Zbog pojednostavljenja i nemogućnosti točnog utvrđivanja bočnog ubrzanja u nastavku rada pretpostavljeno je da bočno ubrzanje ne postoji.

Prema drugom Newtonovom zakonu, vozilo je objekt na koji djeluje rezultantna sila  $F_V$ :

$$F_V = m \cdot |\bar{a}|.$$

Gdje je:

- $m$  – masa vozila s putnicima i teretom, kg.

Da bi se vozilo moglo kretati, mora postojati rezultantna sila  $F_R$  koja je u ravnoteži sa silom  $F_V$ . Sila  $F_R$  ovisi o trenju između kotača i podloge ceste, kao i o masi vozila. Prema tome ona glasi:

$$F_R = m \cdot g \cdot \mu.$$

Prema tome, vozilo je moguće predstaviti u tri stanja:

1. ako je  $F_V < F_R$ , upravljanje vozilom je moguće,
2. ako je  $F_V = F_R$ , upravljanje vozilom je granično i
3. ako je  $F_V > F_R$ , upravljanje vozilom nije moguće.

Kako bi se jasno precizirala granica upravljanja vozila, odnosno granica sigurnosti potrebno je detaljnije sagledati vezu između ubrzanja i brzine vozila. Prema [15] postoji veza između maksimalnog faktora trenja i brzine vozila koja glasi:

$$\mu_{max} = 0,214 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{v}{100}\right) + 0,615.$$

Gdje je:

- $v$  – brzina vozila izražena u km/h.

Prema svemu ranije navedenom, granica sigurnog ubrzanja u ovisnosti o brzini vozila glasi:

$$|\bar{a}| = g \cdot \left[ 0,214 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{v}{100}\right) + 0,615 \right].$$

Definirana granica sigurnosti predstavlja padajuću kvadratnu krivulju u ravnini  $(V,a)$ . Vrijednosti iznad krivulje predstavljaju područja nesigurnosti upravljanja vozilom, odnosno opasne trenutke u vožnji. Na slici 31. vidi se kako ubrzanja, odnosno usporenja, vrijednosti od  $\pm 6 \text{ m/s}^2$  su sigurna prilikom brzina nešto viših od 0 km/h, dok je prilikom 100 km/h sigurnost ubrzanja oko  $\pm 2 \text{ m/s}^2$ .

### 3.2.2. Izračun udaljenosti između dva uzastopn položaja vozila

Za potrebe izračuna ukupnog prijeđenog puta vozila korišteni su podaci o trenutnoj lokaciji vozila preuzeti iz MIREO sustava ugrađenog u vozilu. Pohranjeni podaci su u formatu WPT što označava *MIREO World Point System*. To je interni sustav zapisa koordinata u svrhu olakšanog prijenosa podataka između sustava u vozilu i serverskog računala na kojem se prikupljaju podaci. Takve koordinate potrebno je preračunati u WGS (engl. *World Geodetic System*) koordinatni sustav kako bi se iz toga mogla izračunati udaljenost između dva različita položaja vozila. Za preračunavanje je moguće koristiti skriptu na slici 14.

```
var PI_2 = Math.PI / 2;
var PI_4 = Math.PI / 4;
var RMF_MERIDIAN_BIN = (1 << 27);
var DEG2RAD = Math.PI / 180;
var DEG2INT = RMF_MERIDIAN_BIN / 180;
var RAD2INT = RMF_MERIDIAN_BIN / Math.PI;
var RAD2DEG = 1 / DEG2RAD;
var INT2DEG = 1 / DEG2INT;
var INT2RAD = 1 / RAD2INT;

point_to_wgs = function(wpt) {
    var lng = INT2DEG * wpt.x;
    var lat = RAD2DEG * (2 * Math.atan(Math.exp(INT2RAD * wpt.y)) - PI_2);
    return { lat: lat, lng: lng };
}

function usage() {
    console.log('Convert wgs coordinate to mireo world point coordinate');
    console.log('wpt2wgs <wpt_json>');
}

var args = process.argv.slice(2);
if (args.length != 1) {
    console.log('Invalid input');
    usage();
    return;
}

try {
    var wgs = JSON.parse(args[0]);
    console.log(wgs);
}
catch (e) {
    console.log(e);
    usage();
    return;
}

console.log(point_to_wgs(wgs));
```

Slika 14. Skripta za preračunavanje iz WPT u WGS koordinatni sustav

Također moguće je koristiti jednostavniji model preračuna pogodniji za rad u Excelu koji glasi:

$$Longitude_{WGS} = \frac{180 \cdot Longitude_{WPT}}{2^{27}} = \frac{180 \cdot Longitude_{WPT}}{134217728};$$

$$Latitude_{WGS} = \frac{180}{\pi} \cdot \left( 2 \cdot \tan^{-1} \left( e^{\frac{\pi \cdot Latitude_{WPT}}{2^{27}}} \right) - \frac{\pi}{2} \right).$$

WGS koordinate predstavljaju zapis u stupnjevima, minutama i sekundama geografske širine odnosno dužine, pri čemu je usvojeno pravilo da se pozitivne vrijednosti odnose na sjevernu geografsku širinu i istočnu geografsku dužinu.

Iz prikupljenih podataka izračunavaju se međusobne udaljenosti korištenjem trigonometrijskih funkcija. Pri tome se pretpostavlja pravilan oblik Zemlje kao sfere, što je i opravdano s obzirom na relativno malu razliku u promjeru Zemlje na ekvatoru, odnosno početnom meridijanu. Jedan od mogućih izračuna udaljenosti na sferi je pomoću kosinusovog poučka za stranice sfernog trokuta. Takav način nije pogodan za male sferne kuteve i udaljenosti, budući da je  $\cos(0)=1$ . Promatrajući Zemlju s opsegom od oko 40.000 kilometara, udaljenost od nekoliko metara ili nekoliko desetaka metara između uzastopnih položaja vozila doista predstavlja malu vrijednost. Iz tog razloga koristi se haversinusova formula [17]. Trigonometrijska funkcija haversinus definirana je kao:

$$haversin(\theta) = \sin^2 \left( \frac{\theta}{2} \right).$$

Kako bi se ispravno izveo proračun, najprije je potrebno vrijednosti WGS koordinata preračunati u radijane. Funkcije za izračun udaljenosti između uzastopnih položaja vozila glase.

Varijabla  $a$  jednaka je:

$$a = \sin^2 \left( \varphi_2 - \frac{\varphi_1}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2 \left( \lambda_2 - \frac{\lambda_1}{2} \right),$$

gdje je:

- $\varphi_1$ – geografska širina početnog položaja vozila [°];
- $\varphi_2$ – geografska širina krajnjeg položaja vozila [°];
- $\lambda_1$ – geografska dužina početnog položaja vozila [°];
- $\lambda_2$ – geografska dužina krajnjeg položaja vozila [°].

Varijabla  $c$  predstavlja međukorak u izračunu i jednaka je:

$$c = 2 \cdot \tan^{-1}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}).$$

Konačna udaljenost između točaka na sferi jednaka je:

$$d = R \cdot c,$$

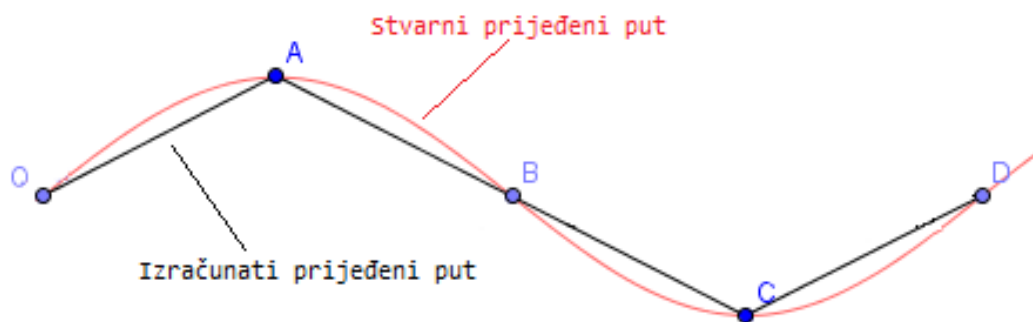
pri čemu je  $R$  radijus Zemlje i iznosi 6.371.000 metara.

Sada, kada se zna izračunati udaljenost između dva uzastopna položaja vozila, moguće je izračunati i ukupni prijeđeni put tijekom vožnje prema formuli:

$$s = \sum_{i=1}^n d_i.$$

Gdje je  $n$  ukupni broj zabilježenih položaja tijekom jedne vožnje.

Kako je ranije spomenuto, Zemlja se promatra kao pravilna sfera. Međutim, to nije jedina pogreška koja nastaje tijekom ovog tipa izračuna udaljenosti. Prijeđeni put računa se kao pravocrtna udaljenost između točaka, što prilikom prolaska vozila kroz zavoj nije slučaj. Vozilo prelazi veći put nego li je izračunat prema ovom principu, ali pretpostavlja se kako pogreška nije velika i ne utječe značajno na konačan rezultat.



Slika 15. Pogreška izračuna udaljenosti prilikom prolaska kroz zavoj

### 3.2.3. Art.Kinema vrijednosti i parametri

Unutar projekt ARTEMIS, švicarska organizacija INFRAS razvila je alat imena Art.Kinema koji izračunava širok raspon opisnih parametara ispitnih ciklusa prikazanih u tablici 4. Neke od parametara moguće je primijeniti i za ocjenu stila vožnje.

Tablica 4. Parametri ocjene ispitnog ciklusa prema Art.Kinema [18]

Grupa	Parametar	Mjerna jedinica
Ovisni o udaljenosti	Ukupna udaljenost	m
	Ukupno vrijeme	s
	Vrijeme vožnje	s
	Vrijeme konstantne brzine	s
	Vrijeme provedeno ubrzavajući	s
	Vrijeme provedeno usporavajući	s
Ovisni o vremenu	Vrijeme stajanja	s
	Udio vožnje	%
	Udio vožnje konstantnom brzinom	%
	Udio proveden ubrzavajući	%
	Udio proveden usporavajući	%
	Udio stajanja	%
Ovisni o ubrzanju	Prosječna vrijednost ubrzanja	$m/s^2$
	Prosječno pozitivno ubrzanje	$m/s^2$
	Prosječno negativno ubrzanje	$m/s^2$
	Standardna devijacija ubrzanja	$m/s^2$
	standardna devijacija pozitivnog ubrzanja	$m/s^2$
	75-ti – 25-ti percentil ubrzanja	$m/s^2$
	Broj ubrzanja	-
Broj ubrzanja po kilometru	$km^{-1}$	
Ovisni o zaustavljanju	Broj zaustavljanja	-
	Broj zaustavljanja po kilometru	$km^{-1}$
	Prosječno vrijeme provedeno pri zaustavljanju	s
	Prosječna udaljenost između dva stajanja	m

Ovisni o dinamici	Relativna pozitivna akceleracija (RPA)	m/s <sup>2</sup>
	Pozitivna kinetička energija (PKE)	m/s <sup>2</sup>
	Relativna pozitivna brzina (RPS)	
	Relativna stvarna brzina (RRS)	
	Relativna kvadratna brzina (RSS)	m/s
	Relativna pozitivna kvadratna brzina (RPSS)	m/s
	Relativna stvarna kvadratna brzina (RRSS)	m/s
	Relativna kubna brzina (RCS)	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
	Relativna pozitivna kubna brzina (RPCS)	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
	Relativna stvarna kubna brzina (RRCS)	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

U okviru izrade ovog diplomskog rada, od Art.Kinema vrijednosti i parametara, te njihovog načina računanja preuzete su:

- ukupno vrijeme,
- vrijeme provedeno ubrzavajući,
- vrijeme provedeno usporavajući,
- prosječno pozitivno ubrzanje,
- prosječno negativno ubrzanje,
- broj ubrzanja,
- broj ubrzanja po kilometru i
- relativna pozitivna akceleracija (RPA).

Ukupno vrijeme vožnje računa se prema:

$$T_{ukupno} = t_1 - t_0 + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}),$$

uz uvjet da se vožnjom smatra svako gibanje vozila čije vrijeme stajanja ne prelazi 600 sekundi.

Vrijeme provedeno ubrzavajući računa se prema:

$$T_{ubr} = \begin{cases} t_2 - t_1 & (a_1 > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases},$$

gdje je ubrzanje niže od 0,1 m/s<sup>2</sup> izuzeto iz razloga što je prenisko da bi bilo relevantno.



Vrijeme provedeno usporavajući računa se prema:

$$T_{usp} = \begin{cases} t_2 - t_1 & (a_1 < -0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & (a_i < -0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases},$$

gdje je ubrzanje više od  $-0,1 \text{ m/s}^2$  izuzeto iz razloga što je prenisko da bi bilo relevantno.

Prosječno pozitivno ubrzanje računa se prema:

$$\overline{a_{poz}} = \left( \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases}.$$

Prosječno negativno ubrzanje (usporenje) računa se slično:

$$\overline{a_{usp}} = \left( \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < -0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i < -0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases}.$$

Broj ubrzanja računa se prema:

$$Br. \text{ ubrz.} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2 \wedge a_{i-1} < 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases},$$

gdje se na sličan način računa i broj usporenja.

Broj ubrzanja po prijeđenom kilometru računa se tako da se broj ubrzanja podijeli s prijeđenim putem vožnje:

$$Br. \text{ ubrz./km} = \frac{|Br. \text{ ubrzanja}|}{s},$$

Na sličan način računa se i broj usporenja po prijeđenom kilometru.

Relativna pozitivna akceleracija računa se prema:

$$RPA = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i v_i & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases}$$

#### 4. BOSCH BEA 350

Analizator ispušnih plinova tvrtke Bosch, model BEA 350 služi za provođenje ispitivanja emisije pojedinih komponenata na jednostavan način. Ispitivane tvari pokrivaju sve vrste cestovnih vozila neovisno o vrsti motora s unutarnjim izgaranjem. Analizator BEA 350 mjeri emisiju ispušnih plinova sukladno Direktivi 92/55/EC, ali i na način koji može pomoći pri otkrivanju kvara motora unutar servisnih radiona.

Tablica 5. Tehnički podaci uređaja Bosch BEA 350 [19]

Napajanje uređaja	230 V ± 10 % 50/60 Hz
Dozvoljena temperatura okoline	5 °C do 40 °C
Dozvoljena temperatura skladištenja	-20 °C do 65 °C
Dozvoljeni tlak zraka	700 hPa do 1100 hPa
Dimenzije uređaja (V×Š×D)	1370×700×750 mm
Masa uređaja	cca. 67 kg
Najveća dopuštena konstantna temperature mjerne sonde	200 °C
Najveća dopuštena vršna temperature mjerne sonde	250 °C < 3 min
Razina buke (EN ISO 11200)	46 dB (tijekom rada analizatora) 66 dB (tijekom rada pisača)
Razina elektromagnetskog zračenja (EN 55 022 i EN50082-2)	Klasa A

Bosch BEA 350 podliježe ispitivanju Međunarodne organizaciji za zakonsko mjeriteljstvo pod nazivom OIML-R99 Class 0. Klasa 0 je druga najpreciznija klasa nakon klase M. To znači da mu je minimalna rezolucija mjerenja točno propisana i ne smije iznositi više od 0,01% vol za CO, 0.1% vol za CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> te 1 ppm vol za HC. Također, prema tom standardu vrijednost faktora pretička zraka mora biti zaokružena na najmanje treću decimalu s rezolucijom izračuna od 0,001.

#### 4.1. Funkcionalni opis uređaja

Bosch BEA 350 koristi se kao jedan od najčešćih uređaja za mjerenje sastava ispušnih plinova u sklopu EKO testa u većini stanica za tehnički pregled. Uređaj mjeri udjele CO, HC, CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> kod Ottovih motora, kao i neprozirnost kod Diesellovih motora. Faktor pretička zraka računa se s obzirom na ranije spomenute vrijednosti. Uređaj je opremljen i dodatnim uređajima za mjerenje brzine vrtnje motora i temperature ulja. U tablici 6 je prikazan opseg i rezolucija mogućih mjerenja.

Tablica 6. Opseg i rezolucija mjerenja uređaja Bosch BEA 350 [20]

Analiza	Opis	Opseg mjerenja	Rezolucija mjerenja
CO	Ugljikov monoksid	0,00 – 10,00 %vol	0,001 %vol
CO <sub>2</sub>	Ugljikov dioksid	0,00 – 18,00 %vol	0,01 %vol
HC	Ugljikovodici	0 – 9999 ppm vol	1 ppm vol
O <sub>2</sub>	Kisik	0,00 – 22,00 %vol	0,01 %vol
λ	Faktor pretička zraka	0,500 – 9,999	0,001
NO*	Dušikov monoksid	0 – 5000 ppm vol	<1 ppm vol
Stupanj neprozirnosti	/	0 – 100 %	0,1 %
Koef. apsorbcije	/	0 – 10 m <sup>-1</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>
θ	Temperatura ulja	-20 – 150 °C	0,16 °C
n	Brzina vrtnje motora	600 – 6000 min <sup>-1</sup>	10 min <sup>-1</sup>

\*ne dolazi u osnovnoj verziji, moguće je kupiti kao dodatnu opremu

Princip mjerenja CO, CO<sub>2</sub> i HC je NDIR spektrometrija, dok se O<sub>2</sub> mjeri elektrokemijskim sensorom, brzina vrtnje se preuzima preko induktivnih kliješta koja se postavljaju na polove akumulatora, a temperatura ulja se mjeri preko senzora temperature koji se postavlja u uljno korito motora.

Vrijednost faktora pretička zraka izračunava se prema Brettschneiderovoj jednadžbi:

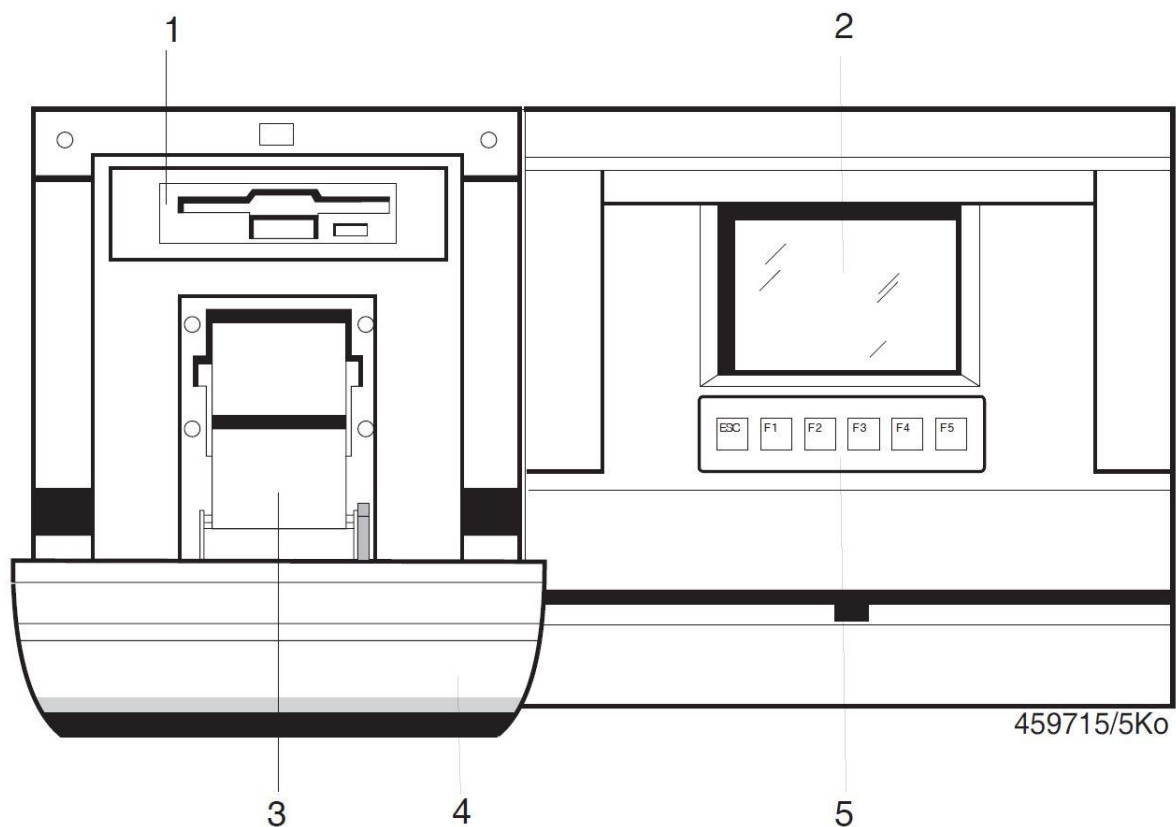
$$\lambda = \frac{[CO_2] + \frac{[CO]}{2} + [O_2] + \left( \frac{H_{CV}}{4} \times \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{[CO_2]}} - \frac{[O_{CV}]}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO])}{\left( 1 + \frac{H_{CV}}{4} - \frac{O_{CV}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO] + K_1 \times [HC])}$$

Gdje je:

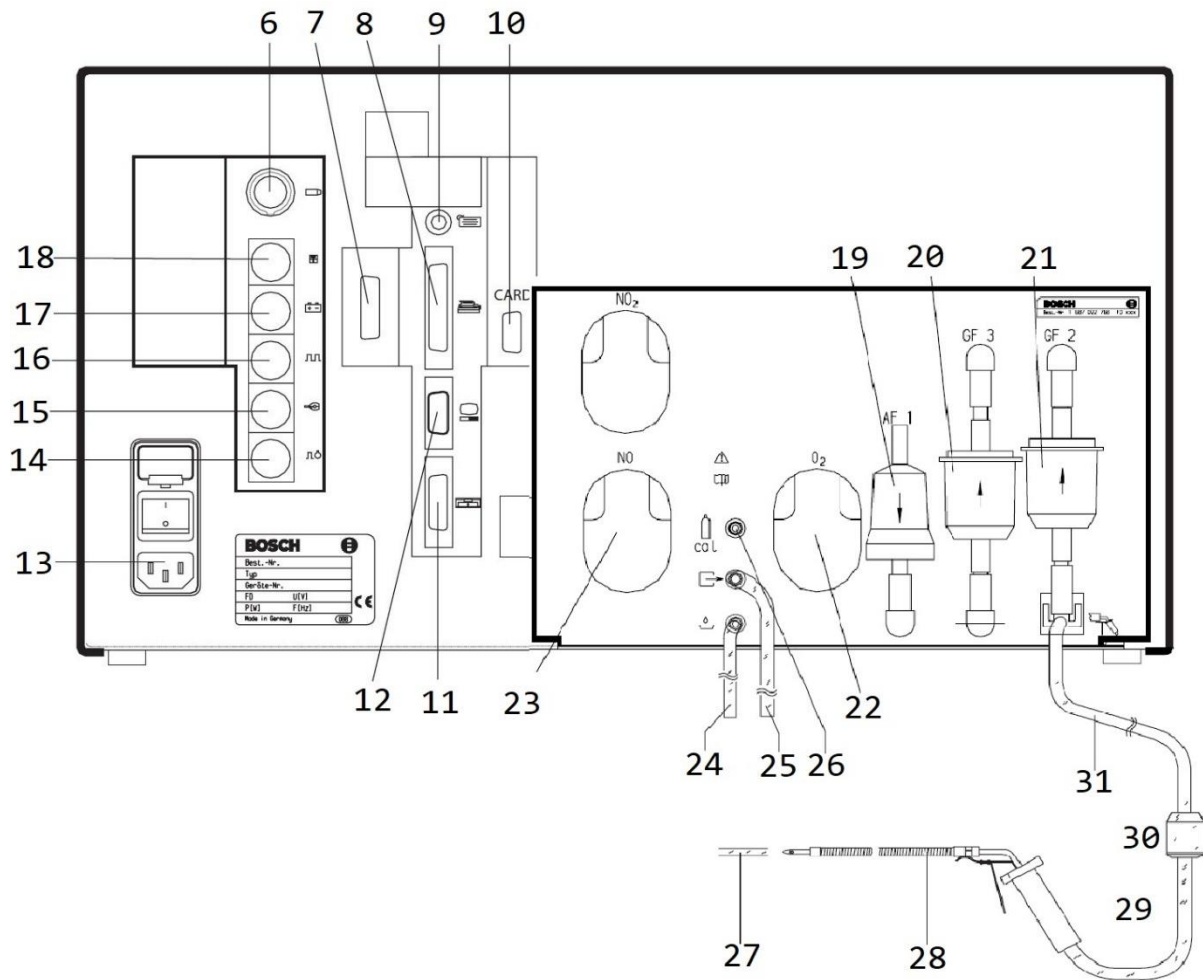
- [ ] – koncentracija navedene tvari u % vol;
- $K_1$  – faktor pretvorbe za HC iz NDIR u FID metodu mjerenja (iznosi 8);
- $H_{CV}$  – omjer vodika i ugljika u gorivu (iznosi 1,7261)\*;
- $O_{CV}$  – omjer kisika i ugljika u gorivu (iznosi 0,0175)\*;
- \* – vrijednost ovisi o vrsti goriva i moguće ju je promijeniti.

## 4.2. Opis uređaja

Na slikama 16. i 17. prikazan je izgled uređaja i njegovih funkcionalnih dijelova čiji je opis dan u tablici 7.



Slika 16. Prednja strana uređaja BEA 350 [19]



Slika 17. Prikaz priključaka i senzora sa stražnje strane uređaja BEA 350 [19]

Tablica 7. Popis dijelova prikazanih na slikama 16. i 17.

Pozicija	Opis
1	Ulaz za disketu
2	TFT zaslon
3	Pisač
4	Otvorena prednja ladica
5	Funkcijske tipke
6	Priključak za stroboskop
7	Priključak za OBD*
8	Priključak za vanjski pisac
9	Priključak za tipkovnicu
10	Priključak za skener
11	Priključak za RTM 430

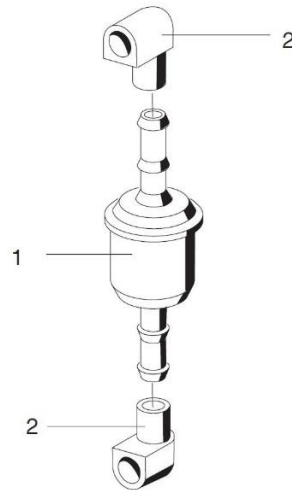
12	Priključak za serijsko sučelje
13	Priključak na mrežu s osiguračem
14	Priključak za TDC ili optički senzor
15	Priključak senzora brzine vrtnje sa stezaljkama
16	Priključak za hvataljke ili kabel za klemu 1/ TD/TN /EST
17	Priključak za B+/B- kabel
18	Priključak za senzor za mjerenje temperature ulja iz korita motora
19	Filtar s aktivnim ugljenom
20	Filtar za zaštitu pumpe GF3
21	Ulazni filtari GF2
22	O <sub>2</sub> senzor
23	NO senzor*
24	Crijevo za izlaz plina i kondenzata (140 cm dugačko prozirno PVC crijevo)
25	Izlaz izmjerenih plinova (140 cm dugačko prozirno PVC crijevo)
26	Ulaz za kalibracijski plin
27	Plastično crijevo za ispitivanje curenja
28	Sonda za uzimanje uzorka
29	30cm Viton crijeva (crno)
30	Filtar GF1
31	Dovodno crijevo duljine 8 metara (crno)

\*ne dolazi u osnovnoj verziji, moguće je kupiti kao dodatnu opremu

### 4.3. Održavanje uređaja

Proizvođač je predvidio da se uređaj održava u dva servisna intervala, nakon šest mjeseci i nakon godinu dana. Godišnji servisni pregled se sastoji od:

- provjere točnosti mjerenja uz pomoć kalibracijskog plina;
- zamjene filtra s aktivnim ugljenom (pozicija 19);
- zamjene filtra za zaštitu pumpe GF3 (pozicija 20)



Slika 18. Filtar za zaštitu pumpe GF3

Filtar GF3 se mijenja tako da se zajedno izvuku nastavci (2) i filtar (1). Zatim se nastavci (2) skinu s filtra laganim zakretanjem i postavljaju se na novi filtar. Sve zajedno se vrati u početni položaj.

Šestomjesečni servisni pregled sastoji se od:

- zamjene filtra GF1 (pozicija 30);
- zamjene filtra GF2 (pozicija 21);
- provjere jesu li sva crijeva ispravno spojena;
- vizualne inspekcije sonde za uzimanje uzorka;
- provjere znakova i tragova curenja;
- u sustavu potvrditi da je servis izvršen.

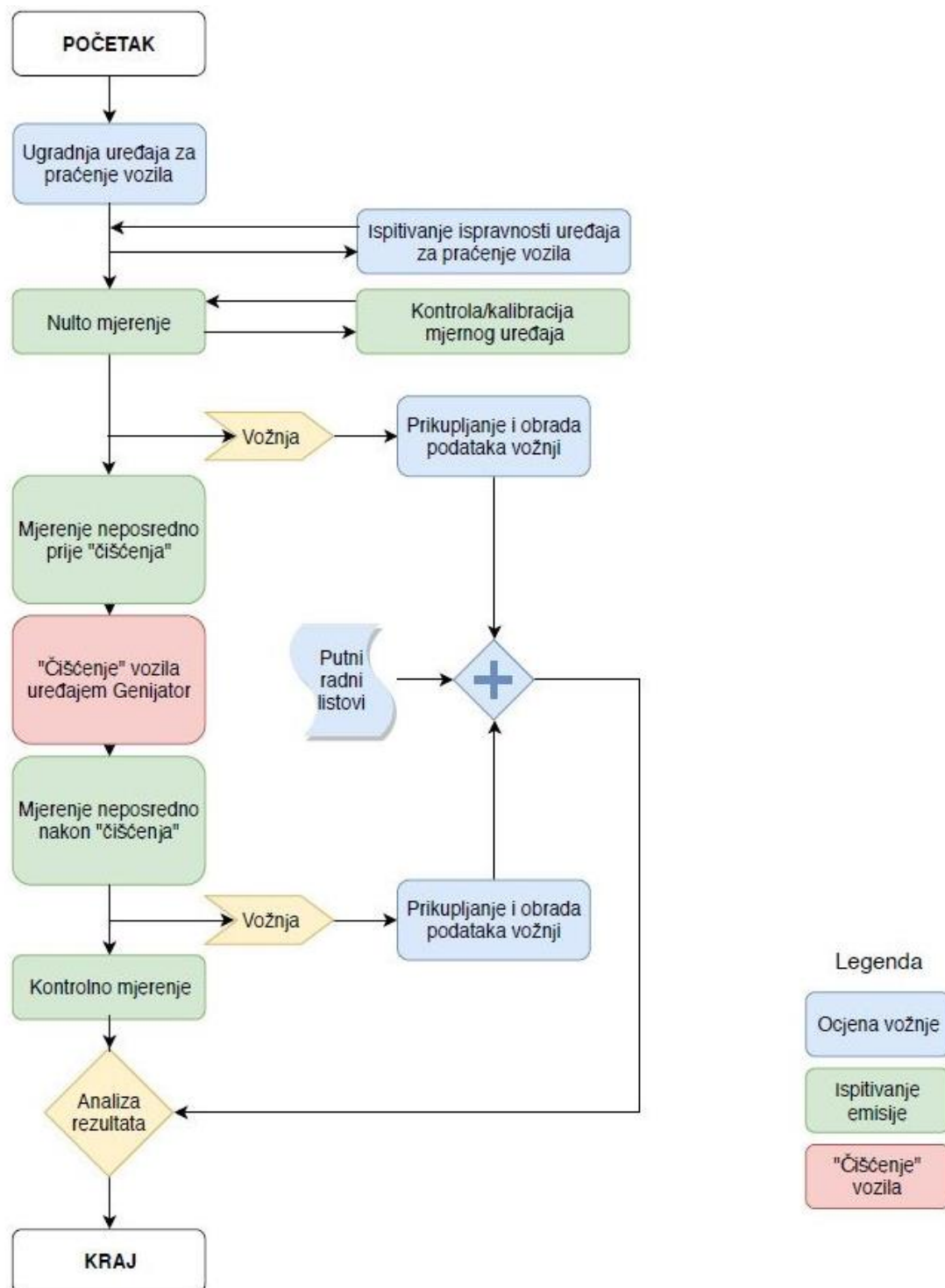
Više uzastopnih filtara osigurava da se iz ispušnih plinova uklone sve nečistoće u vidu čestica i vlage. Kada se govori o česticama misli se na prašinu i čađu. Zbog njih se preporučuje zamjena filtra GF1 barem jednom tjedno ako se uređaj često koristi, kao što je to slučaj uređaja u stanicama za tehnički pregled. U slučaju da dođe do začepljena filtra GF1, uređaj će sam javiti kako je došlo do njegovog zasićenja i da je potrebna zamjena prije daljnjeg ispitivanja.

Također, od iznimne je važnosti da je uređaj nepropustan, odnosno da nigdje ne dolazi do curenja plina u ili iz uređaja. Uz vizualni pregled svih crijeva predlaže se provedba testa propusnosti (engl. *Leak Test*) barem jednom dnevno. Prije početka testa potrebno je na mjernu sondu postaviti plastično crijevo (pozicija 27) ili se sonda može zatvoriti i prstima.

Uz sve navedeno poželjno je povremeno odvojiti sondu od crijeva i propuhati kompresorom u smjeru obrnutom od uzimanja uzorka, kako bi se iz nje izbacile sve nataložene nečistoće.

## 5. PLAN ISTRAŽIVANJA

Na slici 19. prikazan je tijek i način provođenja istraživanja. Svaka boja označava poseban dio u istraživanju. Ispitivanja emisija štetnih tvari iz vozila putem EKO testa prikazana su zelenom bojom, ispitivanje ocjene vožnje plavom bojom, „čišćenje“ vozila crvenom bojom, odnosno analiza i objedinjenje podataka žutom bojom.



Slika 19. Dijagram toka istraživanja



Na samom početku istraživanja u vozila su ugrađeni uređaji za praćenje. Nakon ugradnje provedena su ispitivanja na prikupljenim podacima u svrhu ispitivanja ispravnosti rada kako bi se ustanovile i uklonile potencijalne neispravnost u radu uređaja.

Nakon otklonjenih nedostataka u radu uređaja i utvrđene daljnje ispravnosti, započeta je faza mjerenja emisija ispušnih plinova uređajem Bosch BEA350. Nulto mjerenje odrađeno je u svrhu saznavanja dostizivih granica emisija ispušnih plinova kod vozila s Ottovim motorom, odnosno stupnja neprozirnosti ispuha kod vozila s Dieslovim motorom. Faza nultog mjerenja traje 30 – 45 minuta po vozilu.

Nakon što je završena faza nultog mjerenja, započeta je faza prikupljanja podataka o vožnjama u cilju utvrđivanja eksploatacijskih parametara vozila. Za jasno definiranje eksploatacije vozila, svakoj pojedinoj upotrebi vozila potrebno je definirati vozača pomoću putnih radnih listova kako je prikazano na slikama 20. i 21. Sadržaj putnih radnih listova dodatno je pojašnjen u tablici 8.

Garaža	Datum	Vrijeme		Stanje broja	Potpis vratara
		sat	min.		
Odlazak					
Povratak					

Izdavatelj goriva (datum, mjesto i naziv)	Vrsta goriva – maziva	Količina	Potpis izdavatelja (Napomena 1) (bpo računa)
11.01.19.	NAFTA KAT/125	30,64	J
	(747)		

POTROŠAK	Gorivo		Mazivo	
	jed. mj.	količina	jed. mj.	količina
– po normi				
– stvarni				
– razlika + – ( )				

PRIJEĐENI KILOMETRI GUMA (Napomena 2)				
Marka	Tvornički broj	Dimenzija	km	(Napomena 3)

Dnevno planirano	km	tona	tona/km
Obavljeno			

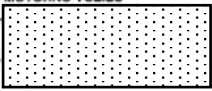
  

Napomene:

Vozač: \_\_\_\_\_ (ovlaštena osoba za likvid. putnih radnih listova)

1) Na vizitnom sledišću potpis skladništara.  
 2) Podaci u prve tri kolone ispunjavaju se prema evidencijskom kartonu odmah pri izdavanju naloga.  
 3) Upišati stanje broja pri zamjeni guma (kod oboje gume).  
 4) Upišati jednu od vrsta prijevoza: "Javni linjski" ili "Javni slobodni" ili "Prijevoz za vlastite potrebe".

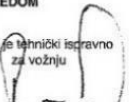
  

2 ZAGREBAČKE CESTE, SENAROCI (Naziv odnosno ime i prezime, sjedište i adresa prijevoznika)		
U ZAGREBU	dana 11.01.2019.	4 687 (vrsta prijevoza – Napomena 4)
SERIJA E <b>PUTNI RADNI LIST</b>		3 0019720
ZA TERETNO MOTORNO VOZILO		
Vozač:		5
Ostali članovi posade: _____ (ime i prezime)		
Relacija odnosno pravac: Po Gerasu 6		
M.P. _____ (Potpis ovlaštene osobe)		
Marka vozila	Nosivost (t)	Oznaka i registarski broj
RENAULT	7	E9 2537 EK
Oznaka priključnog vozila	Nosivost (t)	Oznaka i registarski broj

POTVRDA O ISPRAVNOSTI VOZILA ŠTO JE UTVRĐENA DNEVNIM PREVENTIVNOM TEHNIČKIM PREGLEDOM

Vozilo je tehnički ispravno za vožnju

8   
(potpis vozača ili ovlaštenog nadzira)

Narodne novine d.d., Zagreb – (311) 060040  
Oznaka za narudžbu: UT-VI-26

Slika 20. Primjer prednje strane putnog radnog lista za vozilo Renault Kangoo (ZG2537EK)

Datum	Broj teretnog lista	Kretanje vozila (mjesto polaska - stajanja - dolaska)	Starije brojila	VRIJEME		STANJE VOZILA				Vrsta robe (tereta)	Prijedeno km		Prevezeno tereta u kg (Napomena 1)			Izvršeno tona/km		Primatej		
				Dolaska	Polaska	VRJEME		Utovar	Istovar		Ostalo	s	min	s	min	s	min		s	min
				sat	min.	sat	min.													
11.01.19		BABA AVH ON VOLIO POLJICA DO PUBIN AVH SE-MENACKE BENJUMEREN GALINI B. SLOVAKEN SAMIRVA BOMTOKA GOSPODINA HREPODI NASANQUIDA HREPODI NASICA BEANIRI STREJARIKA BABA	H5178		01	10														
			H5268	16	58															

Razlika u stanju brojila po ovom listu (završetak minus početak)      xxx xxx SVEGA      xxxxxxxxxxxx      xxxxxxxxxxxx

1) Kolone 13, 14 i 15 podijeljene su na dva dijela. Ako motorno vozilo ima i priključno, onda se moraju upisati podaci za motorno vozilo iznad, a za priključno ispod točkaste linije.

Ukupno bio na radu	Redovno s ..... min.....	Duže od red. s ..... min.....	SVEGA s ..... min.....	Vozač _____
				Obracun _____

Slika 21. Primjer stražnje strane putnog radnog lista za vozilo Renault Kangoo (ZG2537EK)

Tablica 8. Ključni podaci putnog radnog lista

**Br. Objašnjenje**

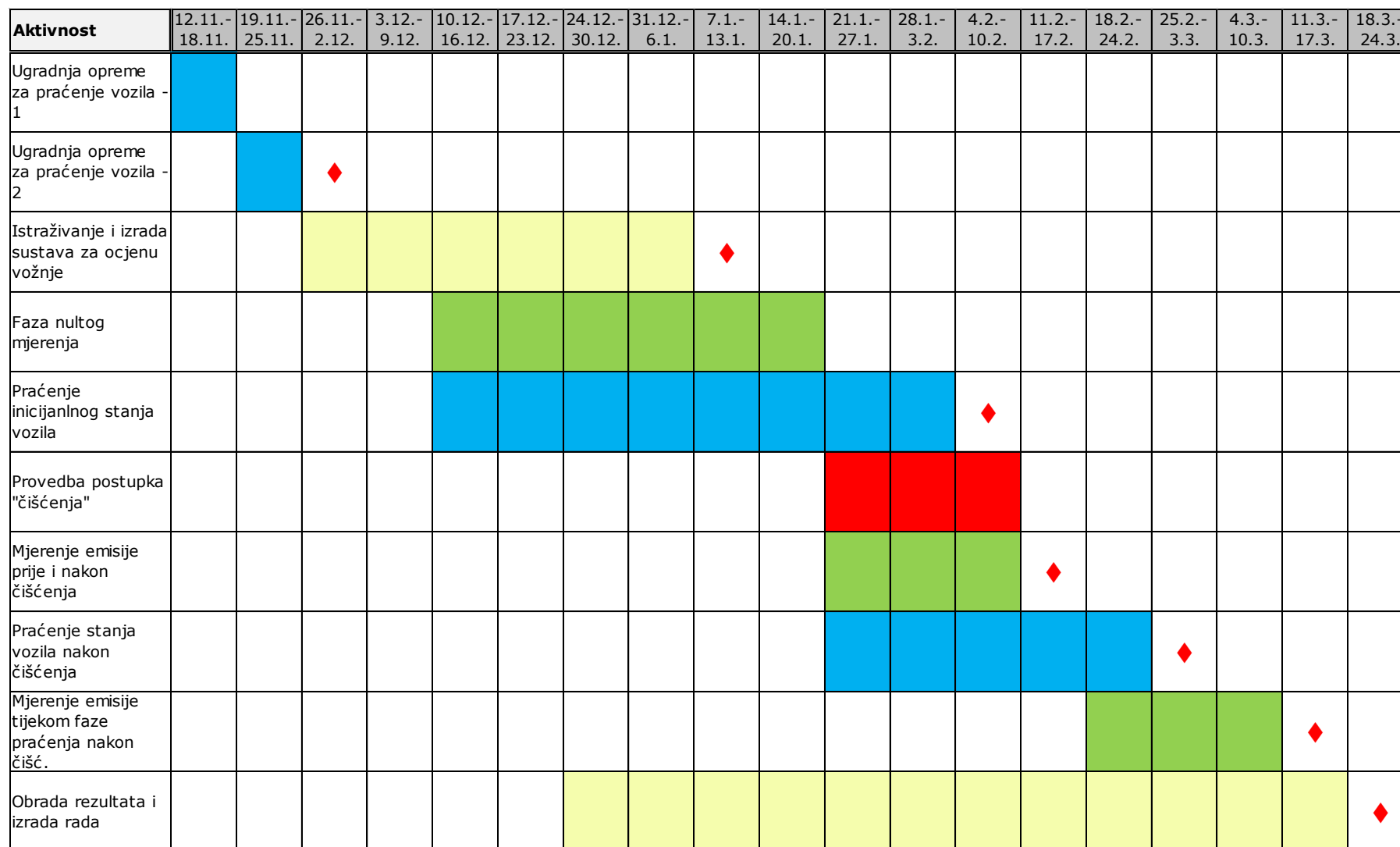
1	podaci o točenju goriva (vrsta, količina, vrijeme i broj kilometara vozila)
2	naziv i adresa korisnika vozila
3	mjesto i datum prijevoza
4	interna oznaka vrste prijevoza (namjene)
5	ime i prezime vozača
6	mjesto kretanja
7	podaci o vozilu
8	potpis vozača
9	relacija kretanja vozila (mjesto polaska – stajanja – dolaska)
10	vrijeme polaska
11	vrijeme dolaska

Nakon nultog mjerenja vozila su puštena u promet najmanje 15 dana, nakon čega je slijedila faza „čišćenja“. Faza „čišćenja“ odvijala se u tri etape. U prvoj etapi provedeno je deset ispitivanja EKO testa, zatim je u drugoj etapi proveden postupak „čišćenja“ nakon kojeg je u zadnjoj etapi provedeno novih deset EKO testova. Bitno je naglasiti kako je cijela faza stacionarna, odnosno da nema vožnji između pojedinih etapa. Ukupno faza „čišćenja“ traje dva do tri sata po vozilu.

Vozila su zatim ponovno puštena u promet minimalno 15 dana kako bi se prikupljali i analizirali podaci o eksploataciji vozila nakon „čišćenja“. Zadnja faza sastojala se od kontrolnog mjerenja gdje je na vozilima ponovno odrađeno deset EKO testova. Nakon svega podaci su analizirani i strukturirani kako bi se odredio utjecaj postupka „čišćenja“ na rezultat EKO testa.

### **5.1. Gantogram istraživanja**

Da bi se istraživanje provelo uspješno u predviđenom roku, prije svega je potrebno dobro osmisliti tijek samog istraživanja. Na slici 22. vidi se kako je cijelo istraživanje trajalo 20 tjedana, a započelo je ugradnjom uređaja za praćenje vozila 14.11.2018. Da bi se istraživanje provelo u roku, potrebno je preklapati faze istraživanja kako bi se ukupno vrijeme svelo na minimum i na taj način smanjilo nepotrebne gubitke vremena.



Slika 22. Gantogram provedenog istraživanja

## 5.2. Prikupljanje podataka o vožnji

U sva ispitana vozila ugrađen je ranije spomenuti sustav za praćenje vozila Mireo. Prikazano je kako je sustav u mogućnosti prikazivati trenutni položaj i brzinu vozila, rute svih vožnji, prekoračenja brzine i druge podatke. To se odvija na način da se podaci preuzeti s uređaja u vozilu bilježe u bazu podataka preko koje se naknadno obrađuju s ciljem generiranja izvješća o vožnjama. Kako bi se detaljno analizirala svaka vožnja, potrebno je obraditi i detaljne podatke o vožnji, a ne generirati i obrađivati samo unaprijed definirana izvješća.

Detaljnim podacima o vožnjama se pristupa na način da se odabere izbornik „Reports“ i zatim „MIREO QUERY“ čime se otvara prozor za upis naredbe kojom se bira vrsta i tip željenih podataka. Kao i za svaku bazu podataka, potrebno je poznavati programski jezik kako bi se pristupilo podacima. Za pristup bazi razvijen je zaseban programski jezik imena *Mireo Structured Query Language (MSQL)*. To je programski jezik tipa SQL koji ima mogućnost pristupa podacima u više baza odjednom, filtriranja rezultata i slično. Jezik se koristi samo pri iščitavanju podataka i nema mogućnost umetanja, brisanja ili promjene podataka unutar baze.

MSQL podržava sljedeće tipove podataka:

- int8, uint8, int16, uint 16, int32, uint32, int 64, uin64;
- float32, float64;
- string.

```
select * from st.segments where t[0] > 1547593200 and t[0] < 1547593200 + 86400 and vid = 141606
```

Slika 23. Primjer naredbe za iščitavanje podataka

Svaka naredba za iščitavanje podataka sastoji se od tri osnovna dijela. Crveni dio definira tip podataka, žuti dio definira bazu iz koje se taj podatak iščitava i zeleni dio definira granice u kojima se ti podaci nalaze.

Tablica 9. Opis sintakse jezika MSQL

Naredba	Objašnjenje
<b>select *</b>	odabir podataka
<b>from st.segments</b>	iz baze „st. segments“
<b>where t[0]</b>	vremenski uvjet
<b>and t[0]</b>	dodatan vremenski uvjet
<b>and vid</b>	dodatan uvjet odabira vozila

Vremenski uvjet definiran je s *Unix epoch* vremenskom oznakom koja obilježava broj sekundi proteklih od 1. siječnja 1970., ne računajući prijestupne sekunde. Primjer na taj način određenog vremenskog perioda pokazan je na slici 23., gdje se prikazuje razdoblje od srijede, 16. siječnja 2019. godine u vrijeme 00:00:00 do četvrtka, 17. siječnja 2019. godine u vrijeme 00:00:00. U svakom trenutku se u istu bazu bilježe podaci o svim vozilima tako da je potrebno definirati i vozilo. Svako vozilo ima svoj interni kod koji se dodaje na kraj upita kako ne bi došlo do preklapanja podataka dvaju ili više različitih vozila. U ovom slučaju je to vozilo Citroen C-Crosser registarske oznake ZG8345AG internog koda 141606.

### 5.2.1. Detaljniščitavanje i obrada podataka vožnje

Definiranjem upita za podatke jasno se definira željeni raspon podataka. Svi podaci iščitani su dan po dan za svako pojedino vozilo. Takvo prikupljanje i naknadna obrada podataka iziskuje znatnu količinu vremena, ali je neophodno iz razloga što preveliki upit, odnosno prevelika količina traženih podataka može privremeno prekinuti rad baze. Jednom kada se dogodi prekid rada baze, gube se svi podaci o vožnjama za vrijeme prekida rada, što može potrajati nekoliko minuta pa sve do nekoliko dana. Za ponovno uspostavljanje ispravnoga rada baze zadužen je pružatelj usluga praćenja vozila, odnosno u ovom slučaju tvrtka Mireo d.d.



Slika 24. Proces prikupljanja, obrade i spremanja informacija o vožnji

Na slici 25. prikazan je proces slanja upita i preuzimanja podataka. Prilikom slanja upita (1) za podatke potrebno je otvoriti alatni prozor (2) web adrese pritiskom na tipku F12, zatim odabirom izbornika *Network* (3) otvara se prozor u kojem su vidljive sve radnje koje se odvijaju od trenutka otvaranja alatnog prozora. Zatim je potrebno pritisnuti tipku *Run query* (4) čime se šalje zahtjev za ispis podataka na stranici. Traženi podaci se ispisuju na stranici (5), ali nije moguće njima manipulirati. Iz tog razloga koristi se alatni prozor gdje se pritiskom na *ExecuteMireoQuery....* dobiva redni prikaz pohranjenih podataka (6) u formatu JSON.

VID	T	X	Y	V	SL	FLAGS	STYLE
1416...	1547...	1189...	3850...	0,33	0	1	1070
1416...	1547...	1189...	3850...	33,33	50	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	33,22	50	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	22,11	50	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	11,13	40	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	13,0	40	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	0,13	40	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	13,21	40	1	1040
1416...	1547...	1189...	3850...	21,21	40	1	1040

Slika 25. Preuzimanje podataka o vožnji

Takav format podataka nije pogodan za učitavanje i daljnju obradu u Excelu. Iz tog razloga korišten je *online converter* [21] koji uz malu preinaku podataka pokazanu na slici 26., konvertira podatke iz JSON u CSV format.

```
{
  "tables": [
    {
      "cols": [
        { "name": "VID", "nullable": false, "type": "int32" },
        { "name": "T", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "X", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "Y", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "V", "nullable": false, "type": "ruint16" },
        { "name": "SL", "nullable": false, "type": "uint8" },
        { "name": "FLAGS", "nullable": false, "type": "uint8" },
        { "name": "STYLE", "nullable": false, "type": "uint16" }
      ],
      "data": [
        [141606, [1547627961, 1547627965], [11897555, 11897565], [38503580, 38503650], [0, 33], 0, 1, 1070],
        [141606, [1547627965, 1547627966], [11897565, 11897576], [38503650, 38503722], [33, 33], 50, 1, 1040],
        [141606, [1547627966, 1547627968], [11897576, 11897769], [38503722, 38503692], [33, 22], 50, 1, 1040]
      ]
    },
    {
      "cols": [
        { "name": "VID", "nullable": false, "type": "int32" },
        { "name": "T", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "X", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "Y", "nullable": false, "type": "rint32" },
        { "name": "V", "nullable": false, "type": "ruint16" },
        { "name": "SL", "nullable": false, "type": "uint8" },
        { "name": "FLAGS", "nullable": false, "type": "uint8" },
        { "name": "STYLE", "nullable": false, "type": "uint16" }
      ],
      "data": [
        [141606, [1547643729, 1547643733], [11911696, 11911560], [38500880, 38500952], [11, 20], 0, 1, 1080],
        [141606, [1547643719, 1547643729], [11911688, 11911696], [38501496, 38500880], [22, 11], 0, 1, 1080],
        [141606, [1547643718, 1547643719], [11911680, 11911688], [38501600, 38501496], [22, 22], 0, 1, 1080],
        [141606, [1547643715, 1547643718], [11911672, 11911680], [38501727, 38501600], [21, 22], 0, 1, 1080]
      ]
    }
  ],
  "status": "success",
  "status code": 0
}
```



```
{
  "data": [
    [141606, [1547627961, 1547627965], [11897555, 11897565], [38503580, 38503650], [0, 33], 0, 1, 1070],
    [141606, [1547627965, 1547627966], [11897565, 11897576], [38503650, 38503722], [33, 33], 50, 1, 1040],
    [141606, [1547627966, 1547627968], [11897576, 11897769], [38503722, 38503692], [33, 22], 50, 1, 1040]
  ]
}
```

Slika 26. Preinaka JSON formata podataka za konverziju u CSV format

Nakon prebacivanja potrebno je podatke učitati u Excel tablicu namijenjenu za obradu podataka o vožnji. Podaci učitani iz CSV formata vrlo često gube ispravan redoslijed te ih je iz tog razloga potrebno ponovno sortirati. Nakon sortiranja podaci se prebacuju u „List za raščlambu“ gdje se odvajaju vožnje jedne od drugih. Vožnjom se smatra kretanje vozila od najmanje 5 kilometara. Da bi se vožnje smatrale odvojenima, između njih mora postojati vremenska razlika od minimalno 600 sekundi u kojima je vozilo stacionarno. Za slučaj kada je vozilo stacionarno, a vremenska razlika manja od navedenih 600 sekundi, smatra se kako je vozilo još uvijek u vožnji. To znači kada god je vremenska razlika između dva podatka veća od 600 sekundi, set podataka smatra se jednom vožnjom. Kada je formiran set podataka za jednu vožnju, on se učitava u „List za učitavanje u proračun“ koji dalje automatski povlači sve podatke potrebne za proračun vožnje i generira podatke potrebne za analizu.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with a data table. The table has columns: vid, t\_početak, t\_kraj, x\_početak, x\_kraj, y\_početak, y\_kraj, v\_početak, v\_kraj, sl, flags, style, GRANICA, and RAZLIKA. Red boxes and arrows highlight specific features: (1) the header row, (2) the GRANICA column, (3) a filter dropdown menu, (4) a data row above a boundary, and (5) a data row below a boundary.

Slika 27. Učitavanje, sortiranje, filtriranje i razdioba učitanih podataka

Na slici 27. vidi se primjer lista za raščlambu podataka na vožnje. Oznake podataka (1) opisane su u tablici 10, podaci iznad granice (2) predstavljaju jednu vožnju (4), a ispod granice drugu vožnju (5). U donjem lijevom kutu vide se listovi za obradu podataka. Kada se jasno definiraju sve granice, podaci se unose u zadnji list kojim se automatski povlače u zaseban proračunski list.

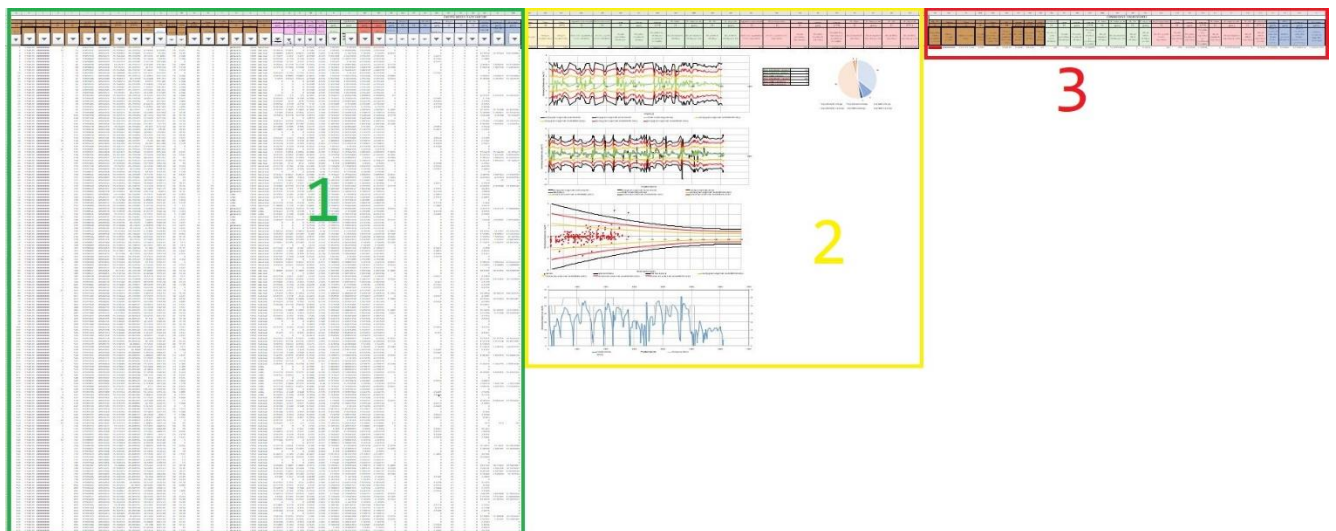
Tablica 10. Opis oznaka podataka u Excelu

Oznaka	Objašnjenje
<b>vid</b>	interna oznaka vozila
<b>t_početak</b>	vrijeme ulaska u segment
<b>t_kraj</b>	vrijeme izlaska iz segmenta
<b>x_početak</b>	geografska širina ulaska u segment (WPT koordinate)
<b>x_kraj</b>	geografska širina izlaska iz segmenta (WPT koordinate)
<b>y_početak</b>	geografska duljina ulaska u segment (WPT koordinate)
<b>y_kraj</b>	geografska duljina izlaska iz segmenta (WPT koordinate)
<b>v_početak</b>	brzina vozila na ulasku u segment
<b>v_kraj</b>	brzina vozila na izlasku iz segmenta
<b>sl</b>	ograničenje brzine segmenta
<b>flags</b>	oznaka vrste prometnice (gradska cesta, kružni tok, most, cesta s naplatom...)
<b>style</b>	oznaka vrste prometnice (pješačka zona, autocesta, trajektna linija...)

Glavni proračunski list sastoji se od tri osnovna dijela kako je prikazano na slici 28.:

- ukupni rezultati vožnje (1),
- dijagrami (2) i
- usporedive vrijednosti (3).

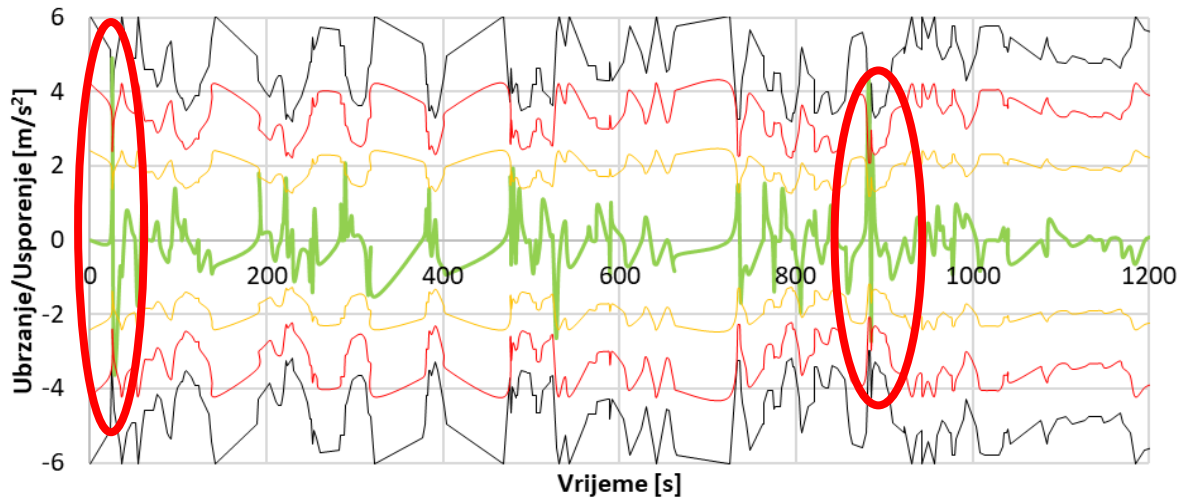
Ukupni rezultati vožnje služe za učitavanje podataka i računanje parametara i vrijednosti prikazanih u Poglavlju 3.2.3. Za svaki podatak računa se preko 30 vrijednosti koje se dalje prenose ili služe za izračun usporedivih vrijednosti. Usporedive vrijednosti predstavljaju one vrijednosti koje se prenose u daljnji korak ocjene vožnje. Usporedive vrijednosti svake analizirane vožnje pohranjuju se u zasebnu tablicu vezanu za svako promatrano vozilo. Unošenjem podataka o vozaču pomoću putnih radnih listova i analizom ukupnih podataka moguće je dati ocjenu stila vožnje svakog pojedinog vozača.



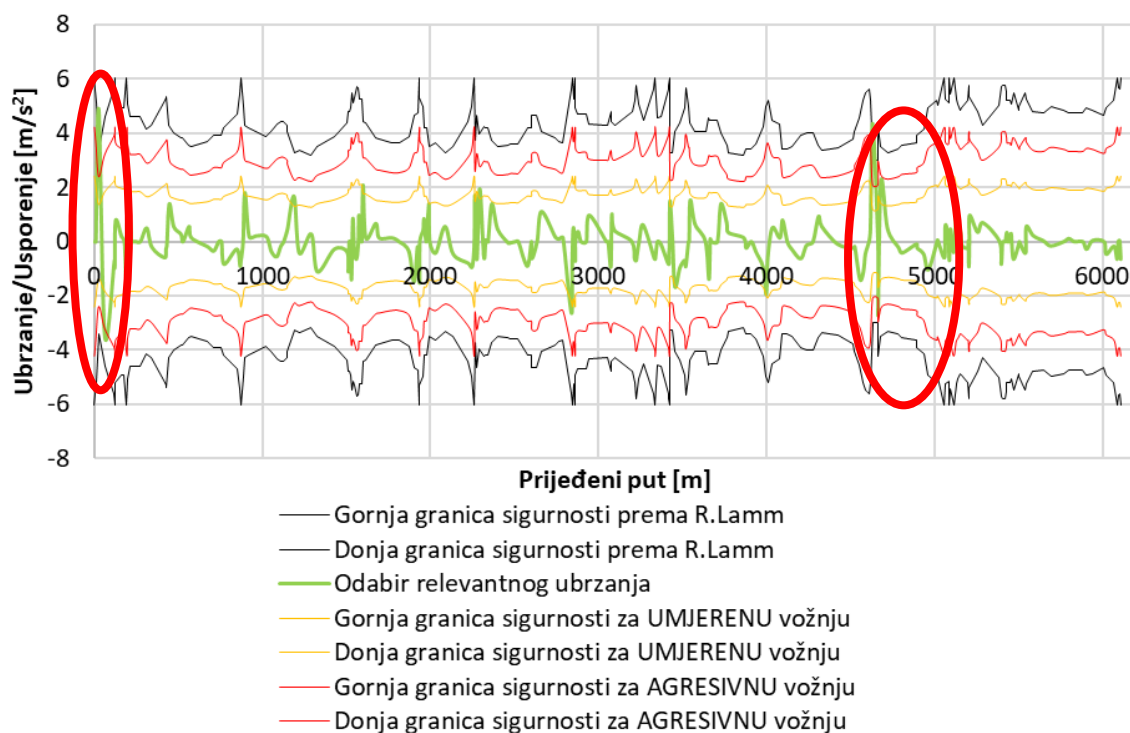
Slika 28. Primjer proračunskog lista vozila ZG8345AG na dan 15.1.2019.

Prilikom prikupljanja podataka često se događa da je zabilježen pogrešan podatak. Kod nekih vozila se to događa češće, kod drugih rjeđe. Iz tog razloga je osmišljen sustav dijagrama pomoću kojih je lakše uočiti nepravilnosti. Uočene nepravilnosti u podacima se ispravljaju. U nekim slučajevima vrijednosti nije moguće ispraviti pa se kao takve potpuno brišu iz proračuna vožnje.

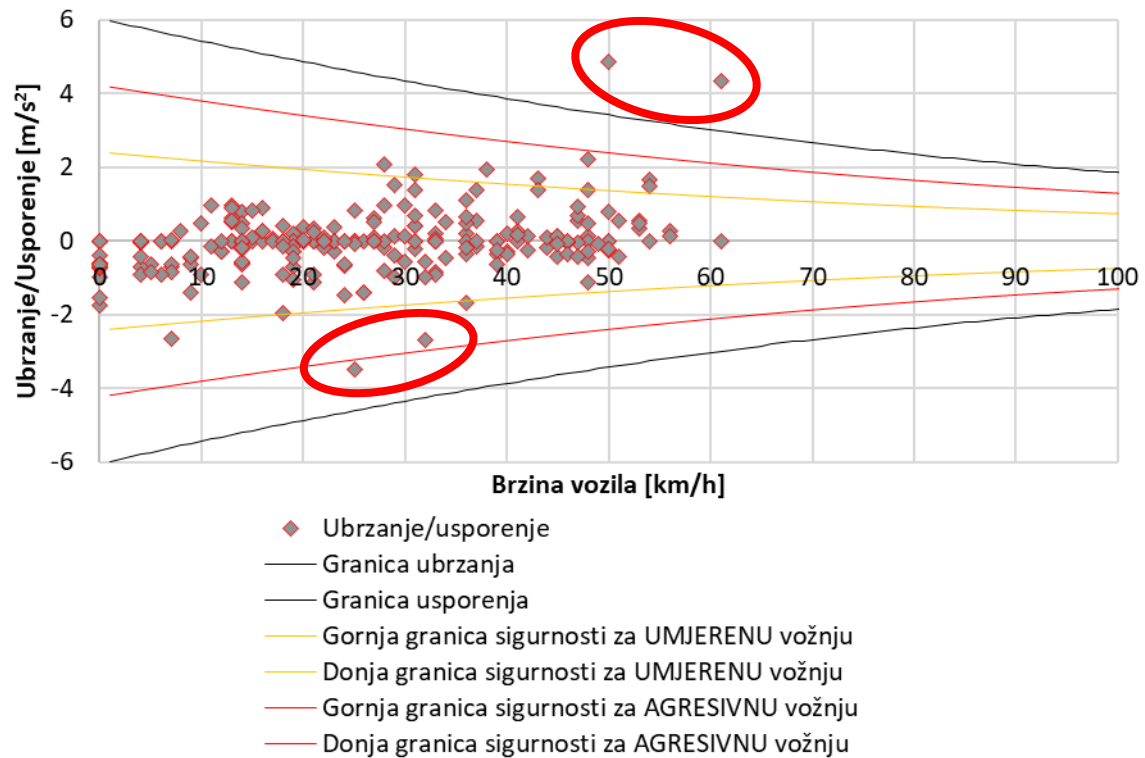
Vožnja od desetak kilometara generira 200-300 podataka ovisno o trajanju vožnje. Logično je kako jedan neispravan podatak ne može značajno utjecati na rezultate, ali više pogrešnih podataka može značajno promijeniti izračunate vrijednosti. Na slikama 29., 30., 31. i 32. vidi se primjer neispravnog podatka koje je potrebno ručno promijeniti kako se ne bi narušio rezultat.



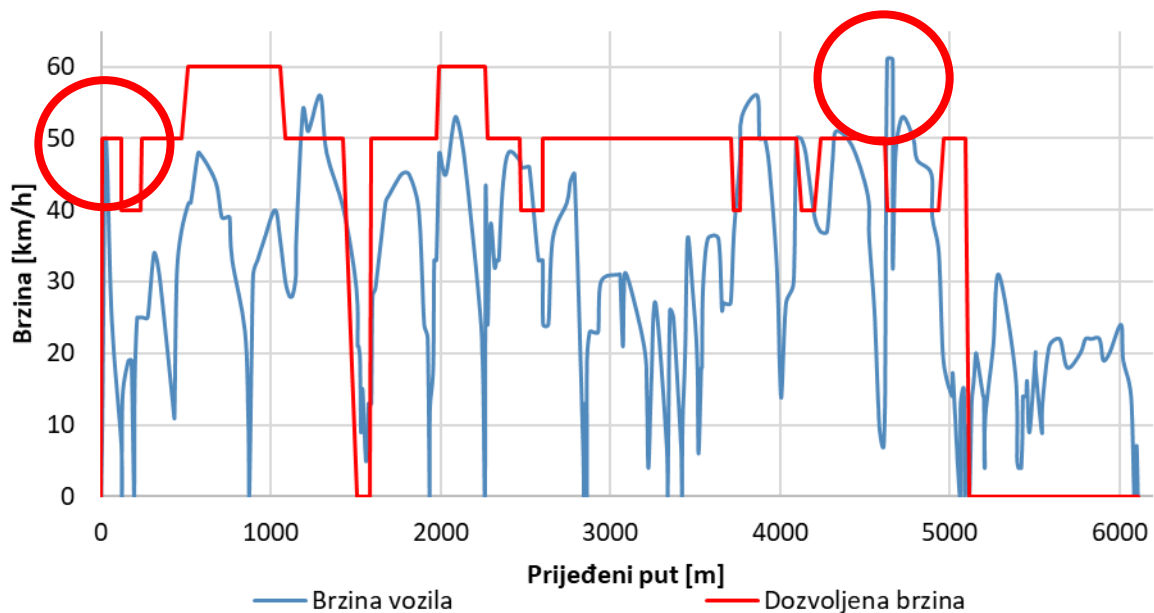
Slika 29. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i vremena vožnje



Slika 30. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i prijeđenog puta



Slika 31. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti ubrzanja/usporenja i brzine vozila



Slika 32. Prikaz pogrešnih podataka na dijagramu ovisnosti brzine i prijeđenog puta

Na slikama 29. i 30. nepravilne podatke moguće je uočiti tako što dolazi do pojave naglog ubrzanja, a zatim i naglog usporenja ili obratno. Na slici 31. takva pojava uočava se da vrijednosti takvih ubrzanja/usporenja značajno odstupaju od ostalih.

### 5.3. Prikupljanje podataka o ispitivanju emisija

Kako su ispitivana vozila s Ottovim i Dieselovim motorom, postoje dvije osnovne skupine podataka. Kod vozila s Ottovim motorom prilikom mjerenja ispituje se više veličina nego kod ispitivanja Dieselovih motora. Primjeri ispitnih listova nalaze se na slici 33.

2911924

B o s c h  
EKO test  
Rezultat ispitivanja

BEA-Verzija: V3 30-EU-OST  
AMM verzija: 000-B6

Datum: 27.02.2019  
Vrijeme: 10:02

REZULTATI

Temperatura ulja [°C]  
min: 70 mjer: 70

Mjerenje u praznom hodu

Broj okret.	740	/min
Lambda	1.759	
CO	0.000	% vol
CO2	8.30	% vol
HC	25	ppm vol
O2	9.01	% vol
COcor	0.000	% vol

Povišen br. okretaja

Broj okret.	2550	/min
Lambda	1.441	
CO	0.000	% vol
CO2	10.22	% vol
HC	35	ppm vol
O2	6.46	% vol
COcor	0.000	% vol

UKUPNI REZULTAT

Mjerenje u praznom hodu:  
Broj okret. (500-1100)  
CO (0.30) OK

Povišen br. okretaja:  
Broj okret. (2000-3200)  
CO (0.20) OK  
Lambda (0.97-1.03) n OK

Ispitivanje ne zadovolja

# ručni unos  
Kontrolor: Nadzornik  
Potpis

stambilj

2915444

B o s c h  
EKO test

BEA-Verzija: V3.30-EU-OST  
RTM-Verzija: V2.0

Datum: 11.02.2019  
Vrijeme: 12:22

Sonda: 1 (os. voz.)

Temp. ulja [°C] 7

Br. okr. pr. hod: [/min] 940  
Max. br. okr.: [/min] 4330

VU	VD	BOPH	MBO	k
[s]		[/min]		[/m]
3.46	890	4300	5.29	
2.75	910	4410	6.68	
3.14	910	4390	5.88	
3.45	910	4380	5.91	

Slika 33. Primjer ispitivanja ispušnih plinova Ottovog motora (lijevo) i Dieselovog motora (desno)

Oba ispitna listića na sebi sadrže verziju glavnog uređaja i verziju poduređaja za ispitivanje iz razloga što se ovisno o vrsti motora koriste različiti poduređaji. Također, oba ispitna listića na sebi sadrže datum i vrijeme provedenog ispitivanja.

Prilikom mjerenja sastava ispušnih plinova Ottovog motora prate se brzina vrtnje motora i temperatura ulja u motoru, a mjere se volumni udjeli ugljikova monoksida, ugljikova dioksida, neizgorenih ugljikovodika i kisika. Na osnovu izmjerenih vrijednosti računa se faktor pretička zraka. Kod Diesellovih motora također se tijekom mjerenja prate brzina vrtnje motora i temperatura ulja u motoru, a mjeri se samo vrijednost neprozirnosti ispušnih plinova. S druge strane, kako ispitna procedura nalaže, bitno je naglo ubrzanje motora u praznom hodu do maksimalne vrijednosti brzine vrtnje.

Vozila s Ottovim motorom prilikom svim mjerenja bilježila su sve vrijednosti, dok kod vozila s Diesellovim motorom to nije bio slučaj. Brzinu vrtnje motora ponekad nije moguće odrediti spajanjem osjetnika brzine vrtnje, pa iz tog razloga neka mjerenja ne sadrže te vrijednosti.

## 5.4. Genijator

„Genijator“ je uređaj koji procesom elektrolize vodu razdvaja na njene osnovne komponente vodik ( $H_2$ ) i kisik ( $O_2$ ). Izumitelj uređaja tvrdi da je uređaj u mogućnosti otopiti nakupine čađe unutar sustava motora nastale prilikom eksploatacije vozila i na taj način smanjiti ukupnu potrošnju goriva. Na slici 34 prikazan je rad uređaja „Genijator“.

Uređaj radi tako da elektrolizom stvara približno decilitar u minuti smjese vodika i kisika [22]. Taj plin izlazi iz uređaja kroz plastičnu cijev koja se postavlja na ulaz zraka u motor koji radi. Na samom uređaju se nalaze ampermetar, brojač radnih sati, prekidač za uključivanje i nužni isklon.

Uređaj je dostavljen od strane izumitelja i održana je kratka demonstracija rada uređaja i njegova načina korištenja. Naglašeno je uređaj mora raditi 60 minuta nakon čega se on sam isključuje. Na vozilu je potrebno izgasiti sve potrošače energije poput grijanja, svjetala, radio uređaja i slično. Prilikom postupka „čišćenja“ vozilo mora raditi neprekidno u praznome hodu, a cijev uređaja spaja se na usis vozila ispred mjerača protoka zraka. U slučaju kada nije moguće uređaj spojiti na početak usisne cijevi, predloženo je skidanje poklopca filtra zraka i spajanja uređaja u usisnu cijev prije ili poslije filtra. Završetkom postupka „čišćenja“ predložena je kratka vožnja prije početka mjerenja emisije ispušnih plinova.

Svi postupci „čišćenja“ provedeni su sukladno uputi proizvođača. Za vozilo Renault Kangoo registarske oznake ZG2537EK osigurani su svi uvjeti za provođenje postupka „čišćenja“ ali uređaj nije spojen, iz razloga da se rezultati takvog ispitivanja usporede s tri identična vozila (ZG2536EK, ZG2538EK i ZG2539EK).



Slika 34. „Čišćenje“ vozila uređajem „Genijator“

# 6. REZULTATI

Kako je ispitivanjem obuhvaćeno 18 vozila, s ciljem lakšeg praćenja diploskog rada, u samom radu je prikazan način izražaja pojedinih vrijednosti, odnosno rezultata, a preostali rezultati su dani u prilogu.

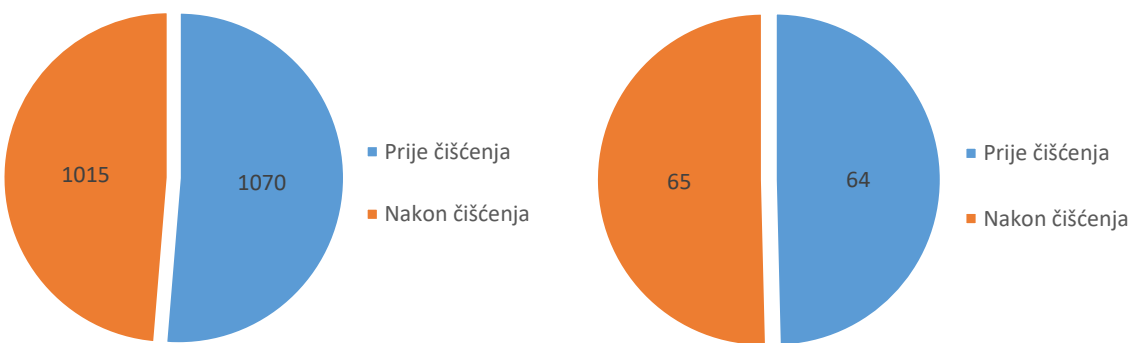
## 6.1. Rezultati ocjene vožnje

U Poglavlju 5.2 spomenuto je kako svaka vožnja generira usporedive vrijednosti. To su vrijednosti dobivene proračunom vožnje čija je glavna svrha generiranje podataka za uzajamno uspoređivanje. Primjer se nalazi na slici 35.

Vozilo	Arg. Oc.	D <sub>plan</sub>	D <sub>real</sub>	T	T <sub>plan</sub>	S <sub>plan</sub>	V <sub>plan</sub>	V <sub>real</sub>	V <sub>plan</sub>	V <sub>real</sub>	Koliko je puta vozilo ubrzavalo	Vrijeme provedeno o ubrzavanju	Prosječna brzina prijetak ubrzanja	Broj ubrzanja po kilometru	Broj usporenja po kilometru	Broj ubrzanja po km	Broj usporenja po km	Broj teških ubrzanja	Broj teških usporenja	Koliko je puta vozilo usporeno	Vrijeme provedeno o usporavanju	Prosječna brzina prijetak usporavanja	Broj usporavanja po kilometru	Broj usporavanja po km	Broj teških usporavanja	Broj teških usporavanja po km	RPA	V <sub>plan</sub>	V <sub>real</sub>
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 7:20	17.12.18. 7:55	2121	165	14332,49	33,08833	24,92672	86	80	432	0,195291	5,581722	12	8,372584	5	0,348858	73	416	-0,22589	5,093322	8	0,558172	2	0,119543	0,510722	0,063071	6,900471	5,291659
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 8:36	17.12.18. 8:51	957	44	8101,752	36,85973	30,47681	86	34	207	0,185461	4,196623	2	2,468602	1	0,123443	33	238	-0,21874	4,073193	3	0,37029	0	0,646016	0,063271	8,136607	5,541431	
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 10:33	17.12.18. 11:13	2403	283	16337,87	39,26747	24,77584	99	82	442	0,18064	4,958317	15	9,070091	1	0,060487	76	357	-0,20569	4,595313	11	0,66514	0	0,210939	0,544971	0,064056	7,537777	5,19285
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 14:21	17.12.18. 14:38	2010	99	6502,752	32,88611	23,17813	59	41	332	0,145777	6,050023	4	4,512462	1	0,153783	38	208	-0,1332	5,840468	1	0,153781	0	0,672008	0,050351	5,564159	3,802244	
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 15:23	17.12.18. 16:15	3073	275	26762,28	46,89474	31,35185	113	114	618	0,167617	4,259726	12	4,483922	8	0,298928	102	605	-0,18176	3,811334	9	0,362294	4	0,149463	0,718684	0,053453	7,499311	5,780236
Ivan Vučković	ZG7600EK	17.12.18. 17:26	17.12.18. 17:40	977	201	19530,02	72,02821	71,96323	136	70	283	0,13854	3,584226	9	4,60829	6	0,307219	62	256	-0,15505	3,1746	6	0,307219	4	0,204813	0,328732	0,055038	10,14059	6,841178
Ivan Vučković	ZG7600EK	18.12.18. 8:59	18.12.18. 9:21	1313	186	8976,188	46,52525	24,61097	96	62	283	0,293368	6,907179	26	28,96559	10	1,140061	36	239	-0,20466	6,238742	16	1,784298	0	0,111406	1,335798	0,14598	14,24286	10,19752
Ivan Vučković	ZG7600EK	18.12.18. 15:35	18.12.18. 16:15	2389	89	8584,982	29,16617	12,96934	75	52	275	0,219953	6,057089	8	9,318599	4	0,465993	43	268	-0,24548	5,008747	4	0,465993	0	0,820181	0,071083	7,638336	6,50336	
Ivan Vučković	ZG7600EK	18.12.18. 16:27	18.12.18. 16:44	1032	31	6309,607	50,84831	21,66142	67	30	212	0,214427	4,831224	7	11,27286	2	0,322082	28	227	-0,2261	4,509142	1	0,161041	0	0,672006	0,060359	6,81436	6,445228	
Ivan Vučković	ZG7600EK	18.12.18. 18:03	18.12.18. 18:03	785	179	11744,43	57,99259	53,85998	106	54	204	0,179881	4,589725	4	5,257338	4	0,340587	42	179	-0,17283	3,576184	10	0,851468	1	0,085147	0,878658	0,066399	10,39759	7,125879
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 7:29	19.12.18. 8:27	3618	256	24769,25	36,37778	24,84602	116	119	661	0,173842	4,904344	11	4,42099	5	0,203863	122	710	-0,22086	4,925462	14	0,562127	2	0,080748	0,499966	0,056736	7,33583	5,764313
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 8:59	19.12.18. 8:55	917	190	12566,09	53,79499	49,33252	92	42	200	0,130218	3,942329	5	3,978963	0	0	47	236	-0,12891	3,740235	4	0,188117	2	0,191918	0,243581	0,040646	6,72095	4,60345
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 9:43	19.12.18. 10:31	2907	521	53372,6	69,70352	66,09611	146	191	823	0,145056	3,978615	19	3,959879	8	0,14989	183	711	-0,14127	3,428726	16	0,299779	4	0,074945	0,668734	0,050907	9,10213	7,94947
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 11:20	19.12.18. 12:21	3676	1095	42476,47	47,63406	41,59828	98	203	979	0,176926	4,779117	25	5,885612	5	0,117712	195	938	-0,18626	4,590777	21	0,494391	4	0,09417	0,591176	0,061515	7,61856	5,700338
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 14:42	19.12.18. 14:55	787	179	10464,54	53,44151	47,8883	106	57	227	0,193333	5,440966	6	7,533648	2	0,191122	42	173	-0,21653	4,013554	7	0,688926	4	0,392422	0,756041	0,077424	8,79325	6,578084
Ivan Vučković	ZG7600EK	19.12.18. 15:14	19.12.18. 15:48	2058	181	14370,68	-0,00352	25,13822	144	72	347	0,182401	5,010201	12	8,305336	6	0,479317	77	320	-0,19688	5,358132	6	0,475117	2	0,191917	0,484582	0,070227	8,31564	6,243369
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 7:14	20.12.18. 7:38	1482	110	13356,79	32,2522	28,55058	76	65	371	0,216888	5,72345	9	7,924777	2	0,176106	59	334	-0,2184	5,195132	5	0,440265	3	0,264159	1,020082	0,068923	6,926913	5,004425
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 9:03	20.12.18. 9:34	1888	459	26501,46	65,92883	50,53244	129	91	386	0,166943	4,937773	18	6,792079	7	0,264136	92	442	-0,15831	3,471507	10	0,377338	0	0,668875	0,057234	10,2486	6,706469	
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 10:35	20.12.18. 11:01	1354	377	22502,8	56,53701	52,13005	145	96	452	0,143377	4,961335	12	5,303669	1	0,044439	85	411	-0,15635	3,777307	14	0,622145	0	0,133331	0,374715	0,054197	7,91451	5,71618
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 11:55	20.12.18. 12:30	2061	373	21640,73	59,2146	37,8004	148	76	333	0,152947	3,518896	10	4,620916	5	0,231046	79	351	-0,19379	3,650524	11	0,598901	6	0,277265	0,827446	0,060326	11,39974	6,699129
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 13:09	20.12.18. 13:30	1227	384	20999,59	61,70588	61,58316	120	70	369	0,137028	3,349866	4	1,905706	2	0,095283	67	296	-0,15385	3,192058	6	0,285856	2	0,092828	0,280676	0,049608	6,164595	5,27848
Ivan Vučković	ZG7600EK	20.12.18. 13:53	20.12.18. 14:19	1511	141	13097,45	39,70462	31,20505	144	53	270	0,231873	4,656888	17	12,97962	3	0,229052	57	332	-0,2959	4,351991	11	0,839858	4	0,305403	0,431418	0,071095	10,32358	5,33933
Ivan Vučković	ZG7600EK	21.12.18. 7:24	21.12.18. 7:59	2047	157	13889,36	34,96759	24,42682	115	77	366	0,195983	5,948811	11	7,91973	3	0,215993	61	364	-0,22452	4,89185	6	0,431985	3	0,215993	1,125511	0,072511	8,23339	5,95528
Ivan Vučković	ZG7600EK	21.12.18. 9:09	21.12.18. 9:37	1660	216	13780,49	44,96835	29,88539	124	58	324	0,163196	4,20885	5	3,683819	2	0,145133	45	247	-0,18794	3,365487	8	0,580631	3	0,217699	0,2392	0,050275	7,634199	7,102474

Slika 35. Primjer prikupljenih usporedivih vrijednosti za vozilo ZG7600EK

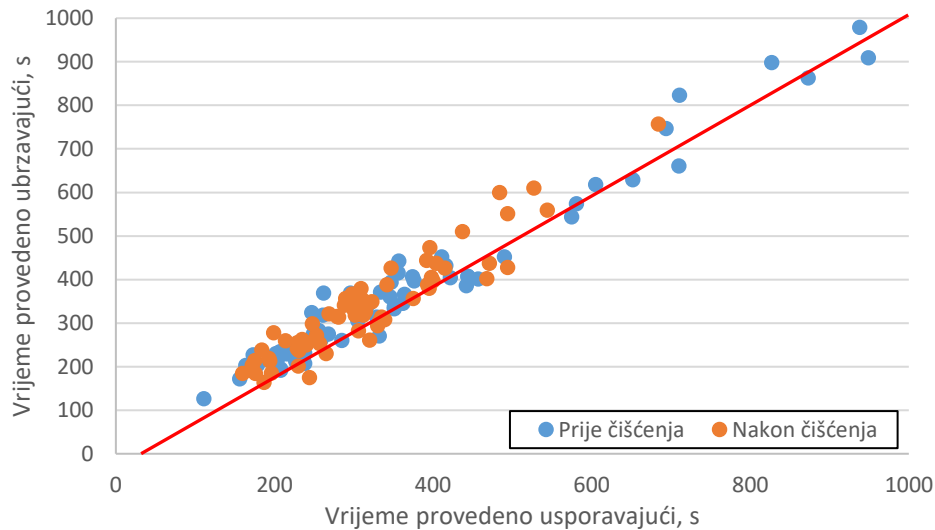
Kako su analizirane vožnje prije i nakon „čišćenja“ vozila uređajem „Genijator“, izračunate vrijednosti potrebno je razvrstati u dvije kategorije. Na slici 36. prikazan je ukupni broj kilometara i ukupni broj analiziranih vožnji za vozilo ZG7600EK.



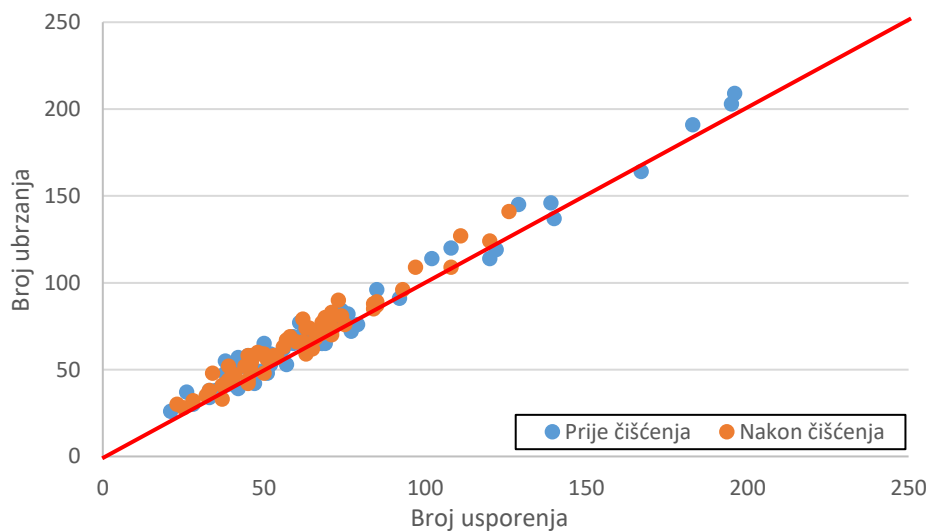
Slika 36. Ukupni prijeđeni broj kilometara i ukupni broj analiziranih vožnji za vozilo ZG7600EK



Sa slike 36. vidljivo je kako se između dvije faze odvio gotovo jednak broj vožnji s približno jednakim brojem prijeđenih kilometara. Za ovo vozilo vezan je samo jedan korisnik pa je moguće jednostavno prikazati i analizirati prikupljene podatke. Na slikama 37. i 38. data je ovisnost vremena ubrzavanja i usporavanja vozila, odnosno broj ubrzanja i usporenja vozila za sve prikupljene vožnje.



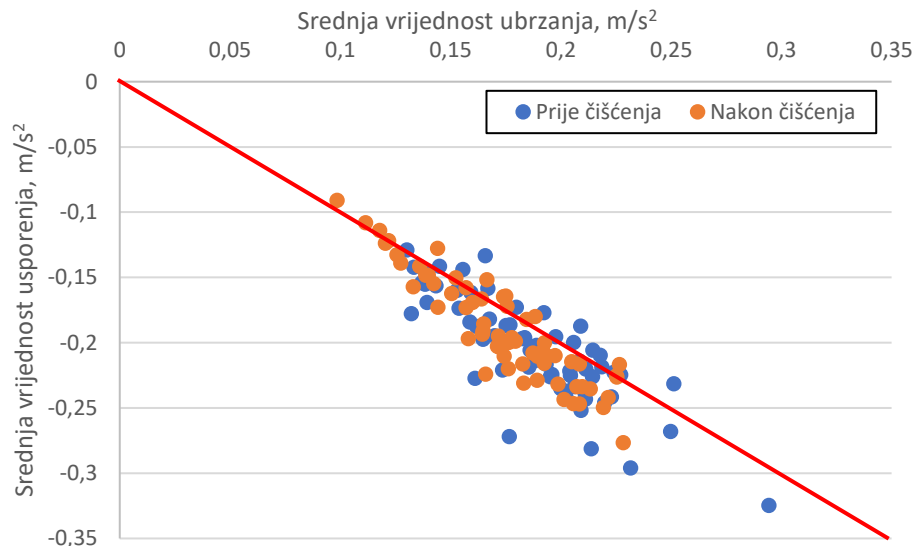
Slika 37. Ovisnost vremena ubrzavanja i usporavanja za vozilo ZG7600EK



Slika 38. Ovisnost broja ubrzanja i usporenja za vozilo ZG7600EK

Oba dijagrama prate gotovo linearan trend blago naklonjen u korist ubrzanja, što u pravilu znači da je vozač skloniji blažim ubrzanjima. Veća odstupanja od linearnog trenda označavala bi pogrešku u prikupljenim podacima. Na dijagramima se vidi kako je vozilo prije „čišćenja“ bilo podvrgnuto vremenski dužim vožnjama s većim brojem izmjena ubrzanja i usporenja.

Isti zaključak donosi se pogledom na sliku 39. gdje je vidljivo kako je prosječna vrijednost usporenja po svojoj apsolutnoj vrijednosti veća od apsolutne prosječne vrijednosti ubrzanja. Rasipanje rezultata od linearnog trenda govori kako je vozač sklon variranju u stilu vožnje, odnosno kako često izmjenjuje ritam vožnje. Vozač je u trenutku prije „čišćenja“ vozila bio skloniji agresivnijoj vožnji što se vidi većim iznosima i rasipanjem rezultata srednjeg ubrzanja/usporenja, nego li je to slučaj nakon „čišćenja“ vozila gdje su vrijednosti niže i gušće.



Slika 39. Međusobna ovisnosti srednjeg usporenja i srednjeg ubrzanja za vozilo ZG7600EK

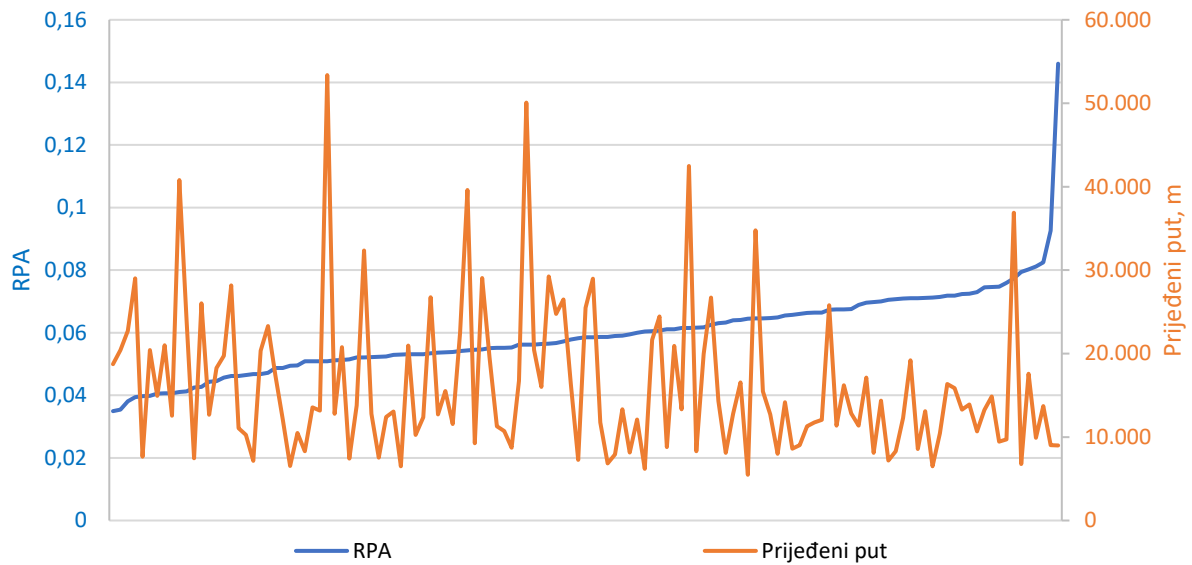
Promatranjem samo vrijednosti brzine i ubrzanja teško je razlikovati agresivnu vožnju od neagresivne. S ciljem točnijeg opisivanja načina vožnje, za promatrane podatke izračunata je vrijednost relativne pozitivne akceleracije (RPA) kojom je moguće jednostavno opisati određeni stil vožnje. Jednadžba za izračun RPA glasi:

$$RPA = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i v_i & (a_i > 0,1 \text{ m/s}^2) \\ 0 & (\text{ostalo}) \end{cases}$$

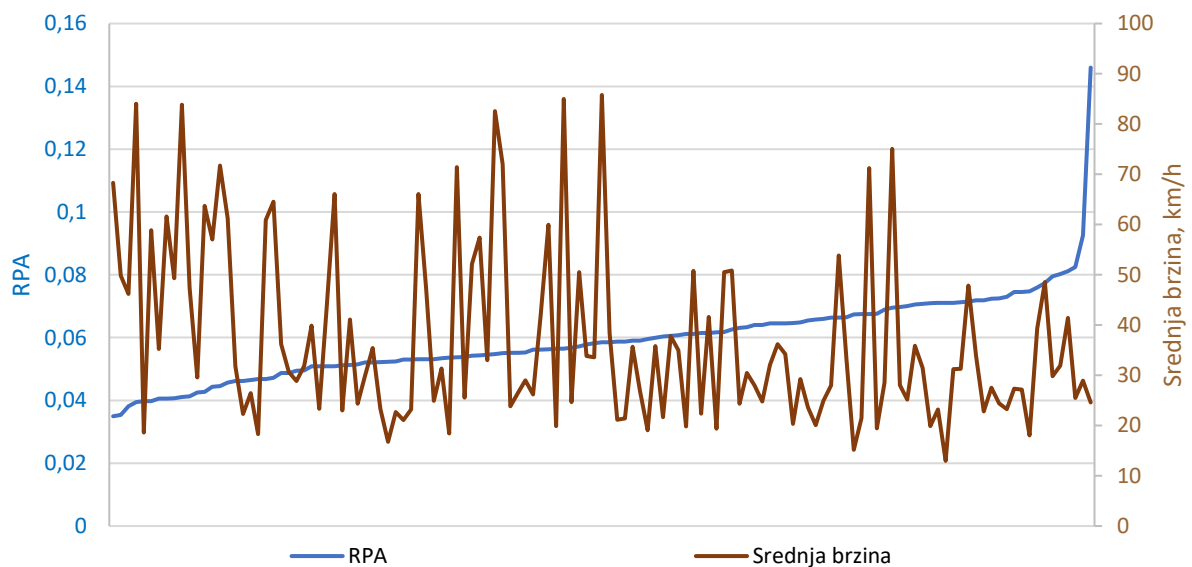
Vidi se kako ona ovisi o tri parametra:

- prijeđenom putu,
- brzini  $i$
- pozitivnom ubrzanju većem od  $0,1 \text{ m/s}^2$ .

Kako se RPA ponaša ovisno o pojedinom parametru vidi se na slikama 40., 41. i 42.

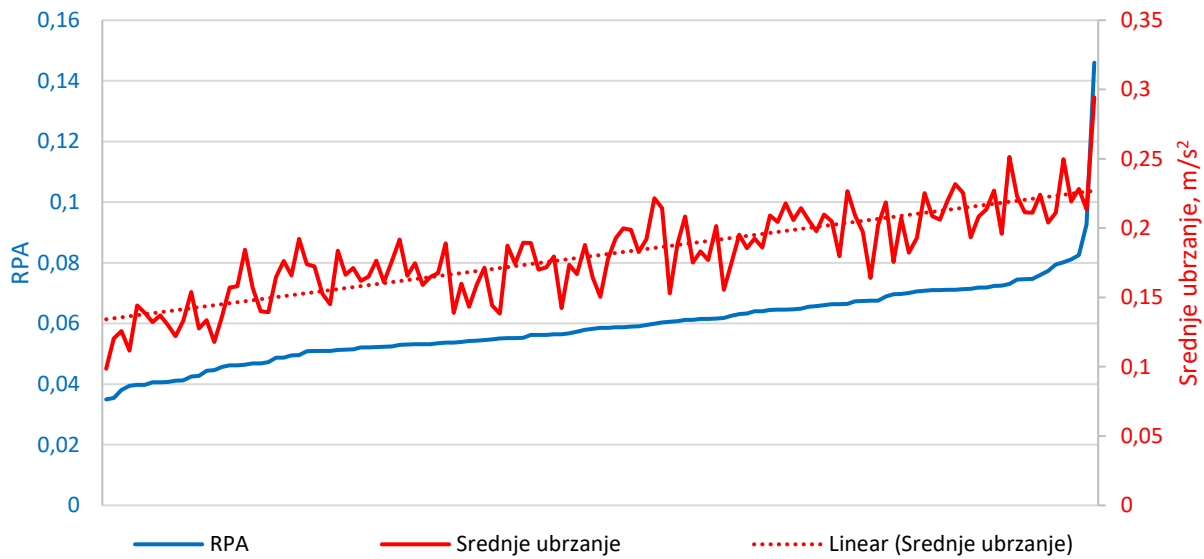


Slika 40. Ovisnost RPA i prijeđenog puta na primjeru vozila ZG7600EK



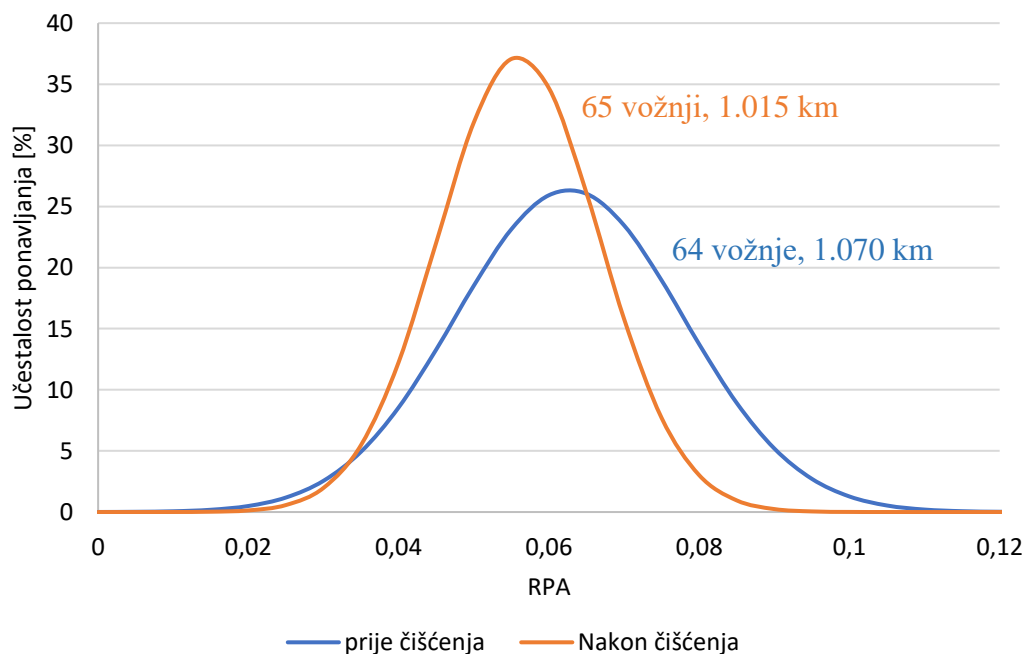
Slika 41. Ovisnost RPA i srednjeg ubrzanja na primjeru vozila ZG7600EK

Slike 40. i 41. prikazuju kako vrijednost RPA nije pretjerano ovisna o prijeđenome putu tokom vožnje, kao ni o srednjoj brzini vožnje. Najveća ovisnost ostvarena je s akceleracijom kako se vidi na slici 42. na sljedećoj stranici.



Slika 42. Ovisnost RPA i srednjeg ubrzanja na primjeru vozila ZG7600EK

Na slikama 40., 41. i 42. se vidi kako je RPA ponajviše ovisan o vrijednosti akceleracije i to ga čini pogodnim za ocjenu stila vožnje, jer pretpostavka je da veća srednja vrijednost akceleracije za sobom nosi opasnost od izazivanja prometne nesreće [17], stoga je RPA pogodan za procjenu rizičnosti vozača. Kako svaka vožnja nosi svoju prosječnu RPA vrijednost, odnosno svaki vozač teži određenoj RPA vrijednosti, pogodno je pomoću normalne raspodjele ocijeniti ukupan stil vožnje. Normalna raspodjela RPA prikazana je na slici 43. za vozilo ZG7600EK i vozača „IV“.

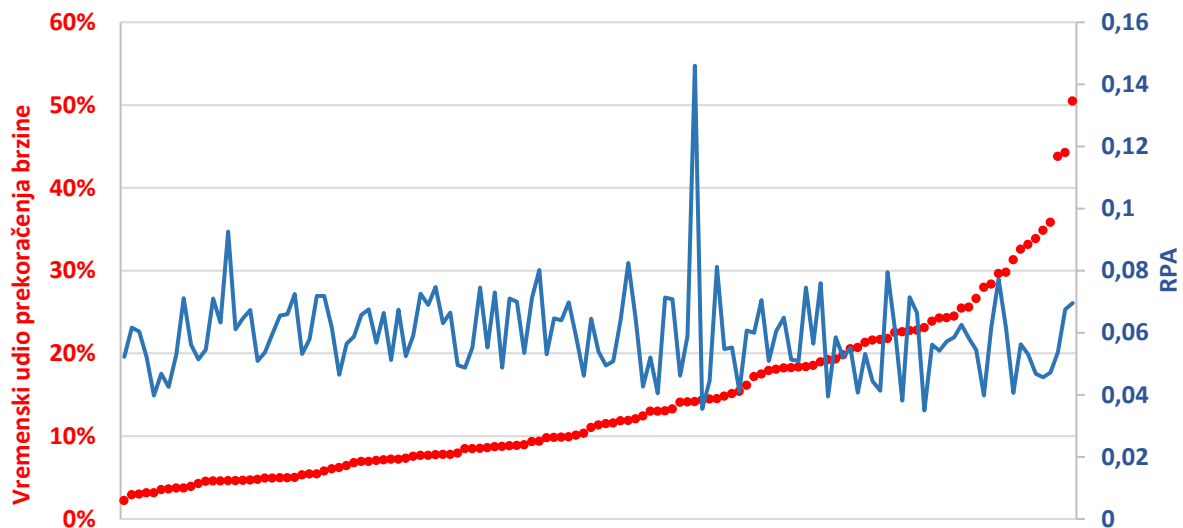


Slika 43. RPA ocjena vožnje

Normalnom raspodjelom vrijednosti RPA opisani su stilovi vožnje promatranog vozača prije, odnosno nakon „čišćenja“.. Visina, odnosno širina, krivulje govori o rasipanju vrijednosti rezultata oko srednje vrijednosti. Idealno bi bilo kada bi krivulje bile što je više moguće uže, jer to bi značilo da vozač ubrzava jednoliko u svim vožnjama. Pomak krivulja u stranu govori o agresivnosti ubrzavanja, pa tako pomak u desno znači više vrijednosti prosječne akceleracije.

Prema slici 43. može se zaključiti kako je vozač „IV“ u periodu između nultog mjerenja i „čišćenja“ imao jednolikije vožnje nego u periodu između „čišćenja“ i kontrolnog mjerenja. Isto tako, zaključuje se kako je u periodu nakon „čišćenja“ vozač bio skloniji promjenama u stilu vožnje, kao i višim iznosima prosječne akceleracije.

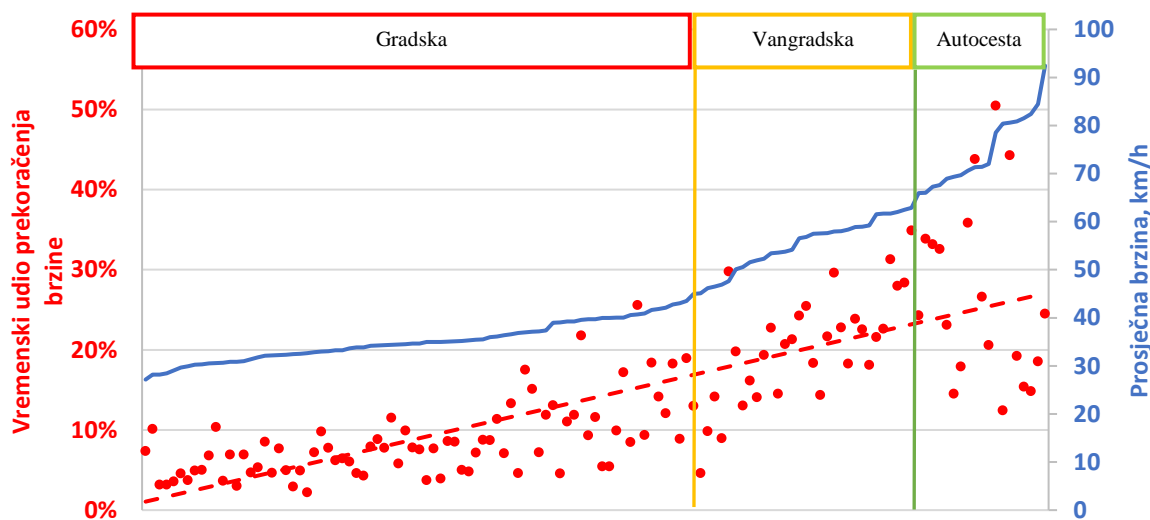
Agresivnost vožnje za sobom vrlo često povlači i prekoračenje dozvoljene brzine. Prekoračenje dozvoljene brzine može se smatrati jednim od ključnih faktora u ocjeni vožnje pojedinog vozača. Na slici 44. vidi se kako vremenski udio prekoračenja brzine nije povezano s vrijednošću RPA, odnosno ne postoji poveznica između iznosa ubrzanja i prekoračenja brzine.



Slika 44. Neovisnost prekoračenja brzine i RPA

Zanimljivo je pogledati kako je vremenski udio prekoračenja brzine povezan s prosječnom brzinom vožnje. Pomoću prosječne brzine vožnje moguće je razvrstati vožnje u tri osnovna tipa:

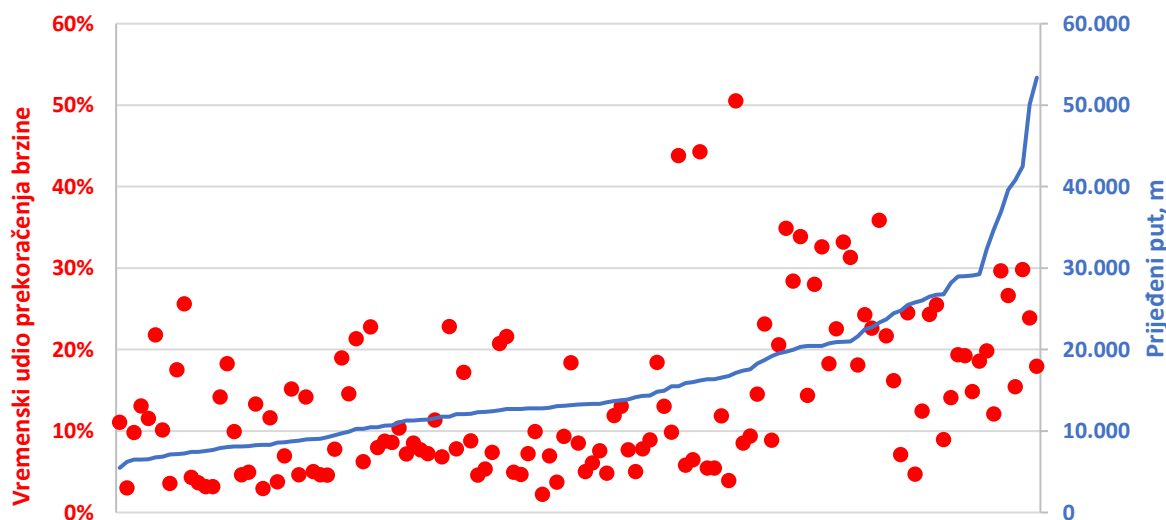
- gradska ( $v_{\text{srednje}} < 45 \text{ km/h}$ ),
- vangradska ( $45 \text{ km/h} < v_{\text{srednje}} < 65 \text{ km/h}$ ) i
- autocesta ( $v_{\text{srednje}} > 65 \text{ km/h}$ ).



Slika 45. Ovisnost prekoračenja brzine i prosječne brzine

Slika 45. prikazuje kako je vozač „IV“ prilikom gradske vožnje od 0 do 10 % vremena provodi u prekoračenju brzine. Za vožnje vangradskoga tipa, vozač provdi od 5 pa čak do 30 % vremena u prekoračenju, dok je kod vožnje autocestom granica pomaknuta iznad 10, pa sve do 50 % vremena. Vidi se linearna tendencija rasta udjela vremena provedenog u prekoračenju brzine ovisno o prosječnoj brzini vožnje. Također, može se primijetiti kako kod vožnji s većom prosječnom brzinom vožnje dolazi do većeg rasipanja vremenskih udjela prekoračenja.

Također, zanimljivo je činjenica kako prijedeni put tijekom vožnje, nije povezan s vremenskim udjelom prekoračenja brzine. Uz to, udio prekoračenja brzine nije povezan niti s prosječnom vrijednošću akceleracije što je i ranije zaključeno kroz neovisnost prekoračenja i RPA.



Slika 46. Neovisnost prijedenoga puta i vremenskog udjela prekoračenja brzine

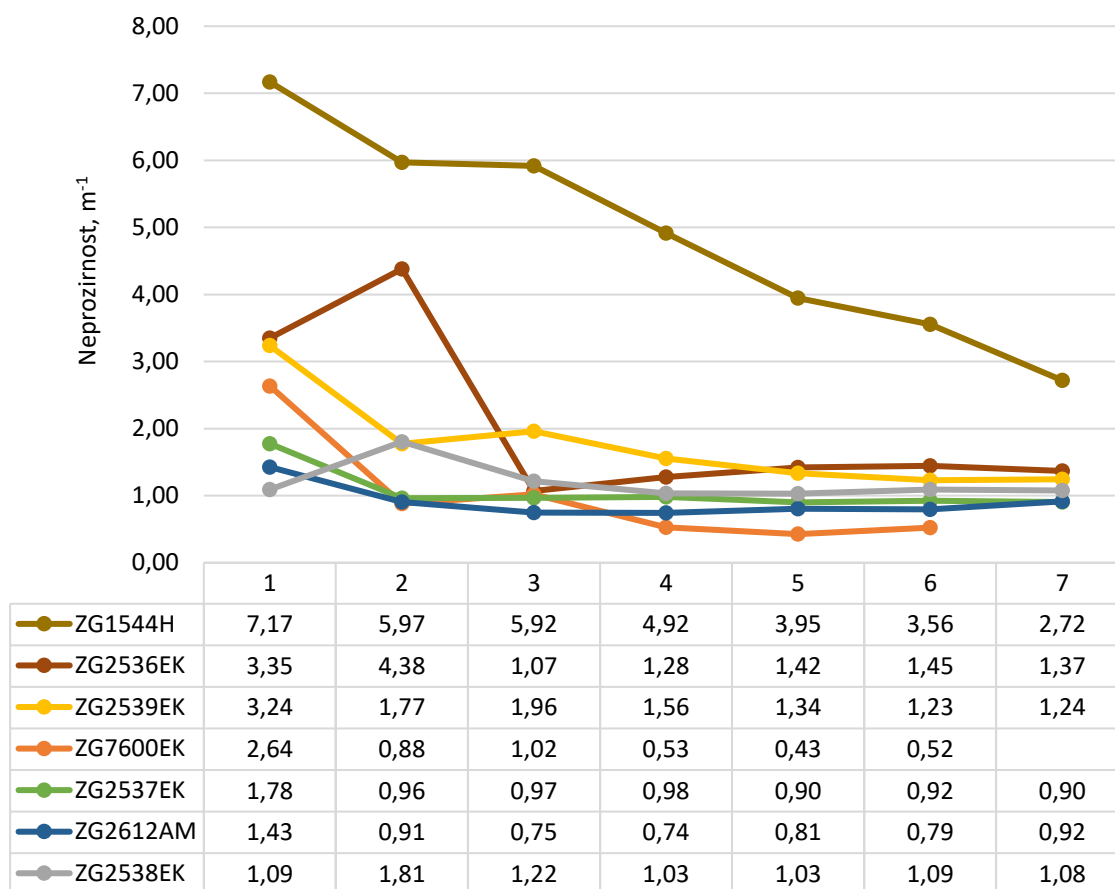
## 6.2. Rezultati EKO testa

Rezultati EKO testa podijeljeni su u dvije kategorije:

- neprozirnost ispušnih plinova vozila s Diesellovim motorom i
- sastav ispušnih plinova vozila s Ottovim motorom.

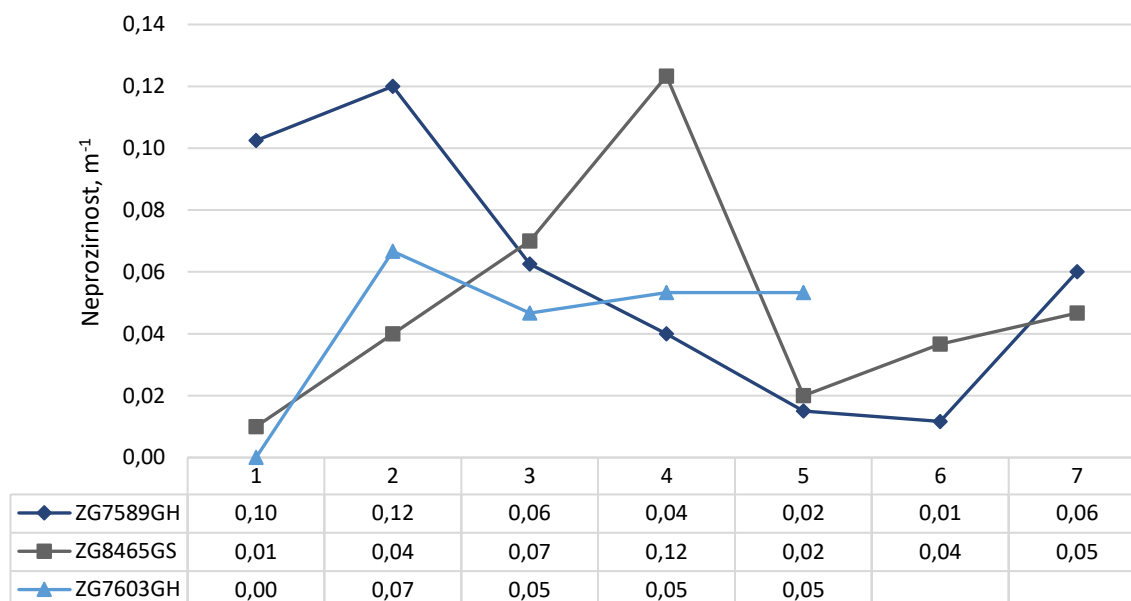
### 6.2.1. Neprozirnost ispušnih plinova vozila s Diesellovim motorom

Prilikom nultog mjerenja neprozirnosti ispušnih plinova, zanimljivo je pogledati kako je kod većine vozila uočen značajan pad u neprozirnosti prilikom prvih dva, tri mjerenja.



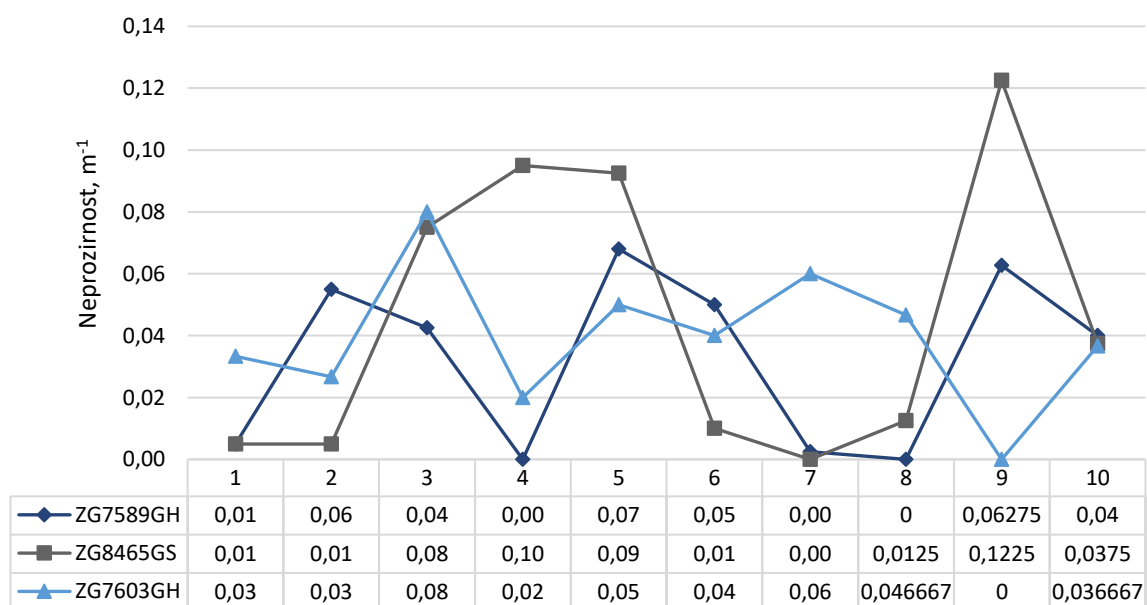
Slika 47. Srednja vrijednost neprozirnosti ispuha vozila emisijske razine Euro 2-5 prilikom nultog mjerenja

Na slici 47. vidi se kako prilikom prvih mjerenja vrijednosti neprozirnosti budu i do nekoliko puta veće od krajnje postignutih. Nakon tih prvih nekoliko mjerenja vrijednosti se ustabile i rasipaju se znatno manje. Vozilo ZG1544H je i nakon sedam mjerenja pokazivalo tendenciju pada vrijednosti neprozirnosti. Nažalost, zbog ograničenog vremena prilikom nultog mjerenja na tom vozilu, nije bilo moguće nastaviti mjeriti do trenutka kada vozilo postigne stabilnu vrijednost kao što je slučaj kod drugih vozila.



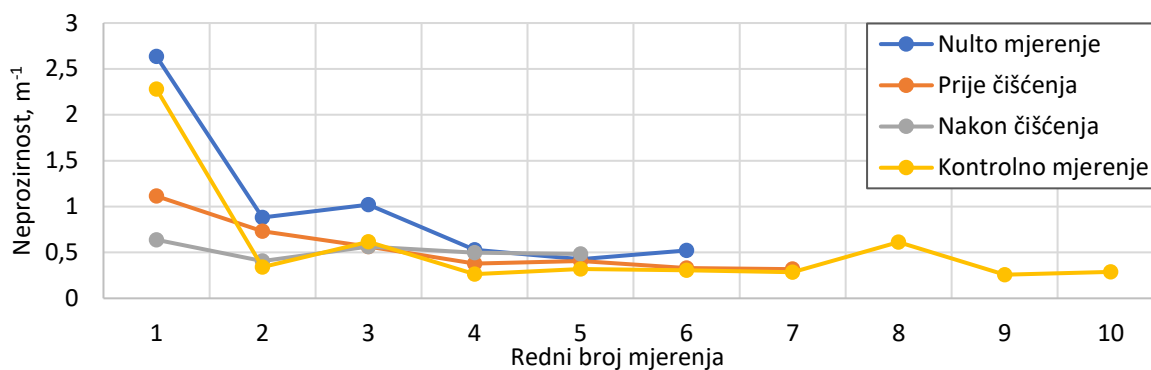
Slika 48. Srednja vrijednost neprozirnosti ispuha vozila emisijske razine Euro 6 prilikom nultog mjerenja

Kod vozila emisijske razine Euro 6 vrijednosti neprozirnosti ispušnih plinova su znatno niže. Vrijednosti mjerenja ne dostižu svoju krajnju vrijednost kako je to bio slučaj kod ostalih vozila, već osciliraju oko srednje vrijednosti. Kako je prilikom nultog mjerenja mjereno svega pet do sedam puta, pojava nije primijećena odmah, nego tek na mjerenju prije „čišćenja“ kada je mjerenje ponovljeno deset puta. Pojava oscilacija jasno se vidi na slici 49.



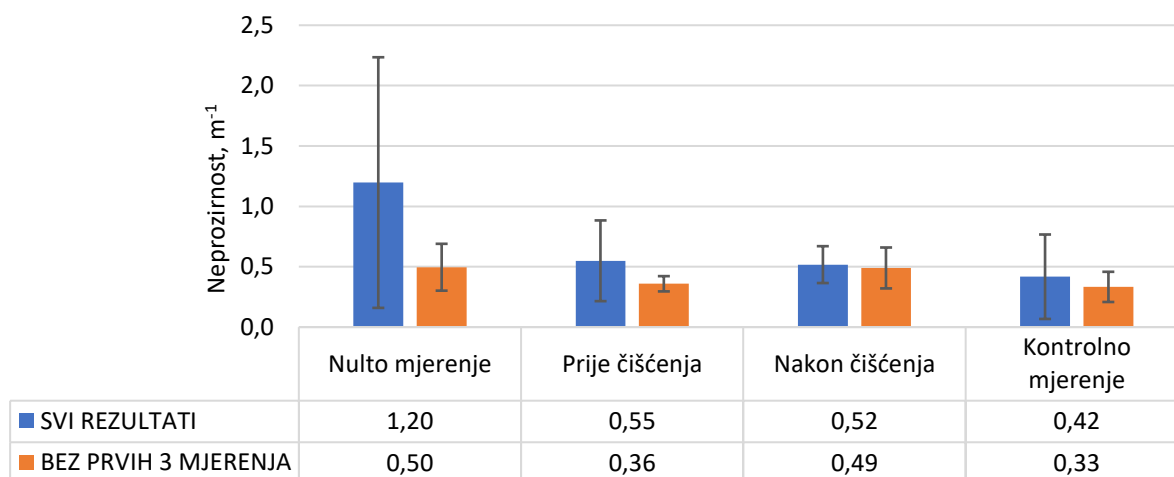
Slika 49. Pojava oscilacija u srednjoj vrijednosti neprozirnost ispuha vozila emisijske razine Euro 6 prilikom mjerenja prije „čišćenja“





Slika 50. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG7600EK

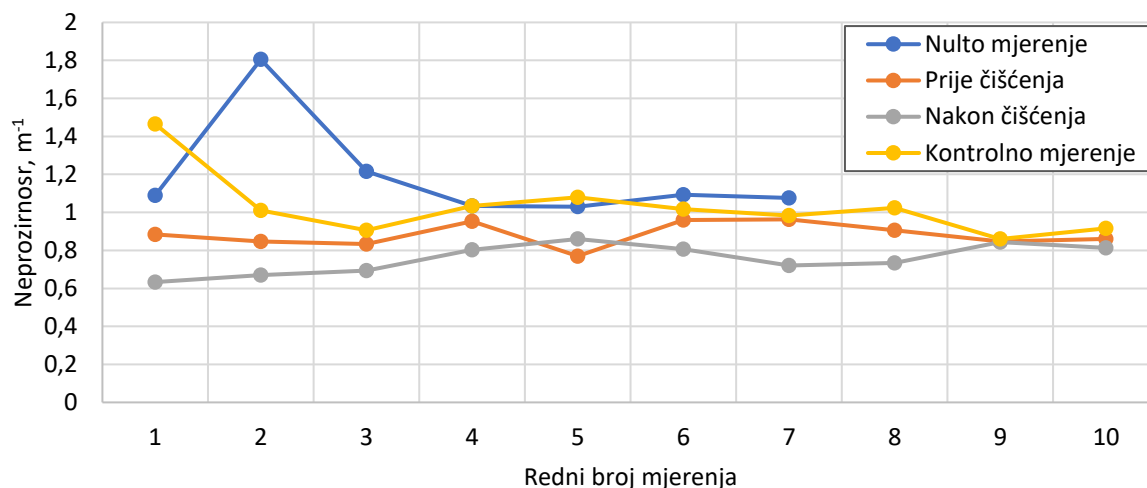
Kako je pogledom na slike 47. i 50. jasno da se prva tri mjerenja ne bi trebala uzeti u obzir kod vozila s Dieslovim motorom emisijskih razina Euro 2-5, prikazane su vrijednosti srednje neprozirnosti kroz sve faze ispitivanja za nekoliko vozila sa i bez prva tri mjerenja.



Slika 51. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG7600EK

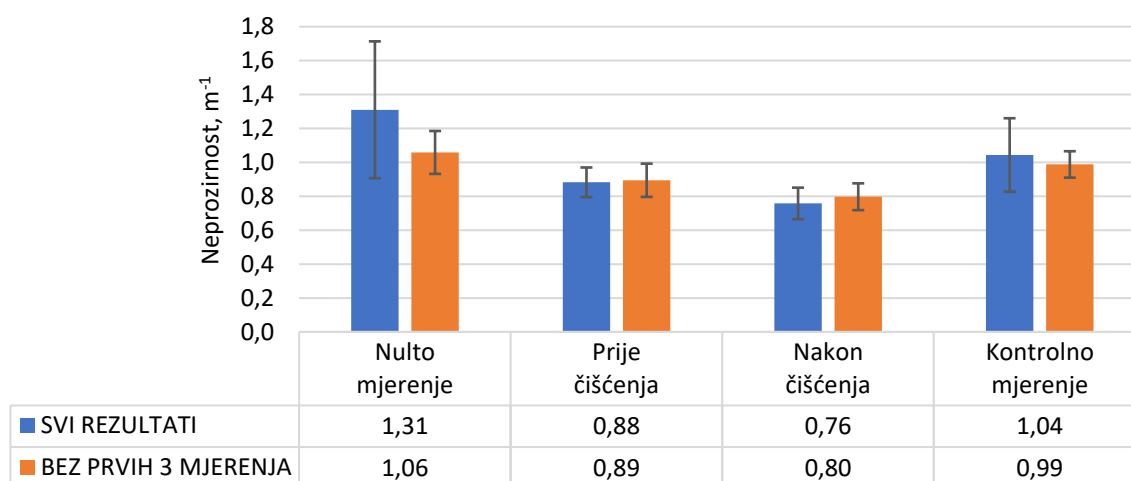
Najveća razlika između srednje vrijednosti neprozirnosti za sva mjerenja i bez prva tri mjerenja uočava se tijekom faze nultog mjerenja. Srednja vrijednost pala je za gotovo 60 % izuzimanjem prva tri mjerenja. Najmanja razlika uočava se prilikom mjerenja neposredno nakon „čišćenja“ gdje je razlika oko 6 %. Ta razlika smatra se slučajnom iz razloga što su odstupanja u mjerenjima znatno veća od same razlike.

Po pitanju djelovanja uređaja „Genijator“, potrebno je gledati fazu mjerenja prije „čišćenja“, nakon „čišćenja“ i kontrolnog mjerenja. Uzimajući u obzir sva mjerenja, moguće je zaključiti kako uređaj radi, ali ako zanemarimo prva tri mjerenja kada je neprozirnost u trendu opadanja dolazi se do zaključka kako nema promjene u neprozirnosti. To znači kako za promatrano vozilo, iako je srednja vrijednost nešto niža, nije došlo do smanjenja neprozirnosti ispušnih plinova.



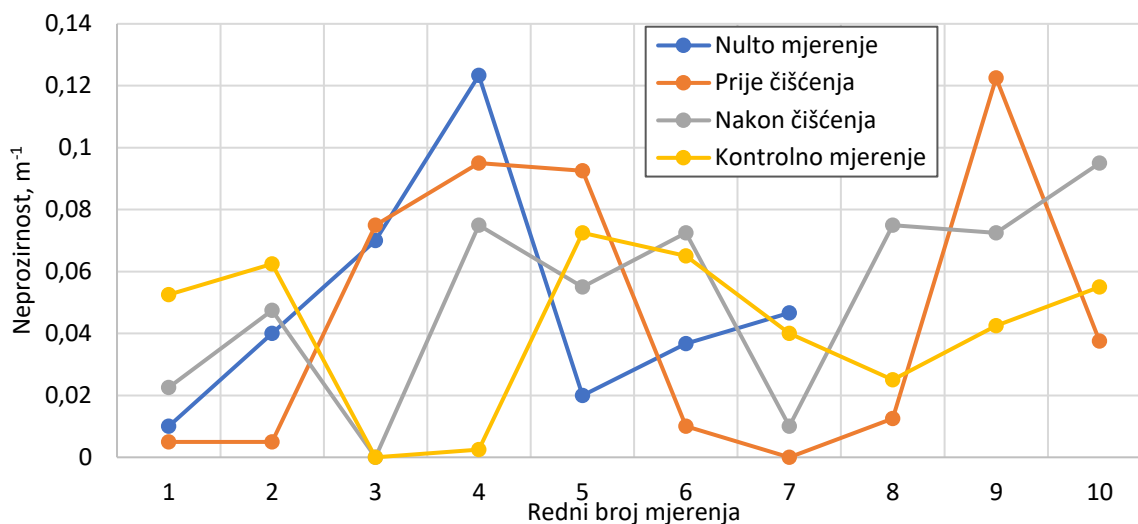
Slika 52. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG2538EK

Ponovno je jasno kako se prva tri mjerenja ne bi trebala uzeti u obzir zbog potrebe za stabilizacijom vrijednosti neprozirnosti.



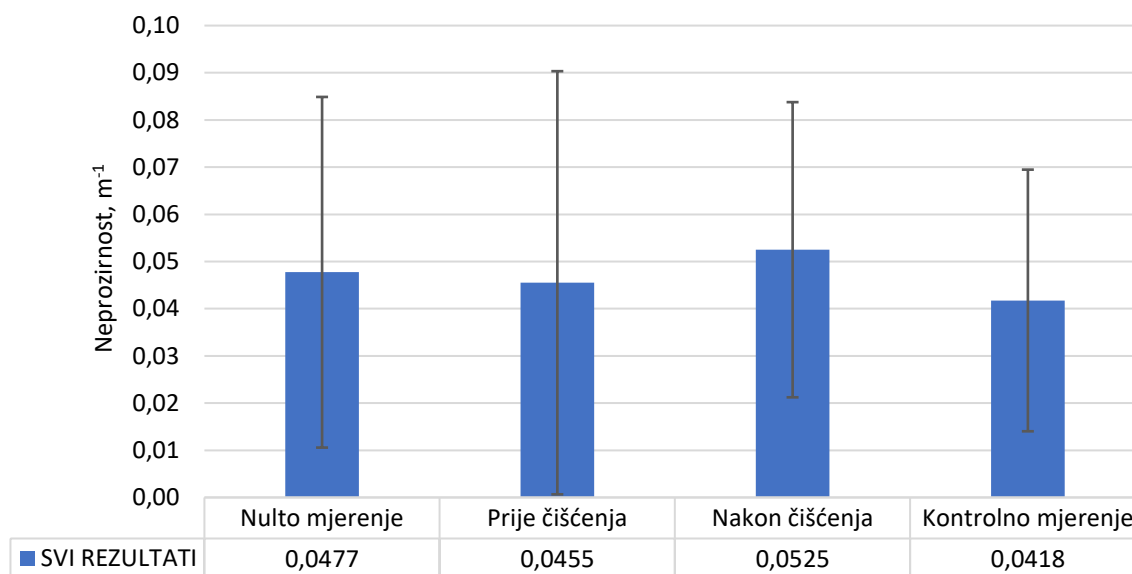
Slika 53. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG2538EK

Rezultati mjerenja provedena u fazi prije i nakon „čišćenja“ značajno su niži od rezultata neprozirnosti prilikom nultog mjerenja. Međusobno gledano, rezultati prije i poslije „čišćenja“ mogu se smatrati sličnima jer im se rasipanja preklapaju. Pregledom rezultata kontrolnoga mjerenje, vidi se kako je razina neprozirnosti narasla ponovno na vrijednost kakva je bila prilikom nultog mjerenja i bitno je veća od faza prije i nakon „čišćenja“.



Slika 54. Vrijednosti neprozirnosti za vozilo ZG8465GS

Kod vozila emisijske razine Euro 6 treba uočiti kako i prije i nakon „čišćenja“ dolazi do pojava oscilacije vrijednosti neprozirnosti ispuha. Prvim pogledom na sliku 55. teško je utvrditi ima li kakve promjene u srednjoj vrijednosti neprozirnosti.



Slika 55. Srednja vrijednosti neprozirnosti prema fazama ispitivanja za vozilo ZG8465GS

Kako je ranije spomenuto, kod Euro 6 vozila došlo je do pojave oscilacija prilikom mjerenja neprozirnosti ispuha. Iz tog razloga nema potrebe za promatranjem rezultata na način da se zanemaruju rezultati prvih triju mjerenja. Na slici 55. jasno se vidi kako su rasipanja rezultata nekoliko puta veća od razlike u srednjim vrijednostima prije i poslije „čišćenja“. Također, razlika između srednjih vrijednosti neprozirnosti je manja od mjerne preciznosti uređaja stoga se ne može tvrditi kako se „čišćenjem“ promjenila neprozirnost ispuha.

## 6.2.2. Sastav ispušnih plinova vozila s Ottovim motorom

Kako je već objašnjeno u Poglavlju 4., mjerenja na vozilima pogonjenih Ottovim motorom bitno se razlikuju od mjerenja vozila s Diesellovim motorom. Svako mjerenje prikazuje podatke o temperaturi ulja u motoru, brzini vrtnje motora, vrijednosti lambde, količini neizgorjelih ugljikovodika, kao i volumnim udjelima ugljikova monoksida, ugljikova dioksida i kisika. Sve vrijednosti mjere se u dvije radne točke, jednoj za prazan hod i jednoj za povišenu brzinu vrtnje.

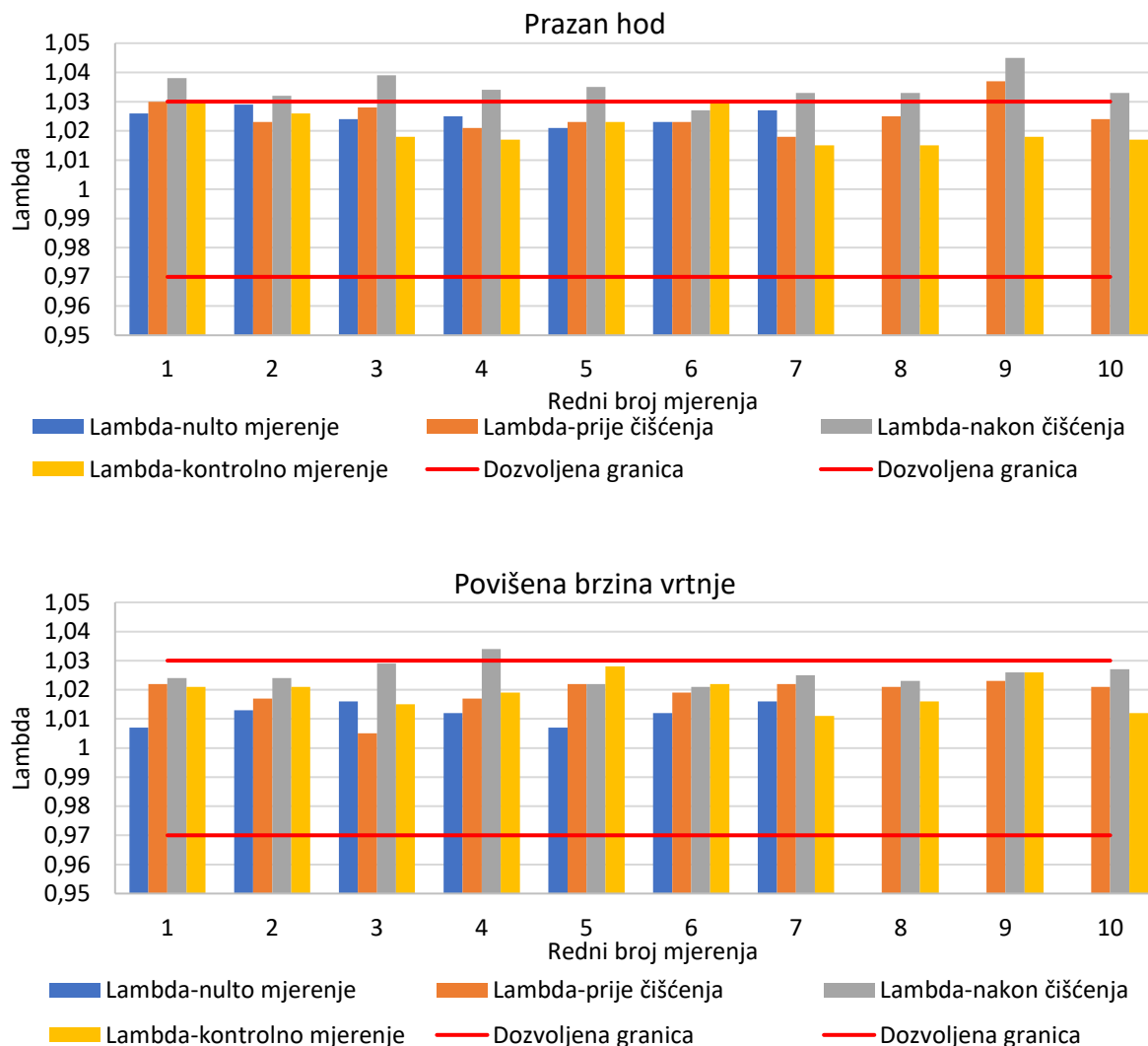
Tablica 11. Vrijednosti EKO testa u praznom hodu za vozilo ZG3419AB

Prazan hod											
ZG3419AB								ST.DEV.	MAX	MIN	AVG
MJERENJE:	Nulto mjerenje										
Broj mjerenja	1	2	3	4	5	6	7				
Broj okretaja [okr/min]	650	650	640	650	650	660	650	5,7735	660	640	650
Lambda [-]	1,026	1,029	1,024	1,025	1,021	1,023	1,027	0,00265	1,029	1,021	1,025
CO [%vol]	0,055	0,038	0,046	0,057	0,06	0,077	0,068	0,01301	0,077	0,038	0,05729
CO <sub>2</sub> [%vol]	14,41	14,46	14,53	14,53	14,56	14,51	14,49	0,05047	14,56	14,41	14,4986
HC [ppm]	48	68	60	67	56	74	78	10,454	78	48	64,4286
O <sub>2</sub> [%vol]	0,63	0,7	0,59	0,64	0,53	0,61	0,69	0,05851	0,7	0,53	0,62714
CO <sub>cor</sub> [%vol]	0,057	0,039	0,047	0,059	0,062	0,079	0,07	0,0134	0,079	0,039	0,059

Tablica 12. Vrijednosti EKO testa pri povišenoj brzini vrtnje za vozilo ZG3419AB

Povišena brzina vrtnje											
ZG3419AB								ST.DEV.	MAX	MIN	AVG
MJERENJE:	Nulto mjerenje										
Broj mjerenja	1	2	3	4	5	6	7				
Broj okretaja [okr/min]	2750	3060	2850	3050	2450	2820	3050	221,392	3060	2450	2861,43
Lambda [-]	1,007	1,013	1,016	1,012	1,007	1,012	1,016	0,00372	1,016	1,007	1,01186
CO [%vol]	0,058	0,192	0,222	0,317	0,072	0,307	0,336	0,11488	0,336	0,058	0,21486
CO <sub>2</sub> [%vol]	14,68	14,59	14,58	14,43	14,82	14,45	14,42	0,14807	14,82	14,42	14,5671
HC	26	42	35	53	35	59	58	12,8582	59	26	44
O <sub>2</sub> [%vol]	0,21	0,45	0,52	0,5	0,24	0,52	0,62	0,1537	0,62	0,21	0,43714
CO <sub>cor</sub> [%vol]	0,059	0,195	0,225	0,322	0,072	0,312	0,342	0,11705	0,342	0,059	0,21814

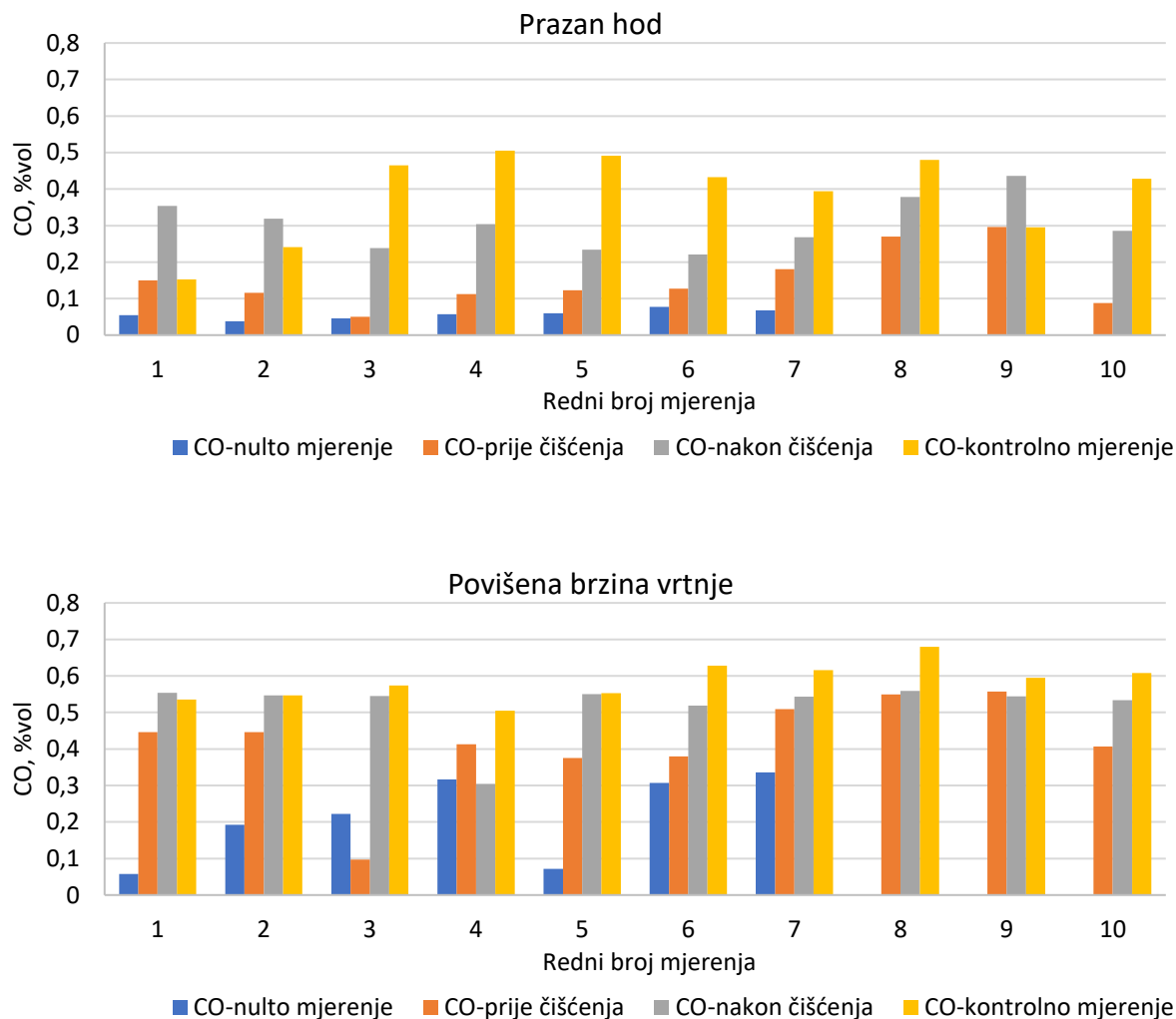
U tablicama 11. i 12. prikazan je primjer prikupljenih podataka EKO testa na nultom mjerenju za vozilo ZG3419AB. Za svaku vrijednost prikazana je i njena prosječna vrijednost, njezin maksimum, minimum i standardna devijacija. Kako su vozila pristupala mjerenjima četiri puta, vrijednosti EKO testa jednostavnije je pratiti putem dijagrama na slikama 56., 57. i 58.



Slika 56. Rezultati vrijednosti lambde za sve faze ispitivanja vozila ZG3419AB

Vrijednost lambde prema pravilniku o tehničkoj ispravnosti vozila mora biti u rasponu od 0,97 do 1,03 i govori radi li motor s bogatom ili siromašnom smjesom. Kada je lambda jednaka jedan, govori se o stehiometrijskom omjeru goriva i zraka. Bogata smjesa ima lambda vrijednost manju od jedan i znači da se u smjesi goriva i zraka nalazi previše goriva. Suprotno tome, lambda vrijednost viša od jedan znači siromašnu smjesu s više zraka.

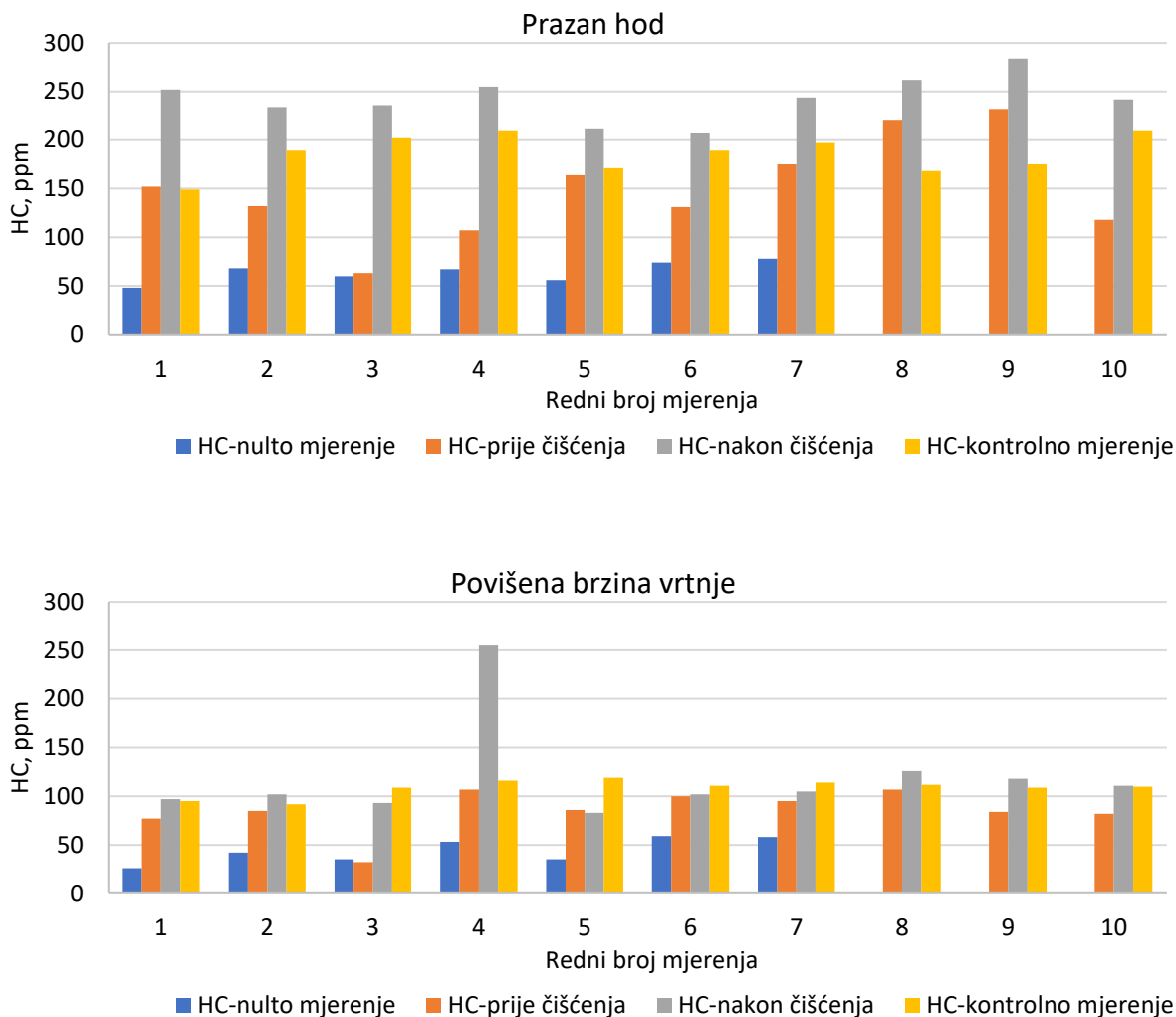
Na prvi pogled odmah je očito kako vozilo prilikom svih faza mjerenja radi sa siromašnom smjesom, većinski u dozvoljenom području. Učestala odstupanja iznad gornje granice vrijednosti lambde primjećuju se jedino u fazi neposredno nakon „čišćenja“ pri mjerenju u praznom hodu.



Slika 57. Rezultati vrijednosti ugljikova monoksida za sve faze mjerenja vozila ZG3419AB

Ugljikov monoksid je plin bez boje, mirisa i okusa, a za razliku od nekih drugih plinova, ne iritira kožu. To znači da ga nije moguće vidjeti, nanjušiti ili na bilo koji drugi način osjetiti, što ga čini izuzetno opasnim za ljude. U vozila s Ottovim motorom ugrađuju se katalizatori čija je funkcija oksidacija ugljikovog monoksida u manje štetan ugljikov dioksid.

Mjerenjem volumnog udjela ugljikovog monoksida prilikom svih faza ispitivanja, pokazalo se kako je njegov volumni udio značajno narastao u svim fazama nakon nultog mjerenja. Razlog povećanja udjela ugljikovog monoksida može biti neispravan rad katalizatora. Isto tako uočava se da je razina udjela ugljikovog monoksida viša pri mjerenju nakon „čišćenja“, nego li prije postupka „čišćenja“. Bitno je naglasiti kako su ta dva mjerenja razmaknuta sat vremena, i nije moglo doći do naglog propadanja katalizatora koje bi moglo uzrokovati takvo povećanje. Također, vrlo je bitno naglasiti kako je na početku svake faze ispitivanja katalizator zagrijavan dvije minute pri visokoj brzini vrtnje motora kako bi se osigurao njegov ispravan rad.



Slika 58. Rezultati vrijednosti neizgorjelih ugljikovodika za sve faze mjerenja vozila ZG3419AB

Mjerenja količine neizgorjelih ugljikovodika pokazuju slične rezultate kao i mjerenja ugljikovog monoksida. U fazama nakon „čišćenja“ došlo je do rasta količine neizgorjelih ugljikovodika pri praznom hodu i do nekoliko puta.

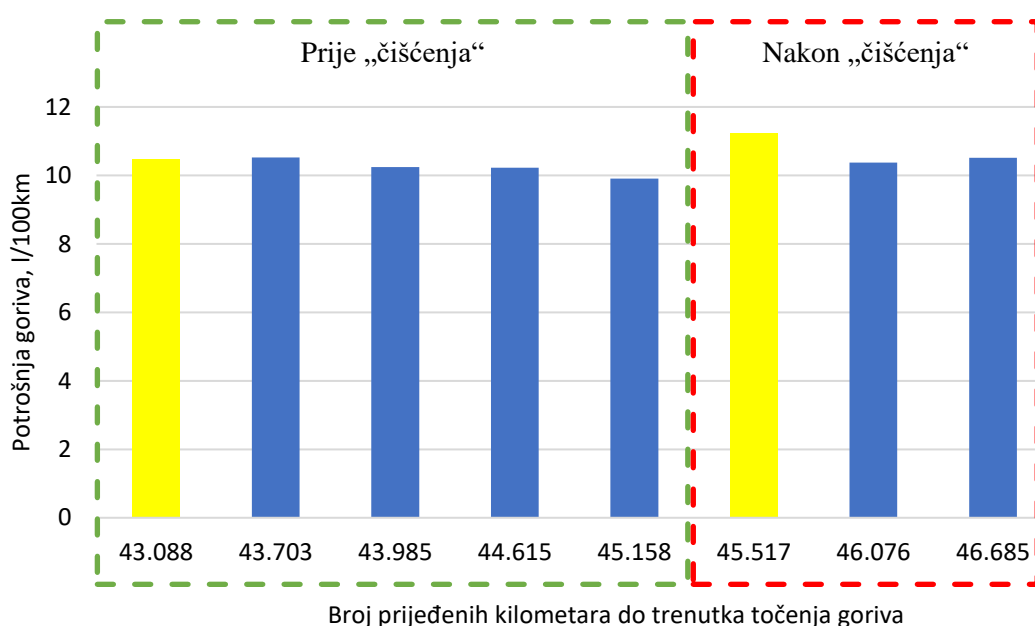
Pri višim brzinama vrtnje motora, razina neizgorjelih ugljikovodika poslije „čišćenja“ neznatno je veća od mjerenja u fazi prije „čišćenja“. Jedno od mjerenja u fazi nakon „čišćenja“ znatno odstupa od ostalih i smatra se pogreškom, te se kao takvo ne uzima u obzir.

Prema svim prikazanim dijagramima, zaključeno je kako uređaj „Genijator“ ni u jednoj fazi nije pokazao nikakav pozitivan utjecaj na rad motora i emisiju ispušnih plinova.

### 6.3. Analiza potrošnje goriva

Iako je u okviru ispitivanja na raspolaganju bila flota od 18 vozila, samo jedno od vozila ostvarilo je sve uvjete za relevantnu analizu potrošnje goriva. Budući da je kretanje vozila praćeno sustavom Mireo, analizom njihova kretanja lako se može zaključiti da neka vozila uopće ne voze, neka rade premali broj kilometara pa je tijekom ispitivanja bilo dostatno tek jedno ili dva točenja goriva, a neka nemaju putne radne listove prema kojima bi se pratila potrošnja goriva.

Vozilo ZG7589GH obavilo je osam točenja goriva od kojih je pet prije postupka „čišćenja“ i tri nakon „čišćenja“. Na slici 59. prikazani su rezultati.



Slika 59. Potrošnja goriva vozila ZG7589GH prije i nakon „čišćenja“

Na slici 59. prikazana je potrošnja goriva za vozilo ZG7589GH prije i nakon „čišćenja“. Žutom bojom naznačena su potrošnje goriva na čije je vrijednosti utjecalo mjerenje. Mjerenja ispušnih plinova utječu na rezultate potrošnje zato jer se provode zalijetanjem motora dok je vozilo na mjestu. U pravilu to znači kako vozilo troši veću količinu goriva, ali broj prijeđenih kilometara ostaje isti. Iz tog razloga ova mjerenja se zanemaruju i uzimaju se u obzir ostala.

Srednja vrijednost četiriju iznosa potrošnje goriva u fazi prije „čišćenja“ je 10,23 l/100 km, odnosno uprosječe li se dvije vrijednosti potrošnje nakon „čišćenja“ ta vrijednost iznosi 10,44 l/100 km. Razlika od 2 % u korist potrošnje goriva prije „čišćenja“ može se zanemariti jer uvelike ovisi o načinu eksploatacije vozila i smatra se kako je potrošnja goriva ostala nepromijenjena prije i nakon „čišćenja“.

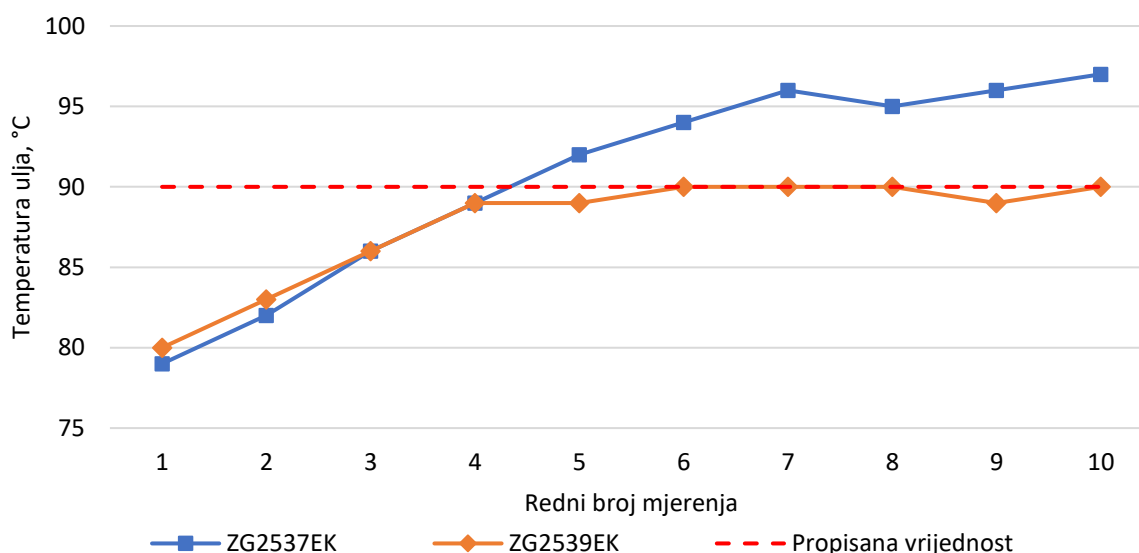


## 6.4. Dijagnostika putem EKO testa

Koncentracija pojedinih ispušnih plinova u ispuhu vozila može poslužiti kao vrsta dijagnostike nepravilnosti u radu vozila. Kod vozila s Dieselovim motorom nije moguće dijagnosticirati vrstu kvarova kao i kod Ottovog motora. Razlog toga je što se mjerenjima neprozirnosti ispušnog plina saznaje samo jedna informacija pa nije moguće detaljno dijagnosticirati kao kod Ottovog motora.

### 6.4.1. Neispravnost u radu Dieselovih motora

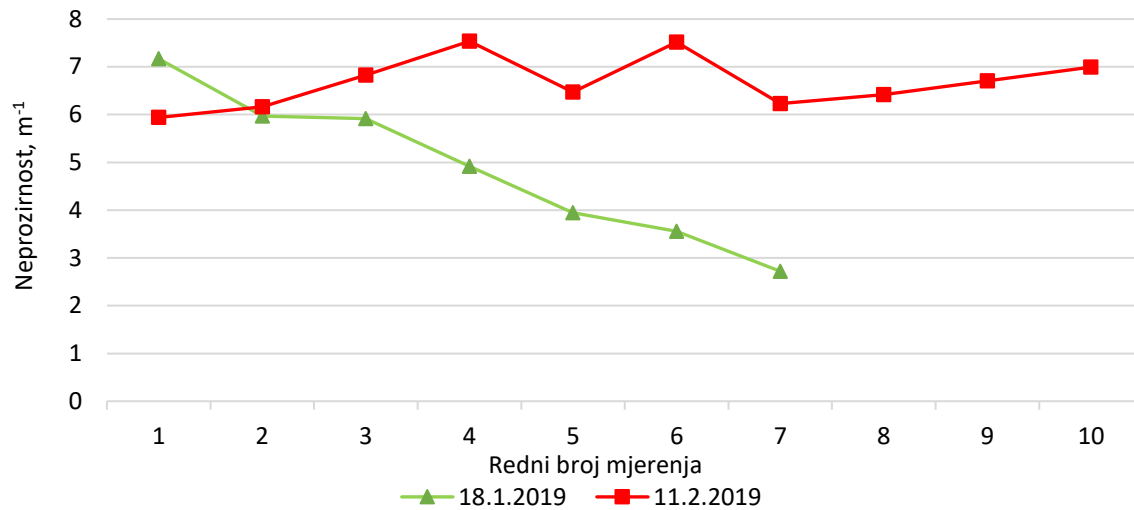
Jedna od neispravnosti rada Dieselovih motora koju je moguće uočiti prilikom EKO testa je i neodržavanje ispravne radne temperature motora. Na slici 60. prikazane su temperature ulja u motoru za dva potpuno identična vozila marke Renault Kangoo (ZG2537EK i ZG2539EK).



Slika 60. Primjer neispravnog rada termostata na vozilu ZG2537EK

Vidljivo je kako vozilo ZG2537EK nije uspjelo zadržati optimalnu temperaturu ulja u motoru. Primijećeno je kako vozilo nije uopće upalilo ventilator čime bi se temperatura motora smanjila pa je zaključeno kako je na vozilu neispravan termostat zadužen za cirkulaciju rashladne tekućine.

Također, moguće je uočiti pogrešku u dobavi goriva Dieselovog motora koja se manifestira u obliku povećane neprozirnosti ispuha. Na slici 60. pokazana je razina neprozirnosti na dan 18.01.2019., odnosno na dan 11.02.2019. kada je neprozirnost bila znatno veća.



Slika 61. Neispravan rad vozila ZG1544H



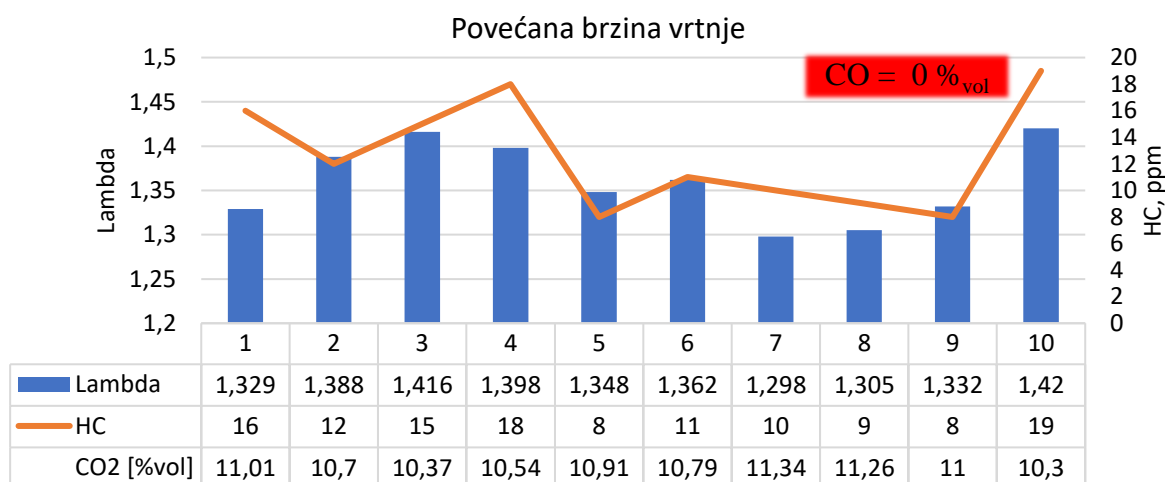
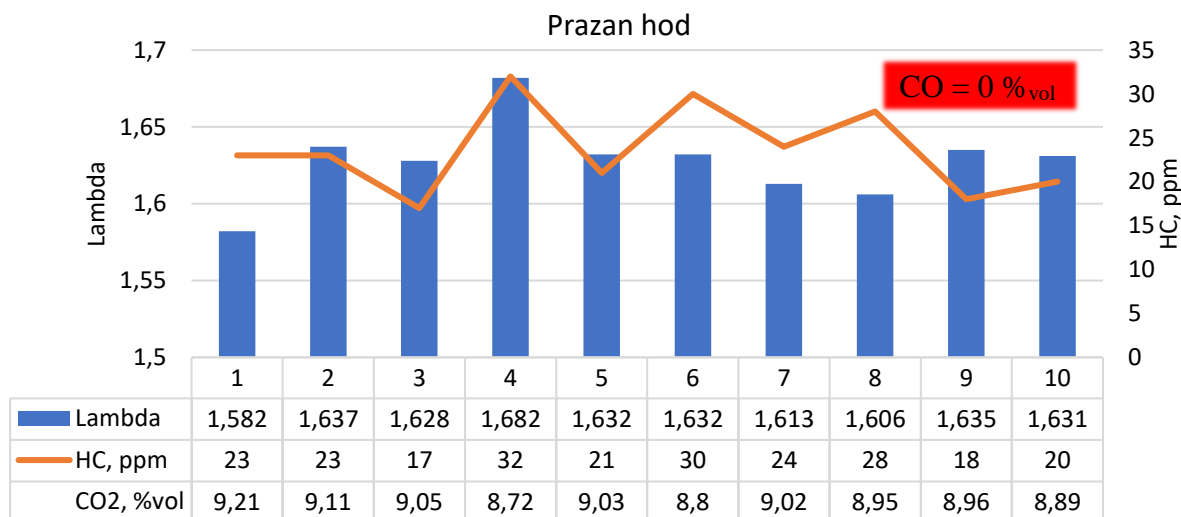
Slika 62. Vozilo ZG1544H u praznom hodu (lijevo) i pod opterećenjem (desno)

Na vozilu sa slike 62. dolazi do pojave bijelog dima tek kada se pedala snage pritisne do kraja svoga punog hoda. Bijeli dim u pravilu označava kako se u ispuhu nalazi nepotpuno izgorjeno gorivo i može označavati više različitih grešaka u radu motora:

- neispravne ili oštećene brizgaljke,
- neispravno vrijeme ubrizgavanja,
- niska kompresija u cilindru.

### 6.4.2. Neispravnost u radu Ottovih motora

Kod vozila s Ottovim motorom moguće je uočiti znatno više neispravnosti u radu motora jer se paralelno mjeri više veličina.

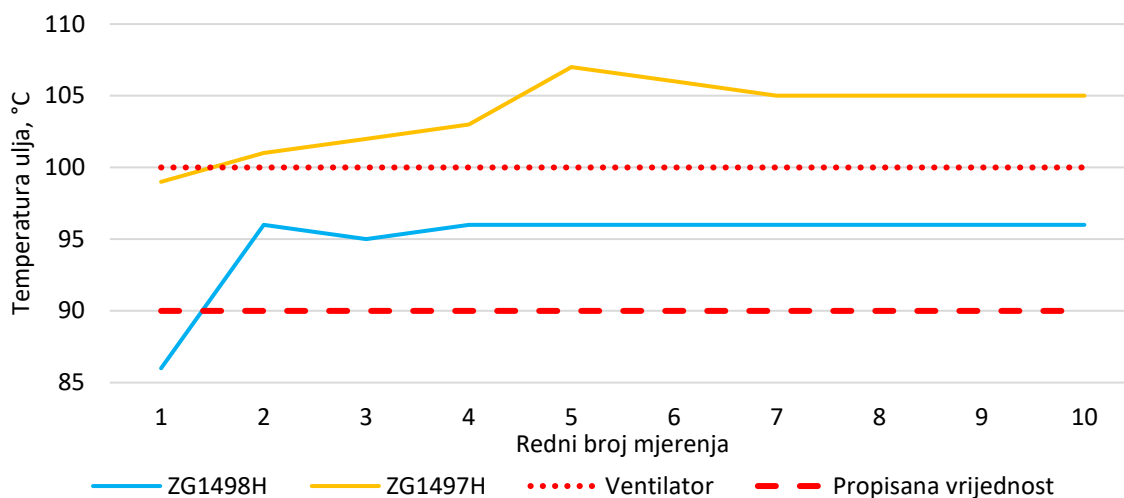


Slika 63. Nepravilnost u radu motora vozila ZG1498H

Vrijednost lambde govori o udjelu kisika u ispuhu i mora biti između 0,97 i 1,03, dok udio CO<sub>2</sub> u pravilu mora biti oko 14 %<sub>vol</sub>. Ako je lambda visok, udio CO i CO<sub>2</sub> nizak i postoje neizgoreni ugljikovodici kao što je u promatranom slučaju. Kao razlog tomu moguća su tri problema na vozilu:

- rupa na ispušnom sustavu,
- neispravan termostat ili
- ne dolazi do upaljivanja gorive smjese u jednom ili više cilindara.

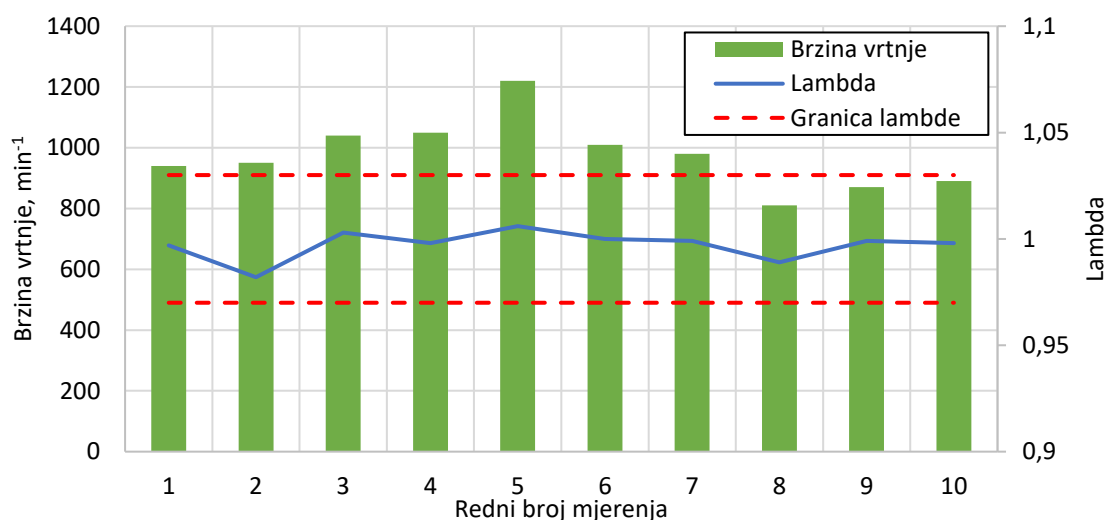
Kako nisu primijećena odstupanja u brzini vrtnje motora u praznom hodu, niti neispravan rad termostata, zaključuje se kako je greška uzrokovana oštećenjem na ispušnom sustavu vozila.



Slika 64. Usporedba temperature ulja u motoru za dva identična vozila

Na slici 64. prikazane su vrijednosti temperature ulja u motoru za dva vozila marke Opel Astra. Vozilo ZG1498H ima ispravan termostat i ventilator mu se pali ispod gornje granice od 100 °C, dok vozilo ZG1497H pokazuje neispravnost u radu termostata i ventilator mu se pali tek iznad gornje granice.

Na slici 65. prikazane su vrijednosti EKO testa za vozilo ZG7353Z koje ne može održati ispravnu brzinu vrtnje u praznom hodu. Promatrano vozilo uspijeva zadržati sve vrijednosti u dozvoljenim granicama, što upućuje na ispravan rad katalizatora, sustava za dobavu i upaljšivanje goriva, ali na neispravan rad zaklopke.



Slika 65. Neispravan rad u praznom hodu vozila ZG7353Z

## 7. ZAKLJUČAK

Izrada diplomskoga rada obuhvaćala je dvije glavne zadaće. Prva je bila osmisлити način validacije stila vožnje pojedinog vozača na temelju podataka o vremenu, lokaciji i brzini vozila, dok je druga bila ispitati učinke uređaj čija je glavna funkcija „dekarbonizirati“, odnosno „očistiti“ motore s unutarnjim izgaranjem od mogućih naslaga nastalih kao posljedica izgaranja goriva.

Unutar rada osmišljen je način ocijene vožnje pomoću od ranije poznate vrijednosti RPA (engl. *Relative Positive Acceleration*) koja se najčešće koristi kao jedna od utjecajnih veličina validacije ispitnih ciklusa. Veličina RPA ovisi o tri glavna parametra svake vožnje:

- prijedeno me putu,
- brzini i
- akceleraciji.

Kao najutjecajnija od veličina pokazala se upravo akceleracija. Opće je poznato kako nagle promjene u brzini, bile one ubrzanja ili usporenja, drastično utječu na sigurnost svakodnevnog prometa. Upravo zato RPA služi kao veličina kojom je moguće načelno klasificirati nečiji stil vožnje kao opasan ili kao siguran.

U radu je korištena ključna pretpostavka isključivo uzdužnog ubrzanja/usporenja koja zanemaruju sva bočna ubrzanja/usporenja. Daljnji napredak postigao bi se implementacijom akcelerometara s tri ispitne osi koji bi mogli jasno opisati kružnicu trenja u dodiru kotača i podloge. Na takav način generirani podaci dali bi bitno preciznije podatke o ubrzanjima kojima bi se zatim mogao pripisati vjerodostojniji iznos RPA.

Uz RPA, kao bitna veličina u ocjeni vožnje pokazao se vremenski udio prekoračenja dozvoljene brzine. Analizom prikupljenih podataka utvrđeno je da je vremenski udio u prekoračenju brzine povezan s prosječnom brzinom vožnje. S rastom prosječne brzine vožnje, vozači su skloniji duže vremena provesti u prekoračenju. Neprimjerena brzina, odnosno njeno prekoračenje jedan je od glavnih uzročnika prometnih nesreća sa smrtnim posljedicama. Iz tog razloga iznimno je bitno, vozače koji su skloni prekoračenju brzine proglasiti vozačima visokog rizika.

Ispitivanjem učinkovitosti „čišćenja“ vozila uređajem „Genijator“ pokazao se sav apsurd konstatacije da takav uređaj, koji elektrolizom vode stvara smjesu kisika i vodika, je u stanju „očistiti“ vozila i na taj način smanjiti emisiju štetnih ispušnih plinova.

Projektom je na znanstveno utemeljenim principima i metodama provedeno ispitivanje utjecaja tzv. „dekarbonizacije“ na vozilima različitih proizvođača i starosti. Ispitivanjem ispušnih plinova u četiri faze potvrđeno je kako dekarbonizacija vozila nema nikakvih pozitivnih rezultata u vidu poboljšanja emisije, odnosno smanjenja potrošnje goriva.

Uzastopnim ponavljanjem mjerenja neprozirnosti ispušnoga plina utvrđeno je da kod Euro 6 vozila iznos srednjeg zacrnjenja doseže  $0,09 \text{ m}^{-1}$  uz rasipanje izmjerenih vrijednosti odnosno standardnu devijaciju od  $0,10 \text{ m}^{-1}$ . Rasipanje je unutar rezolucije mjernog uređaja pa iz tog razloga nije moguće sa sigurnošću utvrditi učinak „čišćenja“ na Euro 6 vozilima.

Na vozilima s Dieselovim motorom emisijskog razreda Euro 2-5 uočena je znatna razlika u vrijednosti neprozirnosti ispušnoga plina tek kod nekolicine vozila, gdje se pod znatna razlika misli na razliku veću od rasipanja izmjerenih vrijednosti, odnosno standardne devijacije. Ukupno su četiri takva vozila, svi su marke Renault (tri Kangoo-a i jedan Megane) i samo je jedno pokazalo pozitivan učinak prilikom kontrolnog mjerenja u odnosu na mjerenje prije „čišćenja“. Radi se o vozilu registarske oznake ZG2539EK gdje je došlo do smanjenja vrijednosti neprozirnosti za 22 %. Na preostala tri vozila došlo je do povećanja vrijednosti neprozirnosti za 10 % na vozilu oznake ZG2538EK, 28 % na vozilu oznake ZG2612AM i 30 % na vozilu oznake ZG2538EK. Zanimljivo je pogledati kako je na vozilu Renault Kangoo registarske oznake ZG2537EK na kojem je napravljen postupak pripreme, ali ne i „čišćenja“ došlo do smanjenja neprozirnosti ispušnoga plina za 11 %.

Analizom podataka o vožnji te analizom kratkih intervjuja koji su objavljeni s korisnicima vozila tj. vozačima također je zaključeno kako nema poveznice između načina eksploatacije vozila i razine štetnih ispušnih plinova. To znači da gradska, vangradska ili vožnja autocestom u pravilu ne donose niti poboljšanja niti pogoršanja po pitanju emisija štetnih tvari, a ponajviše stupnja neprozirnosti kod vozila s Dieselovim motorom. U nekoliko navrata vozači vozila su rekli kako su prije ispitivanja pokušali „propuhati“ vozilo na otvorenoj cesti vožnjom u nižem stupnju prijenosa, ali rezultati mjerenja su pokazali kako i takva vozila bilježe visoke vrijednosti prilikom prvih nekoliko od deset uzastopnih ispitivanja.

Na temelju svega prethodno navedenog, u cilju smanjenja onečišćenja zraka u Gradu Zagrebu preporučuje se uvođenje nekog oblika ekološke zone ili sustava sufinanciranja zamjene starih vozila novima, ali nikako se ne preporučuje „dekarbonizacija“ motora. Tvrdnja kako se primjenom ovakvih uređaja može smanjiti onečišćenje zraka i smanjiti potrošnja goriva je besmislena, a provedenim ispitivanjem je pokazano da kako je i neutemeljena.

## LITERATURA

1. Božić M, Vučetić A, Sjerić M, Kozarac D, Lulić Z. Experimental Study on Knock Sources in Spark Ignition Engine with Exhaust Gas Recirculation. *Energy conversion and management*. 2018 June;165:35-44. doi. 10.1016/j.enconman.2018.03.053
2. Babić V. Izvori i svojstva NO<sub>x</sub> spojeva. Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; 2015.
3. Kurt OK, Zhang J, Pinkerton KE. Pulmonary health effects of air pollution. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 138–143 doi. 10.1097/MCP.0000000000000248
4. Poorfakhraei A, Tayarani M, Rowangould G. Evaluating health outcomes from vehicle emissions exposure in the long range regional transportation planning process. *Journal of Transport & Health*. 2017 Sept;6:501-505. doi. 10.1016/j.jth.2017.05.177
5. Poplašen D. Aromatski ugljikovodici – izloženost i utjecaj na zdravlje. *Sigurnost*. 2015;57(1):65-67
6. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode. Više o učinku staklenika. Zadnji pristup: ožujak 2019. <http://klima.mzoip.hr/default.aspx?id=43>
7. Bodrušić T. Rekonstrukcija analizatora ispušnih plinova. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje;2016.
8. ECE/TRANS/180/Add.4; 2007. Zadnji pristup: ožujak 2019. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a4e.pdf>
9. EMERSON. Instruction Manual HFID. 1<sup>st</sup> Edition 09/2008. Zadnji pristup: ožujak 2019. <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-nga-2000-hfid-analyzer-module-hardware-manual-1st-ed-rosemount-en-70538.pdf>
10. Edaphic scientific. Environmental research and monitoring equipment. Zadnji pristup: ožujak 2019. <https://www.edaphic.com.au/knowledge-base/articles/gas-articles/ndir-explained/>
11. SOS electronic. Zadnji pristup: ožujak 2019. <https://www.soselectronic.com/articles/sensirion/scd30-is-more-than-just-the-ndir-co2-sensor-2152>
12. Combustion. Zadnji pristup: ožujak 2019. <https://www.cambustion.com/products/cld500/cld-principles>
13. MHPS Control Systems. Zadnji pristup: ožujak 2019. [http://www.cs.mhps.com/en/products/diasys/detail/diasys\\_pro\\_denitration.html](http://www.cs.mhps.com/en/products/diasys/detail/diasys_pro_denitration.html)
14. Stručni bilten broj 107. Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila – EKO test. Centar za vozila Hrvatske, 2004.

15. Eboli L, Mazulla G, Pungillo G. Combining speed and acceleration to define car users' safe or unsafe driving behaviour. *Transportation Research Part C*. 2016;68:113–125. doi. 10.1016/j.trc.2016.04.002
16. Zeeman A, Booyesen M. Combining speed and acceleration to detect reckless driving in the informal public transport industry. *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*. Oct 2013.
17. Sraga V. Unaprijeđeni model izračuna emisija na temelju tipičnih zapisa o letu. *Diplomski rad*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje;2018.
18. Barlow T, Latham S, McCrae S, Boulter P, A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. *Published Project Report*.
19. Bosch, BEA 350 Operating Instructions . Zadnji pristup: ožujak 2019. [http://www.bosch.edu.rs/media/\\_rs/auto\\_parts\\_rs/borchure/bea\\_1/BEA\\_350\\_Uputstvo\\_za\\_upotrebu.pdf](http://www.bosch.edu.rs/media/_rs/auto_parts_rs/borchure/bea_1/BEA_350_Uputstvo_za_upotrebu.pdf)
20. Bosch, BEA 350 Catalogue. Zadnji pristup: ožujak 2019. [http://www.sksservice.pl/pdf/broszura\\_bea.pdf](http://www.sksservice.pl/pdf/broszura_bea.pdf)
21. JSON formatter, web stranica. Zadnji pristup: ožujak 2019. <https://jsonformatter.org/json-to-csv>
22. Izvješće o testiranju uređaja Genijator. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje; srpanj 2018.



**PRILOG**

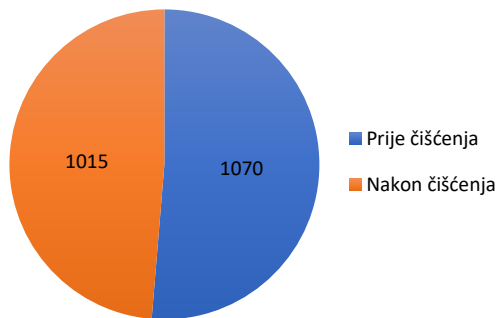
A	Rezultati za vozila s Dieselovim motorom i provedenom analizom vožnji
B	Rezultati za vozila s Dieselovim motorom bez provedene analize vožnje
C	Rezultati za vozila s Ottovim motorom i provedenom analizom vožnji
D	Rezultati za vozila s Ottovim motorom bez provedene analize vožnje

**OBRAZLOŽENJE PRILOGA**

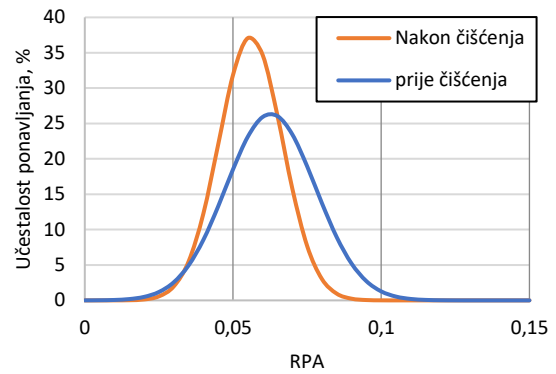
Prilog	Registarska oznaka	Obrazloženje
A	ZG7600EK	Prilog sadrži sve rezultate vezane za ocjenu vožnje i ispitivanje neprozirnosti ispušnoga plina
	ZG2536EK	
	ZG2537EK	
	ZG7603GH	
	ZG2539EK	
	ZG1544H	
B	ZG2538EK	Vozilo nema ocjenu vožnje jer nema potpune podatke o vožnji zbog servisa duljeg od 30 dana
	ZG8465GS	Vozilo nema ocjenu vožnje jer ima previše pogrešnih podataka
	ZG7618GH	
	ZG7589GH	Nema podatke o vožnji zbog nepravilnosti rada sustava Mireo
	ZG7300GR	
	ZG2612AM	
C	ZG1498H	Prilog sadrži sve rezultate vezane za ocjenu vožnje i ispitivanje sastava ispušnoga plina
	ZG3419AB	
D	ZG1497H	Vozilo tijekom ispitivanja nije bilo u upotrebi
	ZG3619AA	
	ZG7353Z	
	ZG7354Z	

**PRILOG A**  
**Rezultati za vozila s Diesellovim motorom i**  
**provedenom analizom vožnji**

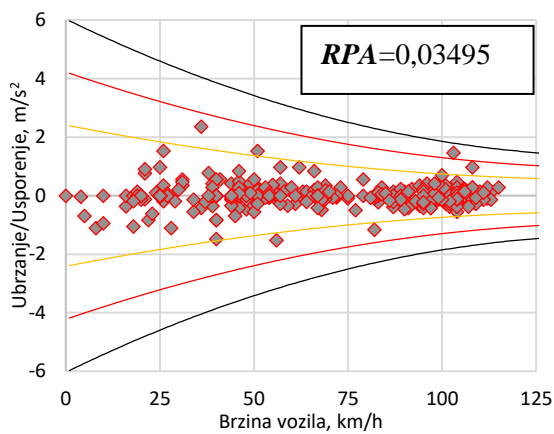
## B.1. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG7600EK



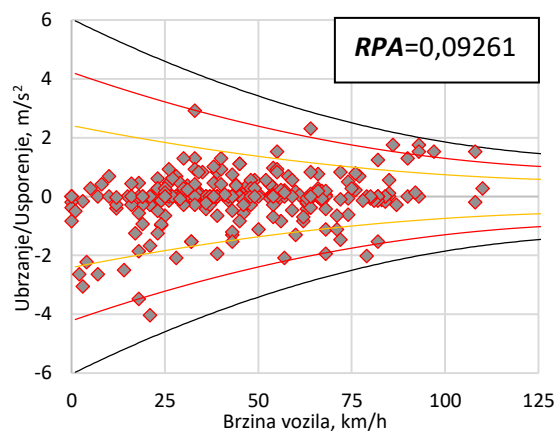
Slika 1. Prijedeći kilometri analiziranih vožnji vozila ZG7600EK



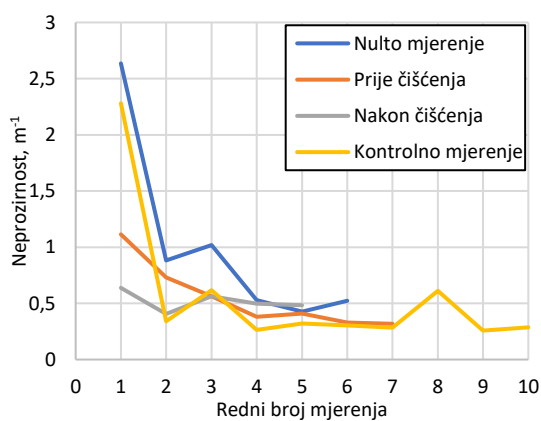
Slika 2. Ocjena stila vožnje vozila ZG7600EK



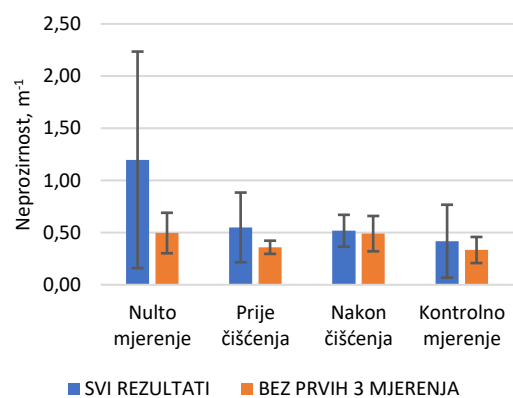
Slika 3. Najblaža vožnja vozila ZG7600EK



Slika 4. Najagresivnija vožnja vozila ZG7600EK

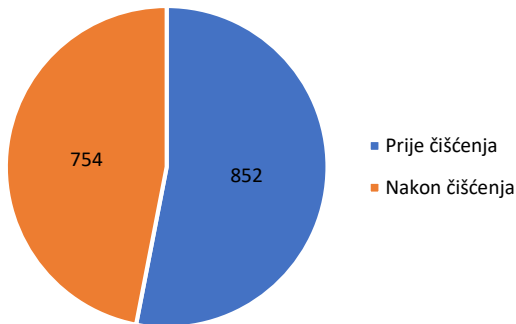


Slika 5 Rezultat EKO testa vozila ZG7600EK

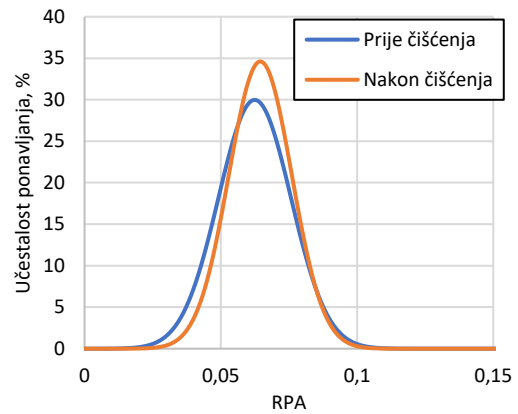


Slika 6. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG7600EK

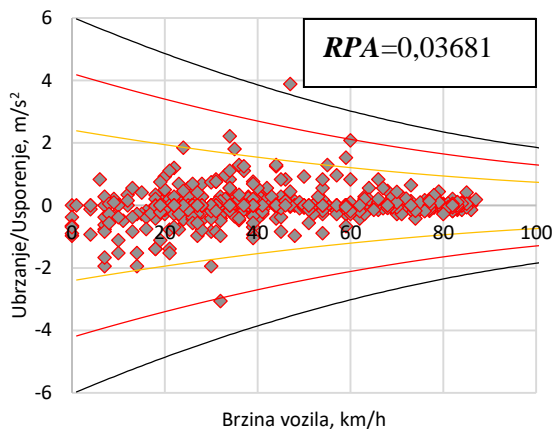
## B.2. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG2536EK



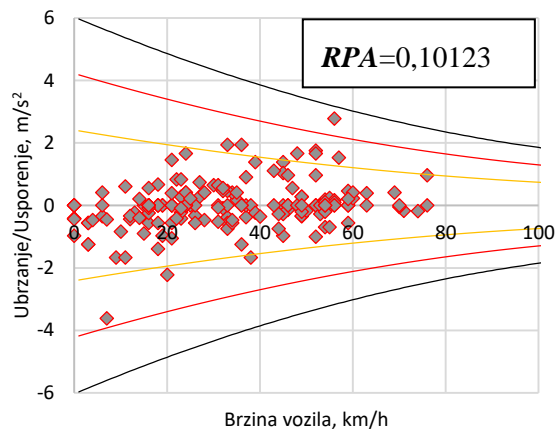
Slika 7. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG2536EK



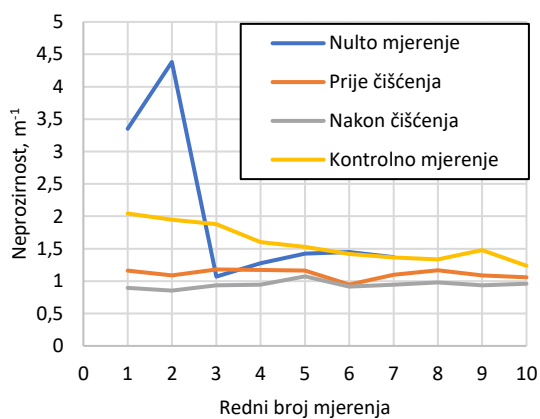
Slika 8. Ocjena stila vožnje vozila ZG2536EK



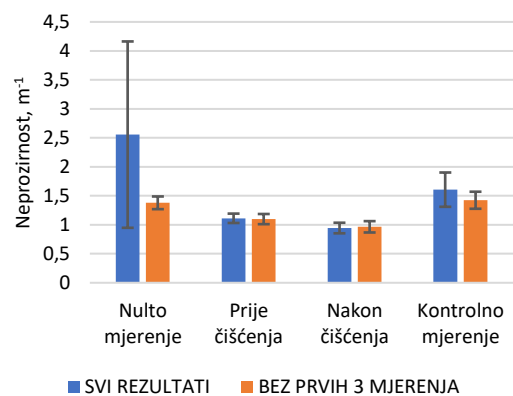
Slika 9. Najblaža vožnja vozila ZG2536EK



Slika 10. Najagresivnija vožnja vozila ZG2536EK

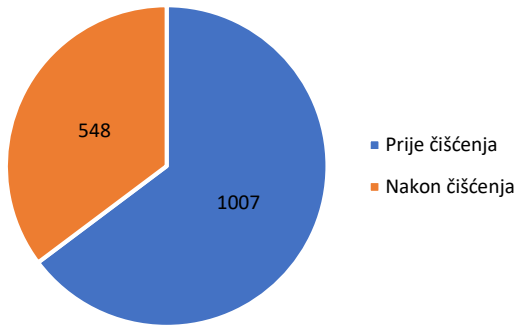


Slika 11 Rezultati EKO testa vozila ZG2536EK

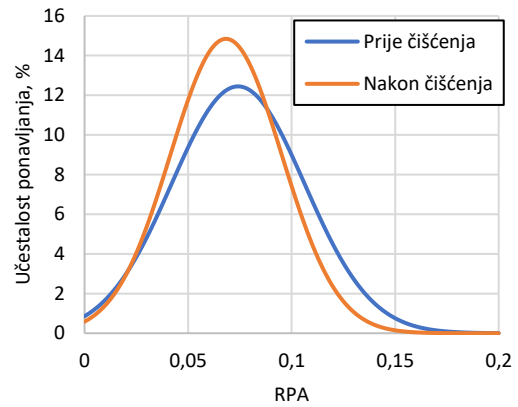


Slika 12. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG2536EK

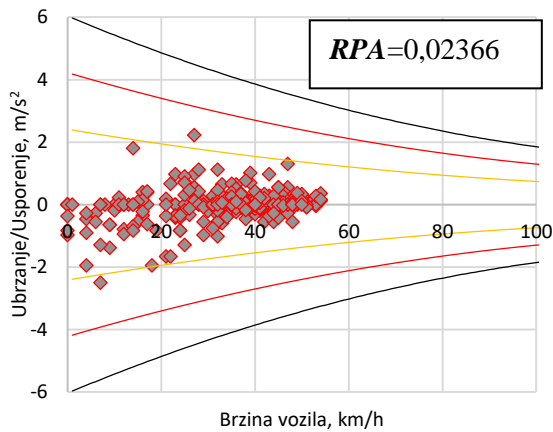
### B.3. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG2537EK (proveden postupak ispitivanja bez „čišćenja“ vozila)



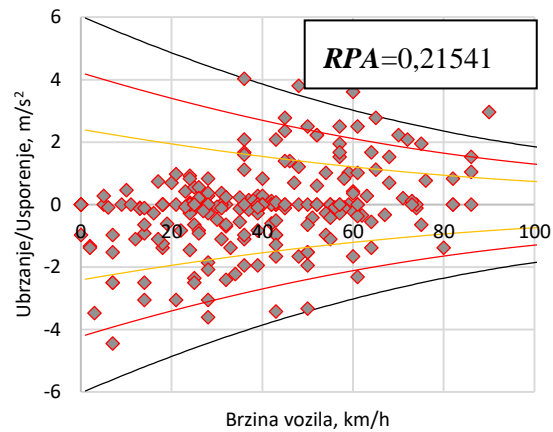
Slika 13. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG2537EK



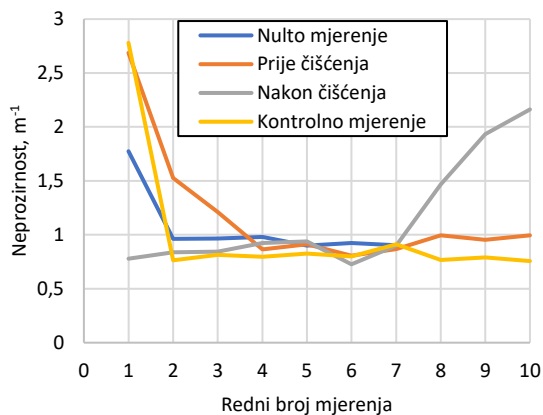
Slika 14. Ocjena stila vožnje vozila ZG2537EK



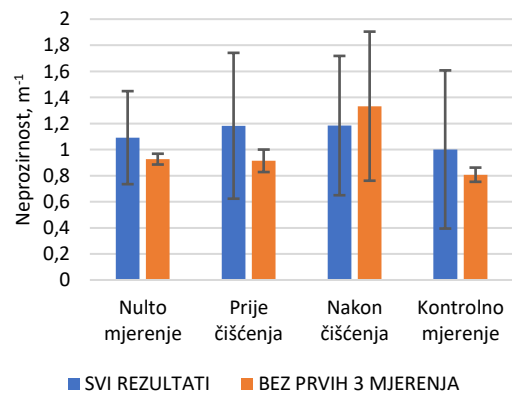
Slika 15. Najblaža vožnja vozila ZG2537EK



Slika 16. Najagresivnija vožnja vozila ZG2537EK

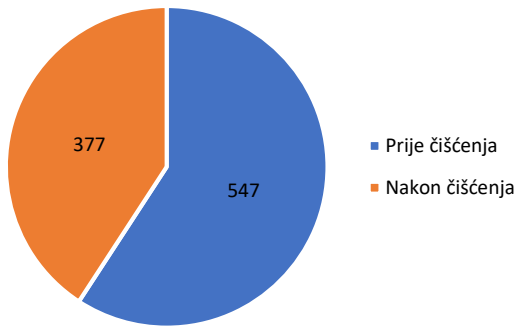


Slika 17 Rezultati EKO testa vozila ZG2537EK

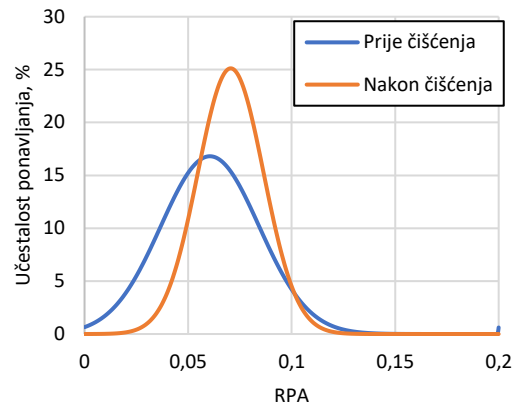


Slika 18. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG2537EK

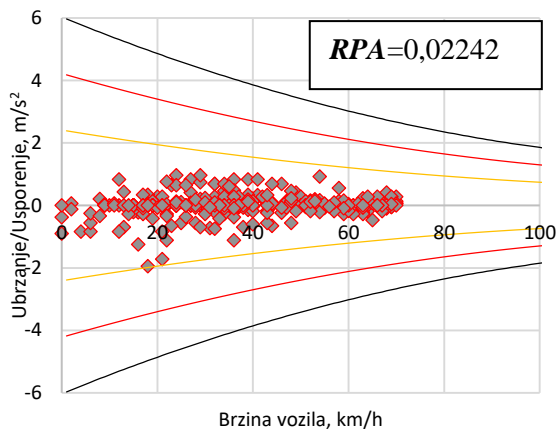
## B.4. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG7603GH



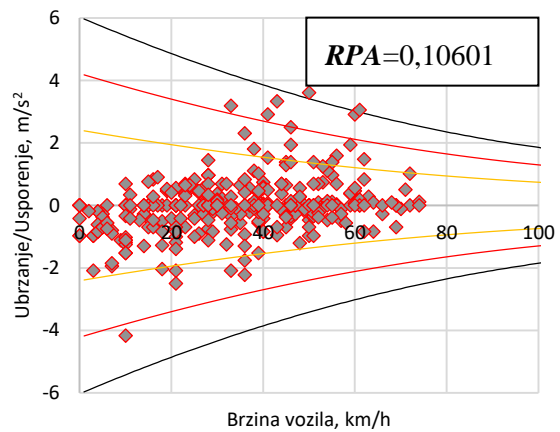
Slika 19. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG7603GH



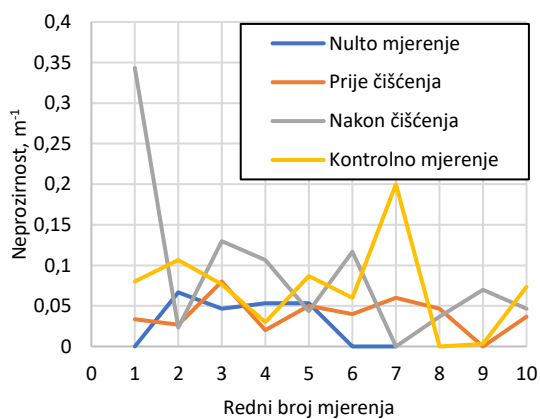
Slika 20. Ocjena stila vožnje vozila ZG7603GH



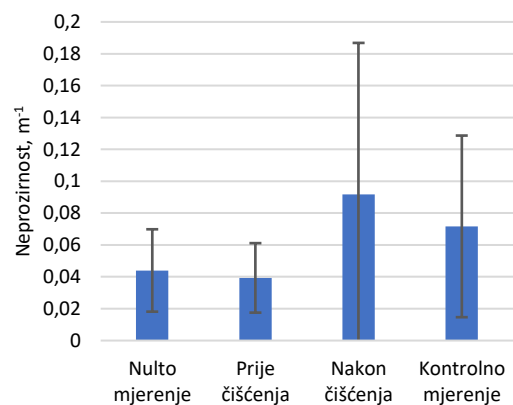
Slika 21. Najblaža vožnja vozila ZG7603GH



Slika 22. Najagresivnija vožnja vozila ZG7603GH

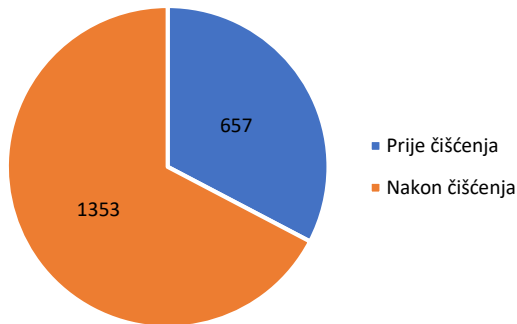


Slika 23 Rezultati EKO testa vozila ZG7603GH

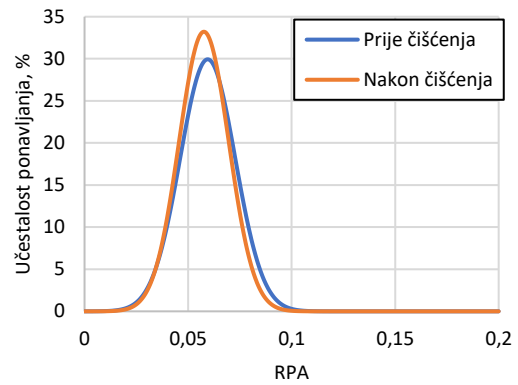


Slika 24. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG7603GH

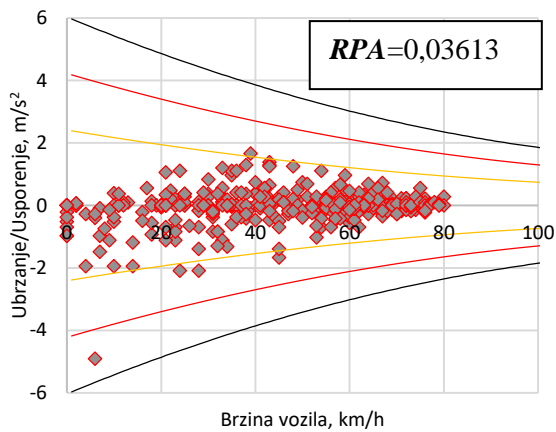
## B.5. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG2539EK



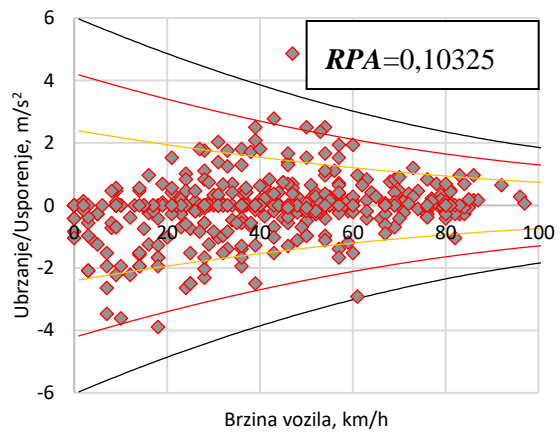
Slika 25. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG2539EK



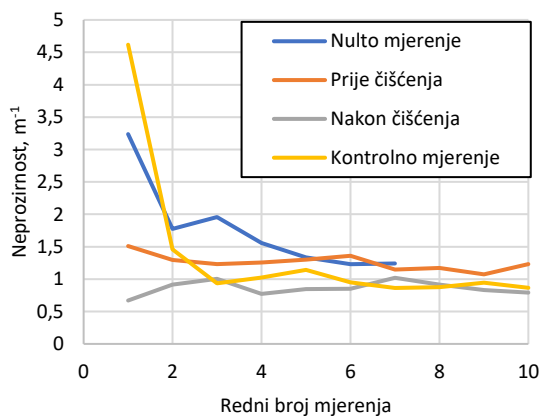
Slika 26. Ocjena stila vožnje vozila ZG2539EK



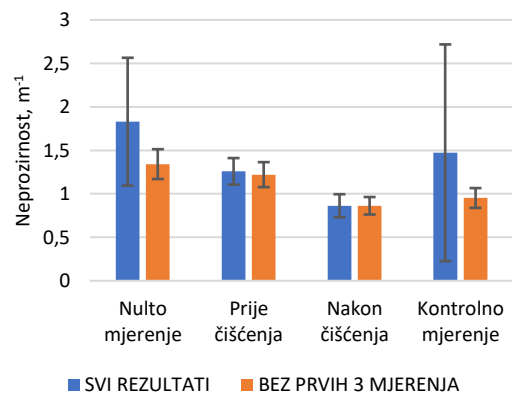
Slika 27. Najblaža vožnja vozila ZG2539EK



Slika 28. Najagresivnija vožnja vozila ZG2539EK

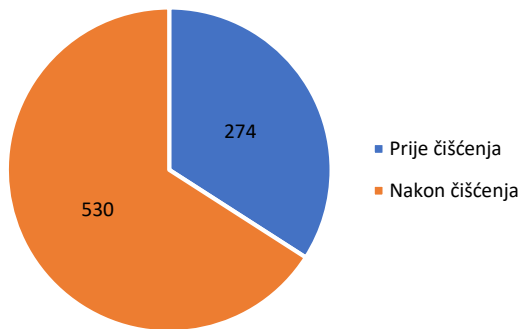


Slika 29 Rezultati EKO testa vozila ZG2539EK

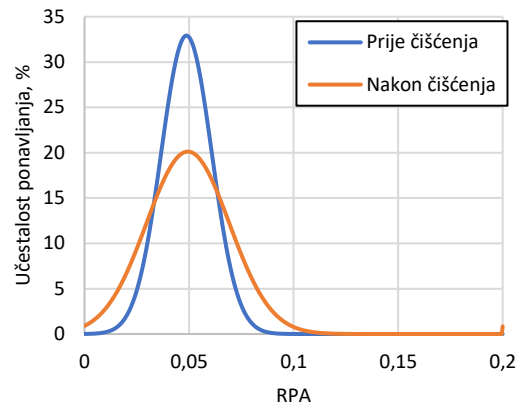


Slika 30. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG2539EK

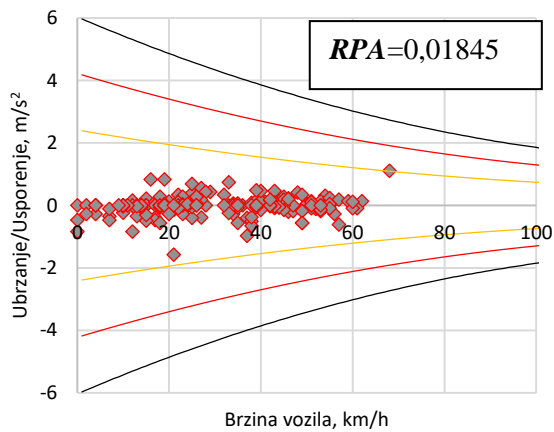
## B.6. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG1544H



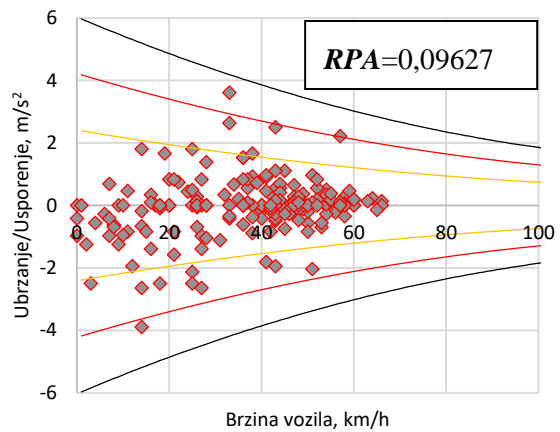
Slika 31. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG1544H



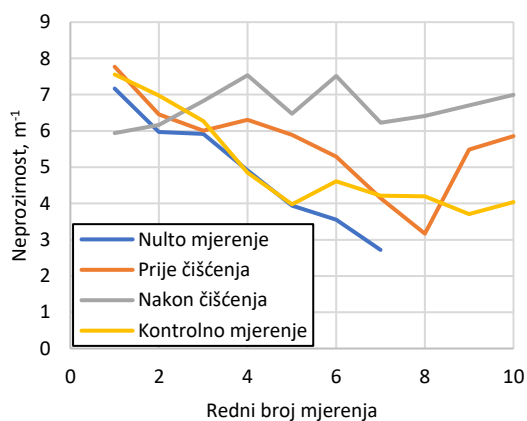
Slika 32. Ocjena stila vožnje vozila ZG1544H



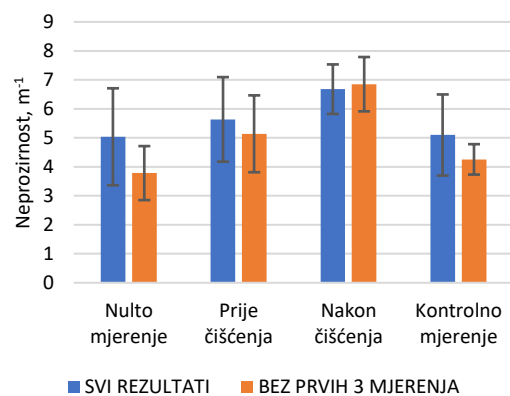
Slika 33. Najblaža vožnja vozila ZG1544H



Slika 34. Najagresivnija vožnja vozila ZG1544H



Slika 35 Rezultati EKO testa vozila ZG1544H

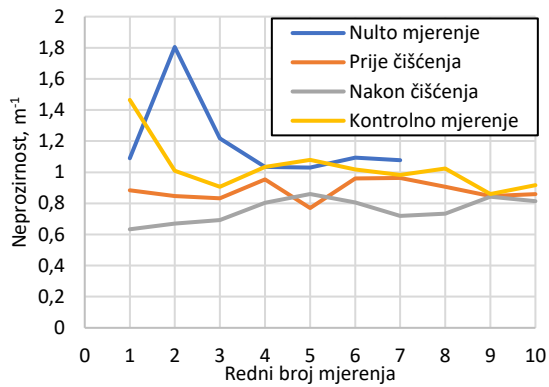


Slika 36. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG1544H

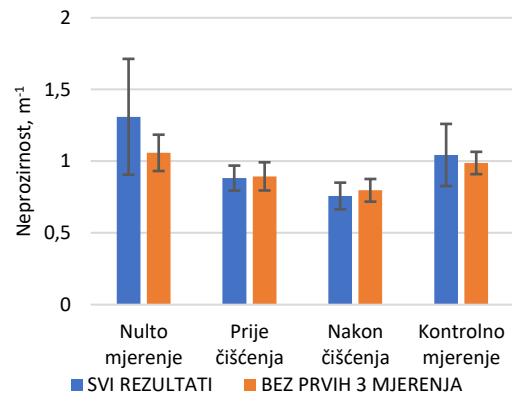


**PRILOG B**  
**Rezultati za vozila s Diesellovim motorom**  
**bez provedene analize vožnje**

### D.1. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG2538EK

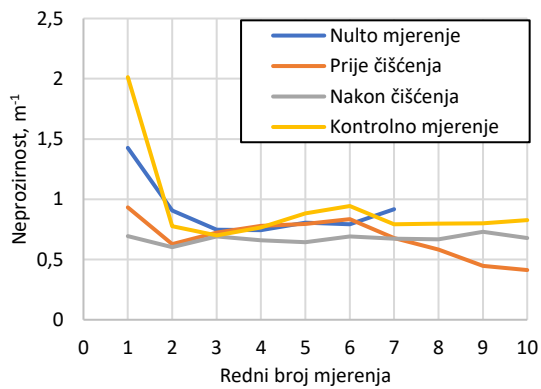


Slika 37. Rezultati EKO testa vozila ZG2538EK

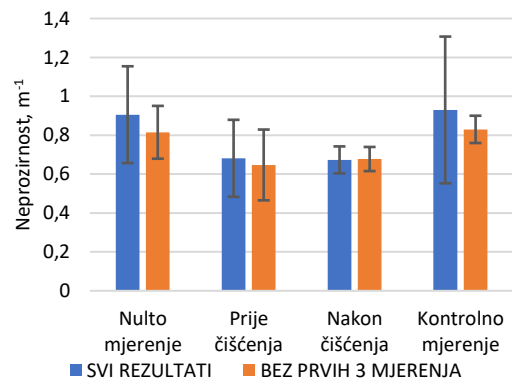


Slika 38. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG2538EK

### D.2. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG2612AM

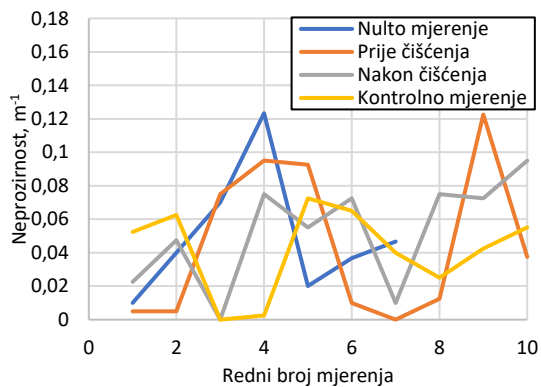


Slika 39. Rezultati EKO testa vozila ZG2612AM

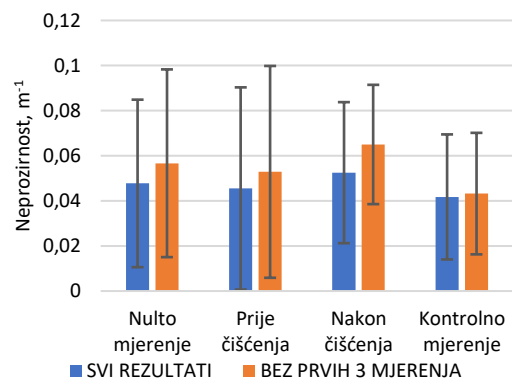


Slika 40. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG2612AM

### D.3. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG8465GS

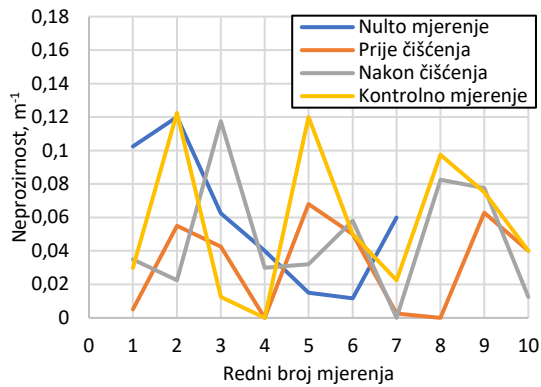


Slika 41. Rezultati EKO testa vozila ZG8465GS

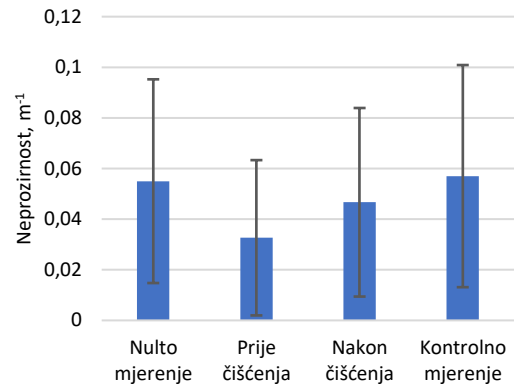


Slika 42. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG8465GS

#### D.4. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG7589GH

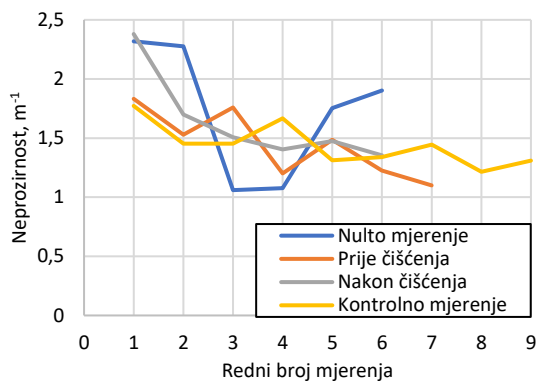


Slika 43. Rezultati EKO testa vozila ZG7589GH

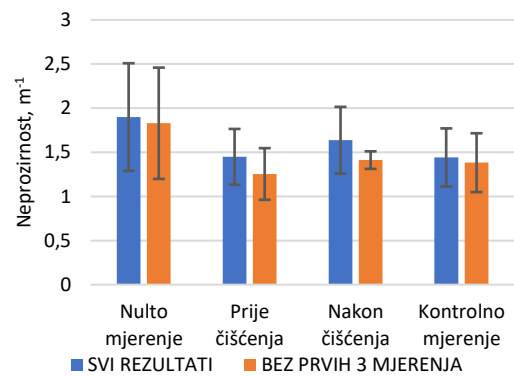


Slika 44. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG7589GH

#### D.5. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG7300GR

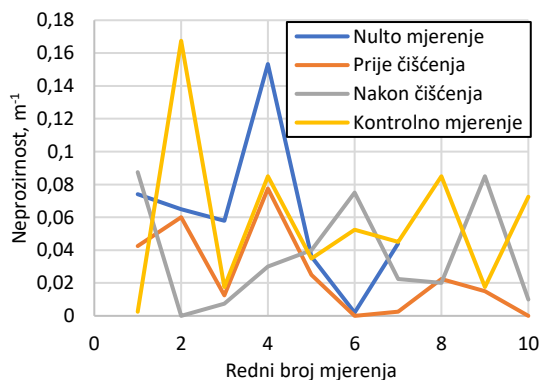


Slika 45. Rezultati EKO testa vozila ZG7300GR

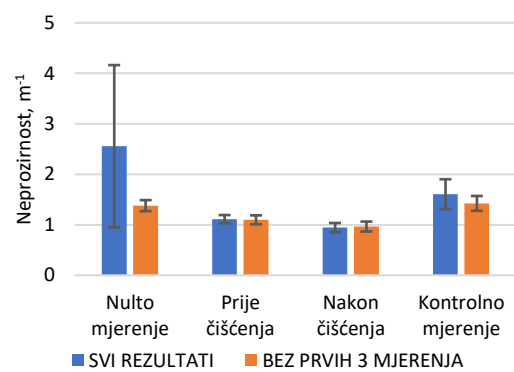


Slika 46. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG7300GR

#### D.6. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG7618GH



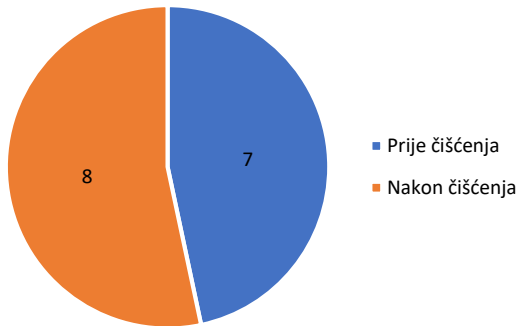
Slika 47. Rezultati EKO testa vozila ZG7618GH



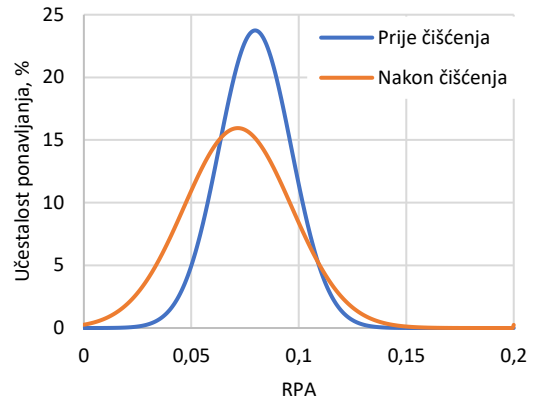
Slika 48. Prosječni rezultat EKO testa vozila ZG7618GH

**PRILOG C**  
**Rezultati za vozila s Ottovim motorom i**  
**provedenom analizom vožnji**

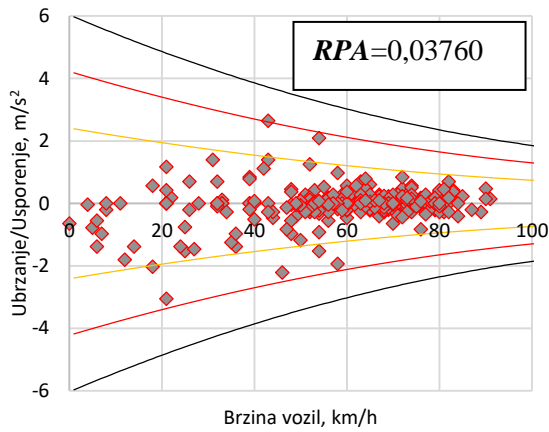
## F.1. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG1498H



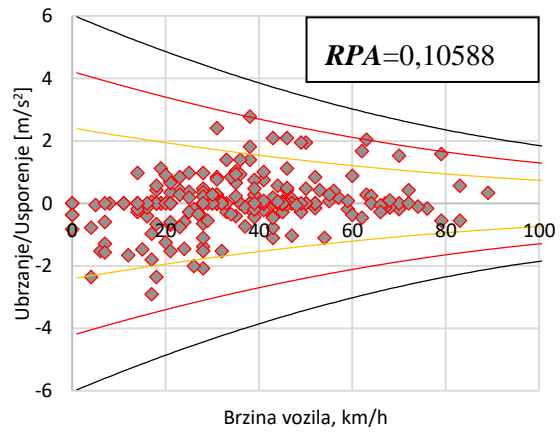
Slika 49. Broj analiziranih vožnji vozila ZG1498H



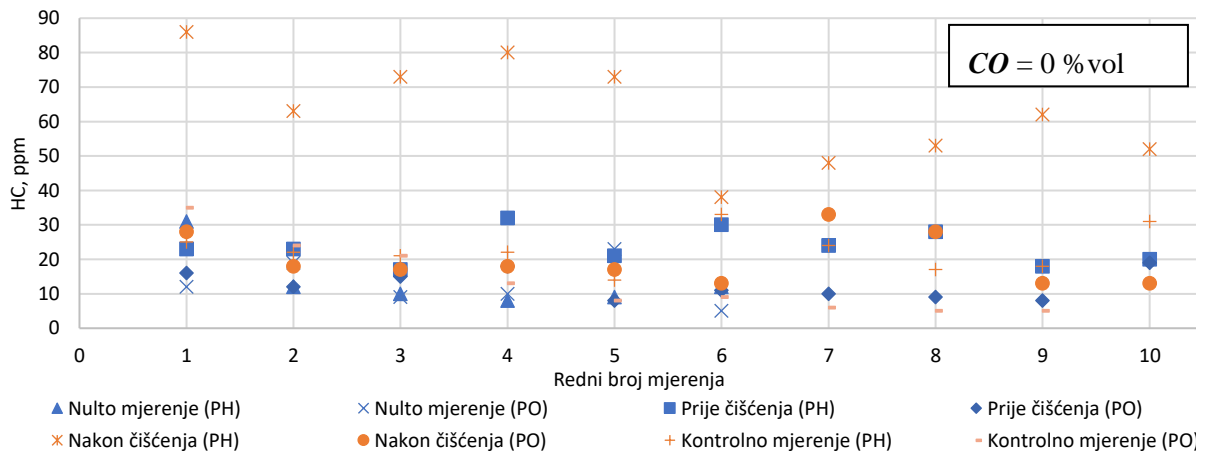
Slika 50. Ocjena stila vožnje vozila ZG1498H



Slika 51. Najblaža vožnja vozila ZG1498H

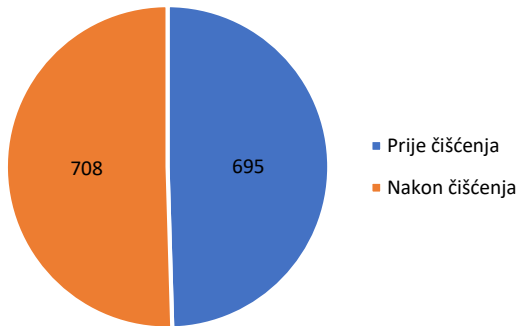


Slika 52. Najagresivnija vožnja vozila ZG1498H

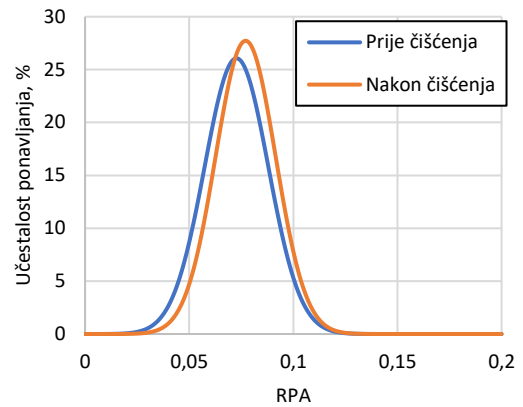


Slika 53 Rezultati EKO testa za vozilo ZG1498H

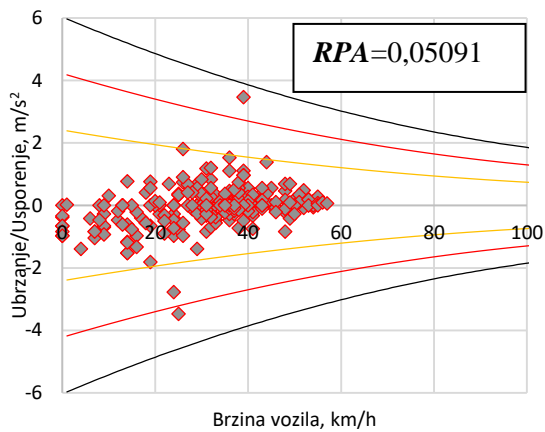
## F.2. Skupni pregled rezultata za vozilo ZG3419AB



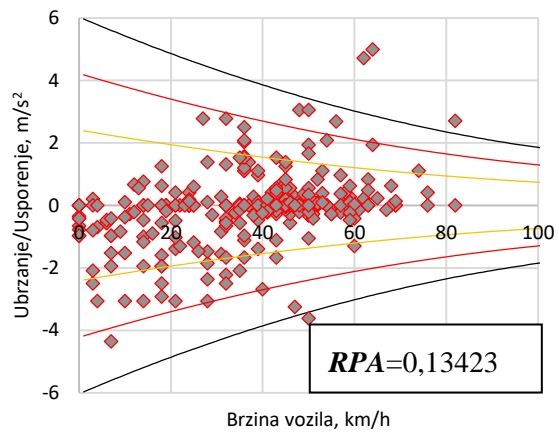
Slika 54. Prijedeni kilometri analiziranih vožnji vozila ZG3419AB



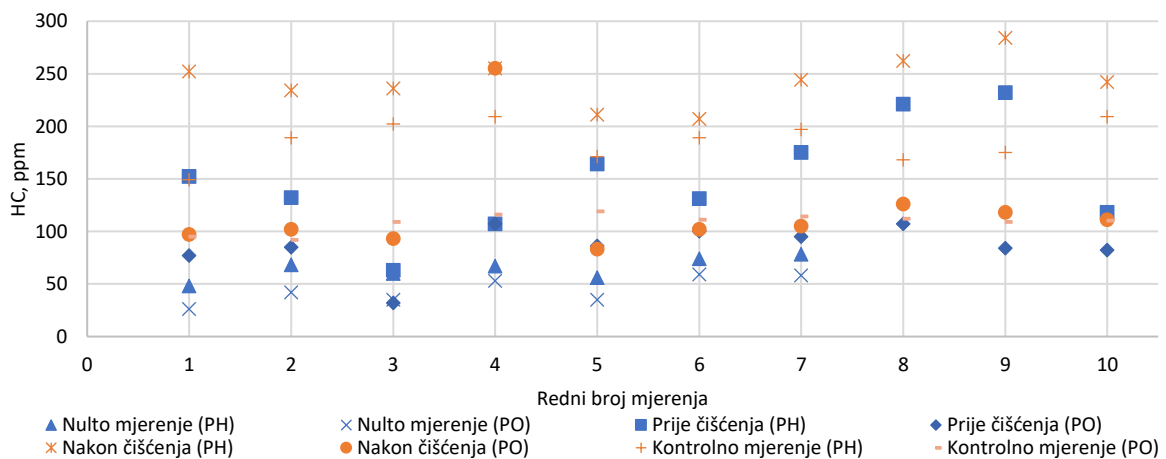
Slika 55. Ocjena stila vožnje vozila ZG3419AB



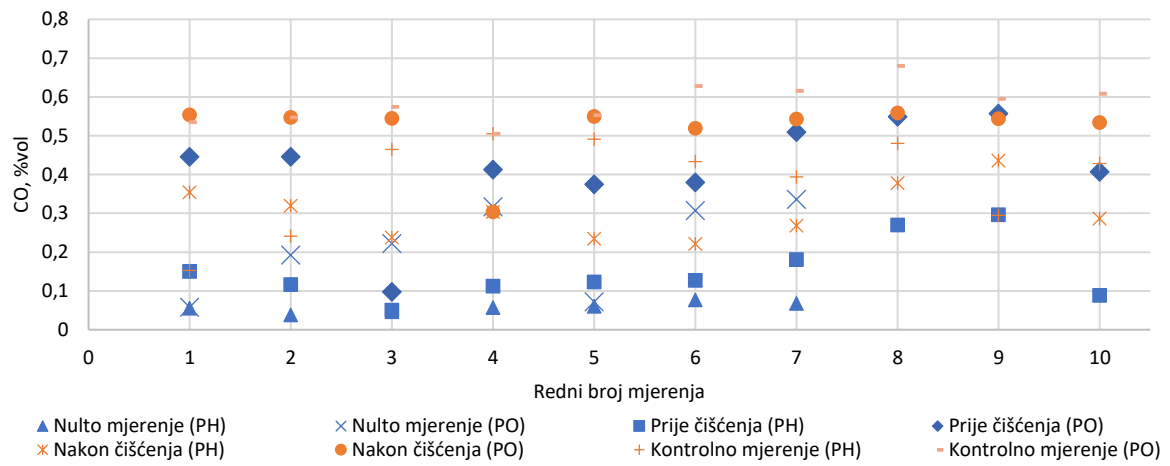
Slika 56. Najblaža vožnja vozila ZG3419AB



Slika 57. Najagresivnija vožnja vozila ZG3419AB



Slika 58 Rezultati EKO testa za vozilo ZG3419AB

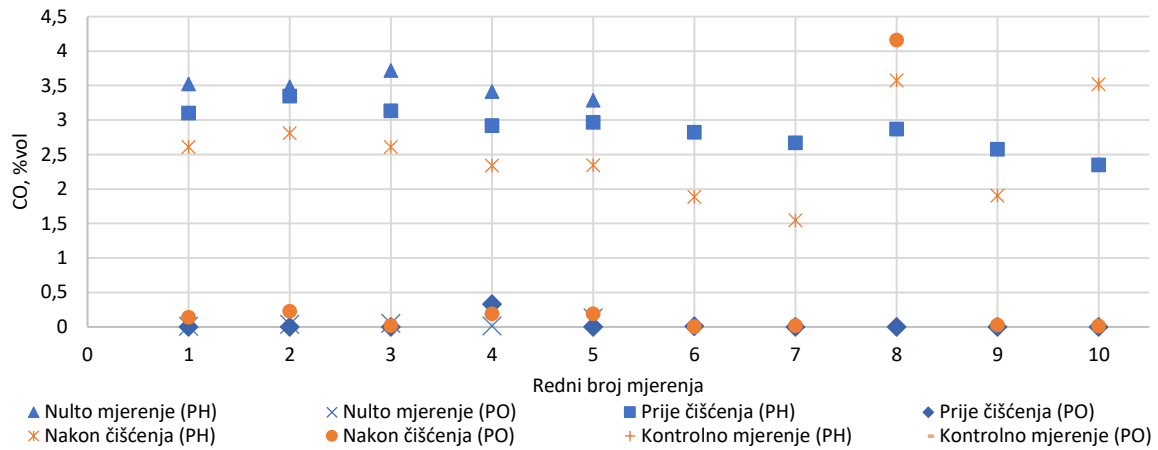


Slika 59. Rezultati EKO testa za vozilo ZG3419AB

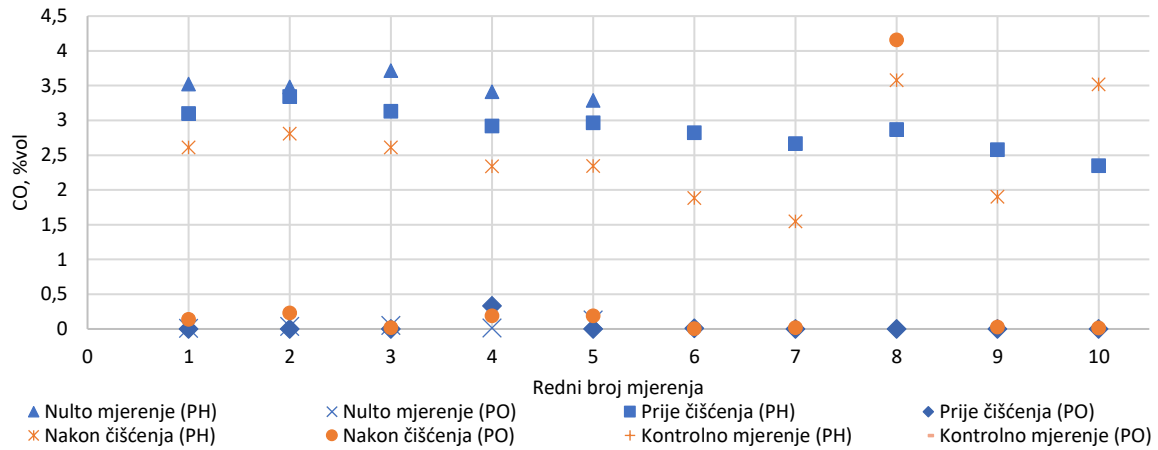
**PRILOG D**  
**Rezultati za vozila s Ottovim motorom bez**  
**provedene analize vožnje**



## H.1. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG1497H

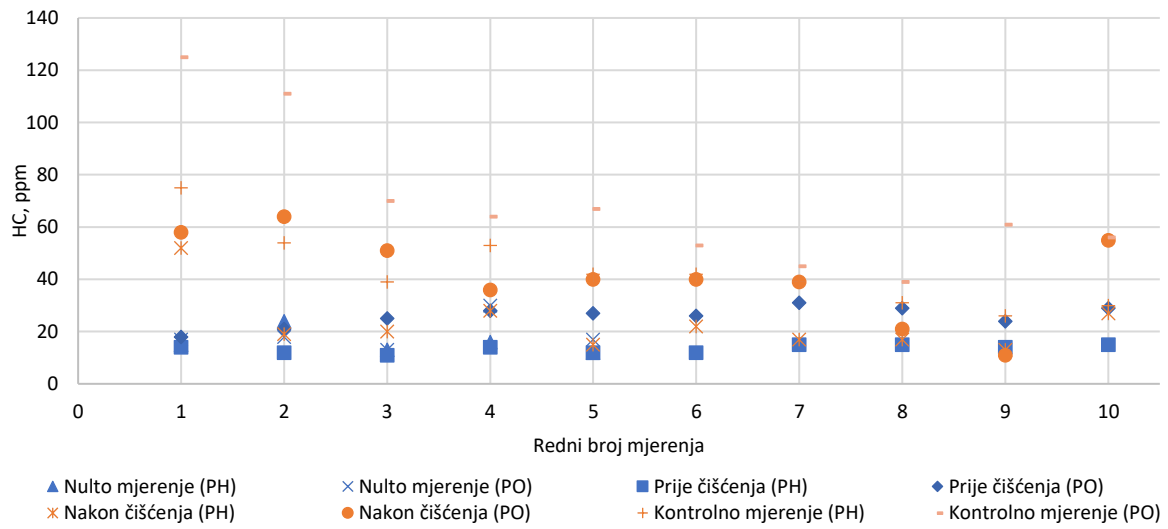


Slika 60. Rezultati EKO testa za vozilo ZG1497H

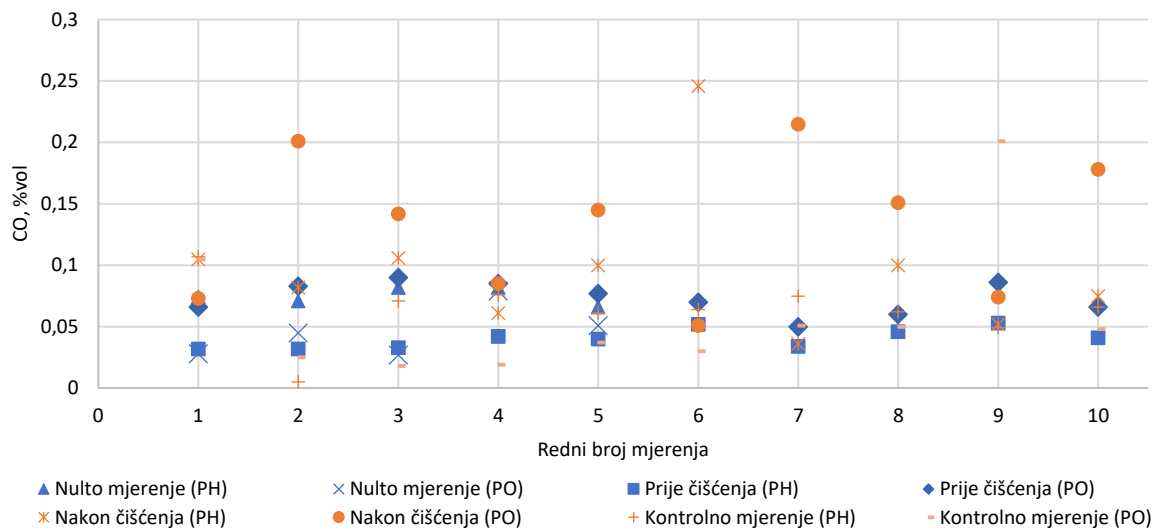


Slika 61. Rezultati EKO testa za vozilo ZG1497H

## H.2. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG3619AA

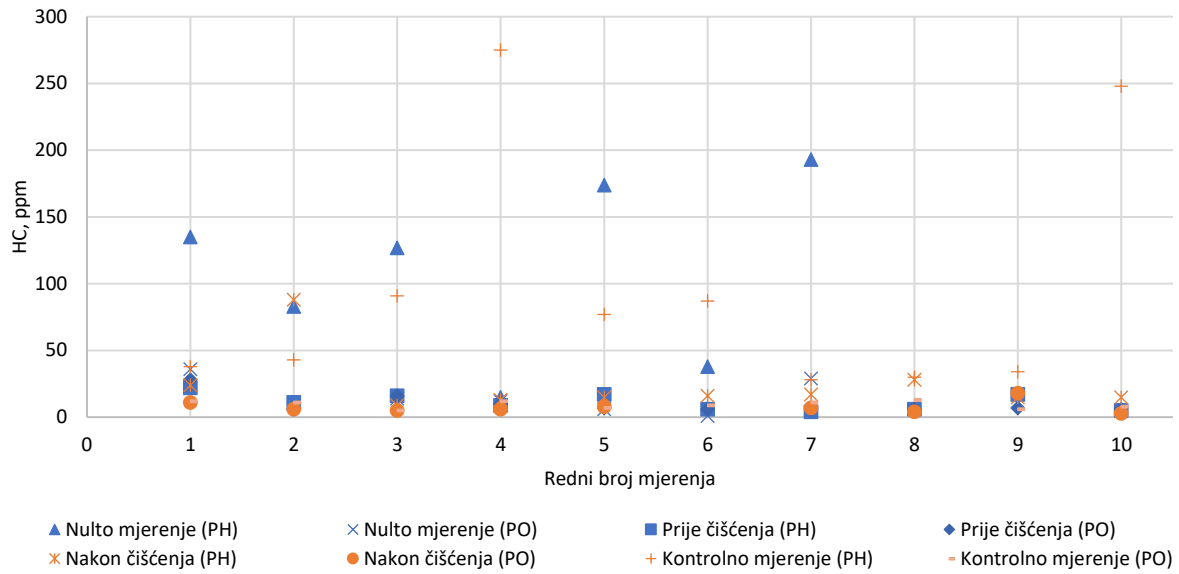


Slika 62. Rezultati EKO testa za vozilo ZG3619AA

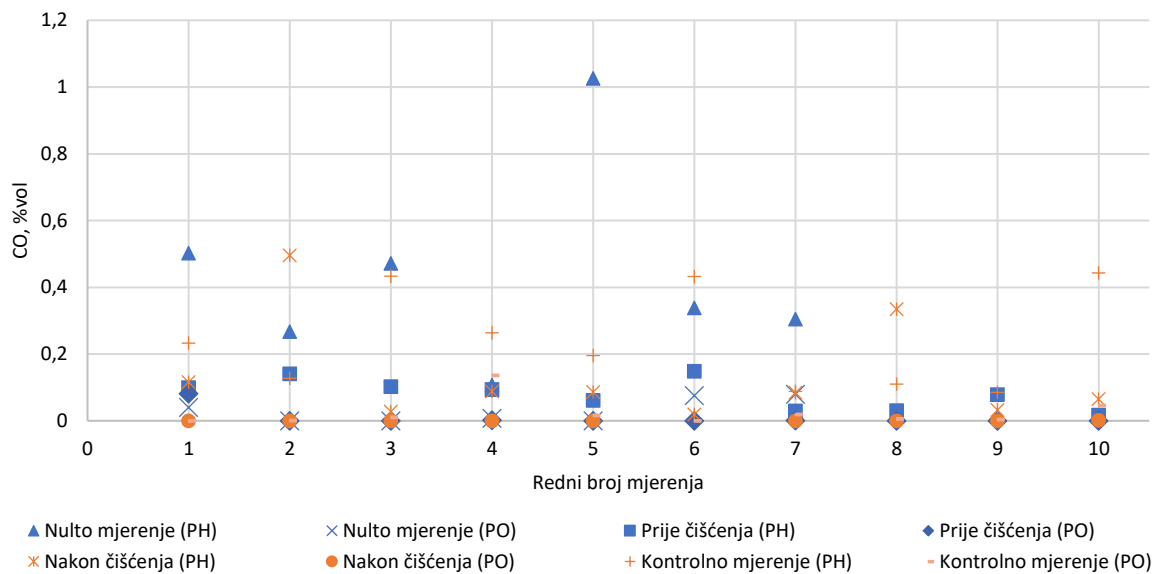


Slika 63. Rezultati EKO testa za vozilo ZG3619AA

### H.3. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG7353Z

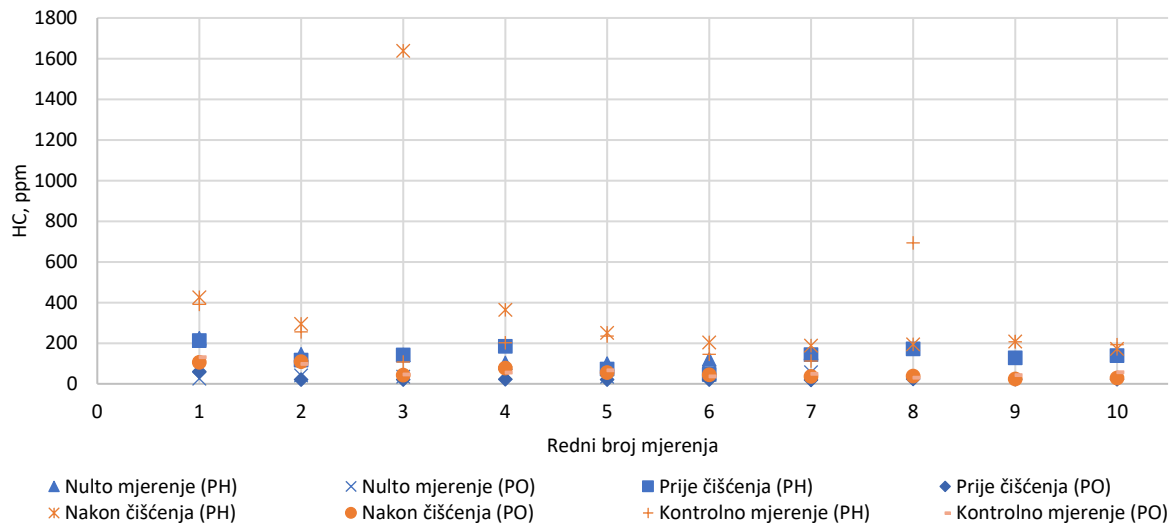


Slika 64. Rezultati EKO testa za vozilo ZG7353Z

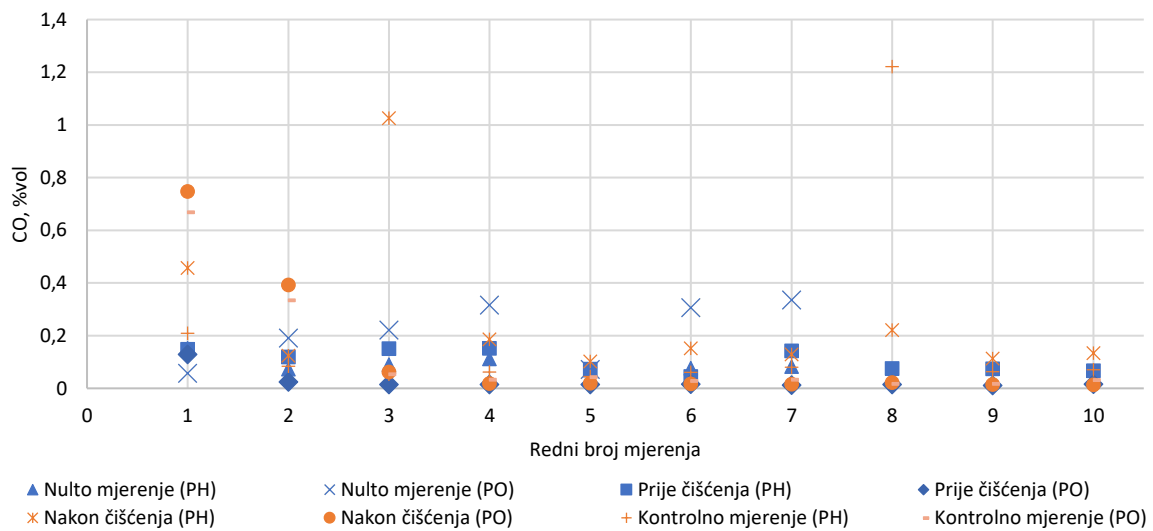


Slika 65. Rezultati EKO testa za vozilo ZG7353Z

#### H.4. Pregled rezultata EKO testa za vozilo ZG7354Z



Slika 66. Rezultati EKO testa za vozilo ZG735Z



Slika 67. Rezultati EKO testa za vozilo ZG7354Z