Definiranje rute za određivanje emisija štetnih tvari vozila u stvarnim uvjetima vožnje

Bobetić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:235:115135

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Bobetić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Student:

Doc. dr. sc. Goran Šagi, dipl. ing. Marko Bobetić

Zagreb, 2018.

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

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Goranu Šagiju na pomoći i korisnim savjetima tijekom izrade ovog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom studiranja.

Marko Bobetić

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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Bobetić** Mat. br.: 0035187642

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Definiranje rute za određivanje emisija štetnih tvari vozila u stvarnim uvjetima vožnje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Route definition for determination of vehicle emissions under real driving conditions**

Opis zadatka:

Od rujna 2017. godine prema zahtjevima Uredbe Komisije (EU) 2017/1151, emisije štetnih tvari, emisija CO_2 i potrošnja goriva osobnih vozila određuju se prema WLTC (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle*) ispitnom ciklusu, koji se provodi u laboratorijskim uvjetima. Osim toga, s ciljem smanjenja nesrazmjera emisija i potrošnje određenih u laboratorijskim i stvarnim uvjetima, provodi se i određivanje emisija i potrošnje vožnjom u stvarnim uvjetima vožnje RDE (*Real Driving Emissions*). Značajnu poteškoću pri tome predstavlja definiranje rute kojom je prilikom ispitivanja potrebno voziti. Cilj ovog rada je definiranje odgovarajuće rute na području grada Zagreba.

U okviru diplomskog rada potrebno je:

- Ukratko opisati način odredivanja emisija u stvarnim uvjetima vožnje (na koja vozila se primjenjuje, s kojom mjernom opremom se provodi, koji je cilj odredivanja emisija u stvarnim uvjetima vožnje).
- Prikazati primjere (iz literature) definiranja rute za određivanja emisija u stvarnim uvjetima vožnje.
- Prikazati zahtjeve Uredbe Komisije (EU) 2017/1151 koji se postavljaju na rutu.
- Napraviti pregled podataka koje je potrebno snimiti prilikom vožnje rutom te odrediti na koji način i kojom opremom će se prikupljati podaci prilikom vožnje.
- Na temelju zahtjeva Uredbe Komisije (EU) 2017/1151 izraditi alat za provjeru ispravnosti rute.
- Predložiti nekoliko mogućih ruta (s početkom rute u Zagrebu).
- Snimiti predložene rute, analizirati snimljene podatke i provjeriti ispravnost rute izrađenim alatom.
- Donijeti zaključke i preporuke za definiranje rute za određivanja emisija u stvarnim uvjetima vožnje

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
3. svibnja 2018.	5. srpnja 2018.	11., 12. i 13. srpnja 2018.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Goran Šagi

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS KRATICA VI
POPIS OZNAKA VII
SAŽETAK X
SUMMARY XI
1. UVOD 1
2. PRAVILNICI I UREDBE 5
2.1. Uredba (EZ) 715/2007 6
2.2. Uredba Komisije (EU) 2017/1151 7
3. ISPITNI CIKLUS RDE 9
3.1. Postupak ispitivanja emisija prijenosnim sustavom za mjerenje emisija PEMS 9
3.1.1. Ugradnja sustava PEMS 10
3.1.2. Provjera i umjeravanje sustava PEMS 10
3.1.3. Uzorkovanje emisija 11
3.2. Ispitni parametri 12
3.3. Uvjeti rute i okoline 15
3.4. Matematički model za provjeru ispravnosti rute 18
3.4.1. Parametri vožnje 22
3.5. Utvrđivanje emisija 22
3.5.1. Korekcija parametara po vremenu 23
3.5.1.1. Korekcija masenog protoka ispušnih plinova po vremenu 23
3.6. Vremensko usklađivanje podataka o vozilu 23
3.6.1. Mjerenje emisija u posebnim uvjetima 24
3.6.1.1. Hladni start 24
3.6.1.2. Ugašen (zaustavljen) motor 24
3.7. Korekcija emisija 24
3.7.1. Korekcija iz suhih u vlažne uvjete 24
3.8. Određivanje masenog protoka ispušnih plinova 25
3.8.1. Metoda izračuna pomoću masenog protoka zraka i masenog protoka goriva 25
3.8.2. Metoda izračuna pomoću masenog protoka zraka i omjera zraka i goriva 26
3.8.3. Metoda izračuna pomoću masenog protoka goriva i omjera zraka i goriva 27
3.9. Izračun masenih emisija komponenti ispušnih plinova 27
3.10. Verifikacija dinamičkih uvjeta vožnje i izračun konačnog rezultata RDE 28
3.10.1. „Metoda pomičnog prozora“ 28
3.10.1.1. Definicija prozora za izračun srednje vrijednosti 29
3.10.1.2. Ocjenjivanje prozora 31
3.11. Matematički model za provjeru ukupne dinamičnosti vožnje 31
3.11.1. Izračun udaljenosti, ubrzanja i v·a 32
3.11.2. Verifikacija valjanosti vožnje 34

3.12. Određivanje ukupnog pozitivnog uspona ... 36
3.12.1. Izračun ukupnog pozitivnog uspona ... 36
3.12.1.1. Pregled i načelna verifikacija kvalitete podataka ... 36
3.12.1.2. Korekcija trenutačnih podataka o nadmorskoj visini vozila ... 37
3.12.1.3. Izračun ukupnog pozitivnog uspona ... 38
4. ISPITNE RUTE ... 42
4.1. Primjer ispitivanja emisija u realnim uvjetima vožnje ... 42
4.1.1. Ispitivanje rute Aristotle University of Thessaloniki ... 42
4.1.2. Ispitivanje rute TUV Nord Essen ... 44
4.2. Prijedlog ruta za Republiku Hrvatsku ... 45
4.2.1. Ruta 1 – Zagreb – Komin – Zagreb ... 46
4.2.2. Ruta 2 - Zagreb – Zabok – Zagreb ... 51
4.2.3. Ruta 3 Zagreb - Jaska – Zagreb ... 57
4.3. Analiza rezultata ... 62
5. ZAKLJUČAK ... 64
LITERATURA ... 65
PRILOZI ... 67

POPIS SLIKA

Slika 1. Europski standardi vezani uz reguliranje emisija ispušnih plinova [2] 2
Slika 2. Usporedba profila brzine kod NEDC i WLTC postupka ispitivanja [2] 3
Slika 3. Područje rada motora kod NEDC ispitnog postupka [5] 4
Slika 4. Područje rada motora kod WLTC ispitnog postupka [5] 4
Slika 5. Područje rada motora kod RDE ispitnog postupka [5] 4
Slika 6. Vozilo s ugrađenim sustavom PEMS 10
Slika 7. Ispitni parametri i izvori prikupljanja parametara [13] 12
Slika 8. Umjereni i prošireni uvjeti nadmorske visine i temperature [13] 15
Slika 9. Brzina vozila ovisna o vremenu, prosječne emisije vozila ovisno o vremenu 30
Slika 10. Definicija mase CO_2 na temelju prozora za izračun srednje vrijednosti 30
Slika 11. Provjera broja uzoraka vožnje po skupinama s ubrzanjem većim od 0,1 m/s^2 33
Slika 12. Izračun prosječne brzine po skupinama u programu MS Excel 34
Slika 13. Izračun 95. percentila vrijednosti $v \cdot a_{pos}$ po skupinama u programu MS Excel 34
Slika 14. Verifikacija rute u programu MS Excel 36
Slika 15. Izglađivanje interpoliranog signala nadmorske visine 39
Slika 16. Usporedba korigiranog i interpoliranog profila nadmorske visine [9] 41
Slika 17. Izglađivanje interpoliranog profila nadmorske visine [9] 41
Slika 18. Prikaz RDE rute – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (plavo), vožnja autocestom (zeleno) 42
Slika 19. Prikaz RDE rute TUV Nord Essen 44
Slika 20. Prikaz promjene nadmorske visine RDE rute TUV Nord Essen 45
Slika 21. Prikaz RDE rute 1 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo) 46
Slika 22. Prikaz RDE rute 1 – gradska vožnja (crveno) 47
Slika 23. Prikaz RDE rute 1 – izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo) 47
Slika 24. Nadmorska visina RDE rute 1 48
Slika 25. Profil brzine rute 1 49
Slika 26. Rezultati verifikacije $(v \cdot a_{pos})_{i,k}$[95], RPA i nadmorske visine 50
Slika 27. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja 50
Slika 28. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje 51
Slika 29. Prikaz RDE rute 2 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo) 52
Slika 30. Prikaz RDE rute 2 – gradska vožnja (crveno) 53
Slika 31. Prikaz RDE rute 2 – izvangradska vožnja (zeleno) 53
Slika 32. Prikaz RDE rute 2 – vožnja autocestom (plavo) 54
Slika 33. Nadmorska visina RDE rute 2 54
Slika 34. Profil brzine rute 2 56
Slika 35. Rezultati verifikacije $(v \cdot a_{pos})_{i,k}$[95], RPA i nadmorske visine rute 2 56
Slika 36. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 2 56
Slika 37. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 2 57
Slika 38. Prikaz RDE rute 3 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo) 58
Slika 39. Prikaz RDE rute 3 – gradska vožnja (crveno) 58
Slika 40. Prikaz RDE rute 3 – izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo) 59

Slika 41. Nadmorska visina RDE rute 3 59
Slika 42. Profil brzine rute 3 60
Slika 43. Rezultati verifikacije $(v \cdot a_{pos})_{i,k}$[95], RPA i nadmorske visine rute 3 61
Slika 44. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 3 61
Slika 45. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 3 61
Slika 46. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 3 62
Slika 47. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 3 62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kategorije vozila [10] ... 8
Tablica 2. Dopušteni pomak nultog odziva i pomak odziva odstupanja analizatora za mjerenje plinovitih komponenti u laboratorijskim uvjetima [3] ... 11
Tablica 3. Zahtjevi točnosti za parametre mjerenja ... 13
Tablica 4. Ispitni parametri ... 14
Tablica 5. Uvjeti rute ... 17
Tablica 6. Uvjeti okoline ... 18
Tablica 7. Faktor sukladnosti CF_{gas} ... 19
Tablica 8. Granične vrijednosti emisije Euro 6 [8] ... 20
Tablica 9. Faktor sukladnosti CF_{gas} ... 21
Tablica 10. Vrijednosti nerazrijeđenog ispušnog plina u koje odražavaju omjer gustoća komponente ispuha ili onečišćujuće tvari i [kg/m^3] i gustoće ispušnog plina [kg/m^3] ... 28
Tablica 11. Rezultati ispitivanja ... 43
Tablica 12. Rezultati ispitivanja ... 45
Tablica 13. Podaci ispitivanja RDE rute 1 ... 49
Tablica 14. Podaci ispitivanja RDE rute 2 ... 55
Tablica 15. Podaci ispitivanja RDE rute 3 ... 60

POPIS KRATICA

Kratica	**Opis**
DPF	Filter krutih čestica (engl. *Diesel Particulate Filter*)
ECE	Ekonomska komisija za Europu (engl. *Economic Commission for Europe*)
ECU	Upravljačka jedinica motora (engl. *Electronic control unit*)
EEC	Europska ekonomska zajednica (engl. *European Economic Community*)
EGR	Recirkulacija ispušnih plinova (engl. *Exhaust Gas Recirculation*)
EU	Europska Unija
EZ	Europska Zajednica
LNT	*Lean* NO_x *Trap*
NEDC	Novi europski vozni ciklus (engl. *New European Driving Cycle*)
NTE	Granična vrijednost (engl. *Not to exceed*)
OBD	*On-Board diagnostics*
PHEV	Hibridno električno vozilo s punjenjem iz vanjskog izvora
PEMS	Prijenosni sustav za mjerenje emisija (engl. *Portable emission measuring systems*)
RDE	Emisije tijekom stvarne vožnje (engl. *Real driving emissions*)
SCR	Selektivna katalitička redukcija (engl. *Selective catalytic reduction*)
TCMV	Tehnička komisija za motorna vozila (engl. *Technical Committee of Motor Vehicles*)
UN	Ujedinjeni narodi (engl. *United Nations*)
WLTC	Globalno usklađeni ispitni ciklus za laka vozila (engl. *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Cycle*)

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
α	-	Molarni omjer ugljikovodika (H/C)
β	-	Molarni omjer ugljika (C/C)
γ	-	Molarni omjer sumpora (S/C)
δ	-	Molarni omjer dušika (N/C)
Δ	-	Razlika
$\Delta t_{t,m}$	s	Vrijeme pretvorbe t mjerača masenog protoka ispušnih plinova
ε	-	Molarni omjer kisika (O/C)
λ_i	-	Trenutačan omjer viška zraka
a	m/s^2	Ubrzanje
a_i	m/s^2	Ubrzanje u vremenskom koraku *i*
a_{pos}	m/s^2	Pozitivno ubrzanje više od 0,1 m/s^2
$a_{pos,i,k}$	m/s^2	Pozitivno ubrzanje više od 0,1 m/s^2 u vremenskom koraku *i* uzimajući u obzir dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
$a_{res.}$	m/s^2	Rezolucija ubrzanja
c_{CO}	%	Suha koncentracija CO
c_{CO_2}	%	Suha koncentracija CO_2
c_{HC_W}	ppm	Vlažna koncentracija HC-a
c_{dry}	ppm	Suha koncentracija onečišćujuće tvari
$c_{gas,i}$	ppm	Izmjerena koncentracija plinovite komponente u ispušnom plinu
c_{wet}	ppm	Vlažna koncentracija onečišćujuće tvari
CF_{gas}	-	Faktor sukladnosti
d_0	m	Ukupna udaljenost prijeđena do mjerenja neposredno ispred odgovarajuće točke puta *d*
d_1	m	Ukupna udaljenost prijeđena do mjerenja neposredno iza odgovarajuće točke puta *d*
d_e	m	Ukupna prijeđena udaljenost do zadnje izdvojene točke puta
d_i	m	Udaljenost prijeđena u vremenskom koraku *i*
$d_{i,k}$	m	Udaljenost prijeđena u vremenskom koraku *i* uzimajući u obzir dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
$h(t)$	m	Nadmorska visina vozila nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka na podatkovnoj točki *t*
$h(t-1)$	m	Nadmorska visina vozila nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka na podatkovnoj točki *t* – 1

H_a	g/kg	Vlažnost ulaznog zraka
$h_{corr}(t)$	m	Korigirana trenutačna nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t*
$h_{corr}(t-1)$	m	Korigirana trenutačna nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t* – 1
$h_{GPS}(t)$	m	Nadmorska visina vozila izmjerena GPS-om na podatkovnoj točki *t*
$h_{int}(d)$	m	Interpolirana nadmorska visina vozila na razmatranoj izdvojenoj zasebnoj točki puta *d*
$h_{map}(t)$	m	Nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t* na temelju topografske karte
k_w	-	Korekcijski faktor suho-vlažno
$M_{gas,d,u}$	g/km ili #/km	Emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za gradski dio vožnje
$M_{gas,d,t}$	g/km ili #/km	Emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za ukupnu vožnju
$m_{gas,i}$	g/s	Masa plinovite komponente u ispušnom plinu
M_k	-	Broj uzoraka za dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom s pozitivnim ubrzanjem višim od 0,1 m/s^2
M_u	g ili #	Masa ili broj čestica komponente ispušnih plinova za gradsku vožnju
M_t	g ili #	Masa ili broj čestica komponente ispušnih plinova za ukupnu vožnju
$M_{w,gas,d}$	g/km ili #/km	Emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za ukupnu vožnju s faktorom ponderiranja *w*
$M_{w,gas,d,u}$	g/km ili #/km	Emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za gradski dio vožnje s faktorom ponderiranja *w*
N_k	-	Ukupni broj uzoraka za dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom te cijele vožnje
N_t	-	Ukupan broj uzoraka
NTE_{gas}	g/km ili #/km	Granična vrijednost komponente ispušnih plinova
$q_{m,c}$	kg/s	Maseni protok ispušnih plinova, ispravljen po vremenu, kao funkcija vremena *t*
$q_{m,r}$	kg/s	Nerazrijeđeni maseni protok ispušnih plinova kao funkcija vremena *t*
$q_{maw,i}$	kg/s	Trenutačni maseni protok ulaznog zraka
$q_{mew,i}$	kg/s	Trenutačni maseni protok ispušnih plinova
$q_{mf,i}$	kg/s	Trenutačni maseni protok goriva
$road_{grade,2}(d)$	m/m	Izglađeni nagib ceste na razmatranoj izdvojenoj točki puta nakon drugog izglađivanja
RPA_k	m/s^2 ili kWs/(kg·km)	Relativno pozitivno ubrzanje tijekom dijelova gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
t_k	s	Trajanje dijelova gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom i cijele vožnje
v	km/h	Brzina vozila

v_i	km/h	Stvarna brzina vozila u vremenskom koraku *i*
$v_{i,k}$	km/h	Stvarna brzina vozila u vremenskom koraku *i* uzimajući u obzir dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
$(v \cdot a)_i$	m^2/s^3 ili W/kg	Umnožak stvarne brzine vozila i ubrzanja tijekom vremenskog koraka *i*
$(v \cdot a_{pos})_{j,k}$	m^2/s^3 ili W/kg	Umnožak stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja višeg od 0,1 m/s2 u vremenskom koraku *j* uzimajući u obzir dijelove gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom
$(v \cdot a_{pos})_{k_[95]}$	m^2/s^3 ili W/kg	95% umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja višeg od 0,1 m/s^2 za dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
$\overline{v_k}$	km/h	Prosječna brzina vozila za dijelove gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom
u_{gas}	-	Omjer gustoće plinovite komponente u ispušnom plinu i ukupne gustoće ispuha

SAŽETAK

Dozvoljene emisije štetnih tvari u ispušnim plinovima regulirane su *Euro* emisijskim razinama. Od rujna 2017. godine, prema zahtjevima Europske Komisije, ispitni postupci definirani su Uredbom 2017/1151. Kako bi se utvrdile emisije štetnih tvari potrebno je definirati postupak ispitivanja kako bi dobili što točnije rezultate. Emisije štetnih tvari, emisija CO_2 i potrošnja goriva osobnih vozila određuju se prema WLTC (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle*) ispitnom ciklusu koji se provodi u laboratorijskim uvjetima. Kako bi smanjili nesrazmjer emisija i potrošnje goriva određenih u laboratorijskim i stvarnim uvjetima, provodi se i određivanje emisija i potrošnje goriva vožnjom u stvarnim uvjetima vožnje RDE (*Real driving emissions*). Ispitivanje se provodi na točno definiranoj ruti kako bi se zadovoljili propisani uvjeti na rutu. Tema ovog rada je definiranje odgovarajuće rute na području grada Zagreba na kojoj bi se provodilo ispitivanje prijenosnim sustavom za mjerenje emisija PEMS (*Portable emission measuring systems*) i izrada alata kojim se ispituje ispravnost snimljene rute. U prvom dijelu rada opisani su uvjeti rute koje je potrebno zadovoljiti i način na koji se snimaju, prikupljaju i provjeravaju podaci vožnje. U drugom dijelu rada predloženo je nekoliko potencijalnih ruta i analiza dobivenih podataka rute u izrađenom alatu za analizu snimljenih podataka.

Ključne riječi: emisije štetnih tvari, definiranje rute, potrošnja goriva, WLTC, RDE, PEMS.

SUMMARY

Allowed vehicle emissions of exhaust gases are regulated by Euro emissions standards. Since September 2017, according to the requirements of the European Commission, test procedures have been defined by Regulation 2017/1151. For determination of vehicle emissions it is necessary to define the test procedure to obtain the real driving conditions. Vehicle emissions, CO_2 emissions and fuel consumption are determined according to the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC), a test procedure which is conducted under laboratory conditions. To reduce the disproportion between emissions and fuel consumption determined in laboratory and real conditions, it is necessary to determinate emissions and fuel consumption by driving in real driving conditions (RDE). Determination of vehicle emissions is conducted on precisely defined route. This thesis presents route definition on the Zagreb area for testing with Portable emission measurement systems (PEMS) and creating a data analysis tool. The first part of the thesis describes route requirements and how to record and analyze data. The second part of the thesis presents several potential routes and analysis of the obtained route data in the data analysis tool.

Keywords: vehicle emissions, route definition, fuel consumption, WLTC, RDE, PEMS.

1. UVOD

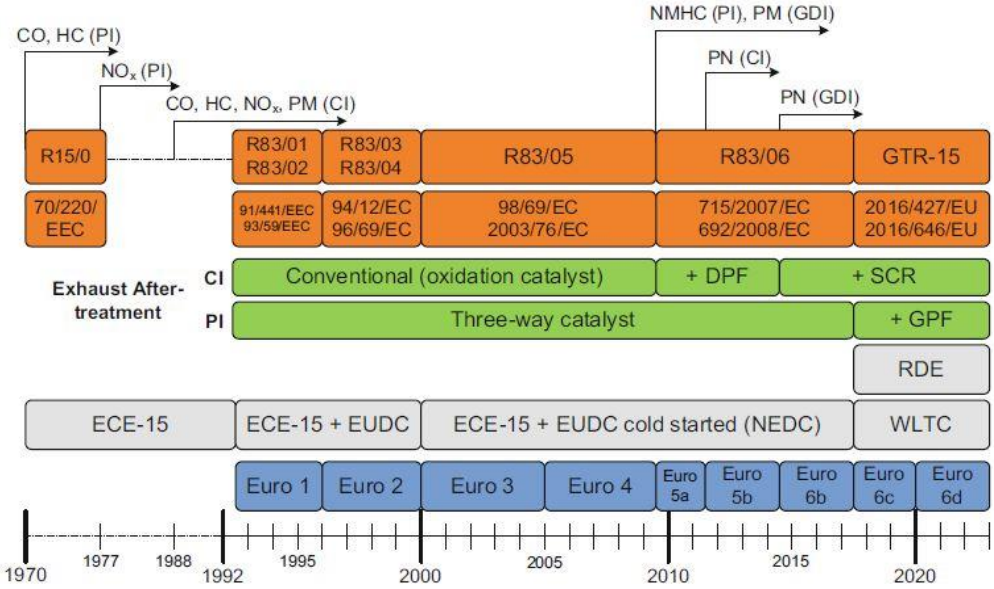
Trend porasta potražnje za automobilima i cestovnim načinom prijevoza prisutan je već godinama zbog porasta životnog standarda i sve više urbanog stanovništva. Broj vozila koja prometuju prometnicama raste iz godinu u godinu što dovodi do sve većeg štetnog utjecaja na okoliš kojeg uzrokuje emisija plinova nastalih izgaranjem u motoru.

Trend porasta potražnje za automobilima i ostalim cestovnim vozilima utjecao je na donošenje brojnih regulativa i pravilnika kako bi štetan utjecaj na okoliš bio što manji. Sekundarna namjera tih regulativa i pravilnika je poticanje automobilske industrije na daljnja istraživanja i razvoj u području procesa izgaranja u motoru, pročišćavanja ispušnih plinova, poboljšanja kvalitete goriva, smanjenju otpora vožnje i optimiranju rada motora i vozila u cjelini.

Izgaranjem goriva u motoru s unutarnjim izgaranjem nastaje preko sto različitih spojeva koji su na neki način štetni. U ispušnim plinovima, prema pravilnicima, ograničene su emisije ugljik-monoksida (CO), ugljikovodika (HC), dušikovih oksida (NO_X), krutih čestica (PM), nemetanskih ugljikovodika (NMHC) te neprozirnost ispušnih plinova odnosno zacrnjenje ispušnih plinova.

Goriva za motore cestovnih vozila sastoje se najvećim dijelom od ugljikovodika. Najveći udio u produktima izgaranja čini CO_2, staklenički plin bez direktnog štetnog djelovanja na ljudsko zdravlje, ali zbog velikog broja motornih vozila javlja se velika količina tog stakleničkog plina što ima za posljedicu globalno zatopljenje [1].

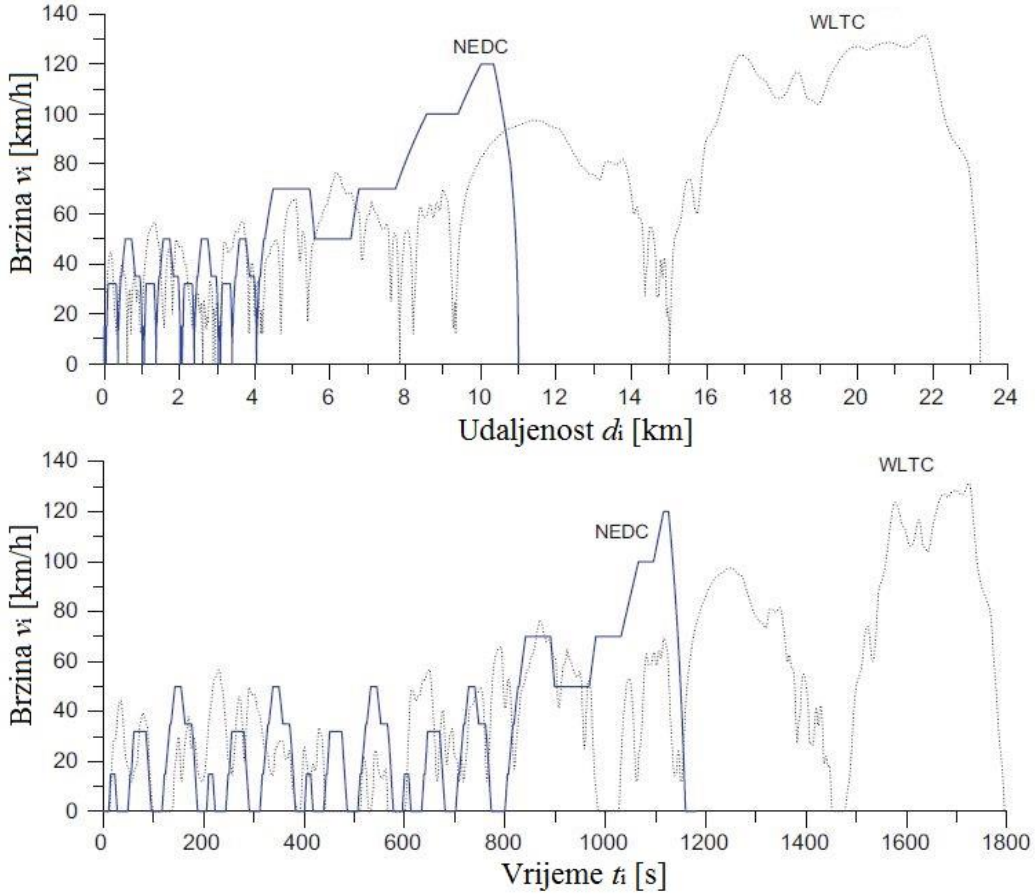
Spojevi koji nastaju kao produkt izgaranja u motoru s unutarnjim izgaranjem imaju štetan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Stoga je potrebno provoditi određene mjere kako bi se koncentracija tih spojeva smanjila na najmanju moguću mjeru. S ciljem dobivanja što točnijih rezultata, ispitivanja koja se provode moraju obuhvatiti što više utjecaja kojima su vozila izložena u stvarnim uvjetima vožnje. Na slici 1. prikazan je tijek razvoja pojedinih europskih standarda vezanih uz reguliranje emisija ispušnih plinova, reguliranih onečišćujućih tvari, ispitnih ciklusa, emisijskih razina i odgovarajućih smjernica tijekom godina [2].



Slika 1. Europski standardi vezani uz reguliranje emisija ispušnih plinova [2]

Laboratorijska ispitivanja slijede standardizirane i ponovljive postupke koji omogućuju međusobnu usporedbu emisija različitih modela automobila. Postoje mnoge činjenice koje utječu na emisije u realnim uvjetima vožnje što se ne može uzeti u obzir u laboratorijskim testovima. Budući da nema jedinstvene vrijednosti emisije u realnim uvjetima vožnje, samo vrijednosti dobivene standardiziranim laboratorijskim testovima koje omogućuju usporedbu emisija i potrošnje goriva različitih modela automobila od različitih proizvođača automobila. Detaljnom analizom postupaka, ispitivanja i zahtjeva za homologaciju Europska Komisija je na temelju vlastitih istraživanja i vanjskih informacija utvrdila da su emisije koje stvarno nastaju u cestovnom prometu vozila Euro 5 i Euro 6 znatno veće od emisija izmjerenih u Novom europskom voznom ciklusu NEDC (engl. *New European Driving Cycle*), osobito u pogledu emisija NO_x iz vozila s Dieselovim motorom. Zbog zastarjelosti NEDC ispitnog ciklusa, bitno drugačijih karakteristika suvremenih vozila i drugačije regulacije prometa razlike između deklariranih vrijednosti emisija i emisija koje se ostvaruju u stvarnim uvjetima postaju sve značajnije [3]. Europska Unija je od rujna 2017. uvela novo laboratorijsko ispitivanje, nazvano Globalno usklađeni ispitni ciklus za laka vozila WLTC (engl. *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Cycle*), koji osigurava da laboratorijska mjerenja bolje odražavaju emisije i performanse goriva automobila. Međutim, iako točniji, ni novi test ne obuhvaća sve uvjete vožnje u stvarnim uvjetima. Na dijagramima na slici 2. prikazana je usporedba profila brzine u ovisnosti o prijeđenoj udaljenosti i vremenu kod NEDC i WLTC postupka ispitivanja. Iz dijagrama je vidljivo da novi WLTC, u odnosu na NEDC, obuhvaća

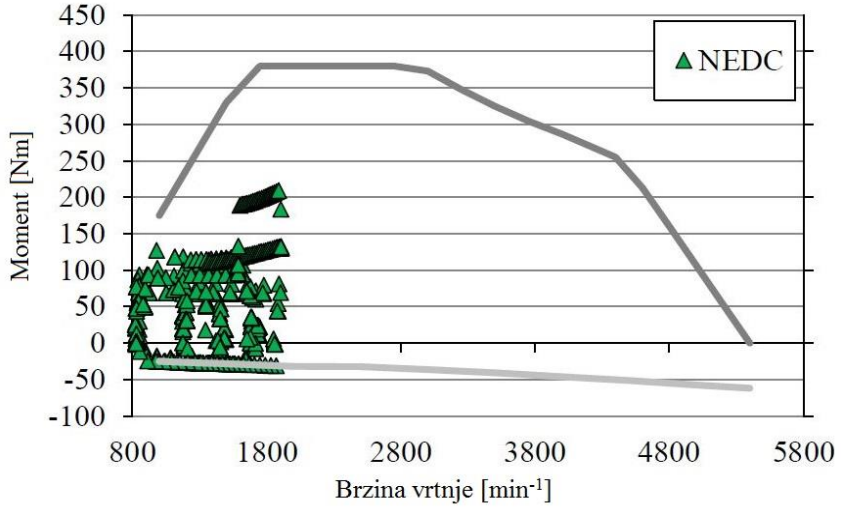
dinamičnija ubrzanja i usporavanja, veću prosječnu i maksimalnu brzinu, kraća zaustavljanja i veće udaljenosti ispitivanja [4].



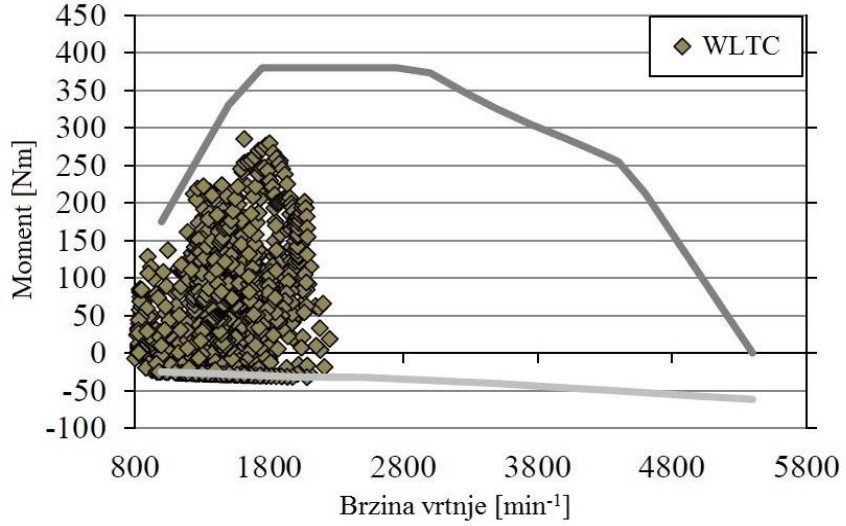
Slika 2. Usporedba profila brzine kod NEDC i WLTC postupka ispitivanja [2]

U standardiziranom laboratorijskom testu je nemoguće reproducirati sve uvjete koji se mogu susresti u vožnji u stvarnim uvjetima od strane svakog vozača. Iako je novi WLTP laboratorijski test mnogo točniji, i dalje će postojati razlika između emisija izmjerenih u laboratoriju i realnim uvjetima vožnje. Mjerenje onečišćujućih tvari u laboratoriju nadopunjuje se ispitivanjem emisija tijekom stvarne vožnje RDE (engl. Real driving emissions) prema točno definiranoj ruti što je detaljno opisano u ovom radu.

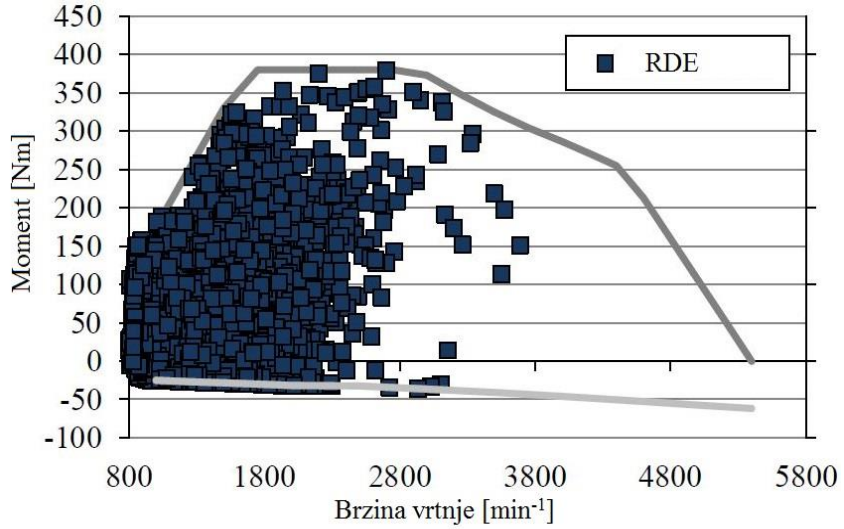
Na dijagramima na slikama 3., 4. i 5. prikazano je područje rada motora kod NEDC, WLTC i RDE postupka ispitivanja emisija. Vidljivo je da je veće i zahtjevnije opterećenje motora kod RDE ispitivanja u odnosu na ostale postupke, te je veće i zahtjevnije kod WLTC postupka u odnosu na zastarjeli NEDC postupak. Veće i zahtjevnije opterećenje je blisko realnim uvjetima vožnje [4].



Slika 3. Područje rada motora kod NEDC ispitnog postupka [5]



Slika 4. Područje rada motora kod WLTC ispitnog postupka [5]



Slika 5. Područje rada motora kod RDE ispitnog postupka [5]

2. PRAVILNICI I UREDBE

U Europi se homologacijski propisi propisuju pravilnicima Europske ekonomske zajednice ECE (engl. *Economic Commission for Europe*) dok na području Europske unije vrijede nešto strože smjernice Europske ekonomske zajednice EEC (engl. *European Economic Community*). ECE - pravilnici donose se na temelju Sporazuma u Genevi iz 1958. godine, koji je donesen pri Ekonomskoj komisiji za Europu (ECE) Ujedinjenih nacija (UN) [1].

Ciljevi utvrđeni ugovorima Europske Unije propisuju se različitim pravnim aktima kao što su uredbe i direktive. Neki se primjenjuju na sve države EU-a, dok se neki primjenjuju samo na nekoliko članica.

Uredba je obvezujući zakonodavni akt koji se mora u cijelosti primjenjivati u čitavoj Europskoj uniji dok je direktiva zakonodavni akt kojim se utvrđuje cilj koji sve države članice EU-a moraju ostvariti. Svaka država samostalno odlučuje o načinu na koji će ostvariti taj cilj [6].

Zahtjevi za emisije pri homologaciji motornih vozila postupno su postroženi uvođenjem normi za emisije Euro. Kod vozila su općenito znatno smanjene emisije velikog niza reguliranih onečišćujućih tvari, to nije slučaj za emisije NO_x iz Dieselovih motora, posebno kod lakih vozila. Stoga su potrebne mjere za poboljšanje te situacije.

Komisija je u siječnju 2011. uspostavila radnu skupinu za razvoj postupka ispitivanja emisija tijekom stvarne vožnje RDE koji bi bolje prikazivao emisije izmjerene tijekom vožnje na cesti. U tu svrhu primijenjena je mogućnost predložena u Uredbi (EZ) br. 715/2007, tj. upotreba prijenosnih sustava za mjerenje emisija PEMS (engl. *Portable emission measuring systems*) i granične vrijednosti emisija koje se ne smiju prekoračiti NTE (engl. *Not to exceed*). Postupci ispitivanja stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE) uvedeni su Uredbom Komisije (EU) 2017/1151.

Potrebno je uspostaviti kvantitativne zahtjeve za ispitivanje emisija tijekom stvarne vožnje (RDE) kako bi se ograničile emisije u svim uobičajenim uvjetima uporabe u skladu s graničnim vrijednostima emisija iz Uredbe (EZ) 715/2007. U tu bi svrhu trebalo voditi računa o statističkim i tehničkim nesigurnostima postupaka mjerenja.

Kako bi se proizvođačima omogućilo da se postupno prilagode pravilima za emisije tijekom stvarne vožnje, konačni kvantitativni zahtjevi za ispitivanje stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE) trebali bi se uvesti u dva uzastopna koraka. U prvom koraku, čija bi primjena trebala

početi četiri godine nakon datuma obvezne primjene norme Euro 6, trebao bi se primjenjivati faktor sukladnosti od 2,1. Drugi korak trebao bi uslijediti godinu i četiri mjeseca nakon prvog koraka te bi se od tada trebalo zahtijevati potpunu usklađenost s ograničenjem emisija NO_x od 80 mg/km utvrđenim Uredbom (EZ) br. 715/2007 uz toleranciju kojom se uzimaju u obzir dodatne nesigurnosti pri mjerenju povezane s primjenom prenosivih sustava za mjerenje emisija (PEMS).

Faktor sukladnosti uzima u obzir odgovarajuću grešku kojim se uzimaju u obzir dodatne nesigurnosti pri mjerenju povezane s primjenom prenosivih sustava za mjerenje emisija PEMS. Taj faktor uveden je iz razloga poravnavanja rezultata mjerenih PEMS opremom koji se svake godine preispituje zbog poboljšane kvalitete postupka ispitivanja PEMS-om i tehničkog napretka.

Iako je važno da su svi mogući događaji tijekom vožnje u načelu obuhvaćeni ispitivanjem RDE-a, trebalo bi izbjeći neobjektivan način vožnje ispitivanih vozila, tj. s namjerom da se uspije ili ne uspije na ispitivanju ne zbog tehničkih radnih svojstava vozila nego zbog načina vožnje. Stoga se moraju uvesti dodatne granice za ispitivanje stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE) kako bi se uzele u obzir takve situacije.

Uvjeti vožnje koji mogu postojati tijekom pojedinačne vožnje uz ispitivanje PEMS-om ne moraju u potpunosti odgovarati uobičajenim uvjetima upotrebe vozila. Strogost kontrole emisija tijekom takve vožnje stoga može biti različita.

U obzir se moraju uzeti statističke i tehničke nesigurnosti postupaka mjerenja opisane mjerljivim parametrima. Primjenom tog načela ne smije se prouzročiti smanjenje učinka očuvanja okoliša i djelotvornosti postupaka ispitivanja RDE-a. Za ocjenu strogosti kontrole emisija tijekom vožnje uz ispitivanje PEMS-om trebali bi se uzimati u obzir samo parametri koji se mogu opravdati objektivnim znanstvenim razlozima, a ne samo kalibracijom motora ili uređajima za kontrolu onečišćenja ili sustavima za kontrolu emisija [7].

Simboli i oznake veličina koje se koriste u ovom radu preuzete su iz Uredbe (EZ) 715/2007 i Uredbe Komisije (EU) 2017/1151 [8][9].

2.1. Uredba (EZ) 715/2007

Uredbom (EZ) 715/2007 zahtijeva se da se kod novih vozila lake kategorije poštuju određene granične vrijednosti emisija i utvrđuju se dodatni zahtjevi za dostupnost podataka. Točne tehničke odredbe potrebne za primjenu te Uredbe utvrđene su Uredbom Komisije (EZ) 692/2008. Uredba (EZ) 715/2007 jedan je od zasebnih regulatornih akata u smislu postupka za homologaciju tipa kako je utvrđen Direktivom 2007/46/EZ Europskog parlamenta i Vijeća.

Direktiva 2007/46/EZ Europskog parlamenta i Vijeća uspostavlja okvire za homologaciju motornih vozila i njihovih prikolica i sustava, sastavnih dijelova i zasebnih tehničkih jedinica.

2.2. Uredba Komisije (EU) 2017/1151

Uredba Komisije (EU) 2017/1151 obuhvaća niz izmjena i dopuna prethodnih uredbi i direktiva. Na temelju ispitivanja odgovarajućih postupaka, ciklusa ispitivanja i rezultata ispitivanja u skladu s [8], očito je da informacije o potrošnji goriva i emisijama CO_2 koje su dobivene ispitivanjem vozila u skladu s NEDC-om više nisu zadovoljavajuće i više ne prikazuju stvarne emisije [3].

Zbog toga je na razini Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (UNECE) u zakonodavstvo Unije uveden novi postupak regulatornog ispitivanja Globalno usklađeni ispitni postupak za laka vozila WLTP (engl. *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*). WLTP-om dobivaju se realniji podaci o potrošnji goriva i emisiji CO_2 za potrošače i u regulatorne svrhe. Ovaj postupak primjenjuje se od 1. rujna 2017. za vozila kategorije M1, kategorije M2 i kategorije N1 razreda I, od 1. rujna 2018. za vozila kategorije N1 razreda II i III i vozila kategorije N2, a na nova vozila od 1. rujna 2018. godine za kategoriju M1, kategoriju M2 i kategoriju N1 razred I, te od 1. rujna 2019. za vozila kategorije N1 razreda II i III i vozila kategorije N2. Kategorije vozila prikazane su u tablici 1.

Ovom uredbom opisan je i postupak ispitivanja emisija u realnim uvjetima vožnje (RDE) što je detaljno opisano u nastavku ovog rada [9].

Tablica 1. Kategorije vozila [10]

Oznaka kategorije	Opis kategorije
L	MOPEDI, MOTOCIKLI, LAKI ČETVEROCIKLI I ČETVEROCIKLI
L1	Motorna vozila s 2 kotača (mopedi), radnog obujma motora ≤ 50 cm^3, ili kod elektromotora najveće trajne nazivne snage ≤ 4 kW i brzine ≤ 50 km/h
L2	Motorna vozila s 3 kotača (mopedi), radnog obujma motora ≤ 50 cm^3, ili kod elektromotora najveće trajne nazivne snage ≤ 4 kW i brzine ≤ 50 km/h
L3	Motorna vozila s 2 kotača (motocikli), radnog obujma motora > 50 cm^3 ili brzine > 50 km/h
L4	Motorna vozila s 2 kotača i bočnom prikolicom (motocikli s bočnom prikolicom), radnog obujma motora > 50 cm^3 ili brzine > 50 km/h
L5	Motorna vozila s 3 kotača, simetrično postavljena s obzirom na uzdužnu os vozila (motorni tricikli), radnog obujma motora > 50 cm^3 ili brzine > 50 km/h
L6	Motorna vozila s 4 kotača (laki četverocikli), čija je masa praznog vozila ≤ od 350 kg što ne uključuje masu baterija kod električnih vozila čija je najveća konstrukcijska brzina ≤ 45 km/h
L7	Motorna vozila s 4 kotača osim lakih četverocikla (četverocikli), čija je masa praznog vozila ≤ od 400 kg (550 kg za vozila za prijevoz tereta), što ne uključuje masu baterija kod električnih vozila i čija najveća neto snaga motora je ≤ 15 kW
M	OSOBNI AUTOMOBILI I AUTOBUSI Motorna vozila za prijevoz osoba s najmanje 4 kotača
M1	Motorna vozila za prijevoz osoba koja osim sjedala za vozača imaju još najviše 8 sjedala
M2	Motorna vozila za prijevoz osoba koja osim sjedala za vozača imaju više od 8 sjedala i najveće dopuštene mase ≤ 5000 kg
M3	Motorna vozila za prijevoz osoba koja osim sjedala za vozača imaju više od 8 sjedala i najveće dopuštene mase > 5000 kg
N	TERETNI AUTOMOBILI Motorna vozila za prijevoz tereta s najmanje 4 kotača
N1	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase ≤ 3500 kg
N2	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase > 3500 kg, ali ≤ 12000 kg
N3	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase >12000 kg
O	PRIKLJUČNA VOZILA Prikolice uključujući i poluprikolice
O1	Priključna vozila najveće dopuštene mase ≤ 750 kg
O2	Priključna vozila najveće dopuštene mase>750kg, ali ≤ 3500 kg
O3	Priključna vozila kojima je najveća dopuštena masa > 3500 kg, ali ≤ 10000 kg
O4	Priključna vozila kojima je najveća dopuštena masa > 10000 kg

3. ISPITNI CIKLUS RDE

Analizom postupaka i ispitivanja utvrđenih Uredbom 692/2008 Europska Komisija je na temelju vlastitih istraživanja i vanjskih informacija utvrdila da su emisije koje stvarno nastaju u cestovnom prometu vozila Euro 5 i Euro 6 znatno veće od emisija izmjerenih u Novom europskom voznom ciklusu (NEDC), osobito u pogledu emisija NO_x iz vozila s Dieselovim motorom. Zbog zastarjelosti NEDC ispitnog ciklusa, bitno drugačijih karakteristika suvremenih vozila i drugačije regulacije prometa razlike između deklariranih vrijednosti emisija i emisija koje se ostvaruju u stvarnim uvjetima postaju sve značajnije [7].

Rješavanjem problema emisija NO_x iz Dieselovih motora trebalo bi se pridonijeti smanjenju trenutačnih koncentracija NO_2 u zraku koje su stalno na visokoj razini i vrlo su zabrinjavajuće za ljudsko zdravlje.

Postupak za verifikaciju stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE) odnosi se na laka osobna i gospodarska vozila [7].

RDE primjenjivat će se u dva koraka:

- RDE korak 1 primjenjuje se od 1. rujna 2017. za nova vozila s važećom homologacijom s faktorom sukladnosti 2,1,
- RDE korak 2 primjenjuje se od 1. siječnja 2020. za nova vozila s važećom homologacijom s faktorom sukladnosti 1,0 + *margin* = 0.5 i od siječnja 2021. za sve tipove novih vozila koja se homologiraju i stavljaju na tržište [11].

3.1. Postupak ispitivanja emisija prijenosnim sustavom za mjerenje emisija PEMS

U nastavku ovog poglavlja opisuje se ispitni postupak za utvrđivanje emisija ispušnih plinova iz lakih putničkih i gospodarskih vozila pomoću prijenosnog sustava za mjerenje emisija. Ispitivanje se provodi pomoću prijenosnog sustava za mjerenje emisija PEMS (engl. *Portable emission measuring systems*) koji se sastoji od sljedećih komponenti:

- analizatora za određivanje koncentracije onečišćujućih tvari u ispušnim plinovima,
- senzora za mjerenje masenog protoka ispušnih plinova,
- GPS sustava za određivanje položaja, nadmorske visine i brzine vozila,
- senzori i drugi uređaji koji nisu dio vozila, npr. senzori za mjerenje temperature okoline, relativne vlažnosti, tlaka zraka i brzine vozila,
- izvor energije neovisan o vozilu za napajanje PEMS-a.

Može se uspostaviti veza s ECU-om vozila kako bi se utvrdili relevantni parametri motora i vozila u skladu s parametrima [12].

3.1.1. Ugradnja sustava PEMS

PEMS se ugrađuje u skladu s uputama proizvođača i lokalnim zdravstvenim i sigurnosnim propisima. PEMS treba ugraditi tako da se tijekom ispitivanja na najmanju moguću mjeru svedu elektromagnetske smetnje kao i izloženost udarcima, vibracijama, prašini i razlici u temperaturi. Tijekom ugradnje i rada PEMS mora biti hermetički zatvoren te je potrebno na najmanju moguću mjeru svesti gubitak topline. Zbog ugradnje i rada PEMS-a ne smije se mijenjati sastav ispušnih plinova niti se nepotrebno produljivati duljina ispušne cijevi. Kako bi se izbjeglo stvaranje čestica, priključci moraju biti termički stabilni pri temperaturama ispušnih plinova koje se očekuju tijekom ispitivanja.

Slika 6. Vozilo s ugrađenim sustavom PEMS

3.1.2. Provjera i umjeravanje sustava PEMS

Prilagodbe nultog i rasponskog umjeravanja analizatora za mjerenje plinovitih emisija izvršavaju se pomoću plinova za umjeravanje koji odgovaraju zahtjevima iz točke 5. Dodatka 2. [9]. Plinovi za umjeravanje odabiru se kako bi odgovarali rasponu koncentracija onečišćujućih tvari koje se očekuju tijekom ispitivanja RDE-a. Kako bi se smanjilo odstupanje analizatora, treba provesti umjeravanje pri temperaturi okoline koja odgovara temperaturi kojoj se ispitna oprema izlaže tijekom vožnje. Pomak odziva raspona, koji se definira kao srednji odziv na plin za umjeravanje tijekom vremenskog razdoblja od najmanje 30 sekundi, usklađen je sa specifikacijama navedenima u tablici 2. [9].

Tablica 2. Dopušteni pomak nultog odziva i pomak odziva odstupanja analizatora za mjerenje plinovitih komponenti u laboratorijskim uvjetima [3]

Onečišćujuća tvar	Pomak nultog odziva	Pomak rasponskog odziva (1)
CO_2	≤ 2 000 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 2 000 ppm po ispitivanju, što god je veće
CO	≤ 75 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 75 ppm po ispitivanju, što god je veće
NO_2	≤ 5 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 5 ppm po ispitivanju, što god je veće
NO/NO_x	≤ 5 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 5 ppm po ispitivanju, što god je veće
CH_4	≤ 10 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 10 ppm po ispitivanju, što god je veće
THC	≤10 ppm po ispitivanju	≤ 2 % očitanja ili ≤ 10 ppm po ispitivanju, što god je veće

Objašnjenje:

(1) Ako je nulti pomak unutar dopuštenog raspona, dopušteno je nulto umjeravanje analizatora prije verifikacije rasponskog pomaka

3.1.3. Uzorkovanje emisija

Uzorkovanje emisija provodi se na mjestima dobro izmiješanih ispušnih plinova na kojima je utjecaj zraka iz okoline minimalan. Ako je primjenjivo, emisije se uzorkuju ispod mjerača masenog protoka ispušnih plinova, a na udaljenosti od najmanje 150 mm od senzora protoka. Sonde za uzorkovanje ugrađuju se na udaljenosti od barem 200 mm ili trostrukog unutarnjeg promjera ispušne cijevi, što god je veće, iznad točke na kojoj se ispušni plinovi napuštaju opremu za uzorkovanje PEMS i ispuštaju se u okoliš. Ako PEMS ponovno dovodi tok do ispušne cijevi, to se odvija ispod sonde za uzorkovanje na način koji tijekom rada motora ne utječe na prirodu ispušnih plinova u točki uzorkovanja. Ako se duljina linije uzorkovanja izmijeni, vrijeme prijenosa u sustavu provjerava se i prema potrebi ispravlja.

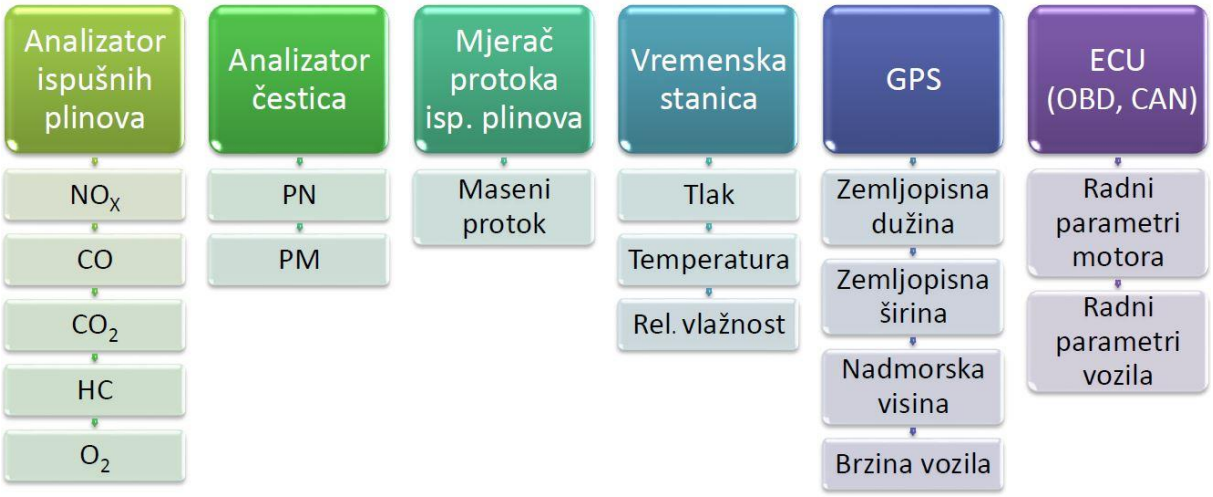
Kod mjerenja čestica, ispuh se uzorkuje iz središta struje ispušnih plinova. Ako se za uzorkovanje emisija upotrebljava nekoliko sondi, sonda za uzorkovanje čestica postavlja se iznad drugih sondi za uzrokovanje.

Ako se mjere ugljikovodici, linija uzorkovanja zagrijava se na temperaturu od 463 ± 10 K (190 ± 10 °C). Za mjerenje ostalih plinovitih komponenti s rashladnim sredstvom ili bez njega linija uzorkovanja mora imati temperaturu od najmanje 333 K (60 °C) kako bi se izbjegla kondenzacija i osigurala odgovarajuća penetracijska učinkovitost različitih plinova. U sustavima uzorkovanja s niskim tlakom temperatura se može sniziti u skladu sa smanjenjem tlaka, pod uvjetom da se sustavom uzorkovanja jamči penetracijska učinkovitost od 95 % za sve regulirane plinovite onečišćujuće tvari. Ako se uzorkuju čestice, linija uzorkovanja iz

nerazrijeđenog uzorka ispuha u točki uzorkovanja zagrijava se na najmanje 373 K (100 °C) [9].

3.2. Ispitni parametri

Ispitni parametri navedeni u tablici 4. mjere se i bilježe uz konstantnu frekvenciju od 1,0 Hz ili višu uz točnost navedenu u tablici 3. Ako su dobiveni parametri s ECU-a, oni se moraju bilježiti na znatno višoj frekvenciji od one na kojoj PEMS bilježi parametre kako bi se osiguralo ispravno uzorkovanje ispušnih plinova. Analizatori za PEMS, instrumenti i senzori za mjerenje protoka usklađeni su s preduvjetima utvrđenima u dodacima 2.i 3. Prilogu III.A [9]. Koriste se analizatori plinova koji mjere koncentracije sirovog ispuha CO, CO_2, NO, NO_2 i O_2. Nadmorska visina, brzina i koordinate zemljopisne širine i dužine mjere se GPS-om, dok se temperatura okoline, vlažnost, tlak i temperatura ispušnih plinova mjere pomoću odgovarajućih senzora. Razni signali povezani s motorom bilježe se iz dijagnostičkog sustava OBD (engl. *On-Board Diagnostics*). Na slici 7. prikazani su izvori parametara i parametri koji se bilježe prilikom ispitivanja.



Slika 7. Ispitni parametri i izvori prikupljanja parametara [13]

Tablica 3. Zahtjevi točnosti za parametre mjerenja

Parametar mjerenja	Točnost
Protok goriva (1)	± 1 % očitanja (3)
Protok zraka (1)	± 2 % očitanja
Brzina vozila (2)	± 1,0 km/h apsolutna
Temperature ≤ 600 K	± 2 K apsolutna
Temperature > 600 K	± 0,4 % očitanja u Kelvinima
Tlak okoline	± 0,2 kPa apsolutno
Relativna vlažnost	± 5 % apsolutna
Apsolutna vlažnost	± 10 % očitanja ili 1 gH_2O/kg suhog zraka, što god je veće

Objašnjenje:

(1) Nije obvezno za određivanje masenog protoka ispušnih plinova

(2) Taj se zahtjev primjenjuje samo za senzor brzine; ako se brzina vozila upotrebljava za određivanje parametara kao što su ubrzanje, umnožak brzine vozila s pozitivnim ubrzanjem ili *RPA*, signal brzine mora ima točnost od 0,1 % iznad 3 km/h i učestalost uzorkovanja od 1 Hz. Taj se zahtjev točnosti može ispuniti upotrebom signala senzora brzine vrtnje kotača.

(3) Točnost iznosi 0,02 % očitanja ako se upotrebljava za izračun protoka zraka i masenog protoka ispušnih plinova iz protoka goriva u skladu s točkom 10. Dodatka 4 [3].

Tablica 4. Ispitni parametri

Parametar	Mjerna jedinica	Izvor
Koncentracija THC-a (1) (4)	ppm	analizator
Koncentracija CH_4 (1) (4)	ppm	analizator
Koncentracija NMHC-a (1) (4)	ppm	analizator (6)
Koncentracija CO (1) (4)	ppm	analizator
Koncentracija CO_2 (1)	ppm	analizator
Koncentracija NO_x (1) (4)	ppm	analizator (7)
Koncentracija krutih čestica (4)	$\#/m^3$	analizator
Maseni protok ispušni plinova	kg/s	EFM, metode opisane u točki 7. Dodatka 2. [9]
Vlažnost zraka	%	senzor
Okolna temperatura	K	senzor
Tlak u okolini	kPa	senzor
Brzina vozila	km/h	senzor, GPS ili ECU (3)
Zemljopisna širina položaja vozila	stupanj	GPS
Zemljopisna dužina položaja vozila	stupanj	GPS
Nadmorska visina položaja vozila (5), (9)	m	GPS ili senzor
Temperatura ispušnih plinova (5)	K	senzor
Temperatura rashladne tekućine motora (5)	K	senzor ili ECU
Brzina vrtnje motora (5)	min^{-1}	senzor ili ECU
Zakretni moment motora (5)	Nm	senzor ili ECU
Zakretni moment na pogonskoj osovini (5)	Nm	mjerilo zakretnog momenta naplatka
Položaj pedale gasa (5)	%	senzor ili ECU
Protok goriva motora (2)	g/s	senzor ili ECU
Protok ulaznog zraka motora (2)	g/s	senzor ili ECU
Status pogreške (5)	—	ECU
Temperatura toka ulaznog zraka	K	senzor ili ECU
Status regeneracije DPF filtera (5)	—	ECU
Temperatura ulja motora (5)	K	senzor ili ECU
Stvarni stupanj prijenosa (5)	#	ECU
Željeni stupanj prijenosa (npr. indikator stupnja prijenosa) (5)	#	ECU

Napomene:

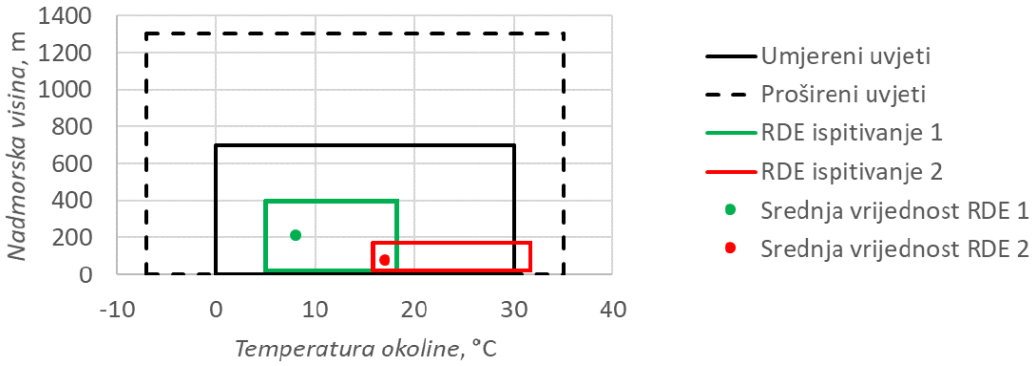
(1) Mjeriti na vlažnoj osnovi ili ispraviti u skladu s točkom 8.1. Dodatka 4 [9]
(2) Odrediti samo ako se za izračun masenog protoka ispušnih plinova upotrebljavaju neizravne metode kao što je opisano u točkama 10.2. i 10.3. Dodatka 4.
(3) Metoda utvrđivanja brzine vozila odabire se u skladu s točkom 4.7.
(4) Parametar je obvezan samo ako se provodi mjerenje koje se zahtijeva Prilogom III.A, odjeljkom 2.1.
(5) Utvrditi samo ako je potrebno radi provjere statusa i radnih uvjeta vozila.
(6) Može se izračunati iz koncentracija THC-a i CH_4 u skladu s točkom 9.2. Dodatka 4.
(7) Može se izračunati iz izmjerenih koncentracija NO i NO_2.
(8) Moguće je upotrijebiti više izvora parametara.
(9) Preferirani je izvor senzor tlaka okoline.

3.3. Uvjeti rute i okoline

Za provedbu postupka ispitivanja emisija u stvarnim uvjetima potrebno je definirati rutu u okolini koja zadovoljava sve kriterije koji su opisani u [9].

Ispitivanje se provodi u uvjetima okoline koji se proširuju proširenjem uvjeta temperature i/ili nadmorske visine. Umjereni uvjeti nadmorske visine je nadmorska visina niža ili jednaka 700 metara iznad razine mora dok su prošireni uvjeti nadmorska visina veća od 700 metara iznad razine mora te manja ili jednaka 1300 metara iznad razine mora.

Umjereni uvjeti temperature je temperatura koja je veća ili jednaka 273 K (0 °C) i koja je manja ili jednaka 303 K (30 °C) dok su prošireni uvjeti temperatura koja je veća ili jednaka 266 K (–7 °C) i manja od 273 K (0 °C) ili veća od 303 K (30 °C) i manja ili jednaka 308 K (35 °C). Umjereni i prošireni uvjeti prikazani su na sljedećoj slici.



Slika 8. Umjereni i prošireni uvjeti nadmorske visine i temperature [13]

Ispitivanje se provodi na točno definiranoj ruti koja se sastoji od gradske, izvangradske vožnje i vožnje autocestom. Udjeli gradske, izvangradske vožnje i vožnje autocestom izražavaju se kao postotak ukupne udaljenosti vožnje. Slijed vožnji sastoji se od gradske vožnje, nakon koje slijede izvangradska vožnja i vožnja autocestom. Gradska, izvangradska vožnja i vožnja autocestom moraju se odvijati neprekidno. Izvangradska vožnja može se prekinuti kraćim razdobljima gradske vožnje tijekom prolaska kroz gradska područja. Vožnja autocestom može se prekinuti kraćim razdobljima gradske ili izvangradske vožnje, npr. pri prolasku naplatnih kućica ili dijelova ceste na kojima su u tijeku radovi.

Vožnja se prema brzini razvrstava na sljedeći način:

- gradska vožnja - brzina vozila manja ili jednaka 60 km/h,
- izvangradska vožnja - brzina vozila veća od 60 km/h i manja ili jednaka 90 km/h,
- vožnja autocestom - brzina vozila veća od 90 km/h.

Vožnja se sastoji od 34 % gradske vožnje, 33 % izvangradske vožnje i 33 % vožnje autocestom uz toleranciju od ± 10 % s obzirom na navedene postotke. Gradska vožnja ne smije biti kraća od 29 % ukupne prijeđene udaljenosti. Najmanja udaljenost za sve oblike iznosi 16 km.

Prosječna brzina, uključujući zaustavljanja, tijekom gradske vožnje iznosi između 15 i 40 km/h. Razdoblja zaustavljanja, koja se definiraju kao razdoblja u kojima je brzina vozila niža od 1 km/h, traju od 6 do 30 % trajanja gradske vožnje. Gradska vožnja obuhvaća nekoliko razdoblja zaustavljanja u trajanju od 10 sekundi ili više. Ako razdoblje zaustavljanja traje dulje od 180 sekundi, emisije zabilježene tijekom 180 sekundi nakon takvog razdoblja zaustavljanja isključuju se iz ocjenjivanja emisija. Jedno zaustavljanje ne smije biti duže od 300 s.

Prosječna brzina vožnje autocestom iznosi od 90 do 110 km/h te dio vožnje s brzinom većom od 100 km/h mora trajati najmanje 5 minuta. Brzina vozila obično ne prelazi 145 km/h. Maksimalna brzina može se premašiti dopuštenim odstupanjem od 15 km/h tijekom najviše 3 % ukupnog trajanja vožnje autocestom. Vožnja na autocesti smije biti prekinuta kraćim razdobljima gradske ili izvangradske vožnje.

Ukupno trajanje vožnje iznosi između 90 i 120 minuta.

Ispitivanja se provode na asfaltiranim cestama i ulicama, nije dopuštena vožnja izvan cesta. Mjesto početka i mjesto završetka ne razlikuju se u nadmorskoj visini za više od 100 m. Pored toga, proporcionalna kumulativna pozitivna visinska razlika mora biti manja od 1 200 m / 100 km i određuje se prema Dodatku 7.b [9] što je opisano u poglavlju 3.12.

Vožnja se izabire tako da se ispitivanje ne prekida i da se podaci neprekidno bilježe kako bi se postiglo najkraće trajanje ispitivanja. Ispitivanja emisija tijekom vožnje izvode se radnim danom kao što je definirano za Europsku Uniju u Uredbi Vijeća (EEZ, Euratom) 1182/71.

Tablica 5. Uvjeti rute

Segment	**Udaljenost**	**Udio**	**Brzina vožnje, *v***	**Prosječna brzina**
	km	**%**	**km/h**	**km/h**
GRADSKI	> 16	34 (±10) min 29	$v \leq 60$	15 – 40
• Udio zaustavljanja mora biti između 6 % i 30 % trajanja gradske vožnje. • Definicija zaustavljanja – brzina vožnje ≤ 1 km/h. • Potrebno nekoliko zaustavljanja dužih od 10 s. • Jedno zaustavljanje ne smije biti duže od 300 s.				
VANGRADSKI	> 16	33 (±10)	$60 < v \leq 90$	$60 < v \leq 90$
• Izvangradska vožnja smije biti prekinuta kratkim razdobljima gradske vožnje tijekom prolaska kroz gradska područja.				
AUTOCESTA	> 16	33 (±10)	$v > 90$	90 - 110
• Najmanje 5 min brzina iznad 100 km/h. • Brzina do 145 km/h. • Najveća brzina ne smije prelaziti 160 km/h tijekom najviše 3 % trajanja vožnje autocestom. • Vožnja na autocesti smije biti prekinuta kraćim razdobljima gradske ili izvangradske vožnje.				

Tablica 6. Uvjeti okoline

Parametar	Uvjeti	Odredba
TEMPERATURA	Umjereni	273,15 K (0 ºC) do 303,15 K (30 ºC)
	Prošireni	266,15 K (-7 ºC) do 273,15 K (0 ºC) 303,15 K (30 ºC) do 308,15 K (35 ºC)
• Od 09/2019. za nova vozila i 09/2020. za sva vozila donja granična vrijednost temperature za umjereni uvjet iznosi od 3 ºC, a za prošireni uvjet od -2 ºC do 3 ºC.		
NADMORSKA VISINA	Umjereni	niža od ili jednaka 700 metara iznad razine mora
	Prošireni	viša od 700 metara te manja od ili jednaka 1300 m iznad razine mora
• Razlika nadmorske visine početne i krajnje točke ispitivanja ne smije biti viša od 100 m. • Proporcionalna kumulativna visinska razlika mora biti manja od 1200 m / 100 km.		

3.4. Matematički model za provjeru ispravnosti rute

Podaci koji je potrebno snimiti za određivanje emisija potrebno je provjeriti da li zadovoljavaju sva propisana ograničenja prema Uredbi Komisije (EU) 2017/1151. U nastavku je prikazan postupak izračunavanja kojima se provjerava ukupna dinamičnost vožnje kako bi se utvrdio ukupni višak ili nedostatak dinamičnosti tijekom tijekom gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom [9].

Vijek trajanja vozila homologiranog u skladu s Uredbom (EZ) 715/2007, tj. njegove emisije utvrđene u skladu sa zahtjevima iz [7] i ispuštene tijekom bilo kojeg mogućeg ispitivanja stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE), ne smiju premašiti granične vrijednosti (NTE):

$$NTE_{gas} = CF_{\text{gas}} \cdot TF(p_1,...,p_n) \cdot \text{EURO-6} \quad \textbf{(1)}$$

pri čemu je CF_{gas} faktor usklađenosti za odgovarajuću onečišćujuću tvar prikazan u tablici 7. dok je EURO-6 primjenjiva granična vrijednost emisija za emisijsku razinu Euro 6 prikazana u tablici 8. prema Prilogu I. Uredbi (EZ) 715/2007 [7][8][9].

Tablica 7. Faktor sukladnosti CF_{gas}

Onečišćujuća tvar	Masa dušikovih oksida (NO_X)	Broj čestica (PN)	Masa ugljik-monoksida (CO) (1)	Masa ukupnih ugljikovodika (THC)	Kombinirana masa ukupnih ugljikovodika i dušikovih oksida (THC + NO_X)
CF_{gas}	1 + *tolerancija* pri čemu je *tolerancija* = 0,5	1+ *tolerancija* za PN pri čemu je *tolerancija* za PN=0,5	—	—	—

(1) Emisije ugljik-monoksida mjere se i bilježe pri ispitivanjima stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE)

Tolerancija je parametar kojim se uzimaju u obzir dodatne nesigurnosti pri mjerenju povezane s primjenom prenosivih sustava za mjerenje emisija (PEMS) koji se svake godine preispituje zbog poboljšane kvalitete postupka ispitivanja PEMS-om i tehničkog napretka

Tolerancija za PN je parametar kojim se uzimaju u obzir dodatne nesigurnosti pri mjerenju zbog prenosivih sustava za mjerenje emisija (PEMS) za PN i koji se svake godine ispituje i revidira na temelju poboljšane kvalitete postupka ispitivanja PEMS-om za PN ili tehničkog napretka.

Tablica 8. Granične vrijednosti emisije Euro 6 [8]

Kategorija	Klasa	Referentna masa (MR) kg	Granične vrijednosti													
			Masa ugljičnog monoksida (CO)		Masa ukupnih ugljikovodika (THC)		Masa ugljikovodika bez metana (NMHC)		Masa dušikovih oksida (NO_x)		Kombinirana masa ukupnih ugljikovodika i dušikovih oksida (THC + NOx)		Masa čestica (PM)		Broj čestica (1) (PN)	
			L_1 mg/km		L_2 mg/km		L_3 mg/km		L_4 mg/km		$L_2 + L_4$ mg/km		L_5 mg/km		L_6 #/km	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI (1)	CI	PI(2)	CI	PI	CI
M	-	Sve	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	5,0	5,0	-	-
N_1	I	MR ≤ 1 305	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	5,0	5,0	-	-
	II	1 305 < MR≤ 1 760	1810	630	130	-	90	-	75	105	-	195	5,0	5,0	-	-
	III	1 760 < MR	2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	5,0	5,0	-	-
N_2		-	2270	740	160	-	108	-	82	120	-	215	5,0	5,0	-	-

Objašnjenje: PI=Ottovi motori, CI=Dieselovi motori

(1) Biti će određen naknadno za ovaj stupanj.

(2) Norme za masu čestica za motore s Ottovim motorom primjenjuju se jedino za vozila opremljena motorima s izravnim ubrizgavanjem.

Iznimno od faktora sukladnosti prikazanih u tablici 7., do pet godina i četiri mjeseca nakon datuma navedenih u članku 10. stavcima 4. i 5. Uredbe (EZ) 715/2007 (opisano u prethodnom poglavlju) i ako to zahtijeva proizvođač mogu se primjenjivati sljedeći privremeni faktori sukladnosti. Primjena privremenih faktora sukladnosti mora biti naznačena u potvrdi o sukladnosti vozila.

Tablica 9. Faktor sukladnosti CF_{gas}

Onečišćujuća tvar	Masa dušikovih oksida (NO_x)	Broj čestica (PN)	Masa ugljikova monoksida (CO) (1)	Masa ukupnih ugljikovodika (THC)	Kombinirana masa ukupnih ugljikovodika i dušikovih oksida (THC + NO_x)
CF_{gas}	2,1	1+ *tolerancija* za PN pri čemu je *tolerancija* za PN=0,5	—	—	—

(1) Emisije ugljikova monoksida mjere se i bilježe pri ispitivanjima stvarnih emisija tijekom vožnje (RDE)
Tolerancija za PN je parametar kojim se uzimaju u obzir dodatne nesigurnosti pri mjerenju zbog prenosivih sustava za mjerenje emisija (PEMS) za PN i koji se svake godine preispituje i revidira na temelju poboljšane kvalitete postupka ispitivanja PEMS-om za PN ili tehničkog napretka.

Prijenosna funkcija $TF(p_1, \ldots, p_n)$ u jednadžbi (1) određuje se vrijednost 1 na cijelom rasponu parametara p_i $(i = 1, \ldots, n)$.

Ako se prijenosna funkcija $TF(p1, \ldots, pn)$ mijenja, to se čini tako da se ne pogoršava utjecaj na okoliš i učinkovitost ispitivanja stvarnih emisija tijekom vožnje. Sljedeći uvjet mora također biti ispunjen:

$$\int TF(p_1,\ldots,p_n)\cdot \mathrm{Q}(p_1,\ldots,p_n)\,dp = \int \mathrm{Q}(p_1,\ldots,p_n)\,dp \qquad \textbf{(2)}$$

pri čemu je:

- dp - integral cijelog raspona parametara p_i (i = 1, …, n),
- $\mathrm{Q}(p_1,\ldots,p_n)$ - vjerojatnost učestalosti događaja povezanog s parametrima, p_i (i = 1, …, n) tijekom vožnje u stvarnim uvjetima, [%].

Zahtjevi prema jednadžbi (1) moraju biti ispunjeni tijekom cijele vožnje ispitivanja PEMS-om. Ovisno o izboru proizvođača ispunjava se barem jedan od uvjeta iz izraza (3) i (4).

PHEV mora ispuniti uvjete iz jednadžbe (5). Emisije se izračunavaju kao ponderirani prosjek emisija prozora povezanih s udaljenošću, zasebno za kategorije gradske i izvangradske vožnje, vožnje autocestom te za cjelokupnu vožnju.

$$M_{gas,d,t} \le NTE_{gas} \text{ i } M_{gas,d,u} \le NTE_{gas} \qquad \textbf{(3)}$$

$$M_{w,gas,d} \le NTE_{gas} \text{ i } M_{w,gas,d,u} \le NTE_{gas} \qquad \textbf{(4)}$$

$$M_t \le NTE_{gas} \text{ i } M_u \le NTE_{gas} \qquad \textbf{(5)}$$

pri čemu je:

- $M_{gas,d,t}$ - emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za ukupnu vožnju, [g/km] ili [#/km],
- $M_{gas,d,\mathrm{u}}$ - emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za gradski dio vožnje, [g/km] ili [#/km],
- $M_{w,gas,d}$ - emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za ukupnu vožnju s faktorom ponderiranja *w*, [g/km] ili [#/km],
- $M_{w,gas,d,\mathrm{u}}$ - emisija komponente ispušnih plinova povezana s udaljenošću za gradski dio vožnje s faktorom ponderiranja *w*, [g/km] ili [#/km],
- M_t - masa ili broj čestica komponente ispušnih plinova za ukupnu vožnju, [g] ili [#],
- M_u - masa ili broj čestica komponente ispušnih plinova za gradski dio vožnje, [g] ili [#],
- NTE_{gas} - granična vrijednost komponente ispušnih plinova, [g/km] ili [#/km].

3.4.1. Parametri vožnje

Dinamički parametri kao što su ubrzanje a_i, umnožak brzine vozila i pozitivnog ubrzanja $v \cdot a_{pos}$ ili relativno pozitivno ubrzanje *RPA* određuju se signalom brzine s točnošću od 0,1 % iznad 3 km/h i učestalošću uzorkovanja od 1 Hz. Taj zahtjev točnosti uglavnom se ispunjava upotrebom signala senzora brzine vrtnje kotača.

3.5. Utvrđivanje emisija

Koncentracija komponenti, maseni protok ispušnih plinova, brzina vozila i drugi podaci o vozilu ispravljaju se po vremenu radi točnog izračuna emisija povezanih s udaljenošću.

Uzorkovanje, mjerenje i bilježenje parametara započinje prije pokretanja motora. Kako bi se olakšalo usklađivanje vremena, preporučuje se bilježenje parametara koji su podložni usklađivanju vremena jednim uređajem za bilježenje podataka ili primjenom bilježenja podataka s vremenskom oznakom. Prije i neposredno nakon pokretanja motora potvrđuje se bilježi li naprava za bilježenje podataka sve potrebne parametre.

Korekcija parametara po vremenu i njihovo usklađivanje opisano je u nastavku.

3.5.1. Korekcija parametara po vremenu

Koncentracija komponenti ispušnih plinova, maseni protok ispušnih plinova, brzina vozila i drugi podaci o vozilu ispravljaju se po vremenu radi točnog izračuna emisija povezanih s udaljenošću. Kako bi se olakšala korekcija po vremenu, podaci podložni vremenskom usklađivanju bilježe se u jednom uređaju za bilježenje podataka ili sa sinkroniziranim bilježenjem podataka.

3.5.1.1. Korekcija masenog protoka ispušnih plinova po vremenu

Maseni protok ispušnih plinova mjeren mjeračem protoka ispušnih plinova ispravlja se po vremenu obrnutim pomicanjem u skladu s vremenom transformacije mjerila masenog protoka ispušnih plinova.

$$q_{\mathrm{m,c}}(t-\Delta t_{\mathrm{t,m}}) = q_{\mathrm{m,r}}(t) \qquad \textbf{(6)}$$

pri čemu je:

- $q_{\mathrm{m,c}}$ - maseni protok ispušnih plinova, ispravljen po vremenu, kao funkcija vremena t, [kg/s],
- $q_{\mathrm{m,r}}$ - nerazrijeđeni maseni protok ispušnih plinova kao funkcija vremena t, [kg/s],
- $\Delta t_{\mathrm{t,m}}$ - vrijeme pretvorbe t mjerača masenog protoka ispušnih plinova, [s].

Ako se maseni protok ispušnih plinova utvrđuje podacima iz ECU-a ili senzora, u obzir se uzima dodatno vrijeme transformacije koje se dobiva koreliranjem izračunanog masenog protoka ispušnih plinova i masenog protoka ispušnih plinova izmjerenog u skladu s točkom 4. Dodatka 3 [9].

3.6. Vremensko usklađivanje podataka o vozilu

Podaci dobiveni iz senzora ili ECU-a vremenski se usklađuju unakrsnim koreliranjem s odgovarajućim podacima o emisijama. Kako bi se brzina vozila vremenski uskladila s masenim protokom ispušnih plinova, najprije je potrebno utvrditi jedno valjano praćenje brzine. Ako se brzina vozila dobiva iz više izvora (npr. GPS, senzor ili ECU), vrijednosti brzine vremenski se usklađuju unakrsnim koreliranjem. Brzina vozila vremenski se usklađuje s masenim protokom ispušnih plinova unakrsnim koreliranjem masenog protoka ispušnih plinova i umnoška brzine vozila s pozitivnim ubrzanjem.

Brzina vozila utvrđena GPS-om, uspoređuje se s ukupnom prijeđenom udaljenosti s referentnim mjerenjima dobivenima iz senzora, validiranog ECU-a ili iz digitalne cestovne

mreže ili topografske karte. Obavezno je ispraviti očite pogreške u podacima iz GPS-a, npr. primjenom senzora za računanje iz postojećih podataka, prije provjere usklađenosti. Izvornik i neispravljena podatkovna datoteka se čuvaju, a svi se ispravljeni podaci označavaju. Ispravljeni podaci ne prelaze neprekinuto vremensko razdoblje od 120 sekundi ili ukupno 300 sekundi. Ukupna prijeđena udaljenost vožnje prema izračunu iz ispravljenih podataka GPS-a ne odstupa više od 4 % od referentne vrijednosti. Ako podaci iz GPS-a ne odgovaraju tim zahtjevima i nije dostupan drugi pouzdani izvor brzine, rezultati ispitivanja se poništavaju.

3.6.1. Mjerenje emisija u posebnim uvjetima

3.6.1.1. Hladni start

Razdoblje hladnog pokretanja obuhvaća prvih pet minuta nakon početnog pokretanja motora s unutarnjim izgaranjem. Ako se temperatura rashladnog sredstva može pouzdano odrediti, razdoblje hladnog pokretanja završava kada rashladno sredstvo prvi put dosegne temperaturu od 343 K (70 °C), ali najkasnije 5 minuta nakon početnog pokretanja motora. Emisije pri hladnom pokretanju bilježe se.

3.6.1.2. Ugašen (zaustavljen) motor

Kad je motor ugašen bilježe se sve trenutačne emisije i protok ispušnih plinova. Zabilježene se vrijednosti postavljaju na nulu tijekom naknadne obrade podataka, u zasebnom koraku. Smatra se da je motor s unutarnjim izgaranjem deaktiviran ako su prisutna dva od sljedećih kriterija:

- zabilježena brzina vrtnje motora iznosi < 50 min^{-1},
- izmjereni maseni protok ispušnih plinova iznosi < 3 kg/h,
- izmjereni maseni protok ispušnih plinova pada na < 15 % stacionarnog masenog protoka ispušnih plinova dok je motor u praznom hodu.

3.7. Korekcija emisija

3.7.1. Korekcija iz suhih u vlažne uvjete

Ako se emisije mjere na suhoj osnovi, izmjerene koncentracije pretvaraju se u koncentracije na vlažnoj osnovi:

$$c_{wet} = k_{\mathrm{W}} \cdot c_{\mathrm{dry}} \qquad \textbf{(7)}$$

gdje je:

- c_{wet} - vlažna koncentracija onečišćujuće tvari, [ppm],

- c_{dry} - suha koncentracija onečišćujuće tvari, [ppm],
- k_w - korekcijski faktor suho-vlažno, [-].

Za izračun k_w upotrebljava se sljedeća jednadžba:

$$k_W = \left(\frac{1}{1 + \alpha \cdot 0,005 \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{W1} \right) \cdot 1,008 \quad \textbf{(8)}$$

pri čemu je:

$$k_{W1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,608 \cdot H_a)} \quad \textbf{(9)}$$

gdje je:

- H_a - vlažnost ulaznog zraka, [g vode na kg suhog zraka],
- c_{CO_2} - suha koncentracija CO_2, [%],
- c_{CO} - suha koncentracija CO [%],
- α - molarni omjer ugljikovodika (H/C).

3.8. Određivanje masenog protoka ispušnih plinova

Izračun trenutačnih masenih emisija zahtijeva određivanje masenog protoka ispušnih plinova. Maseni protok ispušnih plinova utvrđuje se jednom od metoda izravnog mjerenja navedenih u točki 7.2. Dodatka 2. Alternativno, dopušteno je izračunavati maseni protok ispušnih plinova kao što je opisano u točkama 3.8.1. do 3.8.3.

3.8.1. Metoda izračuna pomoću masenog protoka zraka i masenog protoka goriva

Trenutačni maseni protok ispušnih plinova može se izračunati iz masenog protoka ispušnih plinova i masenog protoka goriva kako slijedi:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad \textbf{(10)}$$

pri čemu je:

- $q_{mew,i}$ - trenutačni maseni protok ispušnih plinova, [kg/s],
- $q_{maw,i}$ - trenutačni maseni protok ulaznog zraka, [kg/s],
- $q_{mf,i}$ - trenutačni maseni protok goriva, [kg/s].

Ako se maseni protok zraka i maseni protok goriva utvrđuju iz podataka zabilježenih ECU-om, izračunani trenutačni maseni protok ispušnih plinova odgovara zahtjevima za linearnost

za maseni protok ispušnih plinova. u točki 3. Dodatka 2. i zahtjevima za validaciju navedenima u točki 4.3. Dodatka 3 [3].

3.8.2. Metoda izračuna pomoću masenog protoka zraka i omjera zraka i goriva

Trenutačni maseni protok ispušnih plinova može se izračunati iz omjera masenog protoka zraka i omjera zraka i goriva kako slijedi:

$$q_{\mathrm{mew,i}} = q_{\mathrm{maw,i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{\mathrm{st}} \cdot \lambda_{\mathrm{i}}}\right) \tag{11}$$

pri čemu je:

$$A/F_{\mathrm{st}} = \frac{138,0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right)}{12,011 + 1,008 \cdot \alpha + 15,9994 \cdot \varepsilon + 14,0067 \cdot \delta + 32,0675 \cdot \gamma} \tag{12}$$

$$\lambda_{\mathrm{i}} = \frac{\left(100 - \frac{c_{\mathrm{CO}} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{\mathrm{HC_W}} \cdot 10^{-4}\right) + \left(\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{\mathrm{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{\mathrm{CO_2}}}}{1 + \frac{c_{\mathrm{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{\mathrm{CO_2}}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \cdot \left(c_{\mathrm{CO_2}} + c_{\mathrm{CO}} \cdot 10^{-4}\right)}{4,764 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) \cdot \left(c_{\mathrm{CO_2}} + c_{\mathrm{CO}} \cdot 10^{-4} + c_{\mathrm{HC_W}} \cdot 10^{-4}\right)} \tag{13}$$

pri čemu je:

- $q_{\mathrm{maw,i}}$ trenutačni maseni protok ulaznog zraka [kg/s],
- A/F_{st} stehiometrijski omjer zrak/gorivo [kg/kg],
- λ_{i} trenutačan omjer viška zraka, [-],
- $c_{\mathrm{CO_2}}$ suha koncentracija CO_2 [%],
- c_{CO} suha koncentracija CO [ppm],
- $c_{\mathrm{HC_W}}$ vlažna koncentracija HC-a [ppm],
- α molarni omjer ugljikovodika (H/C),
- β molarni omjer ugljika (C/C),
- γ molarni omjer sumpora (S/C),
- δ molarni omjer dušika (N/C),
- ε molarni omjer kisika (O/C).

Koeficijenti se odnose na gorivo C_β H_α O_ε N_δ S_γ uz β = 1 za goriva temeljena na ugljiku. Koncentracija emisija HC-a obično je niska i može se izostaviti pri izračunu λ. Ako se maseni

protok zraka i omjer zraka i goriva utvrđuju iz podataka zabilježenih ECU-om, izračunani trenutačni maseni protok ispušnih plinova odgovara zahtjevima za linearnost masenog protoka ispušnih plinova prema točki 3. Dodatka 2. i zahtjevima za validaciju navedenima u točki 4.3. Dodatka 3 [9].

3.8.3. Metoda izračuna pomoću masenog protoka goriva i omjera zraka i goriva

Trenutačni maseni protok ispuha može se izračunati iz protoka goriva i omjera zraka i goriva (izračunava se uz A/F_{st} i λ_i u skladu s poglavljem 3.8.2) kako slijedi:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left(1 + A/F_{st} \cdot \lambda_i\right) \quad \textbf{(14)}$$

Izračunani trenutačni maseni protok ispušnih plinova odgovara zahtjevima linearnosti navedenima za maseni protok ispušnih plinova u točki 3. Dodatka 2. i zahtjevima za validaciju navedenima u točki 4.3. Dodatka 3 [3].

3.9. Izračun masenih emisija komponenti ispušnih plinova

Masene emisije [g/s] određuju se množenjem trenutačne koncentracije onečišćujuće tvari koja se razmatra [ppm] s trenutačnim masenim protokom ispušnih plinova [kg/s], pri čemu se obje vrijednosti ispravljaju prema vremenu transformacije i usklađuju s njim, i s odgovarajućom vrijednošću u iz tablice 1. Ako se trenutačne koncentracije komponenti mjere na suhoj osnovi, prije daljnjih izračuna na njih se primjenjuje korekcija iz suhih u vlažne uvjete. Ako se pojave, negativne vrijednosti trenutačne emisije ulaze u sva naknadna ocjenjivanja podataka. Vrijednosti parametara ulaze u izračun trenutačnih emisija [g/s] prema izvješću analizatora, instrumenta za mjerenje protoka, senzora ili ECU-a. Primjenjuje se sljedeća jednadžba:

$$m_{gas,i} = u_{gas} \cdot c_{gas,i} \cdot q_{me_W,i} \quad \textbf{(15)}$$

gdje je:

- $m_{gas,i}$ masa plinovite komponente u ispušnom plinu, [g/s],
- u_{gas} omjer gustoće plinovite komponente u ispušnom plinu i ukupne gustoće ispuha koja je navedena u tablici10. [-],
- $c_{gas,i}$ izmjerena koncentracija plinovite komponente u ispušnom plinu, [ppm],
- $q_{me_W,i}$ izmjereni maseni protok ispušnih plinova, [kg/s],
- i broj mjerenja.

Tablica 10. Vrijednosti nerazrijeđenog ispušnog plina *u* koje odražavaju omjer gustoća komponente ispuha ili onečišćujuće tvari *i* [kg/m^3] i gustoće ispušnog plina [kg/m^3]

Gorivo	ρ_e [kg/m^3]	Komponenta ili onečišćujuća tvar *i*					
		NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4
		ρ_{gas} [kg/m^3]					
		2,053	1,250	(1)	1,9636	1,4277	0,716
		u_{gas} (2), (6)					
Dizelsko gorivo (B7)	1,2943	0,001586	0,000966	0,000482	0,001517	0,001103	0,000553
Etanol (ED95)	1,2768	0,001609	0,000980	0,000780	0,001539	0,001119	0,000561
Stlačeni prirodni plin (SPP) (3)	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 (4)	0,001551	0,001128	0,000565
Propan	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butan	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
Ukapljeni naftni plin (UNP) (5)	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559
Benzin (E10)	1,2931	0,001587	0,000966	0,000499	0,001518	0,001104	0,000553
Etanol (E85)	1,2797	0,001604	0,000977	0,000730	0,001534	0,001116	0,000559

(1) ovisno o gorivu,

(2) Pri λ = 2, suhi zrak, 273 K, 101,3 kPa,

(3) u vrijednosti točne unutar 0,2 % za maseni sastav od: C = 66 – 76 %; H = 22 – 25 %; N = 0 – 12 %

(4) NMHC na temelju $CH_{2,93}$ (za THC upotrebljava se koeficijent u_{gas} od CH_4)

(5) *u* točno unutar 0,2 % za maseni sastav od: C3 = 70 – 90 %; C4 = 10 – 30 %

(6) u_{gas} je parametar bez mjerne jedinice; vrijednosti u_{gas} obuhvaćaju pretvorbe mjerne jedinice kako bi se osiguralo dobivanje trenutačnih emisija u navedenoj fizičkoj jedinici, odnosno g/s.

3.10. Verifikacija dinamičkih uvjeta vožnje i izračun konačnog rezultata RDE

3.10.1. „Metoda pomičnog prozora“

Metoda pomičnog prozora za izračun srednje vrijednosti pruža uvid u emisije tijekom stvarne vožnje do kojih dolazi tijekom ispitivanja u danim razmjerima. Ispitivanje je podijeljeno u poddionice (prozore), a cilj je određivanje koji su prozori primjereni za procjenu stvarnih emisija tijekom vožnje vozila. „Ispravnost“ prozora prema [9] određuje se usporedbom njihovih emisija CO_2 povezanih s udaljenošću s referentnom krivuljom. Ispitivanje je potpuno kada uključuje dovoljan broj prozora u skladu s ograničenjima kojima su obuhvaćena različita područja brzine odnosno gradska i izvangradska vožnja te vožnja autocestom.

Indeks (i) odnosi se na vremenski korak, indeks (j) odnosi se na prozor dok se indeks (k) odnosi se na kategoriju (t = ukupno, u = gradska vožnja, r = izvangradska vožnja, m = vožnja autocestom) ili karakterističnu krivulju CO_2 (cc). Indeks „gas” (plin) odnosi se na regulirane komponente ispuha (npr. NO_x , CO, PN).

Verifikacija se provodi u pet koraka. U prvom koraku obuhvaćena je segmentacija podataka i isključivanje emisija tijekom hladnog pokretanja motora. U drugom koraku izračunava se emisija pomoću podskupova. U trećem i četvrtom koraku utvrđuju se normalni prozori i provjerava potpunost i normalnost vožnje. U zadnjem koraku izračunava se emisija pomoću normalnih prozora.

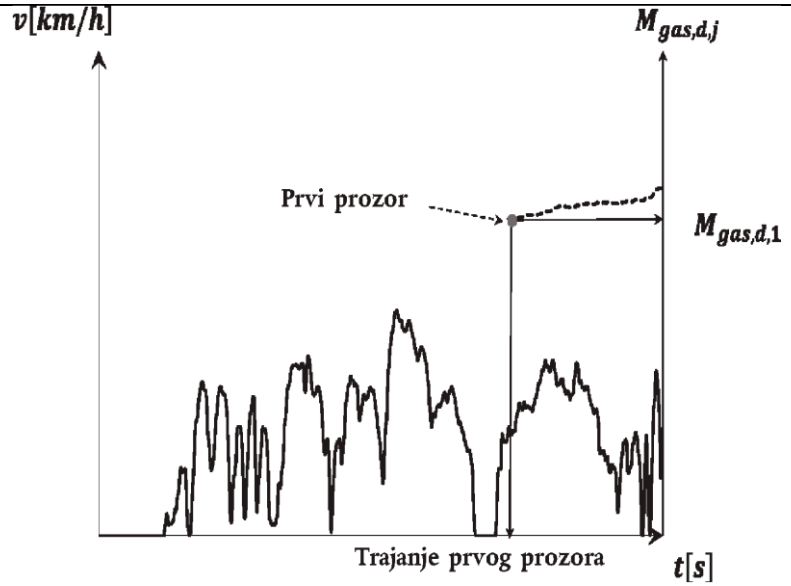
3.10.1.1. Definicija prozora za izračun srednje vrijednosti

Trenutne emisije izračunane prema [9] integriraju se metodom pomičnog prozora za izračun srednje vrijednosti na temelju referentne mase CO_2. Postupak izračuna je sljedeći: masene se emisije ne izračunavaju za potpuni skup podataka, već za podskupove skupa podataka. Duljina tih podskupova određuju se tako da odgovara masi CO_2 koju ispušta vozilo tijekom referentnog laboratorijskog ciklusa. Izračuni pomične srednje vrijednosti provode se vremenskim korakom Δt koji odgovara frekvenciji uzorkovanja podataka. Ti se podskupovi za izračun srednje vrijednosti podataka o emisijama nazivaju „prozorima za izračun srednje vrijednosti".

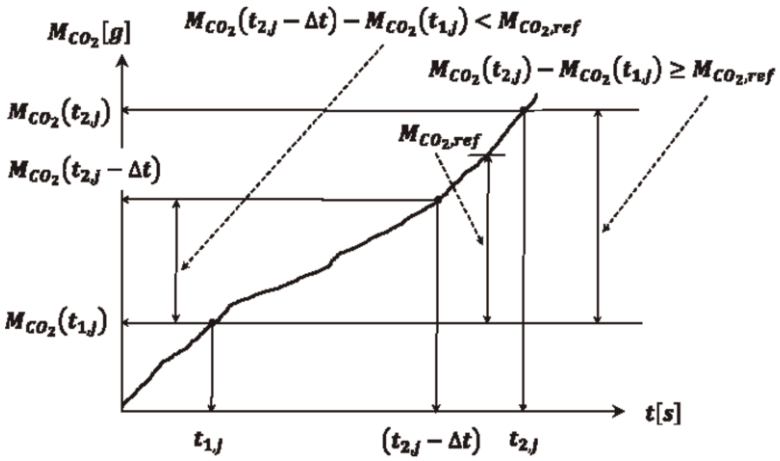
Sljedeći se podaci ne razmatraju prilikom izračuna mase CO_2, emisija i veličine prozora za izračun srednje vrijednosti:

- periodične verifikacije instrumenata i/ili nakon verifikacije pomaka s nulte točke,
- emisije tijekom hladnog pokretanja motora,
- brzina vozila manja od 1 km/h,
- bilo koja dionica ispitivanja tijekom koje je motor s unutarnjim izgaranjem isključen.

Masa ili broj čestica emisija $M_{gas,j}$ određuje se integriranjem trenutačnih emisija u g/s ili #/s za broj čestica izračunanih kako je utvrđeno u [9].



Slika 9. Brzina vozila ovisna o vremenu, prosječne emisije vozila ovisno o vremenu



Slika 10. Definicija mase CO_2 na temelju prozora za izračun srednje vrijednosti

Trajanje $\left(t_{2,\mathrm{j}} - t_{1,\mathrm{j}}\right)$ j-tog prozora za izračun srednje vrijednosti određuje se na sljedeći način:

$$M_{\mathrm{CO_2}}(t_{2,\mathrm{j}}) - M_{\mathrm{CO_2}}(t_{1,\mathrm{j}}) \geq M_{\mathrm{CO_2},ref} \qquad \textbf{(16)}$$

pri čemu je:

- $M_{\mathrm{CO_2}}(t_{\mathrm{i,j}})$ masa CO_2 izmjerena između početka ispitivanja i vremena $t_{2,\mathrm{j}}$,
- $M_{\mathrm{CO_2},ref}$ polovina mase CO_2 [g] koju ispusti vozilo u Globalno usklađenom ispitnom ciklusu za laka vozila (WLTC) opisanom u Globalnom tehničkom pravilniku UNECE-a br. 15 – Globalno usklađeni ispitni postupak za laka vozila (ECE/TRANS/180/Add.15; ispitivanje tipa I., uključujući hladno pokretanje motora);

- $t_{2,j}$ izabire se tako da je:

$$M_{CO_2}(t_{2,j} - \Delta t) - M_{CO_2}(t_{1,j}) < M_{CO_2,ref} \leq M_{CO_2}(t_{2,j}) - M_{CO_2}(t_{1,j}) \quad \textbf{(17)}$$

pri čemu je Δt razdoblje uzorkovanja podataka.

Mase CO_2 izračunavaju se u prozorima integriranjem trenutačnih emisija izračunanih kako je opisano u poglavlju 3.9.

Za svaki se prozor izračunava sljedeće:

- emisije povezane s udaljenošću $M_{gas,d,j}$ za sve onečišćujuće tvari navedene u Prilogu III A [9],
- emisije CO_2 povezane s udaljenošću $M_{CO_2,d,j}$,
- prosječna brzina vozila $\bar{v}_j$.

3.10.1.2. Ocjenjivanje prozora

Referentni dinamični uvjeti ispitnog vozila određuju se na temelju emisija CO_2 vozila u odnosu na prosječnu brzinu izmjerenu pri homologaciji i nazivaju se „karakteristična krivulja CO_2 vozila". Za dobivanje emisija CO_2 povezanih s udaljenošću vozilo se ispituje na dinamometru s valjcima primjenom postavki cestovnog otpora utvrđenih postupkom propisanim u Prilogu 4. Globalnom tehničkom pravilniku UNECE-a br. 15 – globalno usklađeni ispitni postupak za laka vozila (ECE/TRANS/180/Add.15).

3.11. Matematički model za provjeru ukupne dinamičnosti vožnje

U ovom poglavlju opisuju se postupci izračunavanja u programu *MS Excel* kojima se provjerava ukupna dinamičnost vožnje kako bi se utvrdio ukupni karakter dinamičnosti tijekom gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom te utvrdilo da li je ruta u skladu s ograničenima.

Dinamičnim uvjetima obuhvaćen je učinak kategorizacije ceste, frontalnog vjetra i dinamike vožnje (ubrzanja, usporavanja) na potrošnju energije i emisije ispitnog vozila. Verifikacija normalnosti dinamičnih uvjeta obavlja se nakon dovršetka ispitivanja pomoću zabilježenih podataka iz prijenosnog sustava za mjerenje emisija PEMS.

Dinamički parametri kao što su ubrzanje a_i, umnožak brzine vozila i ubrzanja $v \cdot a_{pos}$ ili relativno pozitivno ubrzanje *RPA* određuju se signalom brzine s točnošću od 0,1 % za sve vrijednosti brzine iznad 3 km/h i frekvencijom uzorkovanja od 1 Hz. Taj zahtjev točnosti općenito se ispunjava signalima dobivenima od senzora brzine kotača.

Zapis brzine provjerava se radi nalaženja pogrešnih zapisa. Zapisi brzine vozila su skokovitog karaktera te je potrebna korekcija. Korigiraju se kratki pogrešni dijelovi, npr. interpolacijom podataka ili ocjenjivanjem u odnosu na sekundarni signal brzine. Kasnijom analizom podataka mogu se isključiti kratke vožnje s pogrešnim zapisom. U drugom koraku izračunavaju se vrijednosti ubrzanja s uzlaznim redoslijedom radi utvrđivanja rezolucije ubrzanja a_{res} - najmanja vrijednost ubrzanja veća od 0.

Ako je $a_{res} \leq 0{,}01$ m/s^2, mjerenje brzine vozila je dovoljno točno.

Ako je $a_{res} \geq 0{,}01$ m/s^2, potrebno je izvršiti izglađivanje podataka primjenom Hanningova filtra T4253H. Izglađivanje podataka primjenom Hanningovog filtra T4235 izvodi se na sljedeći način: filter za izglađivanje počinje primjenom pomičnog medijana 4, nakon kojeg se podaci usrednjavaju pomičnim medijanom 2. Dobiveni podaci se zatim opet izglađuje primjenom pomičnog medijana 5, pomičnog medijana 3 i Hanningovim filtrom. Reziduali se izračunavaju oduzimanjem izglađenog niza od izvornog niza. Taj se cijeli postupak zatim ponavlja na izračunanim rezidualima. Naposljetku, izglađene krajnje vrijednosti brzina izračunavaju se zbrajanjem izglađenih vrijednosti dobivenih pri prvom izvođenju postupka s izračunanim rezidualima.

3.11.1. Izračun udaljenosti, ubrzanja i v·a

Izračuni u nastavku izvode se na cijelom vremenskom zapisu brzine, rezolucijom od 1 Hz, od prve do posljednje t_t sekunde.

Povećanje udaljenosti po uzorku podataka za rezoluciju od 1 Hz izračunava se na slijedeći način:

$$d_i = \frac{v_i \cdot \Delta t}{3{,}6}, \qquad i = 1 \text{ do } N_t \tag{18}$$

gdje je:

- d_i - udaljenost prijeđena u vremenskom koraku i [m],
- v_i - stvarna brzina vozila u vremenskom koraku i [km/h],
- Δt - vremenski korak od 1 [s],
- N_t – ukupan broj uzoraka.

Ubrzanje se izračunava kako slijedi:

$$a_i = \frac{(v_{i+1} - v_{i-1})}{(2 \cdot 3{,}6)}, \qquad i = 1 \text{ do } N_t \tag{19}$$

pri čemu je:

- a_i ubrzanje u vremenskom koraku i [m/s^2] za $i=1$: $v_{i-1}=0$, za N_t :$v_{i+1}=0$.

Umnožak brzine vozila i ubrzanja računa se:

$$(v \cdot a)_i = \frac{v_i \cdot a_i}{3,6}, \qquad i=1 \text{ do } N_t \tag{20}$$

pri čemu je:

- $(v \cdot a)_i$ umnožak stvarne brzine vozila i ubrzanja u vremenskom koraku i [m^2/s^3 ili W/kg].

Nakon izračunavanja a_i i $(v \cdot a)_i$, vrijednosti v_i, d_i, a_i i $(v \cdot a)_i$ poredane su uzlaznim redom po brzini vozila.

Svi skupovi podataka u kojima je $v_i \leq 60$ km/h razvrstavaju se u „gradsku" skupinu podataka o brzini, svi skupovi podataka u kojima je brzina 60 km/h < $v_i \leq 90$ km/h razvrstavaju se u „izvangradsku" skupinu podataka o brzini, a svi skupovi podataka u kojima je $v_i > 90$ km/h razvrstavaju se u „autocestovnu" skupinu podataka o brzini.

U svakoj skupini podataka o brzini mora biti najmanje 150 skupova podataka s vrijednostima ubrzanja $a_i > 0,1$ m/s^2 što se provjerava u matematičkom modelu izrađenom u alatu *MS Excel* što je prikazano na slijedećoj slici.

Ukupni broj uzoraka dijelova gradske vožnje s pozitivnim ubrzanjem većim od 0,1 m/s^2	Ukupni broj uzoraka dijelova izvangradske vožnje s pozitivnim ubrzanjem većim od 0,1 m/s^2	Ukupni broj uzoraka dijelova vožnje autocestom s pozitivnim ubrzanjem većim od 0,1 m/s^2
M_u	M_r	M_m
-	-	-
1139	590	903

Slika 11. Provjera broja uzoraka vožnje po skupinama s ubrzanjem većim od 0,1 m/s^2

Za svaku skupinu podataka o brzini izračunava se prosječna brzina vozila v_k na sljedeći način:

$$\bar{v}_k = \left(\sum_i v_{i,k}\right) / N_k, \; i=1 \text{ do } N_t, \; k=u,r,m \tag{21}$$

pri čemu je:

- N_k ukupni broj uzoraka dijelova gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom.

Prosječna brzina gradske vožnje	Prosječna brzina izvangradske vožnje	Prosječna brzina vožnje autocestom
$v_{sr,u}$	$v_{sr,r}$	$v_{sr,m}$
[km/h]	[km/h]	[km/h]
27,59	74,67	116,12

Slika 12. Izračun prosječne brzine po skupinama u programu *MS Excel*

3.11.2. Verifikacija valjanosti vožnje

Kako bi se utvrdilo zadovoljava li ruta zadane uvjete potrebno je izračunati 95. percentil vrijednosti $v \cdot a_{pos}$.

Vrijednosti $(v \cdot a)_{i,k}$ u svakoj skupini podataka o brzini redaju se uzlaznim redom za sve skupove podataka u kojima je $a_{i,k} > 0{,}1$ m/s^2 te se određuje ukupan broj tih uzoraka M_k. Vrijednosti percentila zatim se dodjeljuju vrijednostima $(v \cdot a_{pos})_{i,k}$ u kojima je $a_{i;k} > 0{,}1$ m/s^2 na sljedeći način: najnižoj vrijednosti $v \cdot a_{pos}$ dodjeljuje se percentil $1/M_k$, drugoj najnižoj $2/M_k$, trećoj najnižoj $3/M_k$, a najvišoj vrijednosti $M_k/M_k = 100$ %.

$(v \cdot a_{pos})_{k}$-[95] je vrijednost $(v \cdot a_{pos})_{j,k}$, pri čemu je $j/M_k = 95$ %. Ukoliko nije moguće nije moguće ispuniti $j/M_k = 95$ %, $(v \cdot a_{pos})_{k}$-[95] izračunava se linearnom interpolacijom između uzastopnih uzoraka j i j+1 u kojima je $j/M_k < 95$ % i $(j+1)/M_k > 95$%.

95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2 za gradsku vožnju		95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2 za izvangradsku vožnju		95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2 za vožnju autocestom	
$(v \cdot a_{pos})_{i,u}$-[95]		$(v \cdot a_{pos})_{i,r}$-[95]		$(v \cdot a_{pos})_{i,m}$-[95]	
m^2/s^3		m^2/s^3		m^2/s^3	
94,99561	95,08341	94,91525	95,08475	94,90587	95,01661
Umnožak stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2		Umnožak stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2		Umnožak stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2	
1,148148148	1,160493827	2,395061728	2,407407407	3,641975309	3,654320988
Interpolacija umnoška za 95. percentil stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2		Interpolacija umnoška za 95. percentil stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2		Interpolacija umnoška za 95. percentil stvarne brzine vozila i pozitivnog ubrzanja većeg od 0,1 m/s^2	
1,148765432		2,401234568		3,652469136	

Slika 13. Izračun 95. percentila vrijednosti $v \cdot a_{pos}$ po skupinama u programu *MS Excel*

Potrebno je izračunati relativno pozitivno ubrzanje po skupini podataka o brzini izračunava se kako slijedi:

$$RPA_k = \sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k}) / \sum_i d_{i,k} \quad j = 1 \text{do} M_k,\ i = 1 \text{do}\ N_k,\ k = u, r, \text{m} \qquad \textbf{(22)}$$

pri čemu je:

- RPA_k - relativno pozitivno ubrzanje tijekom dijelova gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom u [m/s^2 ili kWs/(kg·km)],
- Δt - vremenska razlika od 1 sekunde,
- M_k je broj uzoraka dijelova gradske i izvangradske vožnje i vožnje autocestom s pozitivnim ubrzanjem,
- N_k je ukupni broj uzoraka za dijelove gradske i izvangradske vožnje te vožnje autocestom.

Nakon izračunatih vrijednosti 95. percentila vrijednosti $v \cdot a_{pos}$ i relativnog pozitivnog ubrzanja *RPA* potrebno je provjeriti sljedeće nejednakosti.

Ako su zadovoljene sljedeće nejednakosti, ruta nije valjana.

$$\bar{v}_k \leq 74,6\,\text{km/h} \tag{23}$$

i

$$(v \cdot a_{pos})_{k-}[95] > (0,136 \cdot \overline{v_k} + 14,44) \tag{24}$$

Ako je $\bar{v}_k > 74,6\,\text{km/h}$ i

$$(v \cdot a_{pos})_{k-}[95] > (0,0742 \cdot \overline{v_k} + 18,966) \tag{25}$$

ruta također nije valjana.

Potrebno je provjeriti i relativno pozitivno ubrzanje *RPA* po skupinama podataka o brzini.

Ako su zadovoljene sljedeće nejednakosti, ruta nije valjana.

$$\bar{v}_k \leq 94,05\,\text{km/h} \tag{26}$$

i

$$RPA_k < (-0,0016 \cdot \overline{v_k} + 0,1755) \tag{27}$$

Ako je $\bar{v}_k > 94,05\,\text{km/h}$ i

$$RPA_k < (-0,0025) \tag{28}$$

ruta također nije valjana.

Potrebno je zadovoljiti sve uvjete kako bi ruta bila zadovoljavajuća za provedbu RDE postupka.

Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,u}$-[95] za gradsku vožnju	Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,r}$-[95] za izvangradsku vožnju	Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,m}$-[95] za vožnju autocestom	Verifikacija *RPA* za gradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za izvangradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za vožnju autocestom
OK	OK	OK	vožnja ne zadovoljava	OK	OK

Slika 14. Verifikacija rute u programu *MS Excel*

3.12. Određivanje ukupnog pozitivnog uspona

U ovom poglavlju opisuje se postupak određivanja ukupnog pozitivnog uspona tijekom vožnje.

Ukupan pozitivni uspon tijekom RDE vožnje određuje se na osnovu tri parametra:

- trenutačne nadmorske visine vozila $h_{GPS,i}$, [m nadmorske visine] izmjerene GPS-om s frekvencijom uzorkovanja od 1 Hz,
- trenutačne brzine vozila v_i, [km/h] izmjerene s frekvencijom uzorkovanja od 1 Hz,
- vremena t, [s] proteklog od početka ispitivanja.

3.12.1. Izračun ukupnog pozitivnog uspona

Ukupni pozitivni uspon tijekom vožnje izračunava se u sljedeća tri koraka:

- pregled i načelna verifikacija kvalitete podataka,
- korekcija trenutačnih podataka o nadmorskoj visini vozila,
- izračun ukupnog pozitivnog uspona.

3.12.1.1. Pregled i načelna verifikacija kvalitete podataka

Provjerava se cjelovitost podataka o trenutačnoj brzini vozila. Ispravci zbog podataka koji nedostaju dopušteni su ako su dijelovi koji nedostaju u okviru zahtjeva određenih u točki 7. Dodatka 4 [9]. Provjerava se usklađenost brzine vozila utvrđene GPS-om izračunavanjem i uspoređivanjem ukupne prijeđene udaljenosti vožnje s referentnim mjerenjima dobivenim iz senzora PEMS-a, validiranog ECU-a ili iz digitalne cestovne mreže ili topografske karte. Validacija obuhvaća postupak ocjenjivanja ispravnosti ugradnje i funkcionalnosti prijenosnog sustava za mjerenje emisija i ispravnosti mjerenja i dobivanja podataka iz senzora ili signala ECU-a s točnosti prema tablici 3.. Izvornik i neispravljena podatkovna datoteka se čuvaju, a svi se ispravljeni podaci označavaju. Ispravljeni podaci ne smiju prijeći neprekinuto vremensko razdoblje od 120 sekundi ili ukupno 300 sekundi. Ukupna prijeđena udaljenost vožnje prema izračunu iz ispravljenih podataka GPS-a ne smije odstupati više od 4 %

referentne vrijednosti. Ako podaci iz GPS-a ne odgovaraju tim zahtjevima i nije dostupan drugi pouzdani izvor brzine, rezultati ispitivanja se poništavaju.

Točke s nezabilježenim položajem u podacima nadopunjuju se interpolacijom podataka. Točnost interpoliranih podataka provjerava se topografskom kartom. Preporučuje se korekcija interpoliranih podataka ako je sljedeći uvjet ispunjen:

$$\left|h_{\mathrm{GPS}}(t) - h_{\mathrm{map}}(t)\right| > 40\,\mathrm{m} \qquad \textbf{(29)}$$

Nadmorska visina ispravlja se tako da je:

$$h(t) = h_{\mathrm{map}}(t) \qquad \textbf{(30)}$$

pri čemu je:

- $h(t)$ - nadmorska visina vozila nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka na podatkovnoj točki *t*, [m nadmorske visine],
- $h_{\mathrm{GPS}}(t)$ - nadmorska visina vozila izmjerena GPS-om na podatkovnoj točki *t*, [m nadmorske visine],
- $h_{\mathrm{map}}(t)$ - nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t* na temelju topografske karte [m nadmorske visine].

3.12.1.2. Korekcija trenutačnih podataka o nadmorskoj visini vozila

Nadmorska visina $h(0)$ na početku vožnje na točki $d(0)$ mjeri se GPS-om, a točnost tog mjerenja provjerava se topografskom kartom. Odstupanje ne smije biti veće od 40 m. Svaki trenutačni podatak o nadmorskoj visini *h(t)* ispravlja se ako je ispunjen sljedeći uvjet:

$$\left|h(t) - h(t-1)\right| > (v(t)/3{,}6 \cdot \sin 45°) \qquad \textbf{(31)}$$

Nadmorska visina ispravlja se tako da je:

$$h_{\mathrm{corr}}(t) = h_{\mathrm{corr}}(t-1) \qquad \textbf{(32)}$$

pri čemu je:

- $h(t)$ - nadmorska visina vozila nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka na podatkovnoj točki *t*, [m nadmorske visine],
- $h(t-1)$ - nadmorska visina vozila nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka na podatkovnoj točki $t - 1$, [m nadmorske visine],
- $v(t)$ - brzina vozila, [km/h],

- $h_{\text{corr}}(t)$ - korigirana trenutačna nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t*, [m nadmorske visine],
- $h_{\text{corr}}(t-1)$ - korigirana trenutačna nadmorska visina vozila na podatkovnoj točki *t* – 1, [m nadmorske visine].

Nakon završetka postupka korekcije utvrđuje se valjani skup podataka o nadmorskoj visini. Ti se podaci koriste za izračun ukupnog pozitivnog uspona.

3.12.1.3. Izračun ukupnog pozitivnog uspona

Ukupna udaljenost d_{tot}, [m] prijeđena tijekom vožnje određuje se kao zbroj trenutačnih udaljenosti d_{i}. Trenutačna udaljenost d_{i} određena je kao:

$$d_i = \frac{v_i \cdot \Delta t}{3,6}, \qquad i = 1 \text{ do } N_t \tag{33}$$

gdje je:

- d_{i} - udaljenost prijeđena u vremenskom koraku *i* [m],
- v_{i} - brzina vozila u vremenskom koraku *i* [km/h],
- Δt - vremenski korak od 1 [s].

Ukupan pozitivni uspon izračunava se iz podataka s konstantnom prostornom rezolucijom od 1 m počevši od prvog mjerenja na početku vožnje *d*(0). Izdvojene podatkovne točke s rezolucijom od 1 m nazivaju se točkama puta, a karakterizirane su određenom vrijednošću udaljenosti *d* (npr. 0, 1, 2, 3 m…) i odgovarajućom nadmorskom visinom *h(d)* [m nadmorske visine].

Nadmorska visina svake izdvojene točke puta *d* izračunava se interpolacijom trenutačne nadmorske visine $h_{\text{corr}}(t)$ kako slijedi:

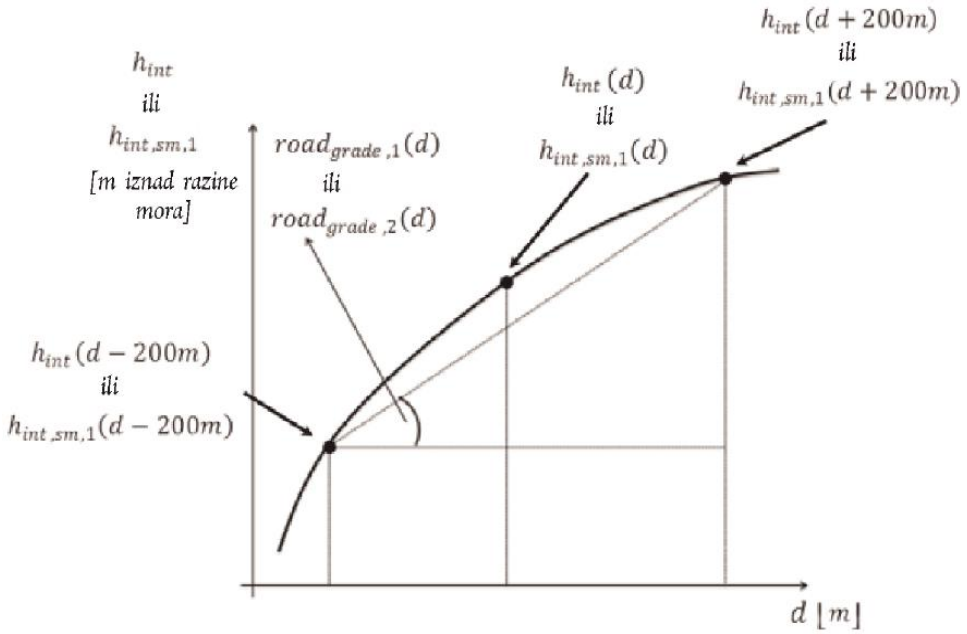
$$h_{\text{int}}(d) = h_{\text{corr}}(0) + \frac{h_{\text{corr}}(1) - h_{\text{corr}}(0)}{d_1 - d_0} \cdot (d - d_0) \tag{34}$$

gdje je:

- $h_{\text{int}}(d)$ - interpolirana nadmorska visina vozila na razmatranoj izdvojenoj zasebnoj točki puta *d*, [m nadmorske visine],
- $h_{corr}(0)$ - korigirana nadmorska visina vozila neposredno ispred odgovarajuće točke puta *d*, [m nadmorske visine],

- $h_{corr}(1)$ - korigirana nadmorska visina vozila neposredno iza odgovarajuće točke puta *d*, [m nadmorske visine],
- *d* - ukupna udaljenost prijeđena do razmatrane izdvojene točke puta [m],
- d_0 - ukupna udaljenost prijeđena do mjerenja neposredno ispred odgovarajuće točke puta *d*, [m],
- d_1 - ukupna udaljenost prijeđena do mjerenja neposredno iza odgovarajuće točke puta *d* [m].

Podaci o nadmorskoj visini dobiveni za svaku izdvojenu točku puta izglađuju se primjenom postupka od dva koraka; d_a i d_e označavaju prvu i posljednju podatkovnu točku što je prikazano na slici 15.



Slika 15. Izglađivanje interpoliranog signala nadmorske visine

Prvo izglađivanje primjenjuje se kako slijedi:

$$road_{\text{grade},1}(d) = \frac{h_{\text{int}}(d+200\,\text{m}) - h_{\text{int}}(d_{\text{a}})}{(d+200\,\text{m})}, \quad \text{za } d \le 200\,\text{m} \tag{35}$$

$$road_{\text{grade},1}(d) = \frac{h_{\text{int}}(d+200\,\text{m}) - h_{\text{int}}(d-200\,\text{m})}{(d+200\,\text{m}) - (d-200\,\text{m})}, \quad \text{za } 200\,\text{m} < d < (d_{\text{e}} - 200\,\text{m}) \tag{36}$$

$$road_{\text{grade},1}(d) = \frac{h_{\text{int}}(d_e) - h_{\text{int}}(d-200\,\text{m})}{d_{\text{e}} - (d-200\,\text{m})}, \quad \text{za } d \ge (d_e - 200\,\text{m}) \tag{37}$$

$$h_{\text{int,sm,1}}(d) = h_{\text{int,sm,1}}(d-1\text{m}) + road_{\text{grade},1}(d), \quad d = d_{\text{a}} + 1 \text{ do } d_{\text{e}} \tag{38}$$

$$h_{\text{int,sm,1}}(d_{\text{a}}) = h_{\text{int}}(d_{\text{a}}) + road_{\text{grade,1}}(d_a) \quad \textbf{(39)}$$

pri čemu je:

- $road_{\text{grade,1}}(d)$ - izglađeni nagib ceste na razmatranoj točki puta nakon prvog izglađivanja, [m/m],
- $h_{\text{int}}(d)$ - interpolirana nadmorska visina vozila na razmatranoj točki puta *d*, [m nadmorske visine],
- $h_{\text{int,sm,1}}(d)$ - izglađena interpolirana nadmorska visina vozila na razmatranoj točki puta *d*, [m nadmorske visine],
- d - ukupna prijeđena udaljenost na razmatranoj izdvojenoj točki puta, [m],
- d_0 - referentna točka puta na udaljenosti od nula metara, [m],
- d_{e} - ukupna prijeđena udaljenost do zadnje izdvojene točke puta, [m].

Drugo izglađivanje primjenjuje se kako slijedi:

$$road_{\text{grade,2}}(d) = \frac{h_{\text{int,sm,1}}(d + 200\,\text{m}) - h_{\text{int,sm,1}}(d_{\text{a}})}{(d + 200\,\text{m})}, \quad \text{za } d \le 200\,\text{m} \quad \textbf{(40)}$$

$$road_{\text{grade,2}}(d) = \frac{h_{\text{int,sm,1}}(d + 200\,\text{m}) - h_{\text{int,sm,1}}(d - 200\,\text{m})}{(d + 200\,\text{m}) - (d - 200\,\text{m})}, \quad \text{za } 200\,\text{m} < d < (d_{\text{e}} - 200\,\text{m}) \quad \textbf{(41)}$$

$$road_{\text{grade,2}}(d) = \frac{h_{\text{int,sm,1}}(d_e) - h_{\text{int,sm,1}}(d - 200\,\text{m})}{d_{\text{e}} - (d - 200\,\text{m})}, \quad \text{za } d \ge (d_e - 200\,\text{m}) \quad \textbf{(42)}$$

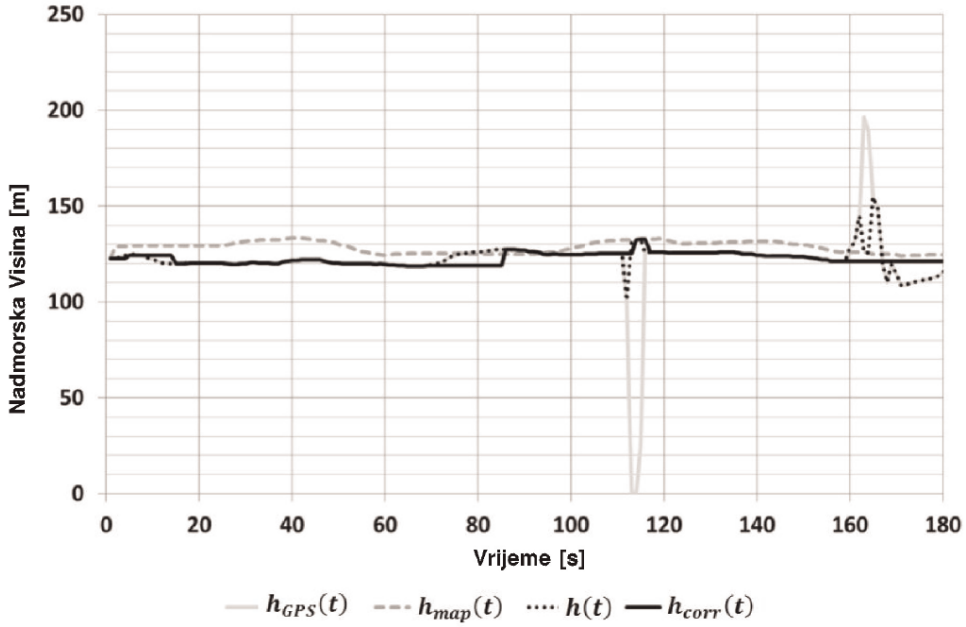
pri čemu je:

- $road_{\text{grade,2}}(d)$ - izglađeni nagib ceste na razmatranoj izdvojenoj točki puta nakon drugog izglađivanja, [m/m].

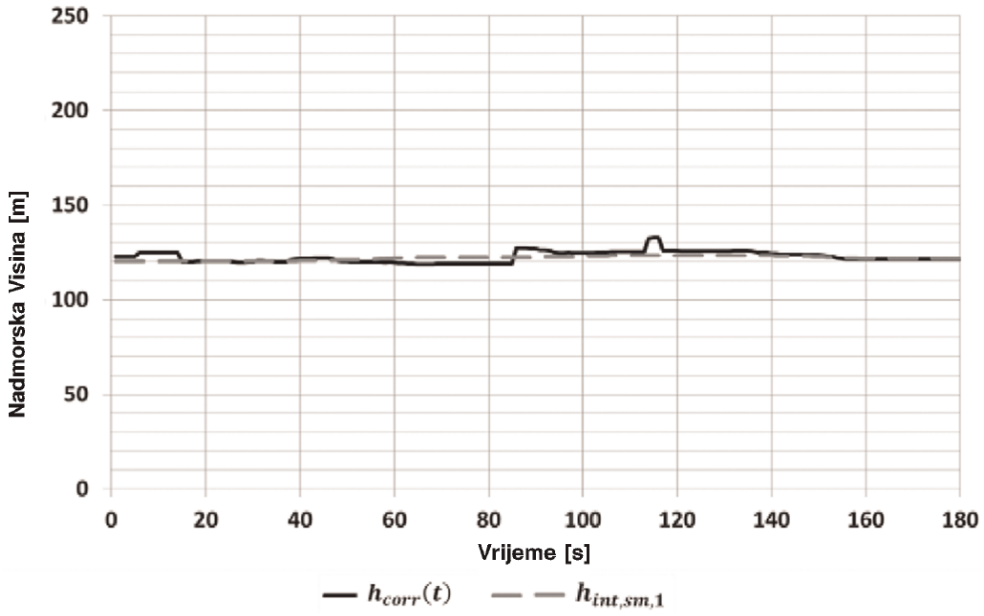
Ukupni pozitivni uspon tijekom vožnje izračunava se integracijom svih pozitivnih interpoliranih i izglađenih nagiba ceste, tj. $road_{\text{grade,2}}(d)$. Dijeljenjem tog rezultata s ukupnom udaljenošću ispitivanja d_{tot} te množenjem sa 100 dobiva se ukupni pozitivni uspon izražen u metrima ukupnog pozitivnog uspona po sto kilometara prijeđene udaljenosti.

Na dijagramu na slici 16 prikazani su podaci nakon verifikacije i korekcije podataka profila nadmorske visine mjeren GPS-om $h_{\text{GPS}}(t)$, profila nadmorske visine dobiven uvidom u topografsku kartu $h_{\text{map}}(t)$, profila nadmorske visine dobiven nakon pregleda i načelne verifikacije kvalitete podataka $h(t)$ i korigiranih podataka nadmorske visine $h_{\text{corr}}(t)$. Na

dijagramu na slici 17 prikazana je usporedba između korigiranog profila nadmorske visine $h_{corr}(t)$ i izglađene i interpolirane nadmorske visine $h_{int,sm,1}$ [9].



Slika 16. Usporedba korigiranog i interpoliranog profila nadmorske visine [9]



Slika 17. Izglađivanje interpoliranog profila nadmorske visine [9]

4. ISPITNE RUTE

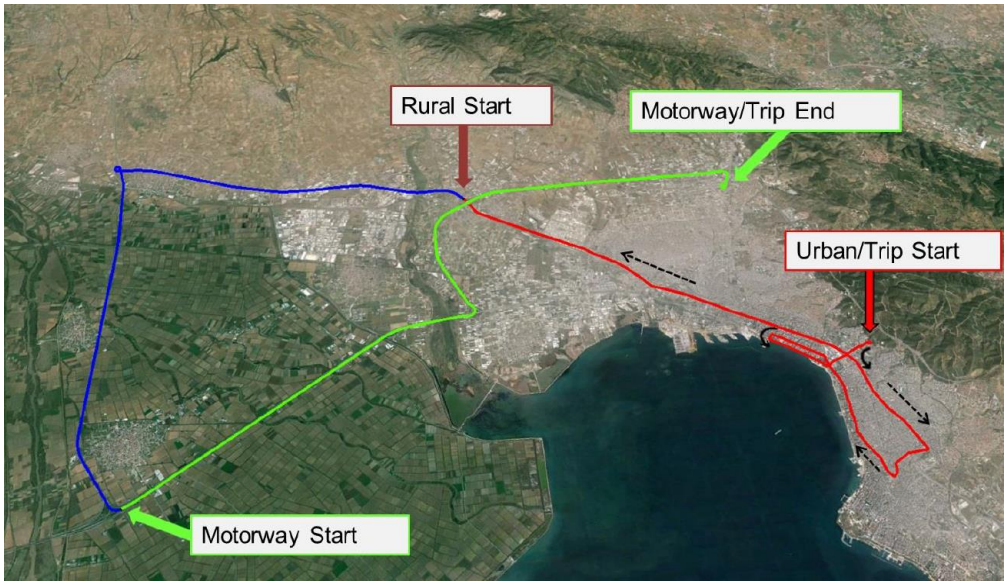
Uvjeti opisani u prethodnim poglavljima pokazuju da je zahtjevno pronaći odgovarajuću rutu za ispitivanje emisija u realnim uvjetima vožnje. U nastavku ovog rada prikazano je nekoliko primjera ispitivanja RDE rute.

4.1. Primjer ispitivanja emisija u realnim uvjetima vožnje

Tijekom definiranja rute potrebno je obratiti pažnju na prisutnost ograničenja brzine vožnje, prolazak kroz naplatne postaje i ostale uvjete koji utječu na konačne rezultate ispitivanja. Elektroničke karte mogu pružiti dodatne informacije o lokalnim ograničenjima brzine, trajanju putovanja, udaljenosti između pojedinih točaka rute i lokalnoj nadmorskoj visini u odnosu na razinu mora.

4.1.1. Ispitivanje rute Aristotle University of Thessaloniki

U ovom poglavlju prikazano je istraživanje *Aristotle University of Thessaloniki*. Prema opisanim uvjetima i zahtjevima na rutu, na slici 18. prikazana je ruta koja je odvožena za RDE ispitni postupak.



Slika 18. Prikaz RDE rute – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (plavo), vožnja autocestom (zeleno)

Prikazana ruta odvožena je putničkim automobilom emisijske razine Euro 6 s Dieselovim motorom radnog volumena motora 1,4 dm^3. Vozilo staro dvije godine je, u trenutku ispitivanja, imalo prijeđenih 10 000 km. Vozilo je opremljeno LNT katalizatorom (engl. *Lean NOx Trap*), DPF filterom (engl. *Diesel Particulate Filter*) i sustavom povrata ispušnih plinova

EGR (engl. *Exhaust Gas Recirculation*). U tablici 11. prikazani su rezultati RDE ispitivanja prema kojima je vidljivo da su ispunjeni osnovni uvjeti na zadanu rutu.

Tablica 11. Rezultati ispitivanja

		Thessaloniki RDE ruta	**Granične vrijednosti**
Trajanje vožnje		110 min	90 – 120 min
Trajanje zaustavljanja		22 %	> 10 %
Udaljenost		77 km	> 46 km
Udio prijeđenog puta po skupinama	**Gradska vožnja**	37 %	29 % - 44 %
	Izvangradska vožnja	29 %	23 % - 43 %
	Vožnja autocestom	34 %	23 % - 43 %
Prosječna brzina	**Gradska vožnja**	20,9 km/h	15 – 30 km/h
	Izvangradska vožnja	82,7	60 – 90 km/h
	Vožnja autocestom	117,6 km/h	100 – 145 km/h
Maksimalna visina		115 m	< 700 m
Razlika visine		-7 m	± 100 m

Ruta je odvožena s vozilom u izvornoj konfiguraciji prema RDE uvjetima na cesti i određen početni faktor sukladnosti *CF* od 5,4. Naknadno kalibriranje motora i ugradnja uređaja za selektivnu katalitičku redukciju SCR testirane su početne postavke motora. Redukcija NO_x spojeva postignuta tom modifikacijom bila je gotovo 90 %, što je dovelo do smanjenja faktora sukladnosti CF na vrijednost 0,53. Ovo istraživanje dokazuju da vozila s Dieselovim motorom mogu zadovoljiti zakonom propisane granice NO_x spojevima u stvarnim uvjetima vožnje, ako su ispravno instalirane i pravilno kalibrirane komponente za naknadnu obradu ispušnih plinova.

PEMS koji je instaliran na vozilu sastojao se od više jedinica. Upotrijebljeni su AVL analizatori plinova koji mjere koncentracije sirovog ispuha CO, CO_2, NO, NO_2 i O_2. Nadmorska visina, brzina i koordinate zemljopisne širine i dužine mjerene su GPS-om, dok su temperatura okoline, vlažnost, tlak, temperatura ispušnih plinova mjerene pomoću odgovarajućih senzora. Razni signali povezani s motorom zabilježeni su iz dijagnostičkog sustava OBD (engl. *On-Board Diagnostics*) pomoću RA's Silver Scan alata. Sve RDE rute

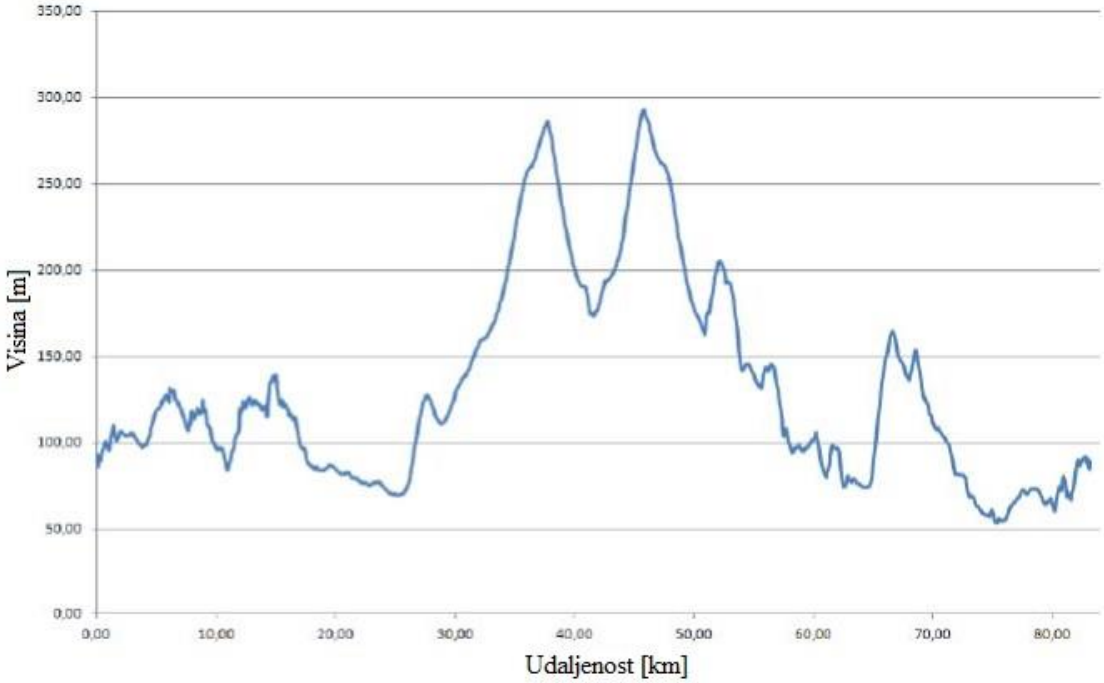
imala su zadovoljavajuće rezultate emisija, osim 3. rute koje su imale mnogo veće emisije te je isključeno iz svih izračuna. Analizom ECU podataka, vidljiva je veća temperatura ispušnih plinovoda nakon LNT katalizatora što ukazuje na to da se tijekom tog mjerenja došlo do regeneracije DPF filtera.

4.1.2. Ispitivanje rute TUV Nord Essen

Prema opisanim uvjetima i zahtjevima na rutu na slici 19. prikazana je ruta koja je odvožena za RDE ispitni postupak.

Slika 19. Prikaz RDE rute TUV Nord Essen

Promjena nadmorske visine prikazana je na dijagramu na slici 20. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 12. koji pokazuju da su zadovoljeni određeni uvjeti rute.



Slika 20. Prikaz promjene nadmorske visine RDE rute TUV Nord Essen

Tablica 12. Rezultati ispitivanja

		TUV Nord Essen RDE ruta	Granične vrijednosti
Trajanje vožnje		105 min	90 – 120 min
Trajanje zaustavljanja		22 %	> 10 %
Udaljenost		83 km	> 46 km
Udio prijeđenog puta po skupinama	**Gradska vožnja**	34 %	29 % - 44 %
	Izvangradska vožnja	33 %	23 % - 43 %
	Vožnja autocestom	33 %	23 % - 43 %
Kumulativna pozitivna visinska razlika		837 m / 100 km	< 1200 m/100 km

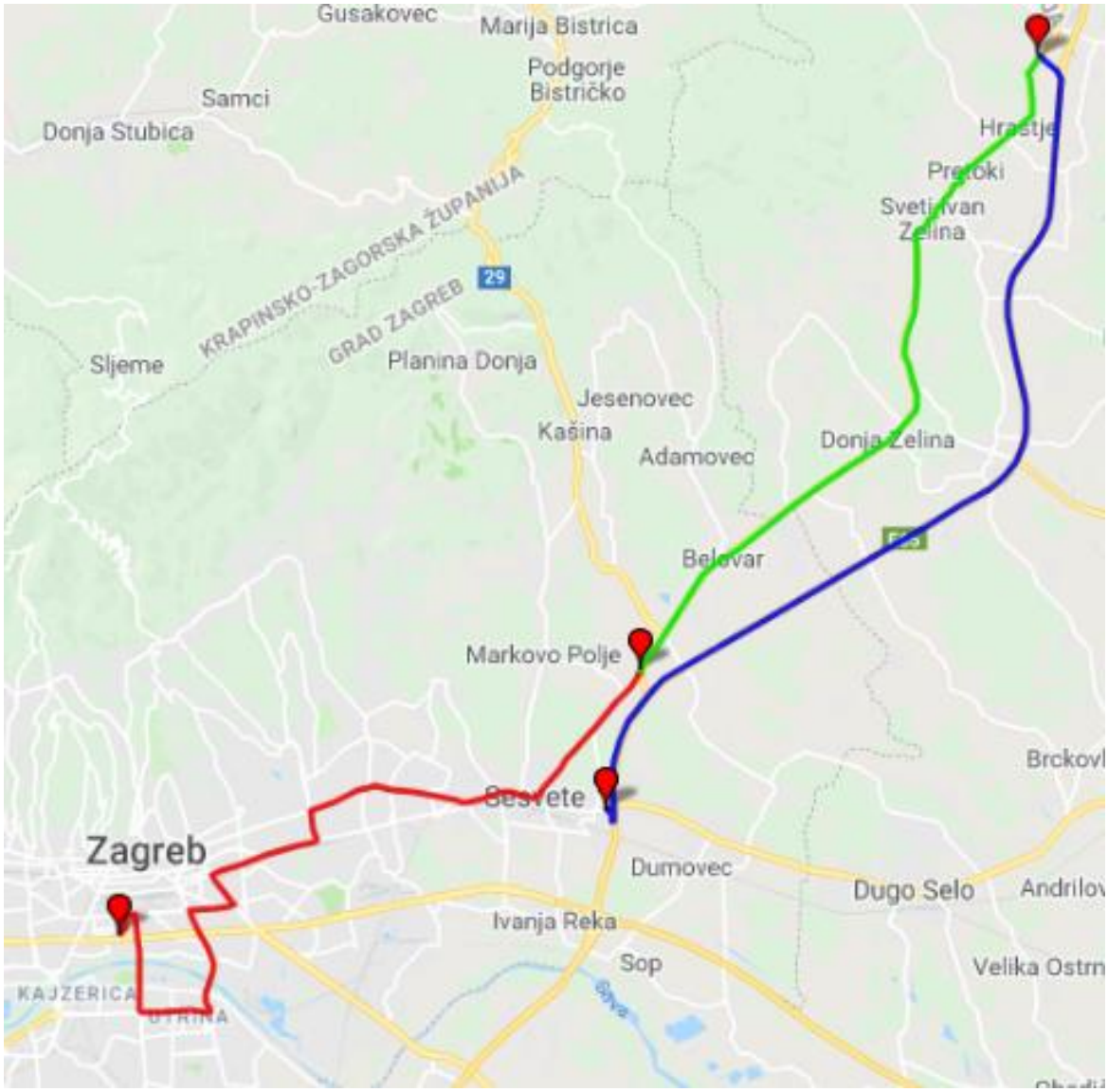
4.2. Prijedlog ruta za Republiku Hrvatsku

Dosadašnjim razmatranjem zahtjeva Uredbe 2017/1151 i proučavanjem ispitivanja drugih istraživačkih laboratorija dani su prijedlozi ruta za Republiku Hrvatsku s početkom u gradu Zagrebu. Koristeći matematički model u programu *MS Excel* opisan u poglavlju 3.11. prema [9], te podatke o rutama dobivene pomoću [14], [15] i [16] napravljen je prijedlog ruta za Republiku Hrvatsku. Koristeći podatke o udaljenosti, promjeni nadmorske visine i vremenu vožnje za određenu dionicu ceste prema [14] te ograničenjima brzine na pojedinim dionicama

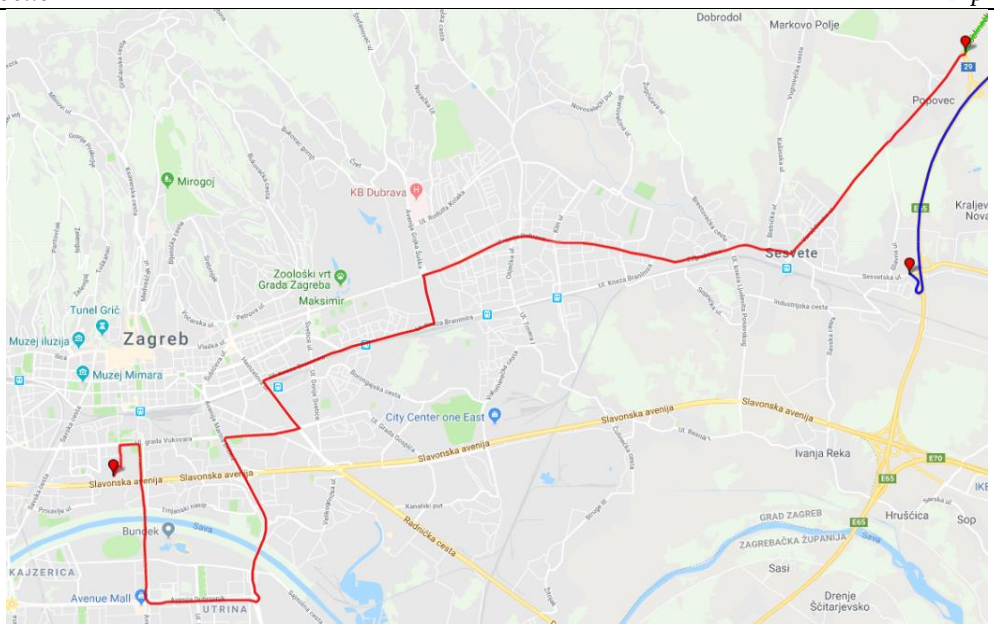
nastoji se što više simulirati uvjete stvarne vožnje kako bi naknadne korekcije rute bile što manje. Početak svake rute je u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Pomoću podataka dobivenih pomoću [14], [15] i [16] i programa za generiranje RDE ciklusa *Random Cycle Generator* [17] simulirana je svaka ruta. Slične mogućnosti generiranja RDE ciklusa imaju programski paketi *GT* [18] i *AVL Cruise* [19].

4.2.1. Ruta 1 – Zagreb – Komin – Zagreb

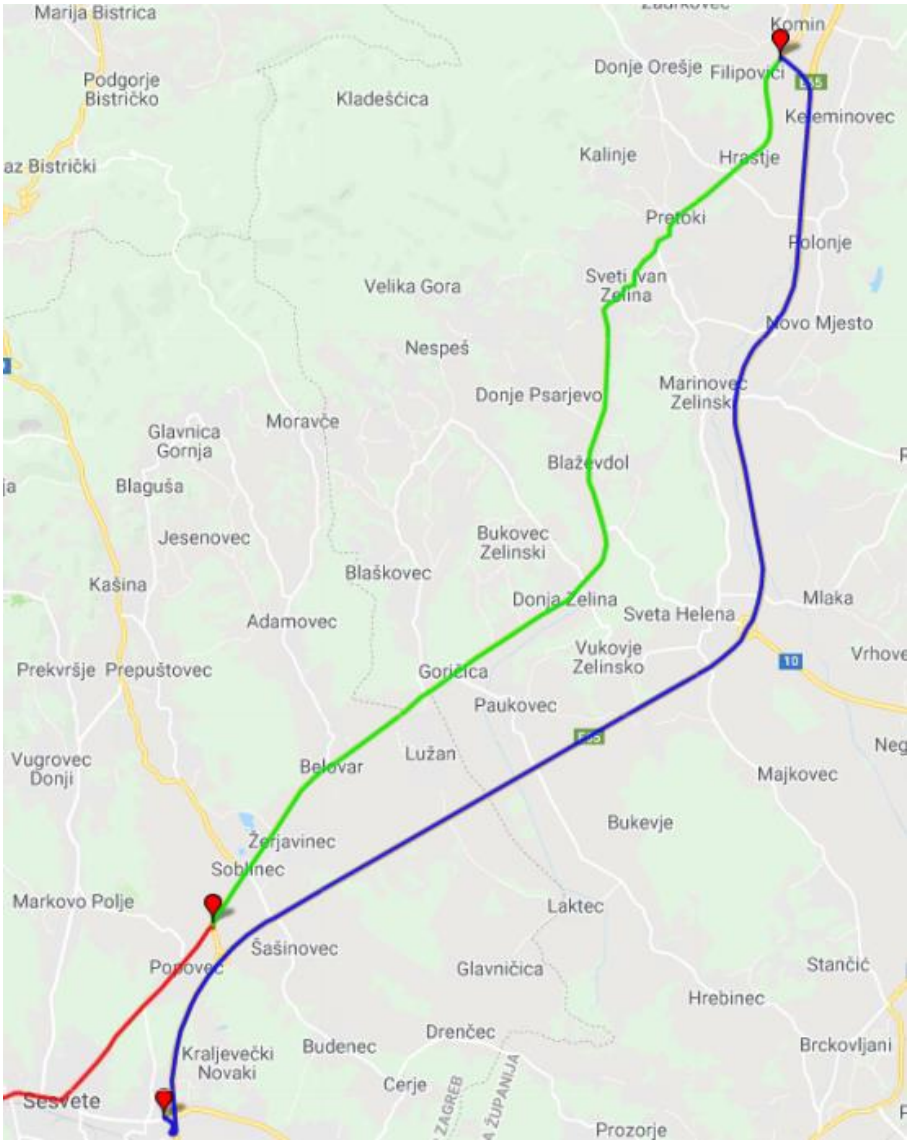
Prema zahtjevima na rutu definiranim u [9] odabrana je ruta 1 prikazana na slici 21. Ruta 1 počinje u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Gradski dio izvodi se u Zagrebu dijelom označenim crvenom bojom na slici 21., izvangradski dio izvodi se na državnoj cesti D3 u smjeru Novog Marofa do naselja Komin. U naselju Komin priključuje se na autocestu A4 Goričan – Zagreb.



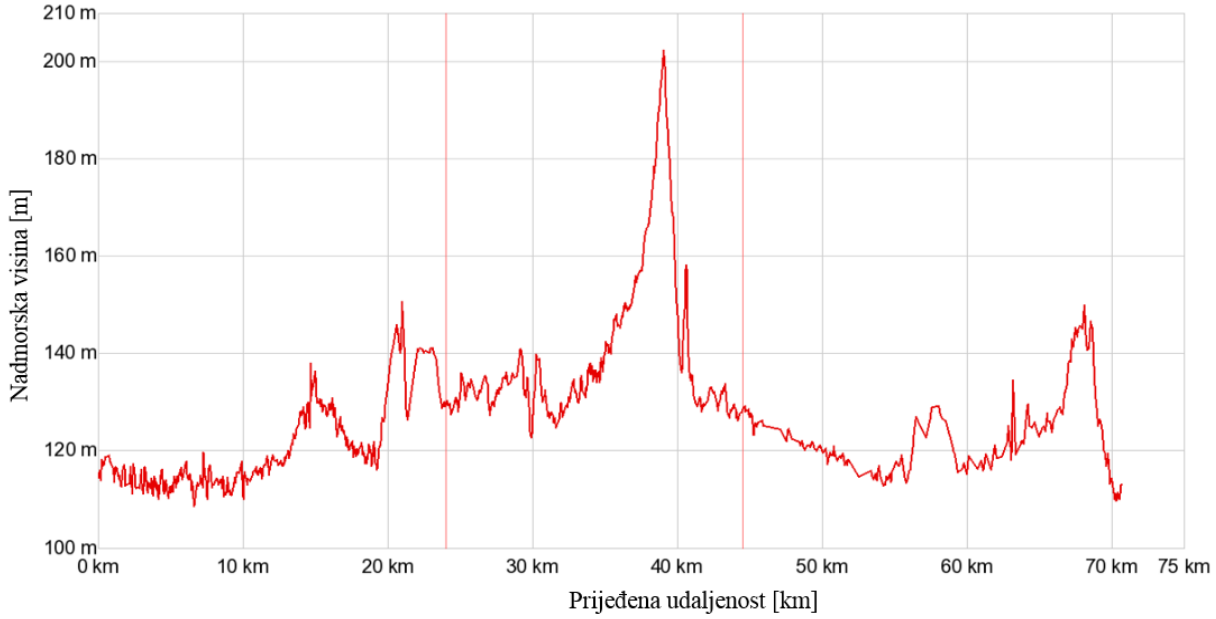
Slika 21. Prikaz RDE rute 1 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo)



Slika 22. Prikaz RDE rute 1 – gradska vožnja (crveno)



Slika 23. Prikaz RDE rute 1 – izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo)

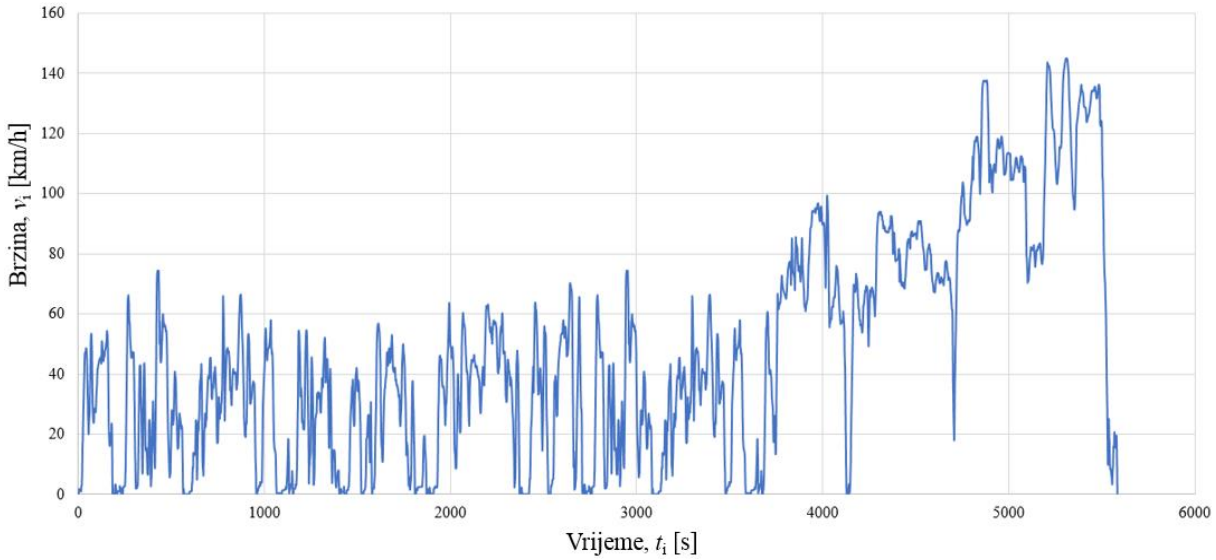


Slika 24. Nadmorska visina RDE rute 1

Podaci dobiveni pomoću programa *Random Cycle Generator* analiziraju se podaci u programu napravljenom u sklopu ovog rada u *MS Excel-u.* U nastavku su prikazani rezultati analize podataka rute 1.

Tablica 13. Podaci ispitivanja RDE rute 1

		RDE ruta 1	Granične vrijednosti
Trajanje vožnje		≈ 93 min	90 – 120 min
Trajanje zaustavljanja		11 %	> 6 %
Udaljenost		73,3 km	> 48 km
Udaljenost	**Gradska vožnja**	28,2 km	> 16 km
	Izvangradska vožnja	19,8 km	> 16 km
	Vožnja autocestom	25,3 km	> 16 km
Udio prijeđenog puta po skupinama	**Gradska vožnja**	38,4 %	29 % - 44 %
	Izvangradska vožnja	27,1 %	23 % - 43 %
	Vožnja autocestom	34,5 %	23 % - 43 %
Prosječna brzina	**Gradska vožnja**	26,5 km/h	15 – 30 km/h
	Izvangradska vožnja	74,2 km/h	60 – 90 km/h
	Vožnja autocestom	113,8 km/h	100 – 145 km/h
Maksimalna razlika nadmorske visine		94 m	< 700 m
Razlika visine početne i završne točke rute		3 m	± 100 m
Kumulativna pozitivna visinska razlika		979 m / 100 km	< 1200 m / 100 km



Slika 25. Profil brzine rute 1

Za provjeru ispravnosti rute potrebno je izračunati 95. percentil vrijednosti $v \cdot a_{pos}$. što je detaljno opisano u 3.11.2. Umnožak stvarne brzine vozila i ubrzanja računa se prema izrazu (20). Za verifikaciju valjanosti vožnje u svakoj skupini podataka o brzini potrebno je izračunati $(v \cdot a)_{i,k}$ za sve vrijednosti $a_{i,k} > 0{,}1$ m/s^2 te se određuje ukupan broj tih uzoraka M_k. $(v \cdot a_{pos})_k[95]$ je vrijednost $(v \cdot a_{pos})_{j,k}$, pri čemu je $j/M_k = 95$ %. Nakon izračunatih vrijednosti 95. percentila vrijednosti $v \cdot a_{pos}$, provjerava se uvjet nejednakosti (24) ili (25) ovisno o iznosu prosječne brzine vozila što je grafički prikazano na dijagramu na slici 27.

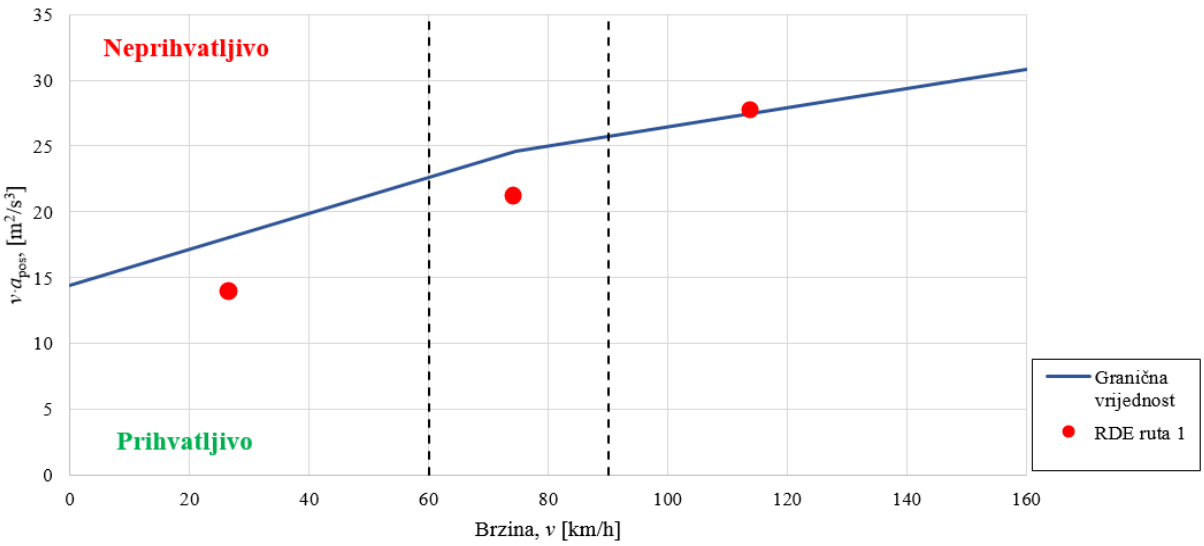
Relativno pozitivno ubrzanje izračunava se prema izrazu (22). Nakon izračunatih vrijednosti relativnog pozitivnog ubrzanja *RPA*, provjerava se uvjet nejednakosti (27) ili (28) ovisno o iznosu prosječne brzine vozila što je grafički prikazano na dijagramu na slici 28.

Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,u}$-[95] za gradsku vožnju	Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,r}$-[95] za izvangradsku vožnju	Verifikacija $(v \cdot a_{pos})_{i,m}$-[95] za vožnju autocestom	Verifikacija *RPA* za gradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za izvangradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za vožnju autocestom
OK	OK	vožnja ne zadovoljava	OK	OK	OK

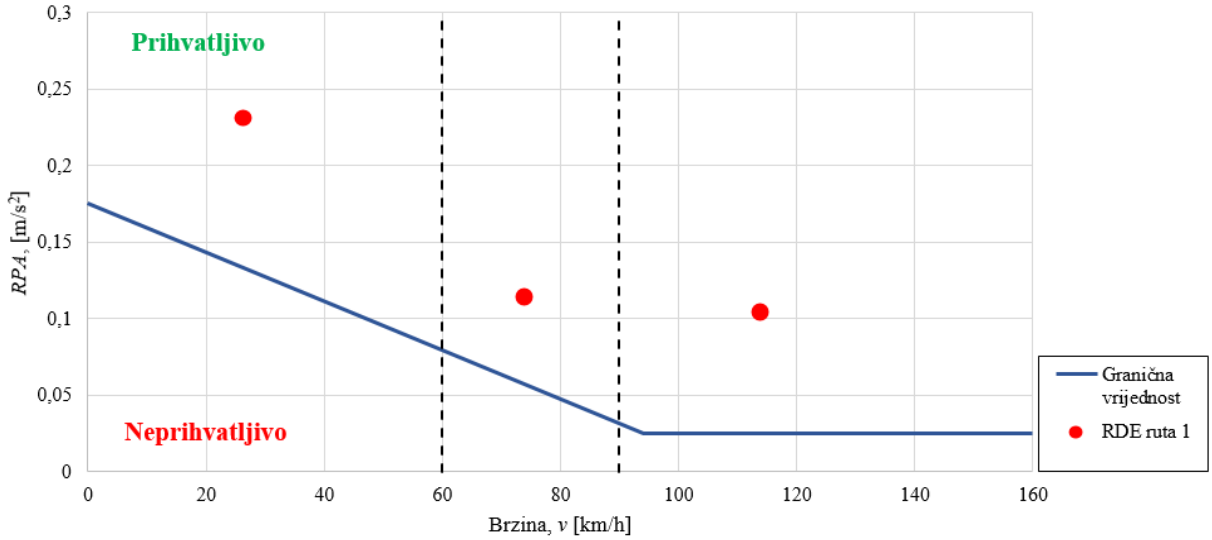
UKUPNI POZITIVNI USPON	RAZLIKA NADMORSKE VISINE
[m/100 km]	[m]
979	-3
OK	OK

RUTA NE ZADOVOLJAVA

Slika 26. Rezultati verifikacije $(v \cdot a_{pos})_{i,k}$[95], *RPA* i nadmorske visine



Slika 27. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja

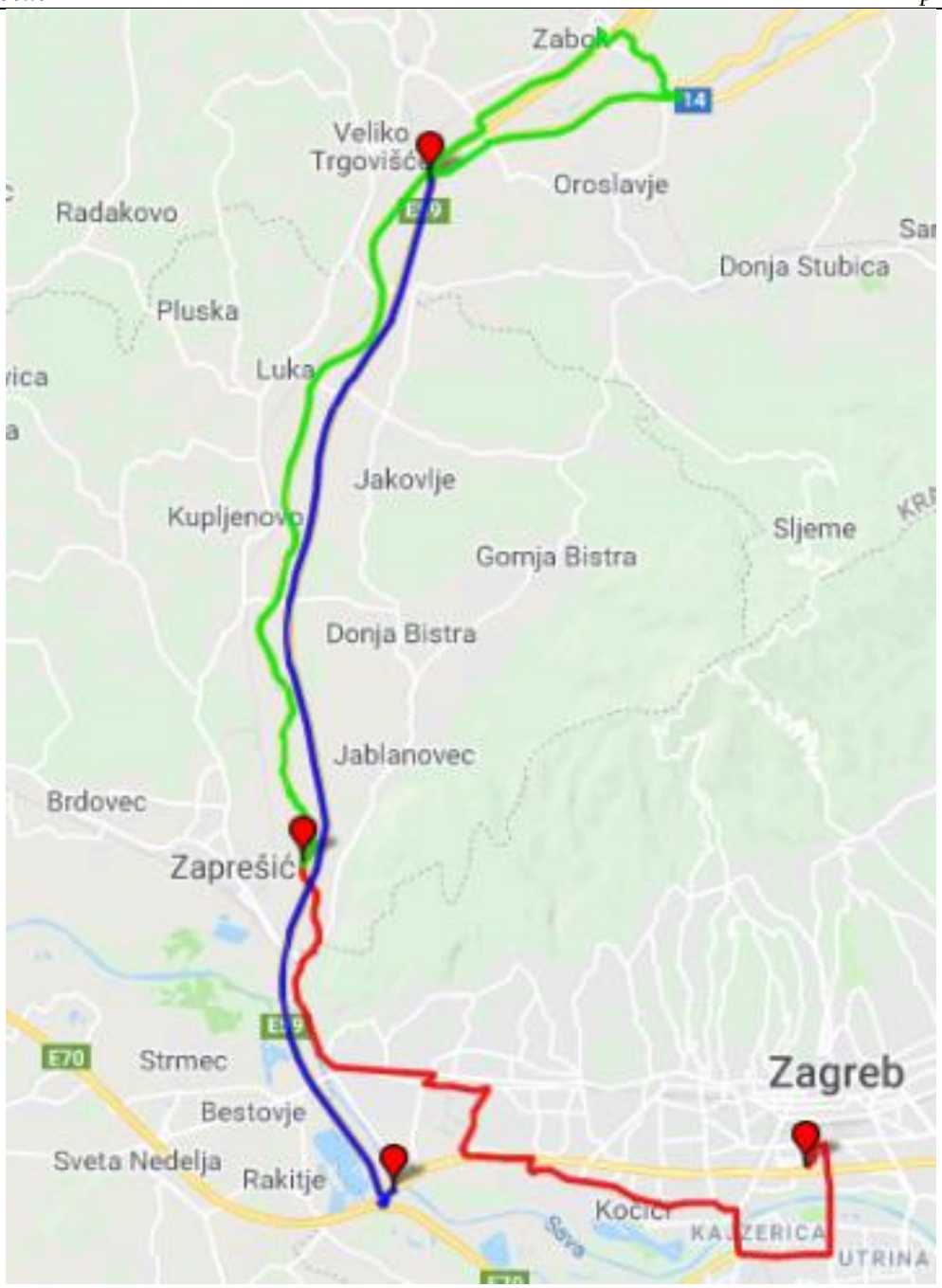


Slika 28. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje

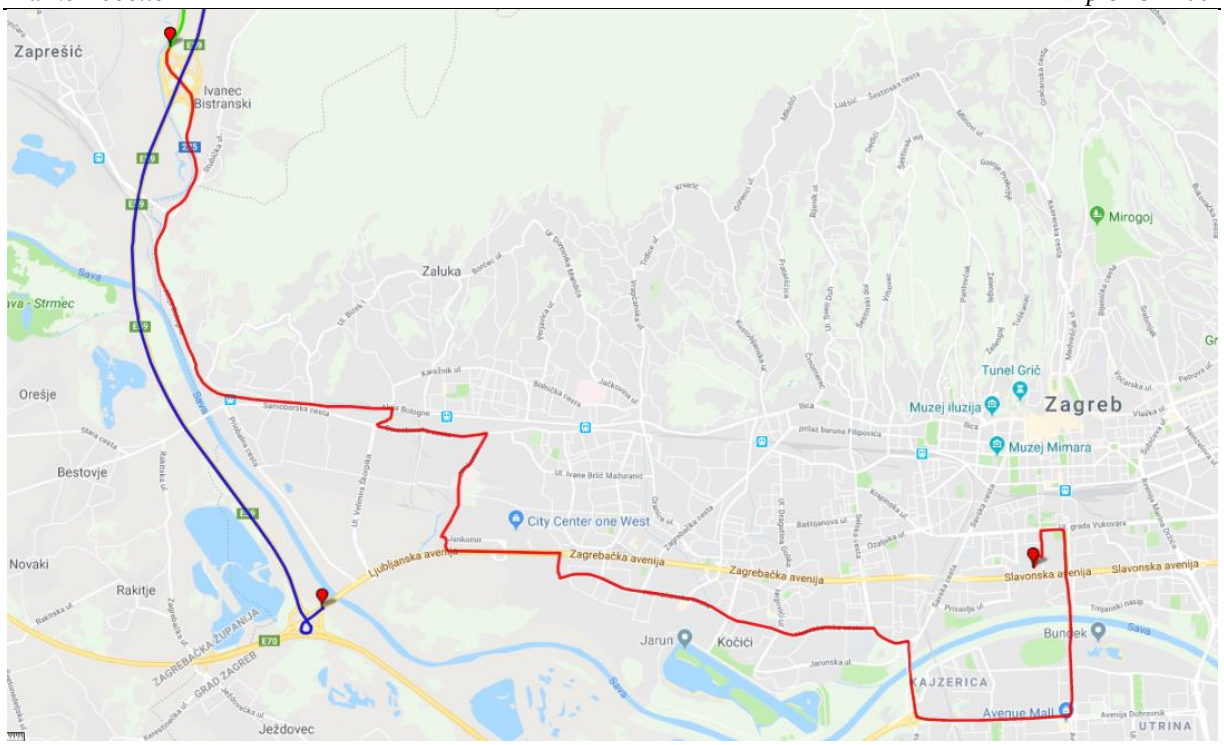
Analizom dobivenih podataka zaključuje se da ispitivanje ne zadovoljava sve uvjete. Podaci prikazani u tablici 13. zadovoljavaju sve uvjete na rutu dok podaci dinamičkih uvjeta prikazani na slici 26., 27. i 28. pokazuju kako nije zadovoljen uvjet dopuštenog 95. percentila umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja. Navedeni uvjet predstavlja višak dinamičnosti vožnje tijekom dijela vožnje ispitivanja na autocesti.

4.2.2. Ruta 2 - Zagreb – Zabok – Zagreb

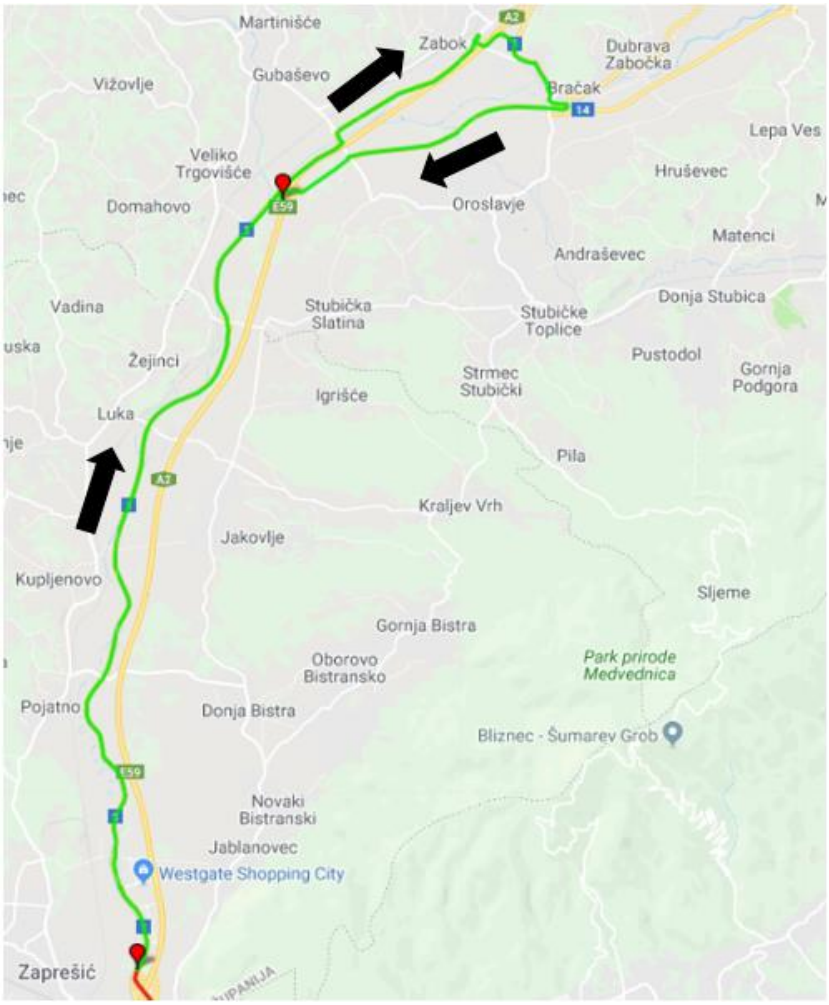
RDE ruta 2 prikazana je na slici 29. Ruta 2 također počinje u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Gradski dio izvodi se u Zagrebu dijelom označenim crvenom bojom na slici 29., izvangradski dio izvodi se na državnoj cesti D1 do naselja Zabok. U naselju Zabok priključuje se na autocestu A2 Krapina – Zagreb.



Slika 29. Prikaz RDE rute 2 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo)

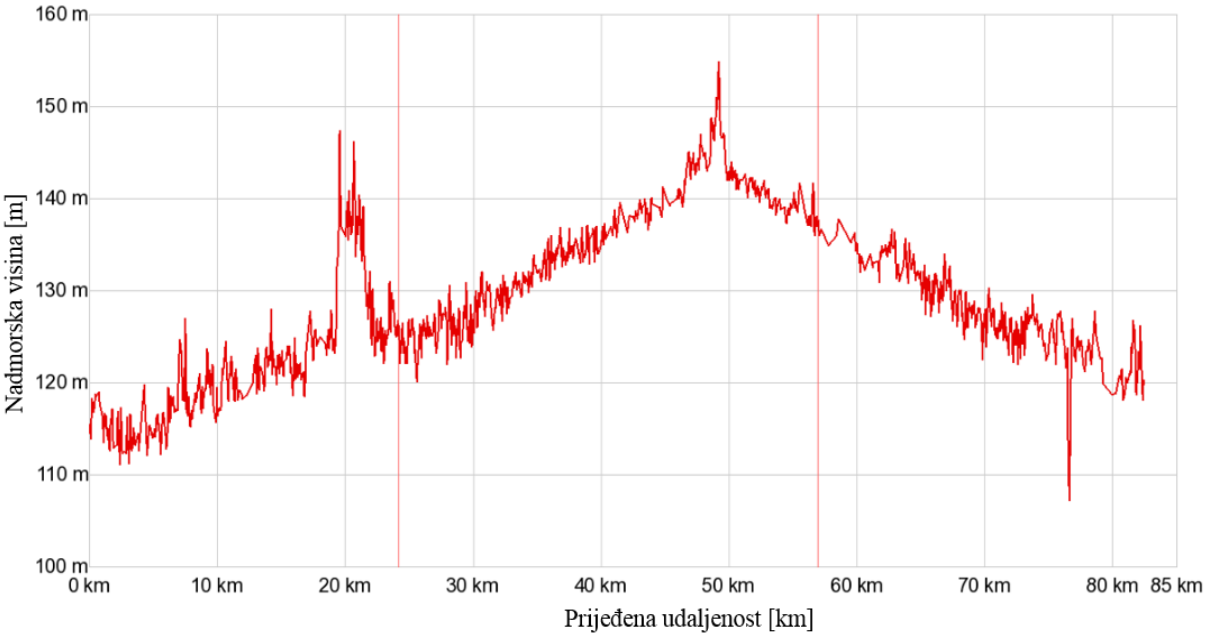


Slika 30. Prikaz RDE rute 2 – gradska vožnja (crveno)



Slika 31. Prikaz RDE rute 2 – izvangradska vožnja (zeleno)

Slika 32. Prikaz RDE rute 2 – vožnja autocestom (plavo)

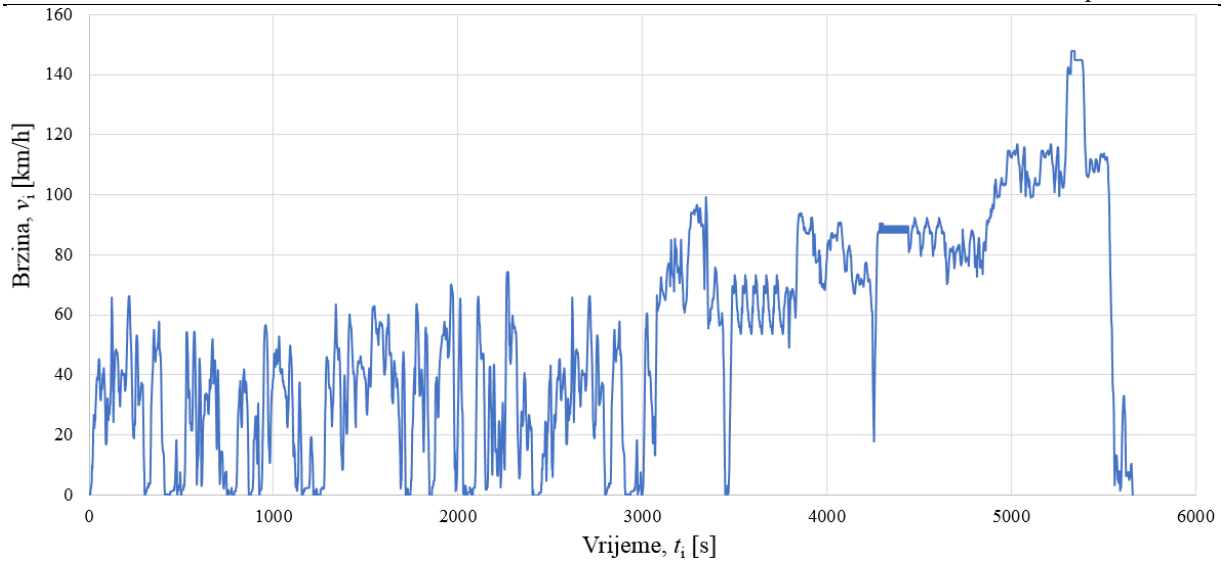


Slika 33. Nadmorska visina RDE rute 2

Podaci dobiveni pomoću programa *Random Cycle Generator* analiziraju se u programu *MS Excel*. U nastavku su prikazani rezultati analize podataka rute 2.

Tablica 14. Podaci ispitivanja RDE rute 2

		RDE ruta 2	Granične vrijednosti
Trajanje vožnje		≈ 94 min	90 – 120 min
Trajanje zaustavljanja		9,4 %	> 6 %
Udaljenost		83 km	> 48 km
Udaljenost	**Gradska vožnja**	25,4 km	> 16 km
	Izvangradska vožnja	32,4 km	> 16 km
	Vožnja autocestom	25,2 km	> 16 km
Udio prijeđenog puta po skupinama	**Gradska vožnja**	30,5 %	29 % - 44 %
	Izvangradska vožnja	39,1 %	23 % - 43 %
	Vožnja autocestom	30,4 %	23 % - 43 %
Prosječna brzina	**Gradska vožnja**	27,6 km/h	15 – 30 km/h
	Izvangradska vožnja	76,9 km/h	60 – 90 km/h
	Vožnja autocestom	108,7 km/h	100 – 145 km/h
Maksimalna razlika nadmorske visine		44 m	< 700 m
Razlika visine početne i završne točke rute		5 m	± 100 m
Kumulativna pozitivna visinska razlika		987 m / 100 km	< 1200 m / 100 km

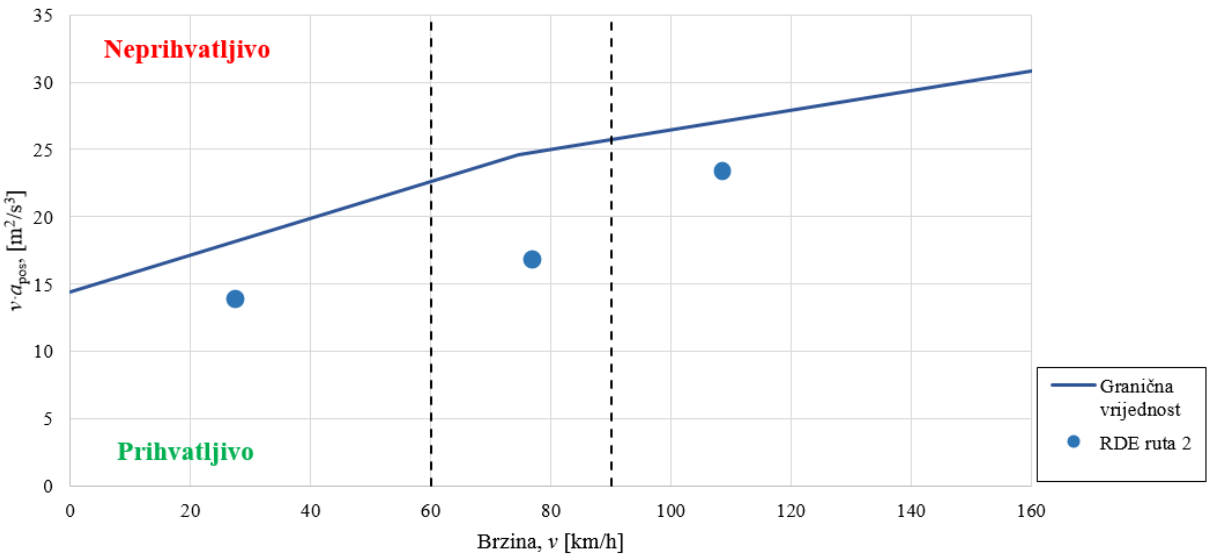


Slika 34. Profil brzine rute 2

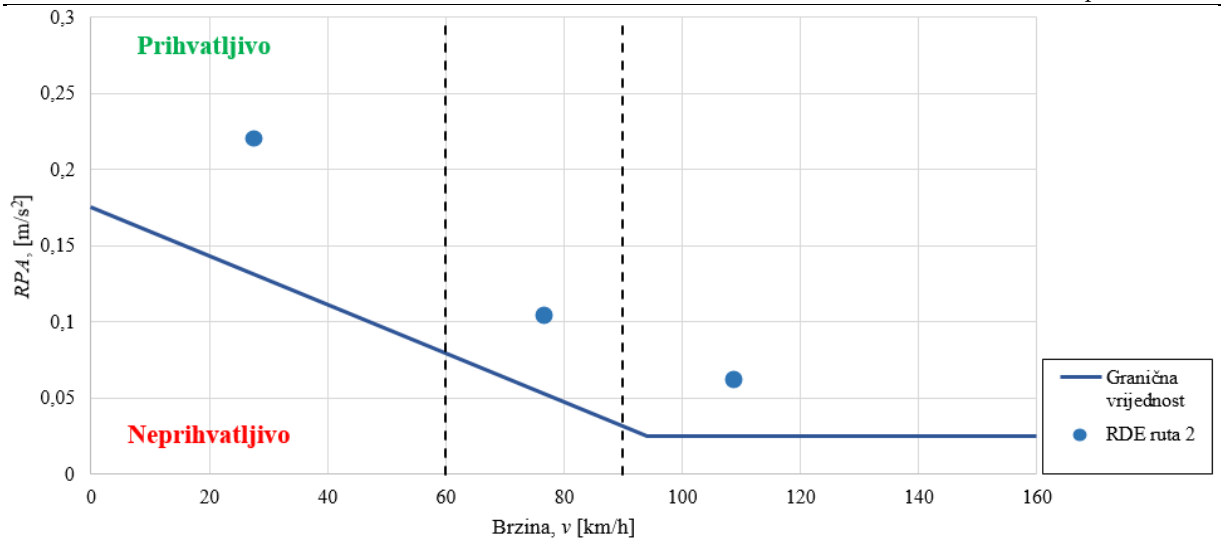
Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,u}$-[95] za gradsku vožnju	Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,r}$-[95] za izvangradsku vožnju	Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,m}$-[95] za vožnju autocestom	Verifikacija *RPA* za gradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za izvangradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za vožnju autocestom
OK	OK	OK	OK	OK	OK

UKUPNI POZITIVNI USPON	RAZLIKA NADMORSKE VISINE
[m/100 km]	[m]
987	5
OK	OK
RUTA ZADOVOLJAVA	

Slika 35. Rezultati verifikacije $(v{\cdot}a_{pos})_{i,k}$[95], *RPA* i nadmorske visine rute 2



Slika 36. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 2

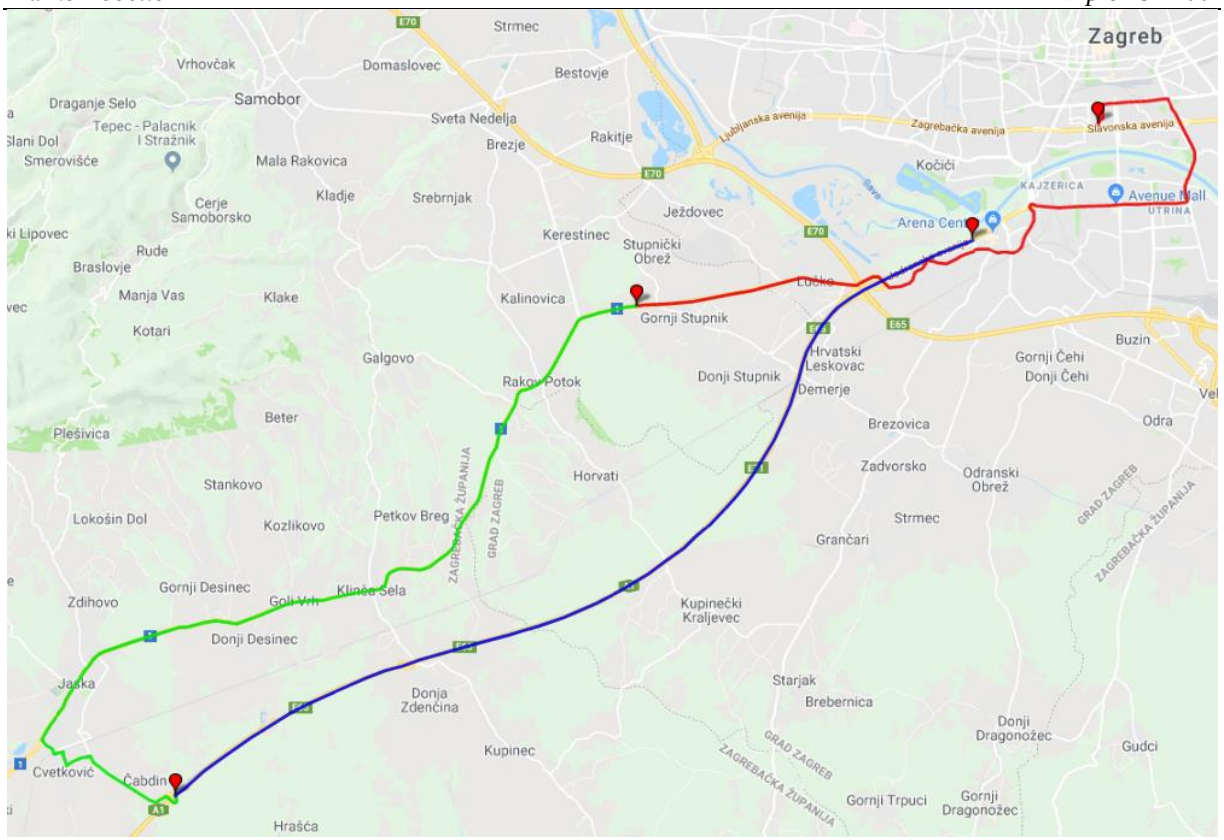


Slika 37. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 2

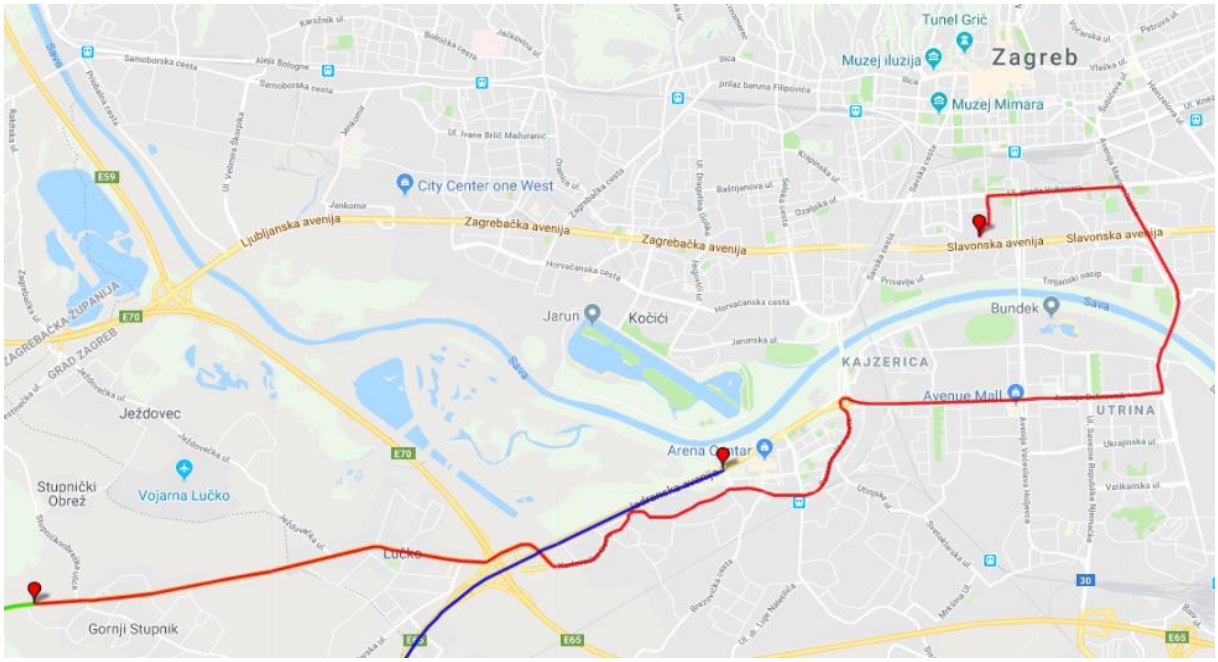
Analizom dobivenih podataka zaključuje se da ispitivanje zadovoljava sve uvjete rute, uvjete okoline i dinamičke uvjete.

4.2.3. Ruta 3 - Zagreb - Jaska – Zagreb

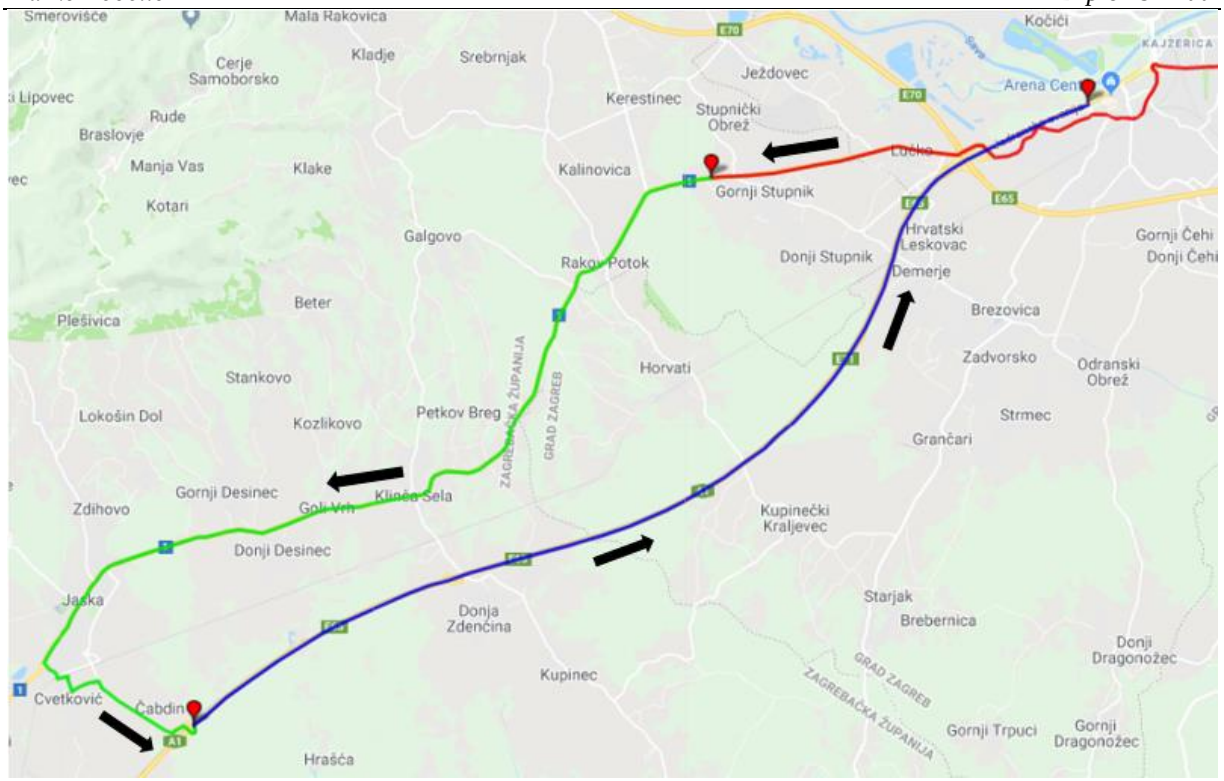
RDE ruta 3 prikazana je na slici 38. Ruta 3 također počinje u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Gradski dio izvodi se u Zagrebu dijelom označenim crvenom bojom na slici 38., izvangradski dio izvodi se na državnoj cesti D1 u smjeru Karlovca do naselja Jaska. U naselju Jaska priključuje se na autocestu A1 Karlovac – Zagreb.



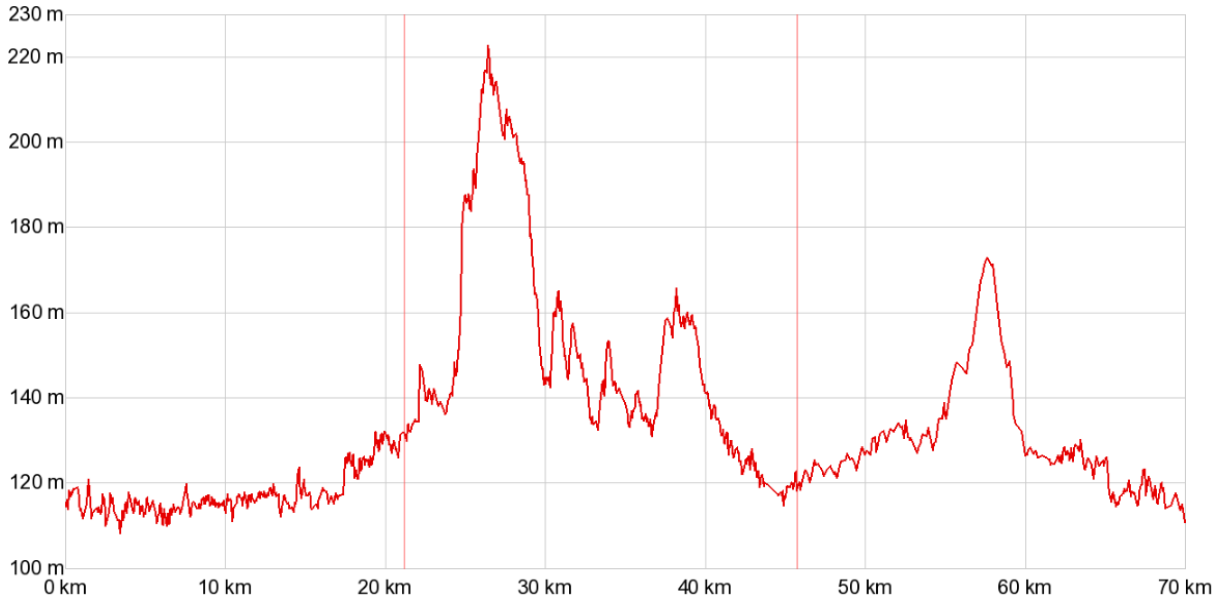
Slika 38. Prikaz RDE rute 3 – gradska vožnja (crveno), izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo)



Slika 39. Prikaz RDE rute 3 – gradska vožnja (crveno)



Slika 40. Prikaz RDE rute 3 – izvangradska vožnja (zeleno), vožnja autocestom (plavo)

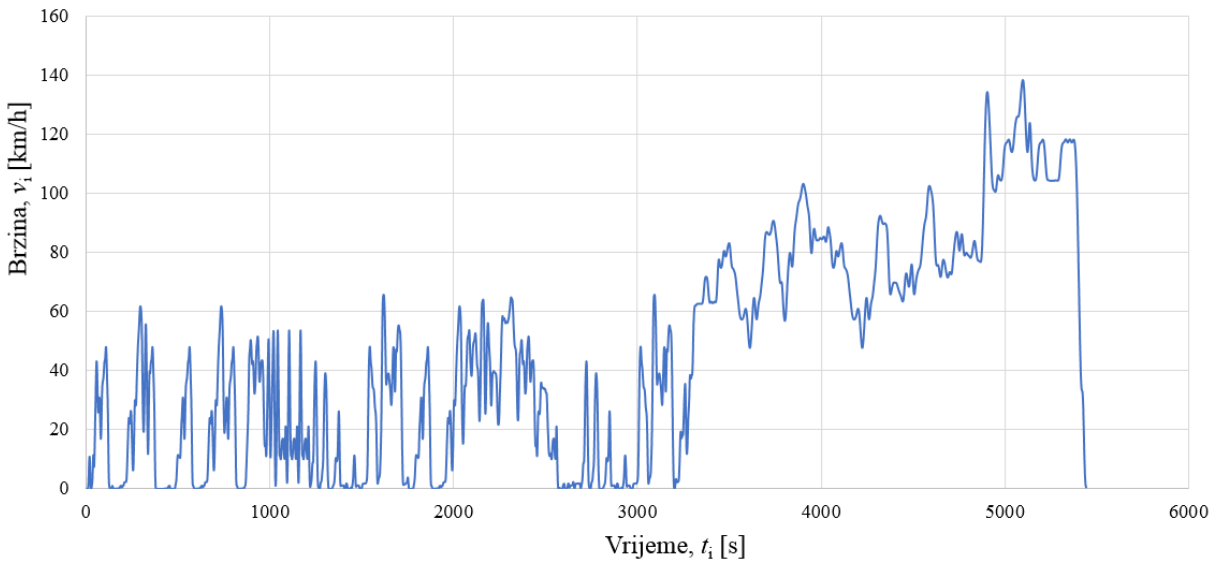


Slika 41. Nadmorska visina RDE rute 3

Podaci dobiveni pomoću programa *Random Cycle Generator* analiziraju se u programu *MS Excel*. U nastavku su prikazani rezultati analize podataka rute 3.

Tablica 15. Podaci ispitivanja RDE rute 3

		RDE ruta 3	Granične vrijednosti
Trajanje vožnje		≈ 91 min	90 – 120 min
Trajanje zaustavljanja		18 %	> 6 %
Udaljenost		69,2 km	> 48 km
Udaljenost	**Gradska vožnja**	20,8 km	> 16 km
	Izvangradska vožnja	27,7 km	> 16 km
	Vožnja autocestom	20,7 km	> 16 km
Udio prijeđenog puta po skupinama	**Gradska vožnja**	30,1 %	29 % - 44 %
	Izvangradska vožnja	40 %	23 % - 43 %
	Vožnja autocestom	29,9 %	23 % - 43 %
Prosječna brzina	**Gradska vožnja**	21,9 km/h	15 – 30 km/h
	Izvangradska vožnja	74,5 km/h	60 – 90 km/h
	Vožnja autocestom	110,1 km/h	100 – 145 km/h
Maksimalna razlika nadmorske visine		115 m	< 700 m
Razlika visine početne i završne točke rute		-1 m	± 100 m
Kumulativna pozitivna visinska razlika		1081 m / 100 km	< 1200 m / 100 km

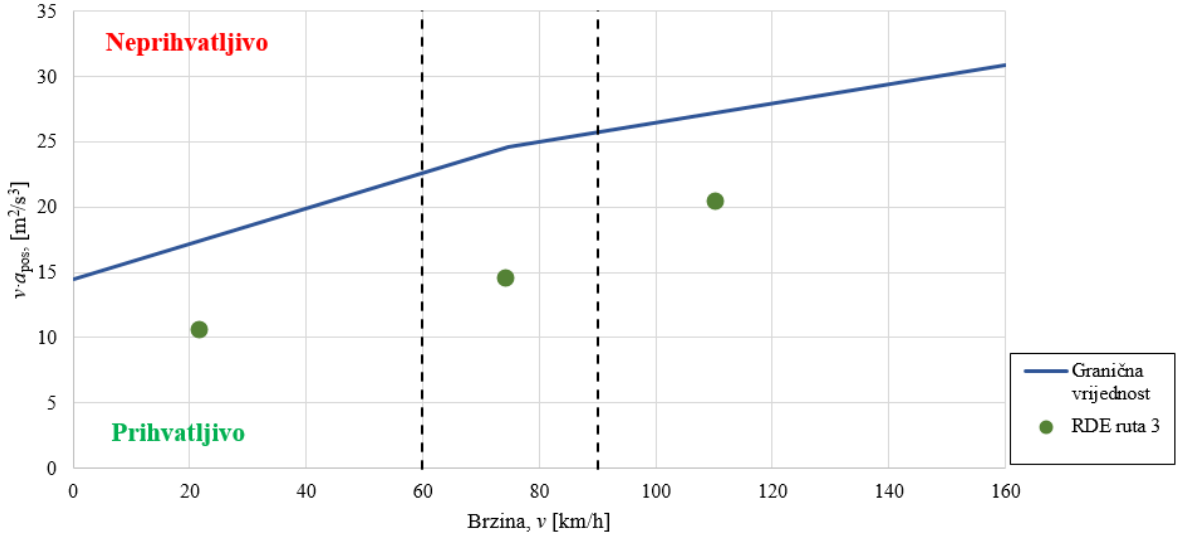


Slika 42. Profil brzine rute 3

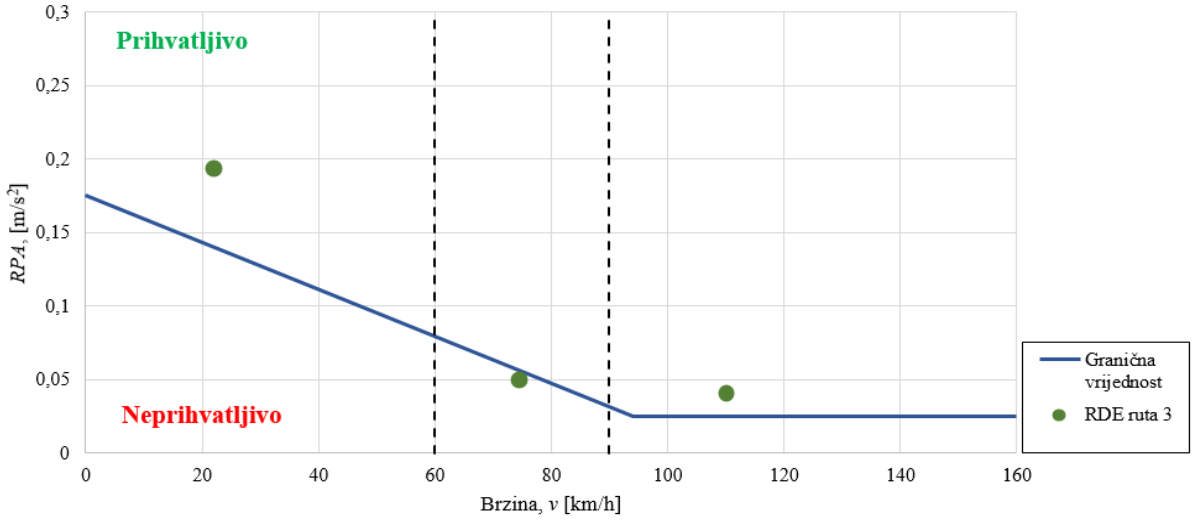
Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,u}$-[95] za gradsku vožnju	Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,r}$-[95] za izvangradsku vožnju	Verifikacija $(v{\cdot}a_{pos})_{i,m}$-[95] za vožnju autocestom	Verifikacija *RPA* za gradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za izvangradsku vožnju	Verifikacija *RPA* za vožnju autocestom
OK	OK	OK	OK	vožnja ne zadovoljava	OK

UKUPNI POZITIVNI USPON [m/100 km]	RAZLIKA NADMORSKE VISINE [m]
1081	-1
OK	OK
RUTA NE ZADOVOLJAVA	

Slika 43. Rezultati verifikacije $(v{\cdot}a_{pos})_{i,k}$[95], *RPA* i nadmorske visine rute 3



Slika 44. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 3



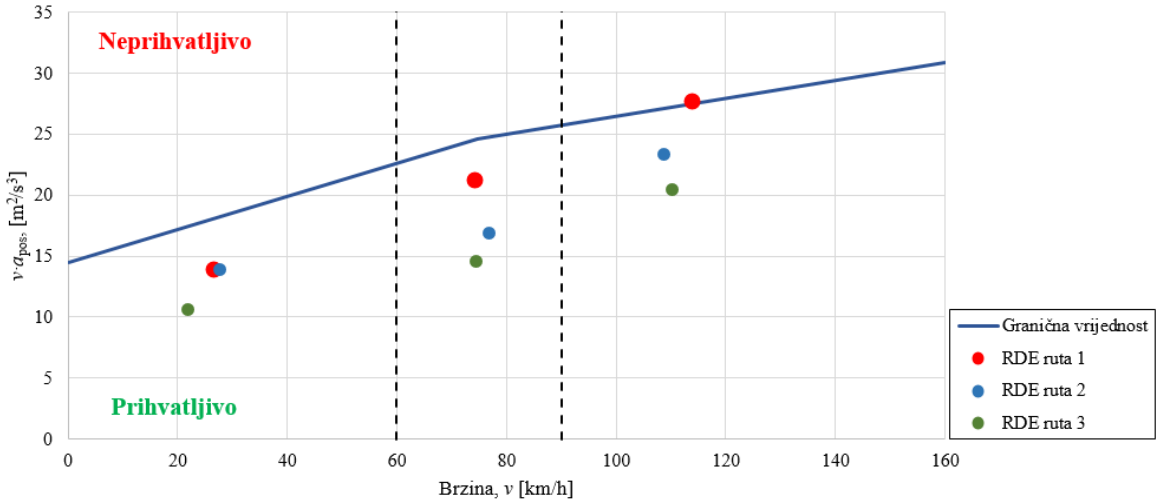
Slika 45. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 3

Analizom dobivenih podataka zaključuje se da ispitivanje ne zadovoljava sve uvjete. Podaci prikazani u tablici 15. zadovoljavaju sve uvjete na rutu dok podaci dinamičkih uvjeta prikazani na slici 43., 44. i 45. pokazuju kako nije zadovoljen uvjet relativnog pozitivnog

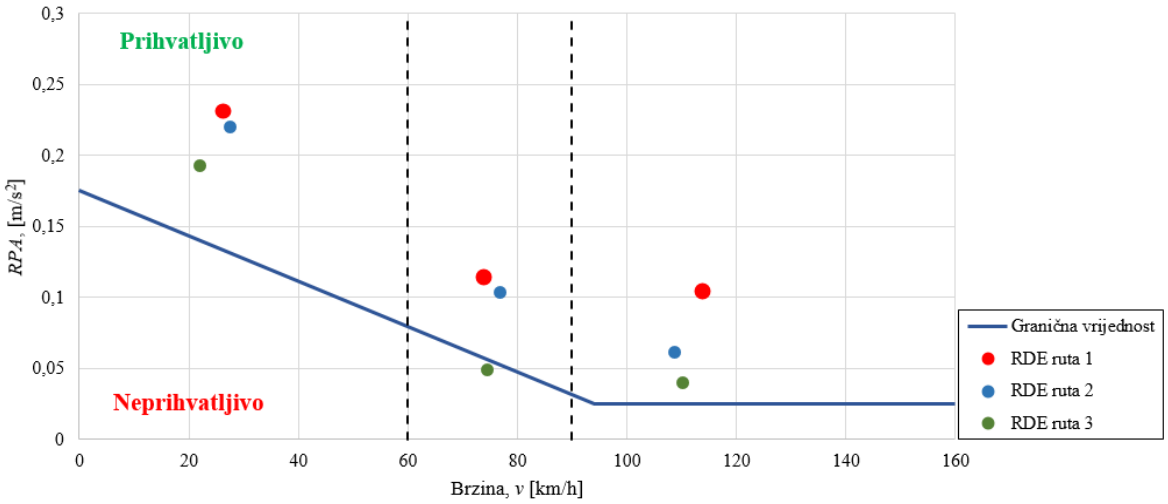
ubrzanja. Navedeni uvjet predstavlja nedostatak dinamičnosti vožnje tijekom izvangradskog dijela vožnje.

4.3. Analiza rezultata

Na temelju podataka dobivenih u prethodnom poglavlju zaključuje se da je zahtjevno odrediti rutu i na njoj provesti ispitivanje sa zadovoljavanjem svih uvjeta. Na dijagramima na slici 46. i 47. prikazani su rezultati ispitivanja dinamičkih uvjeta svih ruta. 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja i relativno pozitivno ubrzanja za svaki od segmenata vožnje mora biti u dozvoljenom području na dijagramima u ovisnosti o brzini vozila. Na dinamičke uvjete utječe način izvođenja ispitivanja tj. dinamičnost vožnje. Relativno pozitivno ubrzanje predstavlja nedostatak dinamičnosti vožnje dok 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja predstavlja višak dinamičnosti vožnje. Potrebno je zadovoljiti sve uvjete , stoga ruta 2 predstavlja potencijalnu rutu za izvođenje ispitnog postupka.



Slika 46. Dinamički uvjeti – 95. percentil umnoška brzine vozila i pozitivnog ubrzanja rute 3



Slika 47. Dinamički uvjeti – relativno pozitivno ubrzanje rute 3

4.4. Definiranje rute

Prilikom definiranja rute potrebno je zadovoljiti sve uvjete koji su opisani u ovom radu. Dosadašnja ispitivanja pokazuju kako je zahtjevno odrediti rutu i provesti ispitivanje sa svim zadovoljenim uvjetima. Tijekom definiranja rute potrebno je obratiti pozornost na ispunjavanje svih uvjeta rute, okoline i dinamičkih uvjeta. Potrebno je uzeti u obzir sve dostupne uvjete koji se mogu javiti prilikom vožnje kao što su ograničenja brzine vožnje, prolazak kroz naplatne postaje, mogućnost stvaranja većih gužvi i zastoja u prometu, dugotrajno stajanje u koloni u slučaju prometne nesreće i ostale uvjete koji utječu na konačne rezultate ispitivanja. Dostupnim alatima za generiranje podataka rute dobivamo približne podatke potrebnog vrijeme za prolazak određenog segmenta rute. Trajanje vožnje u stvarnim uvjetima može se drastično produžiti u slučaju vremenskih neprilika što može rezultirati neispunjavanjem određenih uvjeta. Na dinamičke uvjete najviše utječe način izvođenja ispitivanja tj. dinamičnost vožnje.

Sljedeći korak za RDE postupak ispitivanja bio bi izrada alata koji bi omogućio *online* analizu podataka. Definiranje rute odvijalo bi se u stvarnim uvjetima tijekom vožnje analizom dostupnih podataka i davanjem sugestija vozaču kako bi ispunili sve uvjete rute.

5. ZAKLJUČAK

U radu su opisani uvjeti koje mjerenja emisija štetnih tvari u realnim uvjetima vožnje RDE moraju zadovoljiti i način na koji se snimaju i prikupljaju podaci tijekom vožnje. Najznačajniji zahtjevi vezani za rutu odnose se na razvrstavanje segmenata rute po skupinama ovisno o brzini. Gradska vožnja obuhvaća sve segmente vožnje s brzinom vozila manjom ili jednakom 60 km/h, izvangradska vožnja s brzinom većom od 60 km/h i manjom ili jednakom 90 km/h i vožnja autocestom s brzinom većom od 90 km/h. Udjeli gradske, izvangradske vožnje i vožnje autocestom izražavaju se kao postotak ukupne udaljenosti vožnje. Slijed vožnji sastoji se od gradske vožnje, nakon koje slijede izvangradska vožnja i vožnja autocestom. Vožnja se sastoji od 34 % gradske vožnje, 33 % izvangradske vožnje i 33 % vožnje autocestom uz toleranciju od ± 10 %. Ukupno trajanje vožnje iznosi između 90 i 120 minuta. Zahtjevi vezani za rutu definirani su Uredbom Komisije (EU) 2017/1151 koji služe kao podloga za definiranje ruta i izradu alata za provjeru ispravnosti rute.

Cilj ovog rada je odrediti početne rute za daljnje istraživanje. Analiza rezultata prikazanih u ovom radu pokazuje način korištenja alata za provjeru ispravnosti rute te ukazuje na moguće probleme koji se mogu pojaviti prilikom definiranja rute i ispitivanja.

Dosadašnja ispitivanja pokazuju da je zahtjevno odrediti rutu i provesti ispitivanje sa svim zadovoljenim uvjetima. Tijekom definiranja rute potrebno je obratiti pozornost na ispunjavanje svih uvjeta rute, okoline i dinamičkih uvjeta. Potrebno je uzeti u obzir uvjete koji se javljaju prilikom vožnje kao što su ograničenja brzine vožnje, prolazak kroz naplatne postaje, mogućnost stvaranja većih gužvi i zastoja u prometu i ostale uvjete koji utječu na konačne rezultate ispitivanja. Na dinamičke uvjete najviše utječe način izvođenja ispitivanja tj. dinamičnost vožnje. Kako bi ispitivanje bilo valjano, potrebno je zadovoljiti sve uvjete koji su opisani u ovom radu.

Sljedeći korak za RDE postupak ispitivanja bio bi izrada alata koji bi omogućio *online* analizu podataka. Definiranje rute odvijalo bi se u stvarnim uvjetima tijekom vožnje analizom dostupnih podataka i davanjem sugestija vozaču kako bi ispunili sve uvjete rute.

LITERATURA

[1] I. Mahalec, D. Kozarac, i Z. Lulić, *Motori s unuratnjim izgaranjem*, FSB Zagreb, 2012.

[2] E. G. Giakoumis, *Driving and engine cycles*, 2016.

[3] UREDBA KOMISIJE (EU) 2017/1154 od 7. lipnja 2017. o izmjeni Uredbe Komisije (EU) 2017/1151 o dopuni Uredbe (EZ) br. 715/2007 Europskog parlamenta i Vijeća o homologaciji tipa motornih vozila u odnosu na emisije iz lakih osobnih i gospodarskih vozila, 2017.

[4] http://www.caremissionstestingfacts.eu

[5] Z. Samaras, Update on the European PEMS activities for the assessment of real driving emissions (RDE), *PEMS 2015 International Conference & Workshop, UC Riverside*, USA, 2015.

[6] www.europa.eu

[7] UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/646 od 20. travnja 2016. o izmjeni Uredbe (EZ) br. 692/2008 u pogledu emisija iz lakih osobnih i gospodarskih vozila (Euro 6), 2016.

[8] UREDBA (EZ) br. 715/2007 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 20. lipnja 2007. o homologaciji tipa motornih vozila u odnosu na emisije iz lakih osobnih i gospodarskih vozila (Euro 5 i Euro 6) i pristupu podacima za popravke i održavanje vozila, 2007.

[9] UREDBA KOMISIJE (EU) 2017/1151 od 1. lipnja 2017. o dopuni Uredbe (EZ) br. 715/2007 Europskog parlamenta i Vijeća o homologaciji tipa motornih vozila u odnosu na emisije iz lakih osobnih i gospodarskih vozila (Euro 5 i Euro 6) i pristupu podacima za popravke i održavanje vozila, o izmjeni Direktive 2007/46/EZ Europskog parlamenta i Vijeća, Uredbe Komisije (EZ) br. 692/2008 i Uredbe Komisije (EU) br. 1230/2012 te stavljanju izvan snage Uredbe Komisije (EZ) br. 692/2008, 2017.

[10] http://www.hak.hr

[11] http://www.acea.be

[12] UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/427 od 10. ožujka 2016. o izmjeni Uredbe (EZ) br. 692/2008 s obzirom na emisije iz lakih osobnih i gospodarskih vozila (Euro 6), 2016.

[13] P. Ilinčić, nastupno predavanje: Ispitivanje emisija štetnih tvari vozila u stvarnim uvjetima vožnje, FSB, 2018.

[14] https://www.google.hr/maps

[15] http://www.gpsvisualizer.com

[16] https://www.doogal.co.uk/RouteElevation

[17] https://www.tno.nl/en/focus-areas/traffic-transport/roadmaps/mobility/clean-mobility/random-cycle-generator/

[18] https://www.gtisoft.com/

[19] https://www.avl.com/cruise

PRILOZI

I. CD-R disc