

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Česnik, M., 2013. Razvoj voznega cikla za urbano območje Ljubljane na osnovi dejanskih meritev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Maher, T., somentor Kostanjšek, J.): 97 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Česnik, M., 2013. Razvoj voznega cikla za urbano območje Ljubljane na osnovi dejanskih meritev. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Maher, T., co-supervisor Kostanjšek, J.): 97 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

MARTIN ČESNIK

**RAZVOJ VOZNEGA CIKLA ZA URBANO OBMOČJE
LJUBLJANE NA OSNOVI DEJANSKIH MERITEV**

Diplomska naloga št.: 3327/PS

**DEVELOPMENT OF THE DRIVING CYCLE FOR
LJUBLJANA'S URBAN ENVIRONMENT BASED ON
ACTUAL MEASUREMENTS**

Graduation thesis No.: 3327/PS

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Ljubljana, 13. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Martin Česnik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**Razvoj voznega cikla za urbano območje Ljubljane na osnovi dejanskih meritev**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 26. 8. 2013

Martin Česnik

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	656.1(043.2)
Avtor:	Martin Česnik
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	viš. pred. mag. Jure Kostanjšek, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Razvoj voznega cikla za urbano območje Ljubljane na osnovi dejanskih meritev
Tip dokumenta:	diplomska naloga – UNI
Obseg in oprema:	97 str., 40 pregl., 47 graf., 15 sl., 15 en.
Ključne besede:	vozni cikel, časovni graf hitrosti, emisije, vzorec vožnje

Izvleček:

Visoke stopnje onesnaženosti v mestnih središčih lahko zmanjšamo z omejevanjem izpustov na najbolj obremenjenih območjih. Učinkovitost omejitev je odvisna od natančnosti določanja vrednosti emisij, ki jih oddajajo vozila. Pri tem imajo pomembno vlogo vozni cikli, na podlagi katerih izvajamo meritve in ocene emisij. Za natančnejšo določitev vrednosti emisij v mestih je potrebno razviti vozni cikel, ki je reprezentativen za obravnavno območje. V diplomski nalogi smo razvili vozni cikel za urbano območje Ljubljane, ki naj bi odražal dejanske vzorce vožnje in je namenjen oceni izpušnih emisij vozil ter porabe goriva. V nalogi so najprej predstavljene teoretične osnove voznega cikla ter izdelan pregled obstoječih znanih voznih ciklov po svetu. Sledi opis zbiranja podatkov iz meritev, analiza značilnosti voženj v urbanem območju ter opis metod razvoja voznih ciklov. Uporabili smo praktično metodo za razvoj reprezentativnega cikla, ki vključuje zbiranje podatkov o vzorcih vožnje, statistično obdelavo podatkov ter razvoj mehanizma za izdelavo voznega cikla. Za zbiranje podatkov o hitrosti, položaju ter ostalih voznih parametrih je bila uporabljena metoda meritve v vozilu. Zbrane podatke smo statistično obdelali in pridobili ciljne parametre, ki so merilo za reprezentativnost novega voznega cikla. Vozni cikel smo razvili z uporabo metode mikro poti, pri čemer je mikro pot definirana kot potovanje med dvema zaporednima časovnima točkama, pri katerem se vozilo ustavi. Tako smo pridobili Urbani vozni cikel Ljubljane z dolžino trajanja 1587 s pri povprečni potovalni hitrosti 22,5 km/h ter na dolžini 10,19 km. V nadaljevanju smo karakteristike voznega cikla primerjali z ostalimi voznimi cikli, ki so trenutno v uporabi drugod po svetu. Na koncu je predstavljen vpliv voznih ciklov na določanje emisij ter rezultati simulacije emisij z uporabo programa ADVISOR.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 656.1(043.2)
Author: Martin Česnik
Supervisor: Assist. Prof. Tomaž Maher, Ph.D.
Cosupervisor: Sen. Lect. Jure Kostanjšek, M.Sc.
Title: Development of the driving cycle for Ljubljana's urban environment based on actual measurements
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 97 p., 40 tab., 47 graph., 15 fig., 15 eq.
Key words: driving cycle, speed profile, driving pattern, emissions

Abstract:

High pollution in city centres can be reduced by limiting emissions at the most critical points. Its effectiveness depends on accuracy at specifying values of traffic emissions. In the process, the important role is played by driving cycles that are the basis for emission estimations and measurements. For more detailed specification of emission values in cities a driving cycle representative for a particular region needs to be designed. In the graduation thesis, the driving cycle for Ljubljana's urban environment was designed. It should reflect actual driving patterns to estimate exhaust emissions and fuel consumption. At the beginning, the theoretical bases of driving cycle are presented as well as the overview of known driving cycles in the world. They are followed by the description of collecting measurement data, the analysis of driving characteristics in urban environment and also the description of driving cycles methods development. The practical method of designing a representative cycle was used. It includes collecting data on driving patterns, statistical data procession and the development of driving cycle mechanism design. Collecting data on speed, position and other driving parameters was obtained by taking measurements in a vehicle. The data were statistically processed. By this target parameters were obtained that reflect the scale of representativeness of the new driving cycle. The driving cycle was created using micro-trip method where micro-trip is defined as the travelling between two consecutive time points when a vehicle stops. In this way the Ljubljana urban driving cycle was designed that takes 1587 s at approximate travelling speed of 22.5 km/h at the length of 10.19 km. Further on, the characteristics of the driving cycle were compared to other driving cycles currently used in the world. Finally, the effect of driving cycles on specifying emissions and the results of emission simulations at the use of ADVISOR programme are presented.

ZAHVALA

Za pomoč in strokovne nasvete pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Maherju in mag. Juretu Kostanjšku.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 Predpostavke in omejitve	1
1.2 Cilj diplomskega dela	2
1.3 Metode dela	2
2 VOZNI CIKEL – TEORETIČNE OSNOVE	3
3 PREGLED VOZNIH CIKLOV PO SVETU.....	5
3.1 Vozni cikli Združenih držav Amerike	5
3.1.1 Dejanski vozni cikli – ZDA	7
3.1.1.1 FTP 72.....	7
3.1.1.2 FTP 75.....	8
3.1.1.3 SFTP US06	9
3.1.1.4 SFTP SC03	10
3.1.1.5 NYCC	11
3.1.1.6 LA92	12
3.1.1.7 HWFET.....	13
3.2 Evropski vozni cikli.....	13
3.2.1 Dejanski vozni cikli – Evropa	14
3.2.1.1 INRETS	14
3.2.1.2 MODEM.....	14
3.2.1.3 MODEM-IM.....	15
3.2.1.4 MODEM-HYZEM.....	15
3.2.1.5 ARTEMIS.....	15
3.2.2 Modalni vozni cikli – Evropa	18
3.2.2.1 ECE 15	18
3.2.2.2 EUDC	19
3.2.2.3 EUDCL	21
3.3 Japonski vozni cikli.....	21
3.3.1 Modalni vozni cikli – Japonska	22
3.3.1.1 JP 10 MODE.....	22

3.3.1.2	JP 10-15 MODE.....	22
3.3.1.3	JC08	24
4	ZBIRANJE PODATKOV IN ANALIZA ZNAČILNOSTI VOŽENJ	25
4.1	Zbiranje podatkov	25
4.1.1	Metode zbiranja podatkov	25
4.1.2	Zbiranje podatkov za obravnavano urbano območje Ljubljane	26
4.1.2.1	Modul Portable Activity Monitoring System (PAMS)	27
4.1.2.2	Obdelava baze podatkov	30
4.2	Analiza značilnosti voženj na urbanem območju Ljubljane	32
4.2.1	Vzorci voženj in porazdelitev hitrosti	32
4.2.2	Porazdelitev hitrosti in pospeška.....	33
4.2.3	Ciljni parametri	35
4.2.3.1	Povprečna hitrost.....	35
4.2.3.2	Povprečni pospešek in pojemek	36
4.2.3.3	Način vožnje: delež mirovanja, delež vožnje s konstantno hitrostjo, delež pospeševanja in delež pojemanja.....	36
4.2.3.4	Število zaustavitev vozila.....	36
4.2.3.5	Sprememba pozitivne kinetične energije (PKE)	37
4.2.4	Ciljni parametri vzorcev voženj za urbano območje Ljubljane	38
5	METODE ZA RAZVOJ VOZNIH CIKLOV	39
5.1	Metoda mikro poti.....	39
5.2	Metoda na osnovi odsekov poti.....	40
5.3	Metoda na podlagi razvrščanja vzorcev	40
5.4	Modalna metoda.....	41
6	RAZVOJ URBANEGA VOZNEGA CIKLA LJUBLJANE (LJURBAN).....	42
6.1	Osnove razvoja urbanega voznega cikla Ljubljane (LJURBAN)	42
6.2	Karakterizacija in ločitev mikro poti	47
6.3	Razvoj voznega cikla LJURBAN po metodi mikro poti.....	49
7	ANALIZA SINTENTIZIRANEGA URBANEGA VOZNEGA CIKLA LJUBLJANE TER PRIMERJAVA Z OSTALIMI SVETOVNIMI VOZNIMI CIKLI	53
7.1	Rezultati generiranega voznega cikla LJURBAN	53
7.2	Primerjava voznega cikla z dejanskimi podatki, pridobljenimi na podlagi meritev.....	54
7.2.1	Primerjava ciljnih parametrov.....	54
7.2.2	Primerjava verjetnostne porazdelitve hitrosti in pospeška	56

7.2.3	Primerjava časovne razporeditve po hitrostnih razredih	57
7.2.4	Primerjava z ostalimi svetovnimi voznimi cikli	58
8	VPLIV VOZNEGA CIKLA NA DOLOČANJE EMISIJ	65
8.1	Splošna enačba za oceno emisij.....	65
8.2	Uporaba voznih ciklov za merjenje emisij pri testnem postopku	66
8.3	Vloga voznih ciklov v okviru modeliranja emisij	68
8.3.1	Vpliv faktorjev na emisije	71
9	IZRAČUN EMISIJ S POMOČJO PROGRAMA ADVISOR	80
9.1	Predstavitve programa ADVISOR	80
9.2	Simulacija emisij s programom ADVISOR	82
9.3	Rezultati meritve emisij in primerjava emisij glede na vozni cikel	85
9.3.1	Rezultati meritve emisij za vozni cikel LJURBAN	85
9.3.2	Primerjava skupnih emisij in porabe goriva na podlagi voznih ciklov	86
10	ZAKLJUČEK.....	90
VIRI	93

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovne karakteristike voznega cikla FTP 72	7
Preglednica 2: Osnovne karakteristike voznega cikla FTP 75	8
Preglednica 3: Osnovne karakteristike voznega cikla SFTP US06	9
Preglednica 4: Osnovne karakteristike voznega cikla SFTP SC03	10
Preglednica 5: Osnovne karakteristike voznega cikla NYCC	11
Preglednica 6: Osnovne karakteristike voznega cikla LA92	12
Preglednica 7: Osnovne karakteristike voznega cikla HWFET	13
Preglednica 8: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Urban cycle.....	16
Preglednica 9: Osnovne karakteristike voznega cika ARTEMIS Road Cycle	17
Preglednica 10: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Motorway cycle	17
Preglednica 11: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Motorway130 cycle	18
Preglednica 12: Osnovne karakteristike voznega cikla ECE 15	19
Preglednica 13: Osnovne karakteristike voznega cikla EUDC	20
Preglednica 14: Osnovne karakteristike voznega cikla EUDCL	21
Preglednica 15: Osnovne karakteristike voznega cikla JP 10 MODE	22
Preglednica 16: Osnovne karakteristike voznega cikla JP 10-15 MODE.....	23
Preglednica 17: Osnovne karakteristike voznega cikla JC08	24
Preglednica 18: Podatki o vozilih z vgrajeno napravo za izvajanje meritev (Lipar et al., 2009: str. 6–8).....	27
Preglednica 19: Ciljni parametri voznih karakteristik za teden, vikend in kombinacijo tedna in vikenda.....	38
Preglednica 20: Matrika baze podatkov, ki predstavlja pogostost opazovanj glede na kriterij	44
Preglednica 21: Matrika voznega cikla, ki predstavlja pogostost opazovanj glede na kriterij	44
Preglednica 22: Matrika baze podatkov z akumuliranimi opazovanji po vrsticah	44
Preglednica 23: Matrika voznega cikla z akumuliranimi opazovanji po vrsticah	45
Preglednica 24: Matrika baze podatkov z akumuliranimi opazovanji po stolpcih	45
Preglednica 25: Matrika voznega cikla z akumuliranimi opazovanji po stolpcih	45
Preglednica 26: Normalizirana matrika baze podatkov	46
Preglednica 27: Normalizirana matrika voznega cikla	46
Preglednica 28: Kvadrat razlike vrednosti matrik	47
Preglednica 29: Vsota kvadratov razlike	47
Preglednica 30: Primerjava mikro poti po hitrostnih razredih glede na število mikro poti ter odsotek časa mikro poti znotraj posameznega razreda.....	48
Preglednica 31: Enačbe za izračun ciljnih parametrov	51

Preglednica 32: Parametri, ki opisujejo značilnosti voznega cikla (LJURBAN)	54
Preglednica 33: Primerjava ciljnih parametrov dejanskih podatkov in izračunanega cikla	54
Preglednica 34: Primerjava časovne razporeditve po hitrostnih razredih	57
Preglednica 35: Primerjava voznih ciklov za osebna vozila glede na LJURBAN	59
Preglednica 36: Emisijska matrika emisij CO (g/h) za srednje veliko vozilo EURO I na bencinski pogon (Hickman et. al, 1999: str. 35).....	70
Preglednica 37: Vplivi posameznih faktorjev na emisije (André et al., 2006: str. 46)	72
Preglednica 38: Pomembni kinematični parametri in njihov vpliv na emisije za vozila na dizelski pogon (André et al., 2006: str. 51)	73
Preglednica 39: Pomembni kinematični parametri in njihov vpliv na emisije za vozila na bencinski pogon (André et al., 2006: str. 52)	76
Preglednica 40: Prikaz razlike v emisijah in porabi goriva glede na povprečne vrednosti hitrosti in porazdelitev hitrosti (André et al., 2006: str. 52).....	79

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Časovni graf hitrosti za vozni cikel FTP 72 (Barlow et al., 2009: str. 31)	7
Grafikon 2: Časovni graf hitrosti za vozni cikel FTP 75 (Barlow et al., 2009: str. 32)	8
Grafikon 3: Časovni graf hitrosti za vozni cikel SFTP US06 (Barlow et al., 2009: str. 33)	9
Grafikon 4: Časovni graf hitrosti za vozni cikel SFTP SC03 (Barlow et al., 2009: str. 34)	10
Grafikon 5: Časovni graf hitrosti za vozni cikel NYCC (Barlow et al., 2009: str. 35)	11
Grafikon 6: Časovni graf hitrosti za vozni cikel LA92 (Barlow et al., 2009: str. 38)	12
Grafikon 7: Časovni graf hitrosti za vozni cikel HWFET (Barlow et al., 2009: str. 36)	13
Grafikon 8: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Urban cycle (Barlow et al., 2009: str. 129)	16
Grafikon 9: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Road Cycle (Barlow et al., 2009: str. 130)	16
Grafikon 10: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Motorway Cycle (Barlow et al., 2009: str. 131)	17
Grafikon 11: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Motorway Cycle (Barlow et al., 2009: str. 132)	18
Grafikon 12: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ECE 15 (Barlow et al., 2009: str. 21)	19
Grafikon 13: Časovni graf hitrosti za vozni cikel EUDC (Barlow et al., 2009: str. 22)	20
Grafikon 14: Časovni graf hitrosti za vozni cikel EUDCL (Barlow et al., 2009: str. 23)	21
Grafikon 15: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JP 10 MODE (Barlow et al., 2009: str. 50) ..	22
Grafikon 16: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JP 10-15 MODE (Barlow et al., 2009: str. 51)	23
Grafikon 17: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JC08 (Emission Test Cycles, 2013)	24
Grafikon 18: Časovni graf hitrosti za primer vožnje med tednom, Dunajska cesta	32
Grafikon 19: Časovni graf hitrosti za primer vožnje med vikendom, Dunajska cesta	32
Grafikon 20: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za dneve med tednom	33
Grafikon 21: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za vikend	34
Grafikon 22: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za kombinacijo (teden/vikend) ..	34
Grafikon 23: Primer ločitve mikro poti iz časovnega grafa hitrosti	48
Grafikon 24: Časovni graf hitrosti za Urbani vozni cikel Ljubljane (LJURBAN)	53
Grafikon 25: Verjetnostna porazdelitev hitrost in pospeška za izračunan Urbani vozni cikel Ljubljane	56
Grafikon 26: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za dejanske podatke, pridobljene na podlagi meritev	56
Grafikon 27: Primerjava voznega cikla NEDC in Urbanega voznega cikla Ljubljane	60

Grafikon 28: Primerjava urbanega voznega cikla Artemis Urban in Urbanega voznega cikla Ljubljane	60
Grafikon 29: Primerjava voznega cikla FTP 75 in Urbanega voznega cikla Ljubljane.....	61
Grafikon 30: Primerjava urbanega voznega cikla NYCC in Urbanega voznega cikla Ljubljane	61
Grafikon 31: Primerjava povprečne hitrosti voznih ciklov	62
Grafikon 32: Primerjava povprečne potovalne hitrosti voznih ciklov.....	62
Grafikon 33: Primerjava povprečnega pozitivnega pospeška voznih ciklov	63
Grafikon 34: Primerjava povprečnega negativnega pospeška voznih ciklov.....	63
Grafikon 35: Primerjava deležev načina vožnje voznih ciklov	64
Grafikon 36: Primerjava deleža mirovanja in deleža vožnje voznih ciklov.....	64
Grafikon 37: Emisije ogljikovega monoksida osebne vozila kot funkcija povprečne hitrosti (Hickman et al., 1999: str. 33).....	68
Grafikon 38: Primerjava med vrednostmi emisij CO na podlagi povprečne hitrosti in vrednostmi emisij baze HBEFA za srednje veliko vozilo na bencinski pogon EURO I (Hickman et. al, 1999: str. 35).....	69
Grafikon 39: Razlika med izračunanimi in merjenimi emisijami, srednje velika vozila na bencinski pogon (Hickman et. al, 1999: str. 41).....	71
Grafikon 40: Časovni grafi hitrosti izbranih voznih ciklov za izvedbo simulacije emisij in porabe goriva.....	84
Grafikon 41: Vrednosti emisij ogljikovodika (HC) za vozni cikel LJURBAN.....	85
Grafikon 42: Vrednosti emisij ogljikovega monoksida (CO) za vozni cikel LJURBAN.....	86
Grafikon 43: Vrednosti emisij dušikovega oksida (NO _x) za vozni cikel LJURBAN.....	86
Grafikon 44: Primerjava vrednosti skupnih emisij ogljikovodika (HC) glede na vozni cikel ...	87
Grafikon 45: Primerjava vrednosti skupnih emisij ogljikovega monoksida (CO) glede na vozni cikel.....	87
Grafikon 46: Primerjava vrednosti skupnih emisij dušikovega oksida (NO _x) glede na vozni cikel.....	88
Grafikon 47: Primerjava porabe goriva glede na vozni cikel.....	88

KAZALO SLIK

Slika 1: Primer stiliziranega voznega cikla (NEDC) (Barlow et al., 2009: str. 3)	4
Slika 2: Primer dejanskega voznega cikla (TRAMAQ UG214) (Barlow et al., 2009: str. 3)	4
Slika 3: SEMTECH-AM modul (Sensors, 2013).....	28
Slika 4: Primer vrstičnega zapisa znotraj tekstovne datoteke	29
Slika 5: Tabela obdelanih vhodnih podatkov v programu MS Access 2010	30
Slika 6: Prikaz poti na območju Ljubljane na vektorskem podatkovnem sloju v programu ArcMap 10.1.....	31
Slika 7: Primerjava vektorjev baze podatkov in voznega cikla (Fincher et al., 2010).....	43
Slika 8: Prikaz Visual Basicove kode znotraj modula za izdelavo matrik.....	50
Slika 9: Osebno vozilo med testiranjem na šasijskem dinamometru (AVL, 2013)	67
Slika 10: Shematični prikaz laboratorijske opreme za izvajanje meritev emisij (Tamsanya, 2008: str. 74).....	67
Slika 11: Okno za vnos vhodnih podatkov (ADVISOR, 2013)	81
Slika 12: Okno za nastavitve simulacije (ADVISOR, 2013)	81
Slika 13: Okno za prikaz rezultatov simulacije (ADVISOR, 2013)	82
Slika 14: Vhodni podatki – karakteristike vozila za izvedbo simulacije emisij in porabe goriva	83
Slika 15: Prikaz osnovnih parametrov cikla LJURBAN v oknu za nastavitve simulacije emisij in porabe goriva	84

1 UVOD

V zadnjem času del strokovne javnosti daje velik poudarek na onesnaževanje okolja v sklopu podnebnih sprememb, ki jih je že moč opaziti. K podnebnim spremembam poleg industrije največ prispeva promet. Največji del toplogrednih plinov v prometu predstavlja cestni promet. Ljubljana je, kot glavno mesto Slovenije z velikim številom prebivalcev ter dnevnih migrantov, najbolj izpostavljena onesnaževanju, ki izhaja iz izpustov velikega števila avtomobilov. Poleg tega je mestno območje navadno najgostejši del, obkrožen z relativno visokimi zgradbami in ima največjo onesnaženost. Visoke stopnje onesnaženosti v centru mesta lahko zmanjšamo z omejevanjem izpustov na najbolj obremenjenih območjih. Omejitve izpustov se razlikujejo glede na območje v mestu ter množico različnih prometnih pogojev. Učinkovitost omejitev je odvisna od natančnosti emisijskih modelov, s katerimi določamo emisije vozil. Te modele definirajo emisijski faktorji, ki so navadno izraženi z grami polutantov na enoto prevožene razdalje. Na emisijske faktorje vplivajo tako lastnosti vozila kot tudi način vožnje. Navadno so emisije in poraba goriva grobo ocenjene na podlagi osnovnih povprečnih vrednosti lastnosti vozila. Zelo težko je nadzirati dejanski način vožnje in pri tem natančno določiti vrednost emisij. Pomagamo si lahko s t. i. vzorci voženj, ki jih določa sprememba hitrosti med časom vožnje. Skozi celoten čas potovanja se lahko vzorci voženj kontinuirano ponavljajo in tako dobimo t. i. vozni cikel.

Vozni cikel je sestavljen iz več zaporednih stanj vozila (mirovanje, pospeševanje, vožnja s konstanto hitrostjo, pojevanje) in predstavlja karakteristično vožnjo za opazovano območje. Vzorci voženj se lahko razlikujejo od mesta do mesta. Zato posamezni vozni cikel, pridobljen za obravnavano mesto, ne more biti enak za druga mesta, razen če so karakteristike voženj v veliki meri podobne. Urbano vožnjo večinoma sestavljajo hitro pospeševanje in pojevanje v povezavi z različnimi prometnimi okolji, npr.: semaforji, križišča, čakanje v kolonah itd.. V mestnih območjih imamo veliko število nepredvidljivih situacij, zato je potrebno upoštevati vse različne spremenljivke. Za natančnejšo določitev emisij v mestih je nujno potrebno zbrati vse potrebne podatke in razviti vozni cikel za vsako mesto posebej.

1.1 Predpostavke in omejitve

Vzorci voženj so odvisni od več dejavnikov. Spreminjajo se glede na čas vožnje (ura, dan v tednu), lokacijo, vrsto vozila, tip voznika itd.. S spremembo katerega koli izmed teh faktorjev se spremeni tudi oblika vzorca vožnje.

Za kakovostno pripravo voznih ciklov, ki bi predstavljali vse dejanske prometne pogoje, bi potrebovali več časa za zbiranje podatkov ter temeljitejšo predpripravo. Z izbiro metode za razvoj voznega cikla pred začetkom zajemanja podatkov si občutno olajšamo delo in hkrati lahko pričakujemo kakovostnejše podatke in rezultate. Podatki, ki smo jih pridobili v obdelavo so iz leta 2009, zato morda ne odražajo trenutnega stanja. Sklepamo, da to ni pomembno, saj se navade voznikov ne menjajo v tako kratkem času. Poti vozil smo naknadno omejili na urbano območje Ljubljane. Čas zajemanja podatkov je omejen na obdobje med junijem in oktobrom 2009.

1.2 Cilj diplomskega dela

Cilj te diplomske naloge je razviti reprezentativen vozni cikel za nadaljnje ocene emisij izpušnih plinov ter porabe goriva osebnih vozil v urbanem območju Ljubljane ter poiskati podobnosti in razlike v primerjavi z ostalimi cikli po svetu.

1.3 Metode dela

V diplomskem delu so v večji meri uporabljene naslednje raziskovalne metode:

- metoda opisovanja;
- metoda analize in sinteze;
- metoda kompilacije;
- metoda komparacije;
- induktivno-deduktivna metoda;
- statistična metoda.

2 VOZNI CIKEL – TEORETIČNE OSNOVE

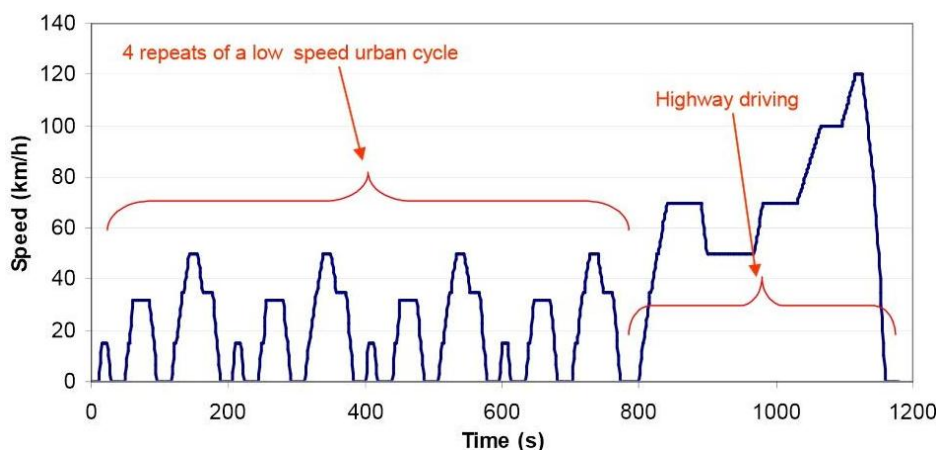
Vozni cikel je niz podatkovnih točk, ki predstavljajo hitrost v odvisnosti od časa (Driving cycle, 2013). Razvijamo jih z namenom, da pridobimo reprezentativne časovne grafe hitrosti, ki predstavljajo vzorce voženj na določenem območju. Časovni grafi hitrosti, razviti za določeno mesto, niso primerni za uporabo v drugem mestu, saj je vsako mesto edinstveno zaradi različnega načina vožnje ter topografije cestnega omrežja. Zato je nujno potrebno, da zbiramo različne prometne podatke in razvijemo vozni cikel za posamezno mesto ter se izognemo uporabi že obstoječih voznih ciklov. Vsesplošno lahko vozne cikle uporabimo na več področjih. Proizvajalci vozil uporabljajo cikle za boljše razumevanje dejanskih voznih pogojev in za oceno realnih zmogljivosti proizvedenih vozil. Prometni inženirji s pomočjo ciklov načrtujejo sisteme za nadzor prometa in izvajajo simulacije prometnih tokov ter zamud. Najpomembnejšo vlogo predstavljajo vozni cikli na okoljevarstvenem področju. Vozni cikel je osnova za meritve in računanje emisij. Na osnovi časovnih grafov hitrosti voznih ciklov lahko v laboratoriju pod nadzorovanimi pogoji merimo vrednosti emisij opazovanega vozila. Te vrednosti nato, v korelaciji z voznimi cikli, uporabimo za določevanje emisijskih faktorjev, ki so osnova za računanje emisij. Zato so lastnosti voznih ciklov (reprezentativnost, ponovljivost, zanesljivost, itd.) pomembne za kakovost podatkov o emisijah (André et al., 2006).

Po Tzirakis et al. (2006) poznamo dve glavni kategoriji ciklov: zakonodajni in nezakonodajni vozni cikli. Na podlagi zakonodajnih voznih ciklov vlade določajo omejitve glede vrednosti izpušnih emisij v postopku homologacije vozil v zvezi z emisijami. Emisije izpušnih plinov, ki nastanejo pri vožnji vozila glede na natančno predpisan vozni cikel, ne smejo presegati zakonsko določenih emisijskih standardov. Proizvajalci vozil s pomočjo zakonodajnih ciklov določajo emisijske vrednosti motorjev in tako razvijajo nove tehnologije za doseganje standardov izpušnih emisij (Lee, 2006). V kategorijo zakonodajnih voznih ciklov uvrščamo naslednje vozne cikle: npr. FTP 75 (Federal Test Procedure) v ZDA, ECE 15 in New European Driving Cycle (NEDC) v Evropski uniji, JP 10 Mode in JP 10-15 Mode na Japonskem itd. (Barlow et al., 2009). Nezakonodajni cikli so t. i. raziskovalni cikli, ki so rezultat raziskav različnih inštitutov v zvezi z emisijami cestnega prometa in se uporabljajo za oceno dejanskih prometnih emisij ter porabe goriva glede na raznolikost prometnih in geografskih pogojev. Taki cikli so INRETS Driving Cycles, Modern-HyZem Driving Cycles, Athens Driving Cycle, ARTEMIS Driving Cycles itd..

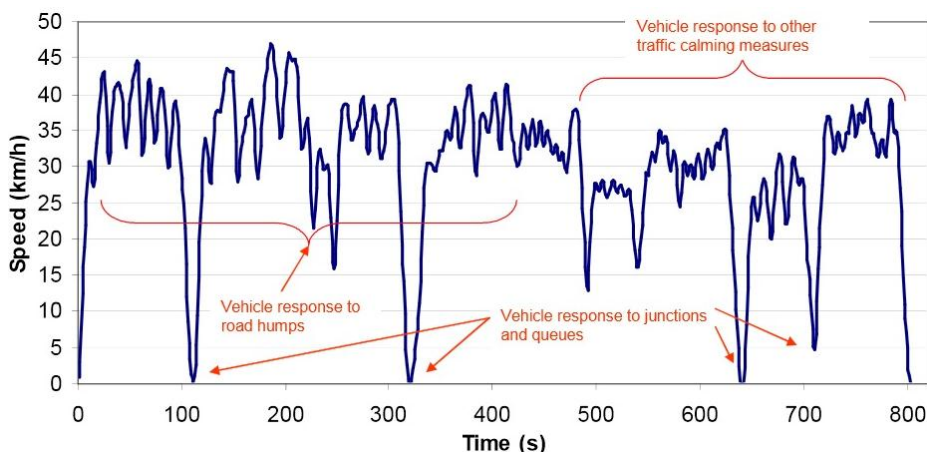
Vozne cikle lahko delimo tudi glede na način razvoja, in sicer na modalne (stilizirane) ter na dejanske (trenutne) vozne cikle. Modalni cikli vključujejo daljša obdobja, ko je hitrost stalna in

pospeševanje ter pojemanje enakomerno in ne predstavljajo dejanskega načina vožnje. Razviti so z matematičnim modeliranjem in s pomočjo statistike. Večina evropskih in japonskih zakonodajnih voznih ciklov je stiliziranih. Dejanski vozni cikli so bolj dinamični, sestavljajo jih številna hitra pospeševanja in pojemanja, značilna za vsakodnevno vožnjo (Driving cycle, 2013). Izhajajo iz zbranih podatkov na podlagi dejanskih meritev med vožnjo v vsakodnevnih prometnih razmerah. So zelo učinkoviti pri določanju emisij in simulaciji določenih aktivnosti, kljub temu, da jih je težko uporabiti v testnem postopku na dinamometru in imajo slabo ponovljivost, saj posnemajo dejanske vzorce voženj.

Sliki v nadaljevanju prikazujeta primer stiliziranega (Slika 1) ter dejanskega (Slika 2) voznega cikla. Slika 1 prikazuje primer zelo stiliziranega cikla, ki se uporablja za homologacijo lahkih tovornih vozil v Evropski uniji. Cikel sestavljajo odseki, kjer so pospeševanje, pojemanje ter hitrost konstantni. V zelo majhnem delu odraža dejanske vzorce voženj. Na spodnji sliki (Slika 2) je primer dejanskega voznega cikla, iz katerega so jasno razvidni vzorci, značilni za realno vožnjo vozila v območju umirjene vožnje (Barlow et al., 2009).



Slika 1: Primer stiliziranega voznega cikla (NEDC) (Barlow et al., 2009: str. 3)



Slika 2: Primer dejanskega voznega cikla (TRAMAQ UG214) (Barlow et al., 2009: str. 3)

3 PREGLED VOZNIH CIKLOV PO SVETU

3.1 Vozni cikli Združenih držav Amerike

V poznih petdesetih letih prejšnjega stoletja je Los Angelesko okrožje za nadzor onesnaževanja zraka (Los Angeles County Air Pollution) razvilo prve vozne cikle za meritve emisij na podlagi tipičnih voženj v Los Angelesu. Leta 1956 so na podlagi raziskav prometa v različnih razmerah na območju Los Angelsekega okrožja razvili vozni cikel 7 Mode Cycle, ki je bil nato leta 1961 prvi standardizirani testni cikel s strani California Motor Vehicle Pollution Control Board (Hass in Brubacher, 1962). Ta cikel je bil v obdobju od leta 1966 do 1971 na podlagi nacionalne uredbe za nadzor nad emisijami vozil zakonodajni.

Leta 1969 so Kalifornijske oblasti izvajale raziskave z namenom, da bi razvili vozni cikel, ki bi predstavljal dejansko značilno jutranjo vožnjo (»dom-služba«) v Los Angelesu. Med vožnjo so neprekinjeno beležili hitrost, podatke o delovanju motorja ter podtlak v sesalni cevi. Meritve so izvajali na 12 milj dolgi poti, imenovani LA4 pot, ki je imela začetek in konec pri Kalifornijskemu laboratoriju za emisije (California emissions laboratory). Iz podatkov so nato izračunali povprečne vrednosti večih parametrov; med njimi: celotni čas vožnje, čas mirovanja, povprečno hitrost, maksimalno hitrost in število zaustavitev. Osnova za določitev novega cikla je bila pot, ki je imela čas vožnje blizu povprečja časa šestih voženj. Izbrano pot so nato skrajšali na dolžino povprečne raziskane poti v urbanem okolju Los Angelesa, ki je znašala 7,5 milj. Zaradi omejenih zmogljivosti testnega dinamometra so pojemke in pospeške omejili na maksimalno vrednost $1,5 \text{ m/s}^2$. Rezultat raziskav je vodil k razvoju standardnega (zakonodajnega) cikla za certificiranje lahkih tovornih vozil med letoma 1972 in 1975. Njegovo uradno ime je Federal Test Procedure FTP 72, poznan tudi pod imenom Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) ter Los Angeles (LA 4) Cycle (Lee, 2006).

Leta 1975 je USEPA (United States Environmental Protection Agency) popravila testni cikel FTP 72 tako, da so na konec cikla dodali novo, tretjo fazo. Tako je nastal nov modificiran cikel FTP 75, znan tudi pod imenom City cycle, ker predstavlja mestni način vožnje. Z majhnimi popravki se ta cikel v Združenih državah Amerike uporablja za certificiranje lahkih tovornih vozil še danes.

Zaradi posledic naftne krize leta 1973 se je vlada ZDA odločila raziskati porabo goriv in objavila rezultate raziskav porabe, ki so bile izvedene na podlagi cikla FTP 72. Izkazala se je potreba po razvoju cikla, ki bi zajel tudi značilnosti izven mestnih voženj. USEPA je zato

razvila nov cikel Highway Fuel Economy Test (HWFET), ki predstavlja vožnjo po avtocestah (Austin et al., 1995, cit. po Lee, 2006).

Leta 1996 je USEPA zaradi pomanjkljive reprezentativnosti ciklov FTP in HWET razvila dva dodatna testna cikla US06 in SC03 pod skupnim imenom Supplemental Federal Test Procedures (SFTP), ki sta temeljila na zbranih podatkih v tem obdobju. Cikel US06 predstavlja agresivno avtocestno vožnjo z močnimi pospeševanji in visokimi hitrostmi. Drugi testni cikel SC03 pa predstavlja mestno vožnjo z vključeno klimatsko napravo. Ta dva dodatna cikla sta v ZDA zakonodajne narave (Emission Test Cycles, 2013).

Čeprav sta bila v ZDA FTP Driving Cycle in EPA Highway Cycle standardna testna cikla za določitev emisij, sta se v nekaterih regijah izkazala kot neprimerna, saj nista dovolj natančno opisovala tamkajšnjih načinov voženj ter lokalnih prometnih pogojev. Cikel FTP 72, ki ga sestavlja pomemben del hitrih odsekov, namreč ni reprezentativen za mestni center New Yorka, kjer je promet zelo zgoščen. To je ključevalo razvitju novega cikla za testiranja na dinamometru, imenovanega New York City Cycle (NYCC).

Leta 1990 je CARB (California Air Resources Board) začel s projektom razvijanja novih voznih ciklov, ki bi bolje predstavljali aktualne načine vožnje in tako izboljšali modeliranje emisij vozil. Nastal je t. i. Unified Cycle (UC), poznan tudi kot cikel LA 92 (Austin et al., 1993, cit. po Lee, 2006).

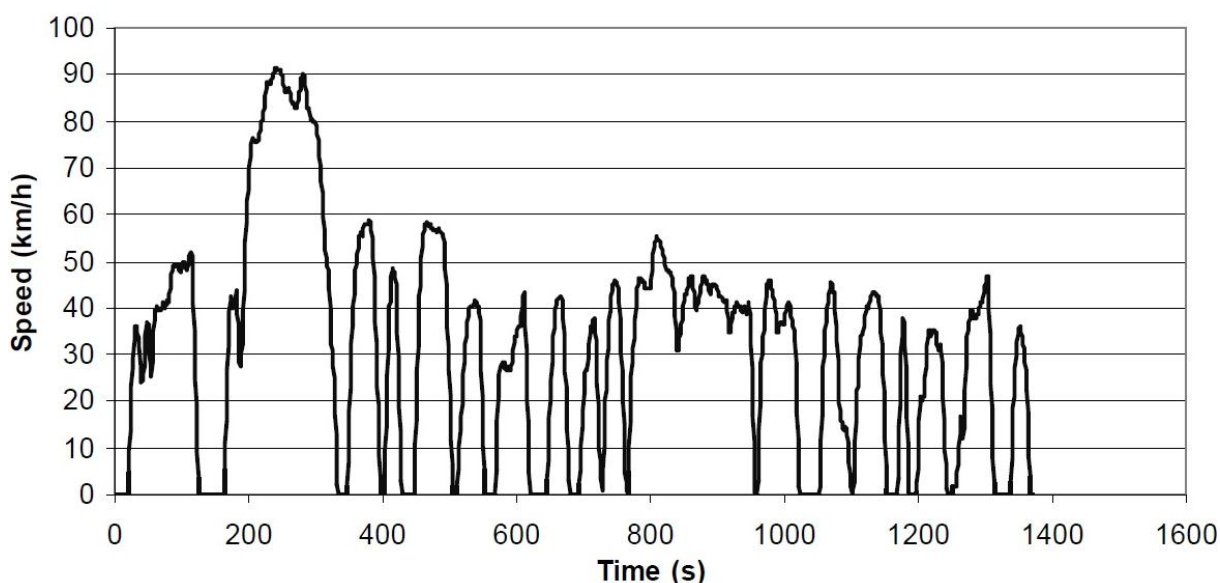
Trenutni uradni postopek za meritve izpušnih emisij in porabe osebnih vozil, t. i. EPA Federal Test Procedure, sestoji iz 5 ciklov: FTP, HWET, US06, SC03 in C-FTP (Cold FTP) (FTP-75, 2013).

3.1.1 Dejanski vozni cikli – ZDA

3.1.1.1 FTP 72

Cikel FTP (Federal Test Procedure) 72 je del testnega postopka EPA Federal Test Procedure za meritve emisij izpušnih plinov ter ekonomičnosti porabe goriva osebnih vozil. Poznan je tudi pod imenom Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) ter cikel LA 4. Enak cikel, le pod drugim imenom, uporabljajo v Avstraliji t. i. ADR 27 (Australian Design Rules) in na Švedskem, pod oznako A10 oziroma CVS (Constant Volume Sampler).

Sestavlja ga zagon s hladnim motorjem ter nato 23 zaustavitve v času 31 minut pri povprečni hitrosti 31,6 km/h in maksimalni hitrosti 91,2 km/h. Cikel ima dve fazi: 1. faza se začne s hladnim zagonom (angl. *cold start*) in traja 505 s s povprečno hitrostjo 41,2 km/h ter dolžino približno 5,78 km. Po 1. fazi mora biti motor vozila ugasnjen za 10 minut in nato nastopi 2. faza, ki traja 864 s. Cikel predstavlja urbano pot dolžine cca 12 km z več zaustavitvami.



Grafikon 1: Časovni graf hitrosti za vozni cikel FTP 72 (Barlow et al., 2009: str. 31)

Preglednica 1: Osnovne karakteristike voznega cikla FTP 72

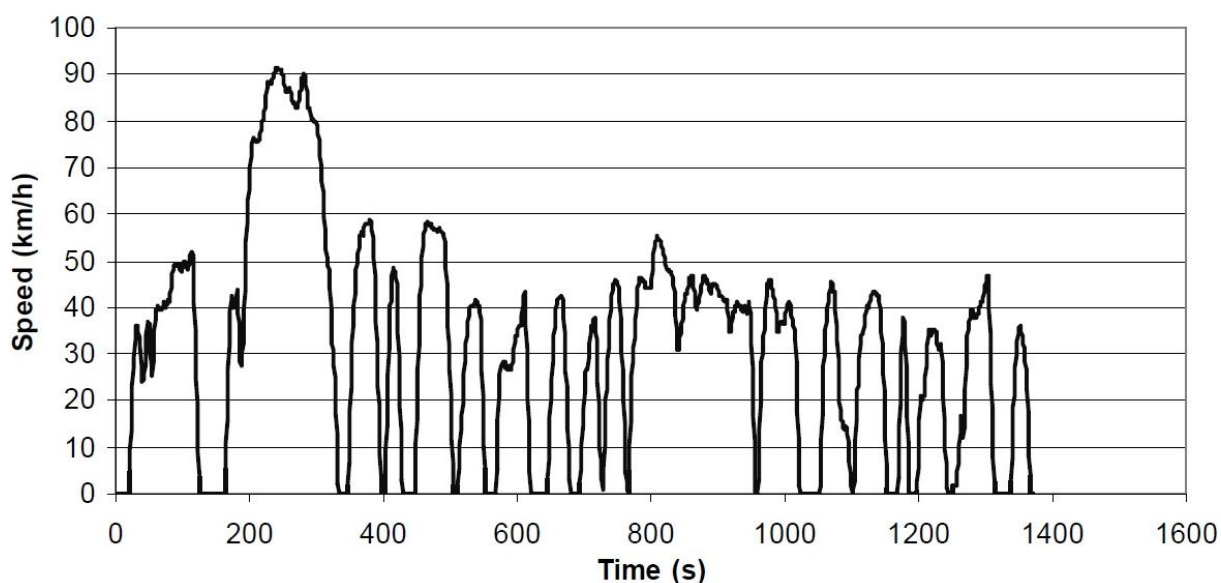
Dolžina cikla	11996,9 m
Trajanje cikla	1369 s
Povprečna hitrost	31,6 km/h
Maksimalna hitrost	91,2 km/h
Delež mirovanja	13,81 %

3.1.1.2 FTP 75

Cikel FTP 75 je nadgradnja cikla FTP 72 z dodano 3. fazo, ki traja 505 s in je enaka 1. fazi FTP 72, vendar z vročim zagonom motorja. Med 2. in 3. fazo je motor ugasnjen za 10 minut.

Cikel FTP 75 je sestavljen iz:

- 1. faze s hladnim zagonom motorja, 0–505 s;
- 2. faze, 506–1372 s;
- zaustavitve segretega vozila (angl. *hot soak*), (min. 540 s, maks. 660 s);
- 3. faze z vročim zagonom motorja, 0–505 s (Emission Test Cycles, 2013).



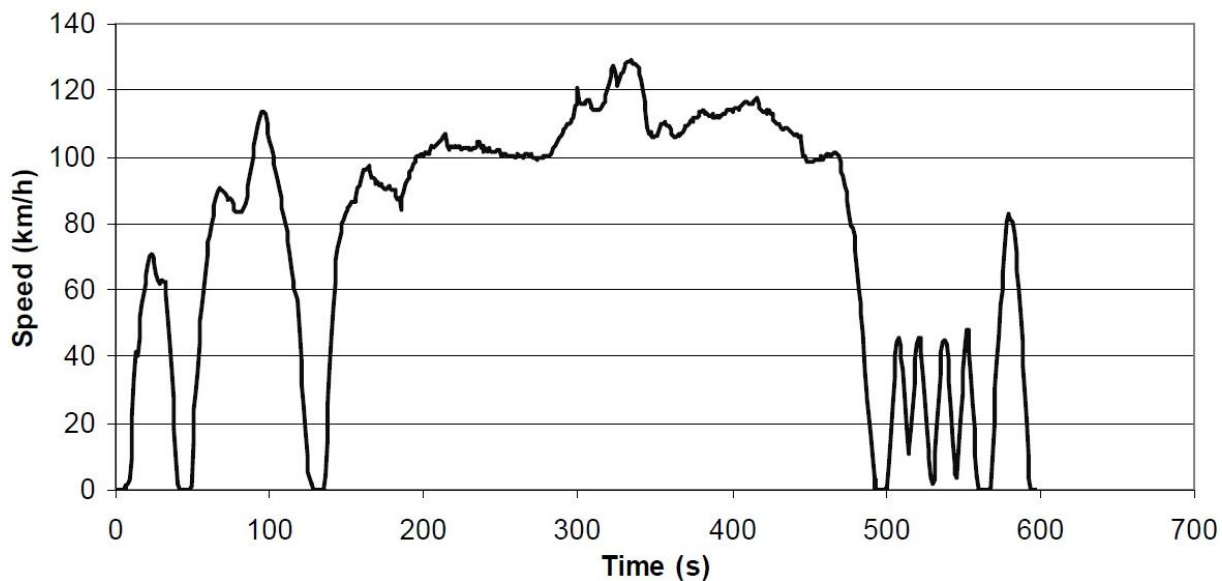
Grafikon 2: Časovni graf hitrosti za vozni cikel FTP 75 (Barlow et al., 2009: str. 32)

Preglednica 2: Osnovne karakteristike voznega cikla FTP 75

Dolžina cikla	17786,59 m
Trajanje cikla	1874 s
Povprečna hitrost	34,2 km/h
Maksimalna hitrost	91,2 km/h
Delež mirovanja	12,9 %

3.1.1.3 SFTP US06

Cikel Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) US06 je bil narejen zaradi pomanjkljivosti cikla FTP 75. Dolžina cikla je 12,8 km s povprečno hitrostjo 77,9 km/h ter trajanjem 596 s. Cikel predstavlja agresivno vožnjo z visokimi hitrostmi in močnimi pospeševanji.



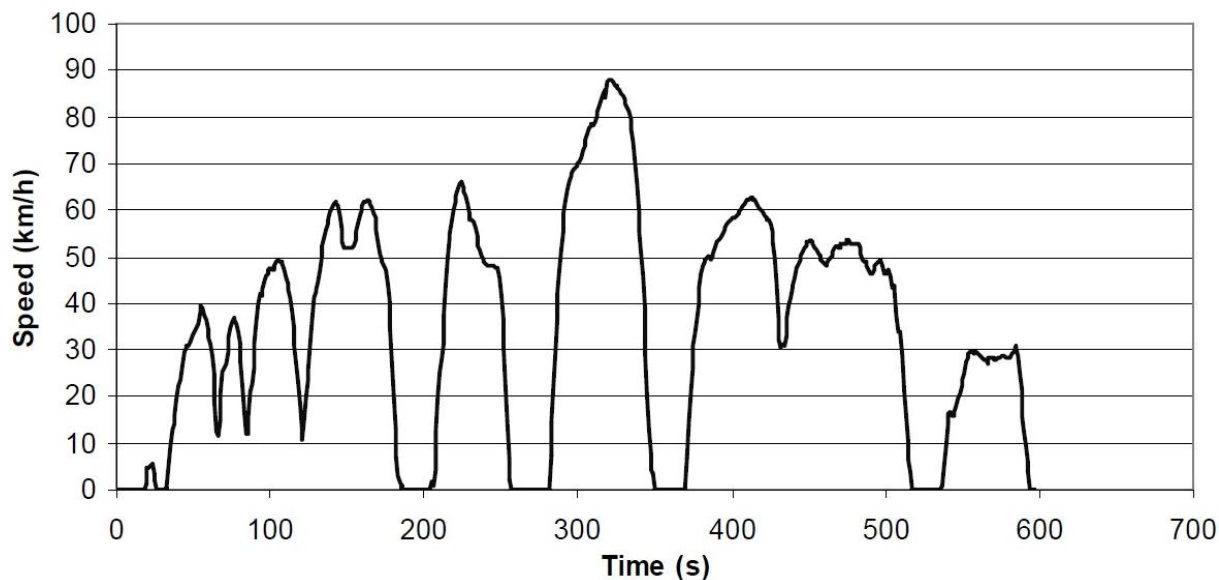
Grafikon 3: Časovni graf hitrosti za vozni cikel SFTP US06 (Barlow et al., 2009: str. 33)

Preglednica 3: Osnovne karakteristike voznega cikla SFTP US06

Dolžina cikla	12893,77 m
Trajanje cikla	596 s
Povprečna hitrost	77,9 km/h
Maksimalna hitrost	128,9 km/h
Delež mirovanja	2,2 %

3.1.1.4 SFTP SC03

Cikel Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) SC03 so razvili za prikaz obremenitev motorja in vrednosti emisij pri vključeni klimatski napravi v vozilih, ki so certificirana na podlagi preskusnega cikla FTP 75.



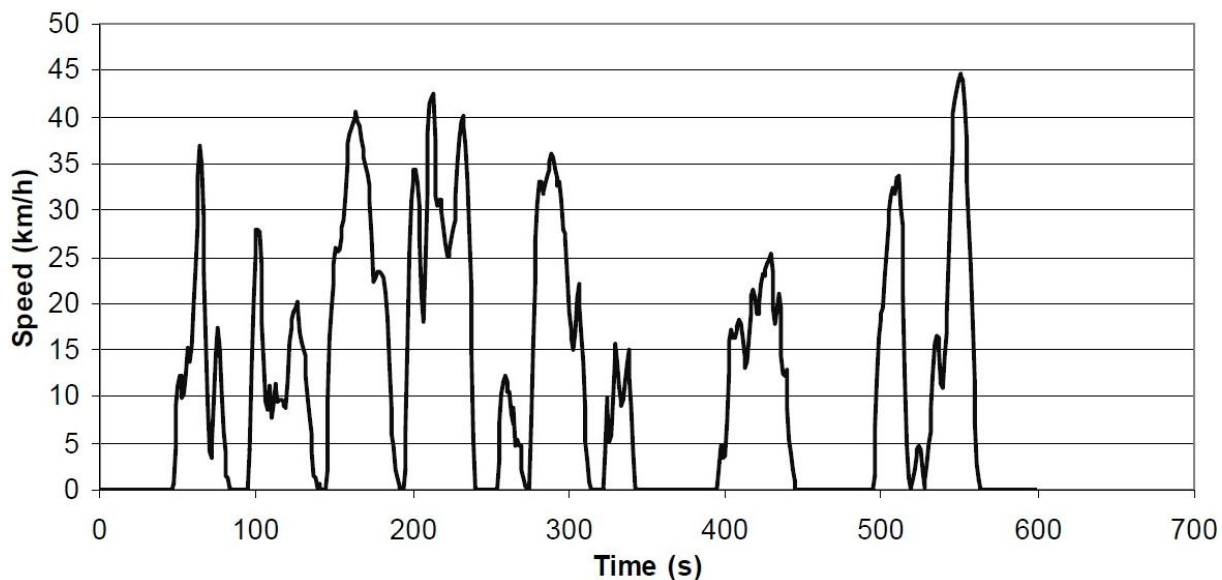
Grafikon 4: Časovni graf hitrosti za vozni cikel SFTP SC03 (Barlow et al., 2009: str. 34)

Preglednica 4: Osnovne karakteristike voznega cikla SFTP SC03

Dolžina cikla	5765,65 m
Trajanje cikla	596 s
Povprečna hitrost	34,8 km/h
Maksimalna hitrost	88,1 km/h
Delež mirovanja	13,8 %

3.1.1.5 NYCC

EPA New York City Cycle (NYCC) predstavlja urbano vožnjo v New Yorku. Značilnost tega cikla je nizka povprečna hitrost ter veliko število zaustavitev.



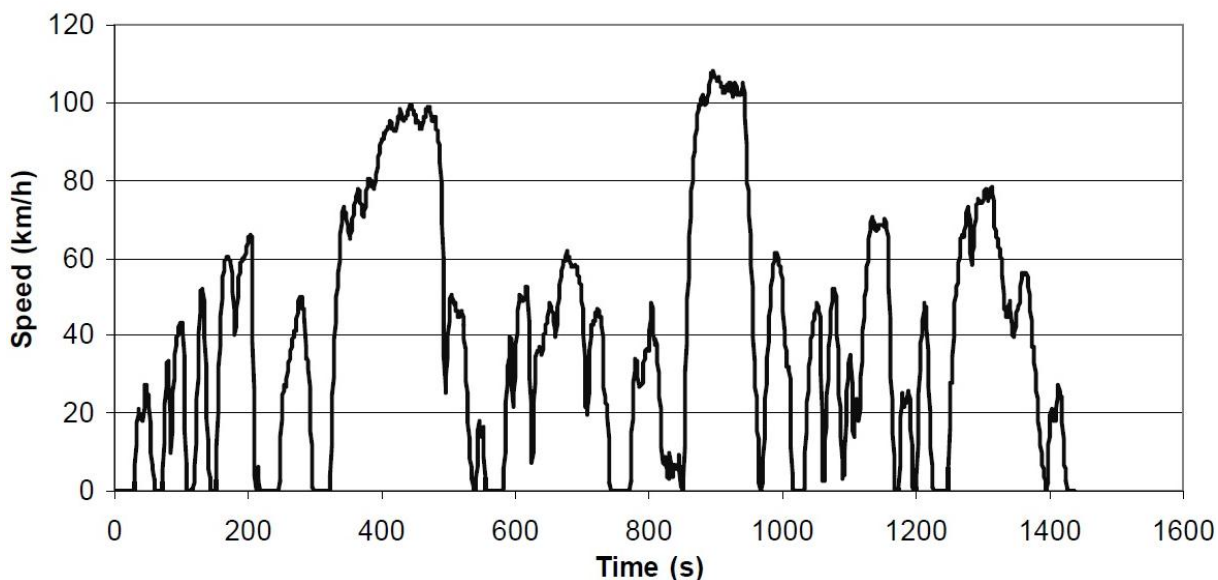
Grafikon 5: Časovni graf hitrosti za vozni cikel NYCC (Barlow et al., 2009: str. 35)

Preglednica 5: Osnovne karakteristike voznega cikla NYCC

Dolžina cikla	1902,76 m
Trajanje cikla	598 s
Povprečna hitrost	11,5 km/h
Maksimalna hitrost	44,5 km/h
Delež mirovanja	31,1 %

3.1.1.6 LA92

Cikel California LA92 Dynamometer Driving Schedule (Unified LA92) ima podobno strukturo kot cikel FTP 75, vendar je bolj agresiven. Ima večjo povprečno hitrost, močnejša pospeševanja, manj zaustavitev ter krajše čase mirovanja (Emission Test Cycles, 2013).



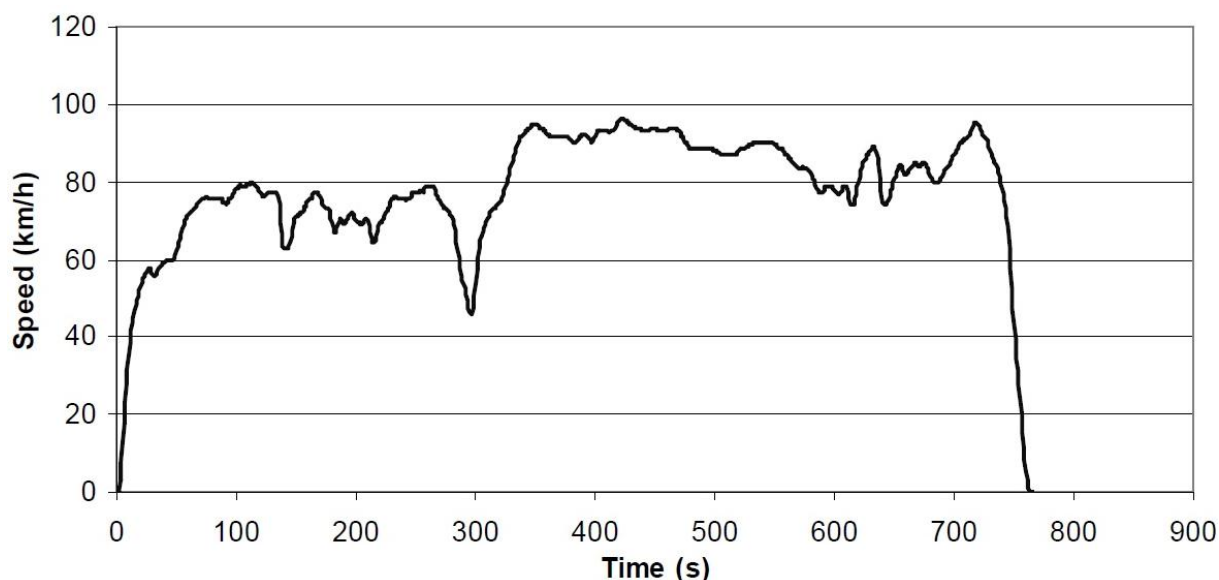
Grafikon 6: Časovni graf hitrosti za vozni cikel LA92 (Barlow et al., 2009: str. 38)

Preglednica 6: Osnovne karakteristike voznega cikla LA92

Dolžina cikla	15802,15 m
Trajanje cikla	1435 s
Povprečna hitrost	39,6 km/h
Maksimalna hitrost	107,3 km/h
Delež mirovanja	12,33 %

3.1.1.7 HWFET

EPA Highway Fuel Economy Test (HWFET) je cikel, namenjen testiranju na dinamometru za določitev porabe goriva lahkih tovornih vozil.



Grafikon 7: Časovni graf hitrosti za vozni cikel HWFET (Barlow et al., 2009: str. 36)

Preglednica 7: Osnovne karakteristike voznega cikla HWFET

Dolžina cikla	16503,13 m
Trajanje cikla	765 s
Povprečna hitrost	77,7 km/h
Maksimalna hitrost	96,3 km/h
Delež mirovanja	0 %

3.2 Evropski vozni cikli

V letu 1970 je bil razvit modalni cikel ECE 15, poznan tudi pod imenom Urban Driving Cycle (UDC), kot del ECE (Economic Commission for Europe) pravilnikov. Zasnovan je za mestne prometne razmere v večjih evropskih mestih, npr. v Parizu ali Rimu (André, 1996, cit. po Tamsanya, 2008). ECE 15 je stiliziran vozni cikel (Tong et al., 1999), sestavljen iz več različnih reprezentativnih konstantnih pospeševanj in odsekov konstantne hitrosti. Za cikel je značilna nizka hitrost vozila, majhna obremenitev motorja ter nizka temperatura izpušnih plinov. Kasneje so leta 1990 zaradi pomanjkanja reprezentativnih visokih hitrosti v ciklu ECE 15 (maksimalna hitrost 50 km/h) razvili nov cikel Extra Urban Driving Cycle (EUDC), ki ima maksimalno hitrost 120 km/h.

Tako je leta 1993 nastal New European Driving Cycle (NEDC), ki sestoji iz štirih zaporednih ponovitev voznega cikla ECE 15 ter ene ponovitve voznega cikla EUDC. Cikel naj bi predstavljal značilno uporabo osebnih vozil v Evropi. Med izvajanjem testiranja s ciklom se izvajajo meritve porabe goriva in emisij. Vozni cikel NEDC je osnova za homologizacijo vozil v Evropi.

Poleg zakonodajnih je na območju Evrope še vrsta drugih, t. i. raziskovalnih voznih ciklov. Ti so nastajali v sklopu posameznih raziskav, z namenom natančnejše določitve vzorcev voženj ter njihovega vpliva na vrednosti emisij in oceno porabe goriva. Inrets driving cycles in Inrets short cycles so nastali v sklopu raziskav dejanskih vzorcev voženj pod okriljem inštituta Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité na območju mesta Lyon v Franciji. Cikli Modem so rezultat DRIVE-modem raziskovalnega projekta. Opazovali so 60 evropskih avtomobilov med vsakodnevno uporabo v šestih mestih v Veliki Britaniji, Franciji in Nemčiji. Vozni cikli Modem-HyZem so nastali z namenom vrednotenja hibridnih vozil pod okriljem DRIVE-modem in BRITE/EURAM-HyZem raziskovalnih projektov. V primerjavi z ostalimi raziskavami je bila baza podatkov obsežnejša, saj je bilo vključenih 80 evropskih vozil.

3.2.1 Dejanski vozni cikli – Evropa

3.2.1.1 INRETS

Vozni cikli Inrets (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Francija) so nastali na podlagi raziskav o dejanskih vzorcih voženj. Vseh skupaj je 10 voznih ciklov (5 urbanih, 3 podeželska, 2 avtocestna).

3.2.1.2 MODEM

Cikli Modem (MODelling of Emissions and fuel consumption in urban areas) temeljijo na konceptih, katerih cilj je analiza zaporedij med postanki, določitev ustrežnejših deskriptorjev hitrostnih profilov in heterogenost ter kronologija voznih pogojev znotraj cikla. Razvoj ciklov je potekal na osnovi zelo velike baze, ki jo je sestavljalo 60 evropskih zasebnih osebnih vozil s skupno prevoženimi 73000 km. Razvili so 14 urbanih voznih ciklov, ki so predstavljali strukturo dejanskih potovanj (André, 2004).

3.2.1.3 MODEM-IM

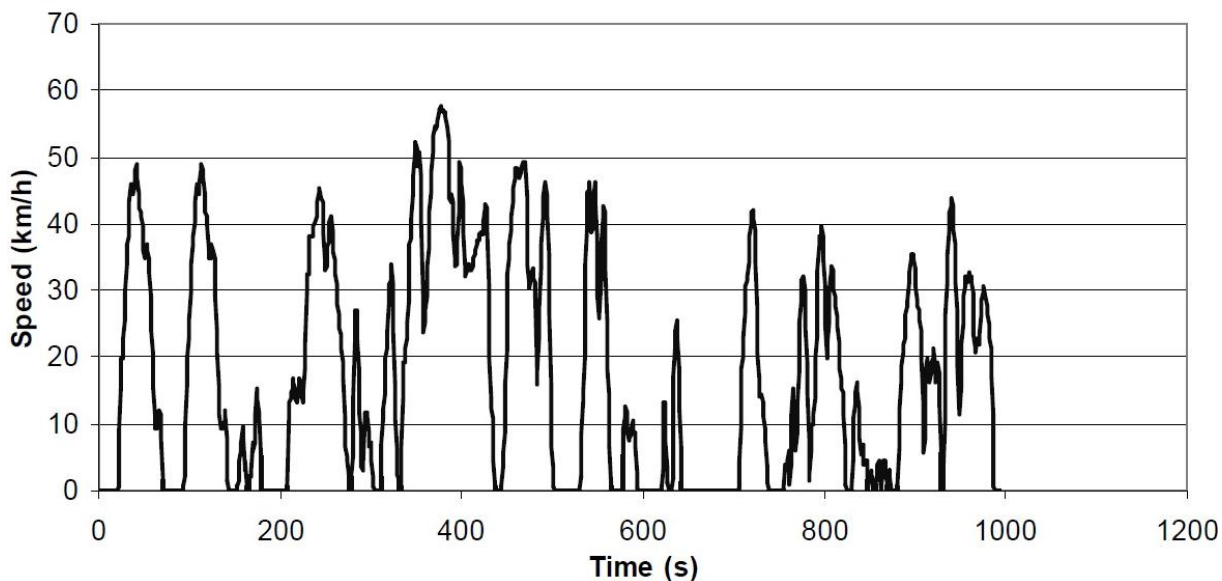
Cikli Modem-IM so sestavljeni na podlagi enakih metod in podatkov kot cikli Modem. Skupno so štiri cikli, ki predstavljajo vožnjo v gostem mestnem prometu, prosti urbani promet, podeželsko vožnjo in avtocestno vožnjo (André et al., 1998, cit. po André et al., 2006).

3.2.1.4 MODEM-HYZEM

Cikli Hyzem so razviti iz dejanskih načinov vožnje na območju Evrope v sklopu DRIVE-modem in BRITE/EURAM-Hyzem raziskovalnih projektov. Ciklov je 8, od tega so 3 urbani, 3 podeželski in 2 avtocestna. V primerjavi s cikli Modem in Modem-IM so razviti na podlagi večje baze podatkov in povsem spremenjenih statističnih principov, ki so izboljšale njihovo reprezentativnost (André et al., 2006).

3.2.1.5 ARTEMIS

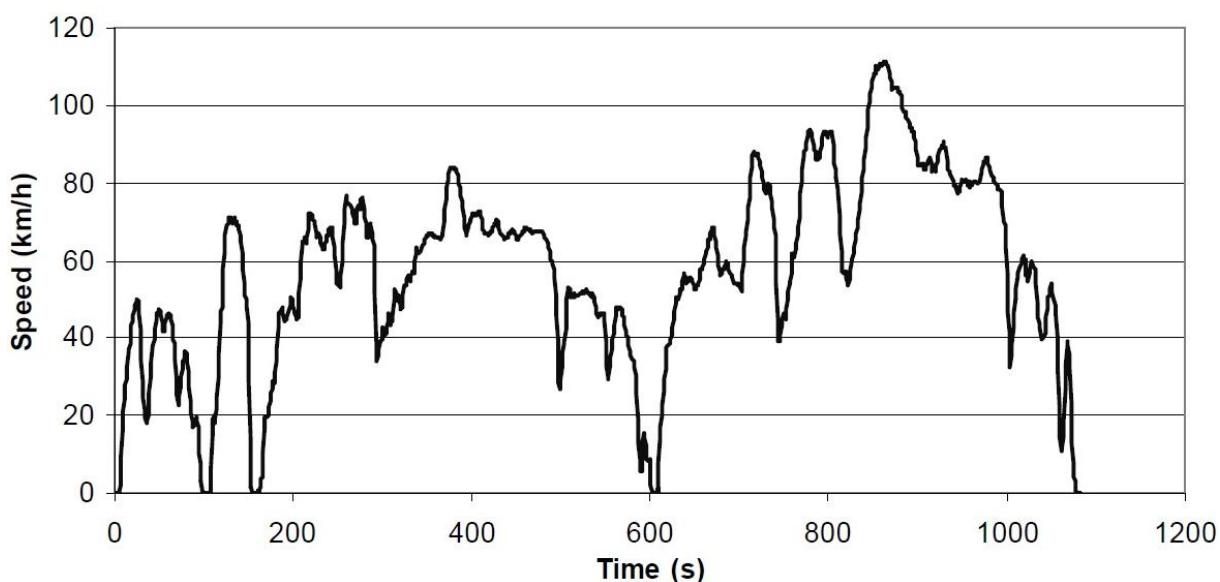
ARTEMIS driving cycles so plod več statističnih študij v Evropi v okviru t. i. projekta ARTEMIS (Assesment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), ki temelji na ideji združitve izkušenj iz različnih modelov za izračun emisij in raziskav v teku z namenom, da bi našli neko usklajeno metodologijo za oceno emisij na nacionalni in mednarodni ravni. Vozni cikli so nastali na osnovi velike baze podatkov, ki je bila pridobljena z meritvami v zasebnih osebnih vozilih na območju Francije, Velike Britanije, Nemčije in Grčije. Skupno je bilo v 77-ih vozilih zabeleženih 10300 poti, 88000 prevoženih kilometrov in 2200 ur vožnje. Iz podrobne analize osnovnih odsekov, ki jih definira trajanje mirovanja vozila ter dvodimenzionalna porazdelitev hitrosti in pospeška, so identificirali 12 tipičnih vzorcev vožnje. Vozne cikle so naredili z namenom reprodukcije mestne, podeželske in avtocestne vožnje na podlagi heterogenosti, kronologije in pogojev vožnje, ki so se pojavili znotraj poti. Razvili so 3 vozne cikle (mestni, podeželski in avtocestni cikel) ter 14 podciklov (angl. *subcycles*) (André, 2004).



Grafikon 8: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Urban cycle (Barlow et al., 2009: str. 129)

Preglednica 8: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Urban cycle

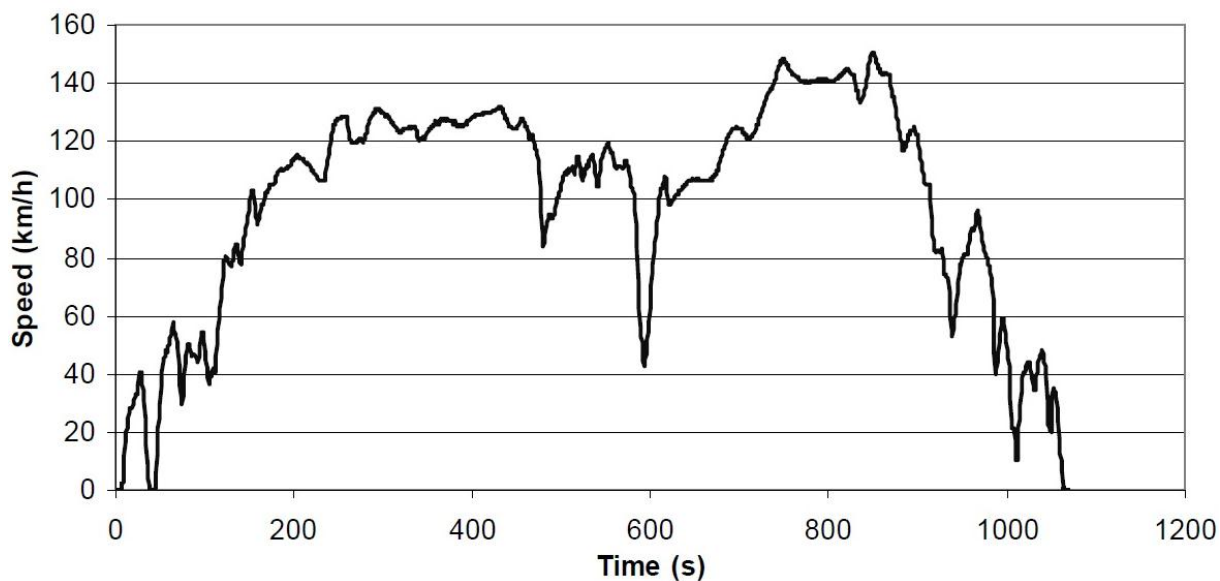
Dolžina cikla	4472 m
Trajanje cikla	920 s
Povprečna hitrost	17,5 km/h
Maksimalna hitrost	57,3 km/h
Delež mirovanja	28,3 %



Grafikon 9: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Road Cycle (Barlow et al., 2009: str. 130)

Preglednica 9: Osnovne karakteristike voznega cika ARTEMIS Road Cycle

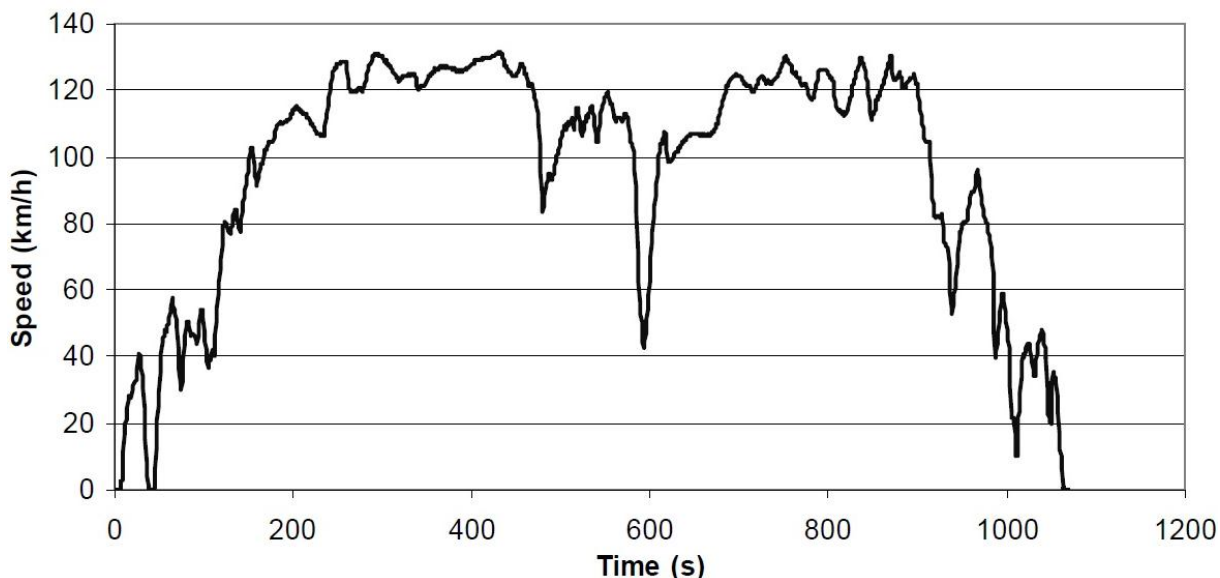
Dolžina cikla	17272 m
Trajanje cikla	1081 s
Povprečna hitrost	57,5 km/h
Maksimalna hitrost	111,1 km/h
Delež mirovanja	3,1 %



Grafikon 10: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Motorway Cycle (Barlow et al., 2009: str. 131)

Preglednica 10: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Motorway cycle

Dolžina cikla	29545 m
Trajanje cikla	1067 s
Povprečna hitrost	99,7 km/h
Maksimalna hitrost	150,4 km/h
Delež mirovanja	1,5 %



Grafikon 11: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ARTEMIS Motorway Cycle (Barlow et al., 2009: str. 132)

Preglednica 11: Osnovne karakteristike voznega cikla ARTEMIS Motorway130 cycle

Dolžina cikla	28736 m
Trajanje cikla	1067 s
Povprečna hitrost	97 km/h
Maksimalna hitrost	131,4 km/h
Delež mirovanja	1,5 %

3.2.2 Modalni vozni cikli – Evropa

3.2.2.1 ECE 15

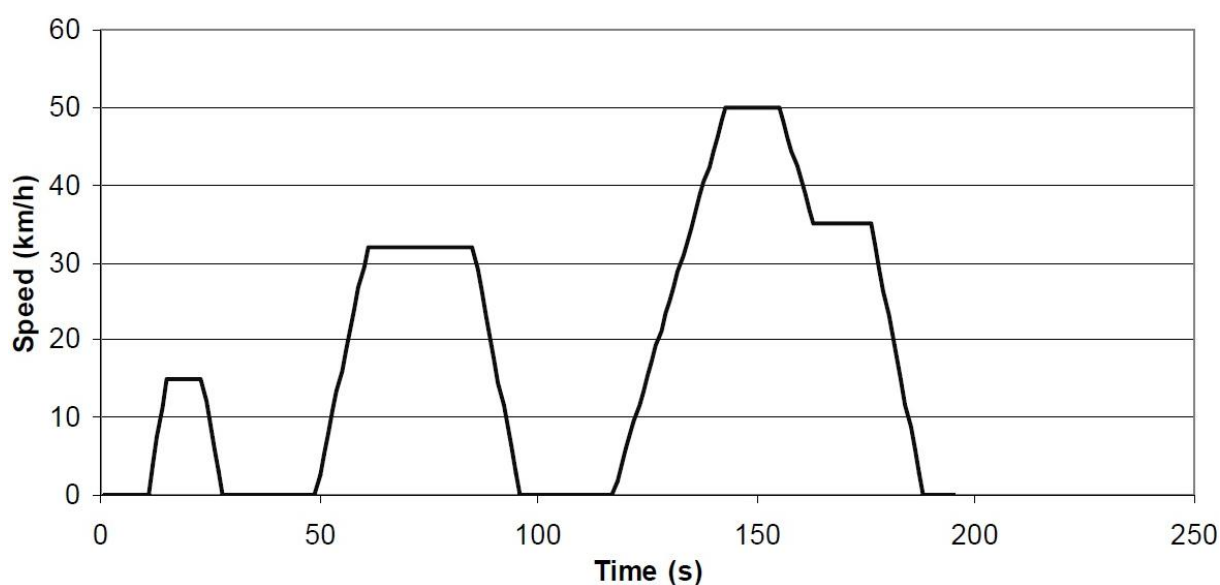
ECE 15 ali Urban Driving Cycle predstavlja značilne vozne pogoje zelo prometnih evropskih mest.

Ko se prižge motor, avto miruje, in sicer 6 s v nevtralni prestavi in 5 s v 1. prestavi (sklopka spuščena). Nato počasi pospešuje na 15 km/h v 4 s, sledi vožnja s konstantno hitrostjo 8 s, nato zaviranje do zaustavitve v 5 s (zadnje 3 s s spuščeno sklopko) ter se nato zaustavi za 21 s (16 s v nevtralni prestavi, nato 5 s v 1. prestavi).

Pri 49 s avto počasi pospešuje na 32 km/h v 12 s (5 s v 1. prestavi, 2 s menjava prestave, 5 s v 2. prestavi), vozi s konstantno hitrostjo 24 s, počasi zavira do popolne zaustavitve v

11 s (zadnje 3 s s spuščeno sklopko) ter nato miruje naslednjih 21 s (16 s v nevtralni prestavi, 5 s v 1. prestavi).

Pri 117 s avto počasi pospeši na 50 km/h v 26 s (5 s v 1. prestavi, 9 s v 2. prestavi, 8 s v 3. prestavi ter dodatnih 2 x 2 s za prestavljanje), vozi s konstantno hitrostjo 12 s, zavira na 35 km/h v 8 s, vozi s konstantno hitrostjo nadaljnjih 13 s, zavira do zaustavitve v 12 s (2 s menjava do 2. prestave, 7 s v 2. prestavi, zadnje 3 s s spuščeno sklopko) ter nato miruje 7 s v nevtralni prestavi (New European Driving Cycle, 2013).



Grafikon 12: Časovni graf hitrosti za vozni cikel ECE 15 (Barlow et al., 2009: str. 21)

Preglednica 12: Osnovne karakteristike voznega cikla ECE 15

Dolžina cikla	994,6 m
Trajanje cikla	195 s
Povprečna hitrost	18,4 km/h
Maksimalna hitrost	50,1 km/h
Delež mirovanja	23,1 %

3.2.2.2 EUDC

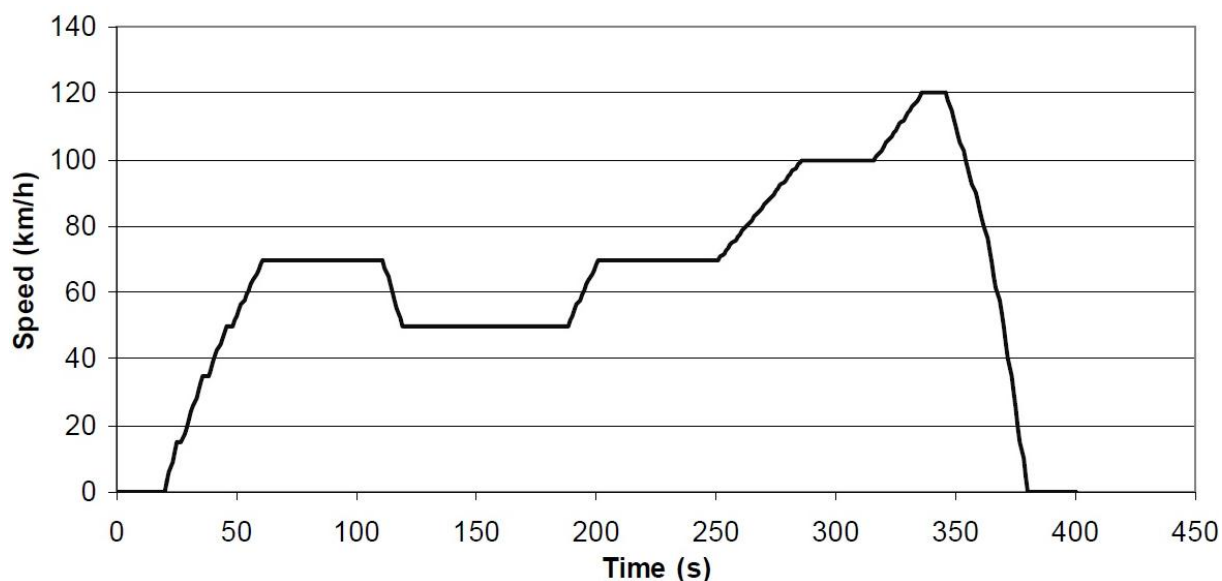
EUDC (Extra Urban Driving Cycle), vpeljan leta 1990 z uredbo ECE R101, je bil konstruiran za prikaz bolj agresivnega načina vožnje ter vožnje pri visokih hitrostih. Zato je na koncu cikla odsek, pri katerem vozilo pospeši na hitrost hitre ceste. Najvišja hitrost cikla EUDC znaša 120 km/h (New European Driving Cycle, 2013).

Po 20-sekundnem premoru avto počasi pospešuje do 70 km/h v 41 s (5 s 1. prestava, 9 s 2. prestava, 8 s 3. prestava in 13 s 4. prestava z dodatnimi 3 x 2 s za prestavljanje). Sledi vožnja s konstantno hitrostjo 50 s (v 5. prestavi) ter nato zaviranje na 50 km/h v 8 s (4 s v 5. prestavi in 4 s v 4. prestavi). Nato vozi s konstantno hitrostjo 69 s in v 13 s počasi pospešuje na 70 km/h.

Pri 201 s avto 50 s vozi s konstantno hitrostjo 70 km/h (v 5. prestavi) in nato počasi pospešuje na 100 km/h v 35 s ter vozi s konstantno hitrostjo nadaljnjih 30 s (v 5. oziroma 6. prestavi).

Pri 316 s avto počasi v 20 s pospešuje na 120 km/h, sledi vožnja s konstantno hitrostjo 10 s, počasno zaviranje do popolne zaustavitve v 34 s (v 5. oz. 6. prestavi, zadnjih 10 s s spuščeno sklopko) ter mirovanje zadnjih 20 s (v nevtralni prestavi).

Celotno trajanje cikla je 400 s (6 minut in 40 sekund), pri čemer vozilo prevozi teoretično razdaljo 6955 m s povprečno hitrostjo 62.6 km/h.



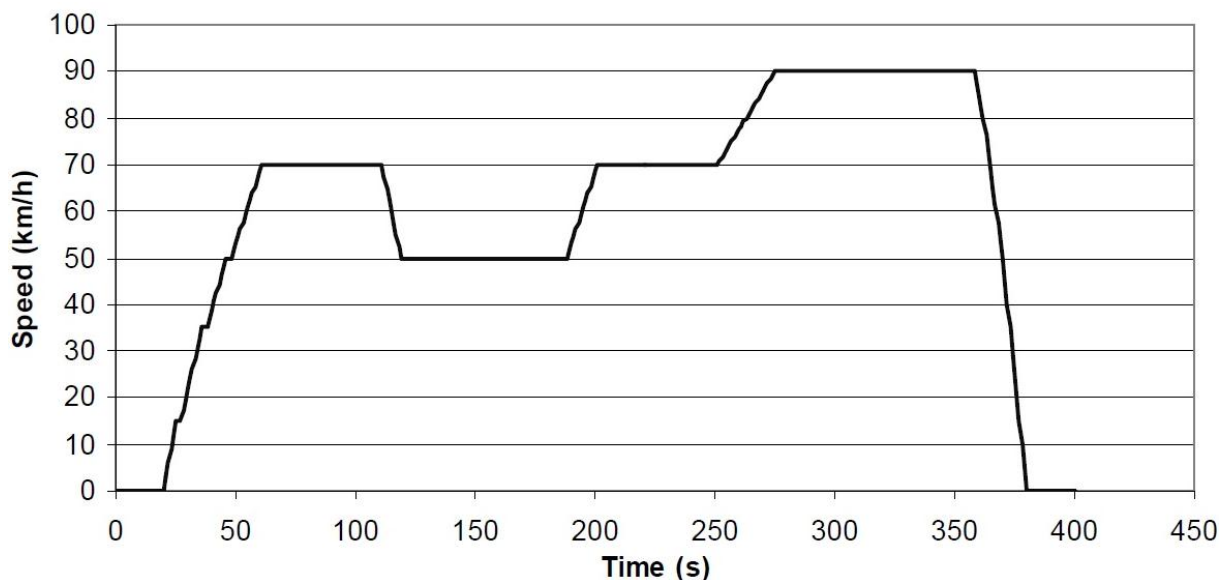
Grafikon 13: Časovni graf hitrosti za vozni cikel EUDC (Barlow et al., 2009: str. 22)

Preglednica 13: Osnovne karakteristike voznega cikla EUDC

Dolžina cikla	6955,1 m
Trajanje cikla	400 s
Povprečna hitrost	62,6 km/h
Maksimalna hitrost	120 km/h
Delež mirovanja	8,8 %

3.2.2.3 EUDCL

Extra Urban Driving Cycle je primestni vozni cikel za vozila s šibkejšim motorjem. Podoben je Extra Urban Driving Cycle, vendar ima maksimalno hitrost le 90 km/h.



Grafikon 14: Časovni graf hitrosti za vozni cikel EUDCL (Barlow et al., 2009: str. 23)

Preglednica 14: Osnovne karakteristike voznega cikla EUDCL

Dolžina cikla	6609,31 m
Trajanje cikla	400 s
Povprečna hitrost	59,5 km/h
Maksimalna hitrost	90,1 km/h
Delež mirovanja	8,8 %

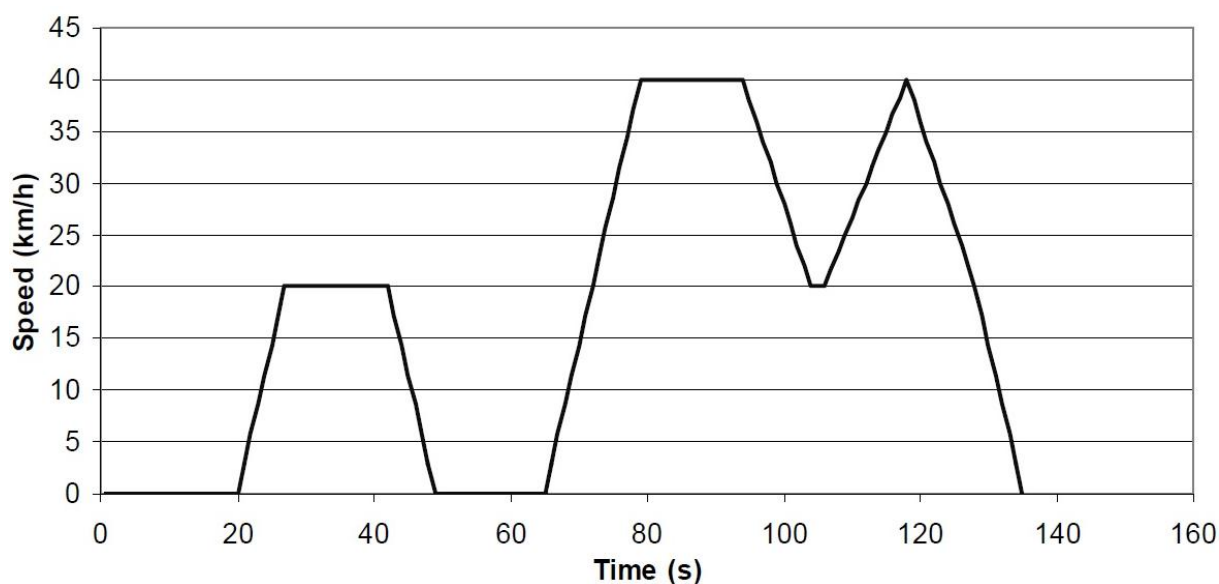
3.3 Japonski vozni cikli

Od leta 1973 je bil na Japonskem za certificiranje lahkih tovornih vozil glede emisij v uporabi vozni cikel JP 10 Mode. Kasneje, leta 1991, je bil nadomeščen z novim ciklom JP 10-15 Mode, ki je še vedno v uporabi na Japonskem za certificiranje lahkih tovornih vozil glede emisij ter za testiranje porabe goriva. Decembra 2006 so uvedli nov, zahtevnejši test, imenovan JC08, ki je nastal z namenom doseganja novih standardov glede porabe goriva na Japonskem do leta 2015.

3.3.1 Modalni vozni cikli – Japonska

3.3.1.1 JP 10 MODE

Cikel JP 10 Mode posnema urbani način vožnje pri nizkih hitrostih. Sestavljen je iz serije pospeševanj in zaviranj na razdalji 0,664 km pri povprečni hitrosti 17,7 km/h v času 135 s ter maksimalni hitrosti 40 km/h.



Grafikon 15: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JP 10 MODE (Barlow et al., 2009: str. 50)

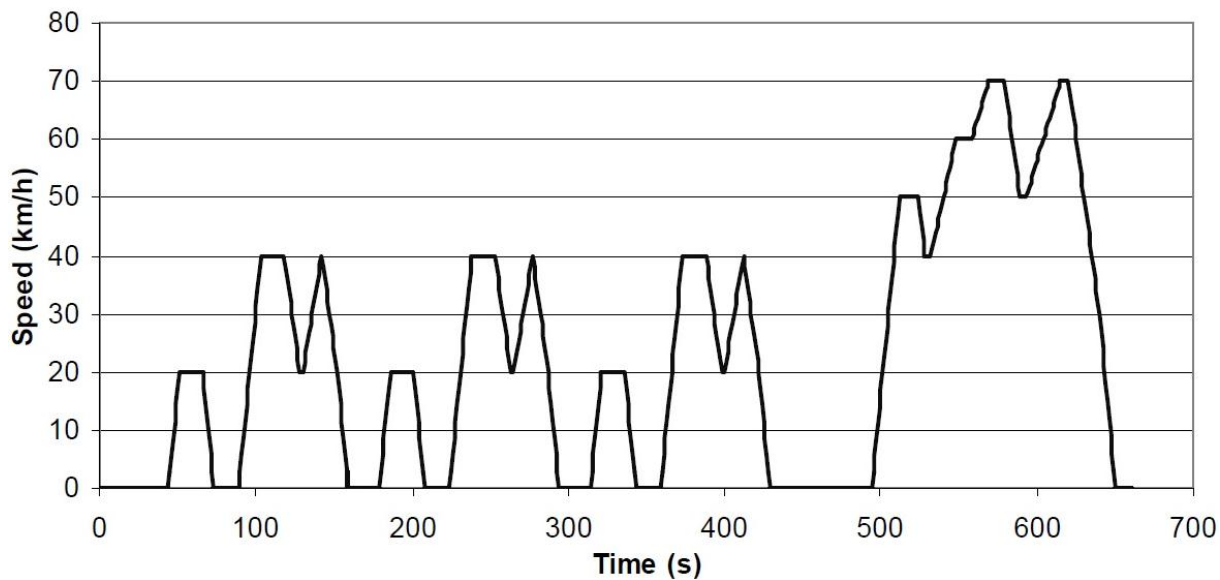
Preglednica 15: Osnovne karakteristike voznega cikla JP 10 MODE

Dolžina cikla	663,43 m
Trajanje cikla	135 s
Povprečna hitrost	17,7 km/h
Maksimalna hitrost	40,1 km/h
Delež mirovanja	20,7 %

3.3.1.2 JP 10-15 MODE

Nastal je z dodatkom še enega segmenta 15 Mode, z maksimalno hitrostjo 70 km/h, k obstoječemu voznemu ciklu 10 Mode. Cikel sestavlja začetni segment 15 Mode za ogrevanje motorja (pri tem se ne izvajajo meritve emisij) ter nato kratka perioda mirovanja. Sledi trikratna ponovitev segmenta 10 Mode ter nato še ena ponovitev segmenta 15 Mode. Vozni cikel je dolžine 4,16 km, povprečna hitrost 22,7 km/h ter traja 660 s, oziroma če upoštevamo

začetni 15 mode segment, dobimo cikel dolžine 6,34 km s povprečno hitrostjo 25,6 km/h ter trajanjem 892 s.



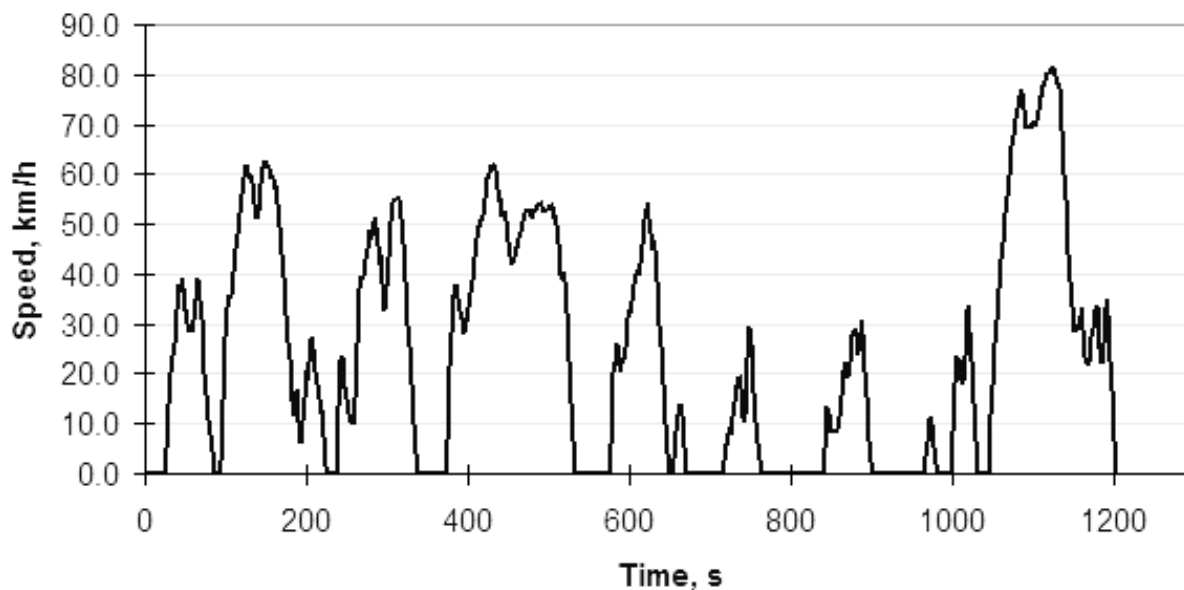
Grafikon 16: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JP 10-15 MODE (Barlow et al., 2009: str. 51)

Preglednica 16: Osnovne karakteristike voznega cikla JP 10-15 MODE

Dolžina cikla	4165,27 m
Trajanje cikla	660 s
Povprečna hitrost	22,7 km/h
Maksimalna hitrost	70,1 km/h
Delež mirovanja	26,1 %

3.3.1.3 JC08

Vozni cikel predstavlja vožnjo v zgoščenem mestnem prometu, ki zajema obdobja mirovanja ter pogosto izmenjujoče pospeševanje in pojemanje. Merjenje se izvede dvakrat – s hladnim zagonom in toplim zagonom. Cikel se uporablja za meritve emisij in določitve porabe vozil tako bencinskih kot tudi dizel motorjev.



Grafikon 17: Časovni graf hitrosti za vozni cikel JC08 (Emission Test Cycles, 2013)

Preglednica 17: Osnovne karakteristike voznega cikla JC08

Dolžina cikla	8171 m
Trajanje cikla	1204 s
Povprečna hitrost	24,4 km/h
Maksimalna hitrost	81,6 km/h

4 ZBIRANJE PODATKOV IN ANALIZA ZNAČILNOSTI VOŽENJ

Osnova voznih ciklov so časovni grafi hitrosti, zato je potrebno pridobiti čim bolj natančne podatke o hitrosti vozila v odvisnosti od časa. To je zelo zahteven in hkrati pomemben del v procesu razvoja novega voznega cikla, saj je ena od glavnih zahtev pri generiranju voznega cikla reprezentativnost dejanskih vzorcev voženj ter zadostna velikost vzorca (Lee, 2006). Račun emisij zgolj na podlagi statistike cestnega prometa zaradi pomanjkanja informacij o pogojih delovanja vozila, ki so ključni za določanje emisij, ni dovolj natančen. V tem poglavju je najprej predstavljena metoda za zbiranje podatkov ter opis obdelave zbranih podatkov. Sledi analiza vzorcev voženj, porazdelitve hitrosti in pospeška ter ciljnih parametrov, ki so kriterij za reprezentativnost voznega cikla v procesu razvoja cikla.

4.1 Zbiranje podatkov

4.1.1 Metode zbiranja podatkov

V dosedanjih raziskavah je bilo uporabljenih več različnih načinov beleženja hitrosti. Kot najbolj primerna metoda za zajem dejanske hitrosti vozil in ostalih pomembnejših parametrov se je izkazala metoda meritve v vozilu (angl. *on-board*). Z uporabo te metode v opazovanem vozilu zapisujemo vzorce voženj v realnem času. Opazovana laboratorijsko opremljena vozila lahko med raziskavo upravljajo raziskovalci po predhodno določenih poteh in opcijsko z navodili za vožnjo. Drug način pa je, da opremo za izvajanje meritev namestimo v opazovana vozila, ki jih vozijo lastniki sami. Pri tem načinu vozniki nimajo predhodno določenih poti oz. navodil za vožnjo. V primeru, da ima oprema za izvajanje meritev v vozilu povezavo z medmrežjem, lahko istočasno spremljamo več vozil oz. skupino vozil. Večina dejanskih voznih ciklov je razvitih na podlagi te metode. Slabost te metode je v visoki skupni ceni opreme, saj potrebujemo veliko število naprav, da dosežemo zadovoljivo velikost vzorca. Eno izmed slabosti najdemo tudi v udeležbi voznikov pri raziskavah. Nekatera oprema za meritve zahteva voznikovo aktivno sodelovanje pri upravljanju z instrumenti. Tako so pridobljeni podatki neposredno odvisni od njihove uspešnosti pri rokovanju z napravami. Precejšnji delež voznikov je nepripravljen sodelovati v raziskavah zaradi različnih vzrokov, kot so: pomanjkanje časa, skrbi glede zagotavljanja anonimnosti in tehničnih napak na vozilu, ki bi lahko bile posledica uporabe opreme itd.. Četudi meritve v vozilu prikazujejo dejansko obnašanje opazovanih voznikov, lahko med vožnjo pride do »nenormalnega« načina vožnje, kot je npr. nižja povprečna hitrost. Vzrok temu je voznikovo zavedanje, da ga nekdo opazuje.

Metoda sledenja opazovanega vozila (angl. *car chasing method*) je druga metoda zbiranja podatkov o hitrosti. Metoda je v osnovi podobna metodi meritve v laboratorijskem vozilu. Opremo za izvajanje meritev namestimo v vozilo, ki sledi predhodno izbranim opazovanim vozilom na podlagi točno določenih navodil. Podatki o hitrosti zasledovalnega vozila se morajo precej dobro ujemati s podatki opazovanega vozila. Hitrost opazovanega vozila pri tej metodi merimo z uporabo laserskega oz. radarskega merilnika ali pa jo ocenimo iz zabeležene hitrosti zasledovalnega vozila (Lee, 2006). Slabost te metode so zamude pri pospeševanju in pojemanju, ki nastanejo zaradi reakcijskega časa voznika v zasledovalnem vozilu. To metodo večinoma uporabljajo raziskovalci za analizo vzorcev vožnje in za potrditev reprezentativnosti voznih ciklov.

4.1.2 Zbiranje podatkov za obravnavano urbano območje Ljubljane

Raziskovalni inštitut Evropske unije JRC (Joint Research Centre) v Ispri, Italija, je leta 2009 v več evropskih državah izvajal obsežno raziskavo »Activity Monitoring of Light-Duty Vehicles« o emisijah motornih vozil.

V okviru projekta so se izvajale meritve v vozilu s sistemom PAMS (Portable Activity Monitoring System). V Sloveniji so bile naprave za zbiranje podatkov vgrajene v 19 osebnih vozil različnih proizvajalcev (glej Preglednico 18), delovnih prostornin, moči ter različnega pogona (bencinski in dizel motorji). Opazovana vozila niso imela vnaprej določenih poti ter so potovala naključno, odvisno od želja in potreb voznikov. Vozniki so bili različnih tipov, spola, starosti ter statusa (študent, zaposlen, upokojenec). Skupno so vozila prevozila približno 136000 km.

Preglednica 18: Podatki o vozilih z vgrajeno napravo za izvajanje meritev (Lipar et al., 2009: str. 6–8).

Št.	Znamka vozila	Vrsta pogona	Prostornina motorja	Vrsta uporabe	Prevoženih km
1.	Ford Focus	Bencin	1600	Delo, dnevno 20 km	6066
2.	Peugeot 207	Bencin	1360	Delo, dnevno 40 km	5840
3.	Honda Accord	Dizel	2204	Popoldan, vikend	3162
4.	Renault Megane	Bencin	1596	Delo, dnevno 82 km	10000
5.	Hyundai Santa Fe	Dizel	2200	Delo, dnevno 10 km	5977
6.	Renault Megane	Bencin	1600	Delo, dnevno 16 km	7495
7.	VW Passat	Dizel	2000	Delo, dnevno 16 km	7098
8.	Mitsubishi Colt	Bencin	1332	Delo, dnevno 50 km	6378
9.	Renault Clio III	Bencin	1149	Delo, dnevno 8 km	1122
10.	Renault Modus	Dizel	1500	Delo, dnevno 60 km	9474
11.	Ford Focus	Dizel	1800	Delo, dnevno 60 km	11900
12.	Hyundai i30	Bencin	1396	Delo, dnevno 30 km	6580
13.	Ford Focus SW	Bencin	1600	Delo, dnevno 2 km	8790
14.	Opel Zafira	Dizel	2000	Delo, dnevno 10 km	3625
15.	BMW 320d	Dizel	2000	Delo, dnevno 120 km	8666
16.	Jaguar X type	Dizel	2000	Delo, dnevno 40 km	7300
17.	VW Passat	Dizel	1900	Delo, dnevno 50 km	6332
18.	Renault Megane	Dizel	1461	Delo, dnevno 8 km	4978
19.	Opel Zafira	Dizel	1910	Delo, dnevno 160 km	15395

Ker je Prometnotehniški inštitut Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani organiziral, vodil ter nadzoroval izvedbo meritev v Sloveniji, so bili v zameno dani na razpolago vsi surovi podatki meritev, ki so podlaga za diplomsko nalogo.

4.1.2.1 Modul Portable Activity Monitoring System (PAMS)

Vozila so bila s strani predstavnika podjetja Sensors Europe GmbH iz Nemčije opremljena z modulom Portable Activity Monitoring System (PAMS) SEMTECH-AM, ki ga izdeluje ameriško podjetje Sensors Inc.. SEMTECH-AM je modul, ki vsebuje diagnostični vmesnik OBD II, modul GPRS/GSM ter sistem sledenja GPS. Modul pridobljene podatke v sekundnem intervalu shranjuje v notranji spomin. Zbrani podatki se preko modula GPRS/GSM prenašajo na strežnik in se shranjujejo v bazo podatkov za kasnejše obdelavo in analizo.

Vmesnik OBD (On-Board Diagnostic) nam nudi vrsto različnih diagnostičnih informacij za različne podsisteme vozila, ki jih lahko pridobimo z zunanjimi napravami (ročni čitalci,

računalniki s programsko opremo). Količina diagnostičnih informacij, dostopnih z uporabo vmesnika OBD, se je spreminjala od prve uvedbe OBD I leta 1980 pa vse do danes. Leta 1994 je bil razvit OBD II, ki ga uporabljajo današnja vozila in odpravlja pomanjkljivosti predhodnega vmesnika OBD I. Moderna izvedba OBD uporablja standardizirana digitalna komunikacijska vrata za zagotavljanje podatkov v realnem času in standardiziranih diagnostičnih kod napak (PID), ki nam omogočajo takojšnjo prepoznavo in odpravo napak na vozilu. Kode OBD PID (On-Board Diagnostic Parameter ID) definira SAE standard J/1979, vendar lahko proizvajalec doda svoje kode PID.

Modul SEMTECH-AM je s pomočjo OBD II vmesnika pridobil naslednje informacije: OBD II velocity (hitrost vozila), OBD II RPM $\frac{1}{4}$ (vrtljaji motorja), OBD II load (obremenitev motorja), OBD II consumption (poraba goriva).

Modul GPRS/GSM je namenjen prenosu podatkov na FTP strežnik, ki zbira in hrani vse prenesene podatke. Podatki se prenesejo samo takrat, ko je motor vozila ugasnjen. Po vsakem uspešnem prenosu podatkov se shranjeni podatki v modulu zbršejo.

GPS (Global Positioning System) je satelitski navigacijski sistem, ki nudi informacije o točni legi, hitrosti in natančnem času kjer koli na Zemlji. Informacije, pridobljene s sprejemnikom GPS, so: GPS Time (čas), GPS Date (datum), GPS Latitude (zemljepisna širina), GPS Longitude (zemljepisna dolžina), Direction N/S/W/E (smer neba), GPS Quality (kakovost sprejema), GPS Altitude (nadmorska višina).



Slika 3: SEMTECH-AM modul (Sensors, 2013)

Osnovno bazo podatkov, ki je nastala med junijem in oktobrom 2009 na podlagi meritev z uporabo modula SEMTECH-AM, tvori 19 tekstovnih datotek (.txt). Posamezna tekstovna datoteka vsebuje vrstični zapis parametrov, ki opisujejo vožnje opazovanega vozila. Te

podatke je bilo potrebno na podlagi šifranta in s pomočjo programske opreme obdelati in pretvoriti v primernejšo obliko zapisa. Skupno za vsa vozila je bilo v sklopu meritev na območju Slovenije zbranih 6825444 s podatkov, zapisanih v vrsticah. Vrstični zapis znotraj tekstovne datoteke sestavlja 19 parametrov, ki so med seboj ločeni s podpičjem. Spodaj Slika 4 prikazuje primer zapisa v tekstovnem formatu:

```
144;090535;040909;04602.7416;N;01429.6711;E;A;0320.4;M;??????;?;000;03718;086;00133;00843;00057;041
144;090536;040909;04602.7414;N;01429.6712;E;A;0320.5;M;??????;?;000;03781;086;00134;00848;00058;041
145;090538;040909;04602.7413;N;01429.6713;E;A;0320.5;M;??????;?;000;03828;088;00132;00837;00059;044
145;090539;040909;04602.7413;N;01429.6714;E;A;0320.5;M;??????;?;000;03828;087;00132;00843;00060;044
```

Slika 4: Primer vrstičnega zapisa znotraj tekstovne datoteke

Za parametre je proizvajalec predložil šifrant, ki po vrstnem redu opisuje pomen parametrov ter vsebuje informacije o formatu zapisa.

Parametri v vrstnem redu glede na Sliko 4:

1. Tip podatkov;
2. Čas (UUMMSS) v formatu GMT;
3. Datum (DDMMLL);
4. Zemljepisna širina (GPS format, DDDMM.MMMM);
5. Smer (S/J);
6. Zemljepisna dolžina (GPS format, DDDMM.MMMM);
7. Smer (V/Z);
8. Kakovost sprejema GPS (V = neveljavni podatki, A = veljavni podatki);
9. Nadmorska višina;
10. Enota nadmorske višine (m);
11. Hitrost GPS;
12. Enota hitrosti GPS (km/h);
13. Hitrost OBD (km/h);
14. Hitrost motorja OBD (RPM);
15. Obremenitev motorja;
16. Poraba goriva;
17. Inklinometer;
18. Števec (deluje, ko je motor v teku);
19. Neznani podatek.

4.1.2.2 Obdelava baze podatkov

Pri obdelavi baze podatkov smo uporabili program Microsoft Access 2010, ki je namenjen upravljanju relacijskih podatkovnih baz in je del zbirke Microsoft Office. Program nam omogoča zbiranje, organiziranje in vzdrževanje podatkov v tabelah (angl. *table*). Shranjene podatke lahko po kriterijih iščemo s pomočjo poizvedb (angl. *query*). Podatke lahko nato prikažemo z uporabo poročil (angl. *report*). Pri delu s podatki v programu si lahko pomagamo že s predhodno vgrajenimi funkcijami ali pa dodamo svoje s pomočjo programske kode, napisane v programskem jeziku Visual Basic (VB).

V prvem koraku smo podatke iz datotek formata .txt uvozili v tabele programa Microsoft Access. Nekatere parametre je bilo pri uvozu potrebno s pomočjo formul, napisanih v jeziku VB, pretvoriti v razumljivo in za nadaljnjo uporabo primerno obliko zapisa. Izmed 19 merjenih parametrov smo izbrali 6 parametrov, ki so potrebni za razvoj voznega cikla. Ti parametri so: datum, čas, števec, hitrost OBD, zemljepisna širina in zemljepisna dolžina. GPS podatke o lokaciji smo pretvorili v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem. Nato smo s pomočjo števca (angl. *counter*), datuma in časa lahko podatke združili v posamezne vožnje ter jih oštevilčili. Z oštevilčenjem poti smo se izognili morebitni zamenjavi voženj različnih vozil, ki so potovala ob istem času. Meritve niso vsebovale podatke o pospeških, ki pa predstavljajo zelo pomembne podatke v procesu razvoja voznega cikla, zato je bilo potrebno vrednosti pospeška izračunati s pomočjo ostalih parametrov.

Tabela vhodnih podatkov ima tako v končni obliki devet stolpcev s podatki: identifikator (Object_ID), datum (DATE), čas (TIME), števec (COUNTER), številka poti (POT), OBD hitrost (OBD_SPEED), pospešek (Pospesek) ter X in Y Gauss-Krügerjeve koordinate.

Object_ID	DATE	TIME	COUNTER	POT	OBD_SPEED	Pospesek	X	Y
201	4.6.2009	9:59:00	0	2	4	1,11	461242,389926777	100347,918656929
202	4.6.2009	9:59:01	1	2	0	-1,11	461255,071472602	100313,568891322
203	4.6.2009	9:59:02	2	2	2	0,56	461254,529749359	100309,497025283
204	4.6.2009	9:59:03	3	2	6	1,11	461254,642325104	100306,902944388
205	4.6.2009	9:59:04	4	2	6	0,00	461256,302716918	100304,299070555
206	4.6.2009	9:59:05	5	2	6	0,00	461255,925139077	100305,783384348
207	4.6.2009	9:59:06	6	2	5	-0,28	461257,220845293	100306,701389771
208	4.6.2009	9:59:07	7	2	4	-0,28	461259,031317568	100307,43089822
209	4.6.2009	9:59:08	8	2	4	0,00	461260,325851084	100308,163671095
210	4.6.2009	9:59:09	9	2	3	-0,28	461261,747025167	100308,525161889
211	4.6.2009	9:59:10	10	2	3	0,00	461263,170542683	100309,257119413
212	4.6.2009	9:59:11	11	2	0	-0,83	461264,590544581	100309,433377659

Slika 5: Tabela obdelanih vhodnih podatkov v programu MS Access 2010

Ker smo v sklopu diplomske naloge preučevali vzorce voženj v urbanem območju Ljubljane, je bilo potrebno v drugem koraku začetno bazo podatkov omejiti na manjše območje. V osnovni obliki je baza vsebovala veliko število poti tudi izven mesta Ljubljane, saj, kot smo že omenili na začetku poglavja, vozila niso imela vnaprej določenih poti.

V fazi omejevanja baze podatkov zgolj na urbano območje Ljubljane se je kot zelo uporabno orodje izkazal program ESRI ArcMap 10.1, ki je del zbirke ArcGIS. Program je namenjen urejanju, obdelavi, prikazu in objavi geografskih podatkov. Podatke lahko neposredno uvozimo iz Accessovih tabel. Za prenos tabel podatkov iz MS Accessa smo uporabili orodja za uvoz podatkov znotraj programa ArcMap. Podatki so bili prikazani s točkami na vektorskem podatkovnem sloju. Z uporabo dodatnih orodij ET Geo Wizards smo lahko točke po vrstnem redu povezali v linije, ki predstavljajo posamezne poti. Tako smo dobili podrobnejšo sliko voženj, s pomočjo katere smo naredili nov podatkovni sloj, ki je zajemal zgolj vožnje v urbanem območju Ljubljane. Podatke iz novega podatkovnega sloja smo nato uvozili nazaj v program MS Access.

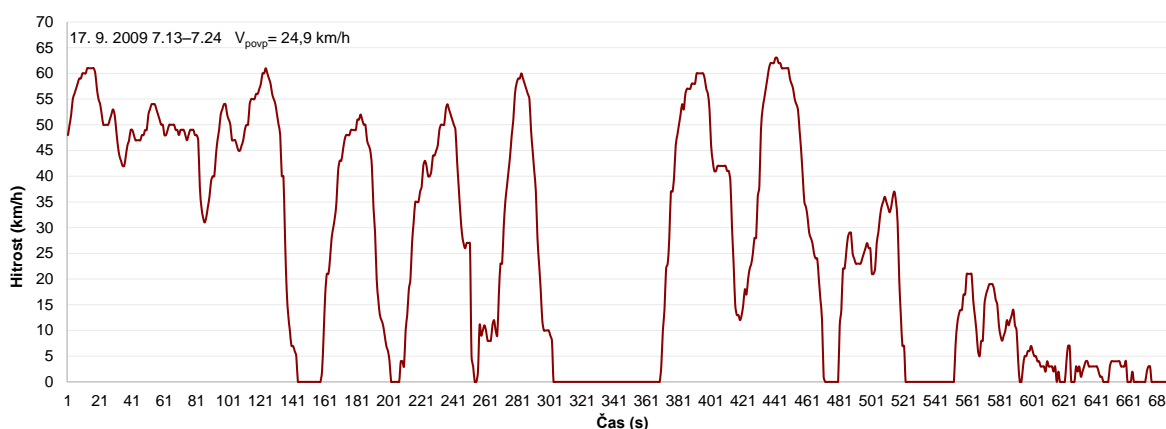


Slika 6: Prikaz poti na območju Ljubljane na vektorskem podatkovnem sloju v programu ArcMap 10.1

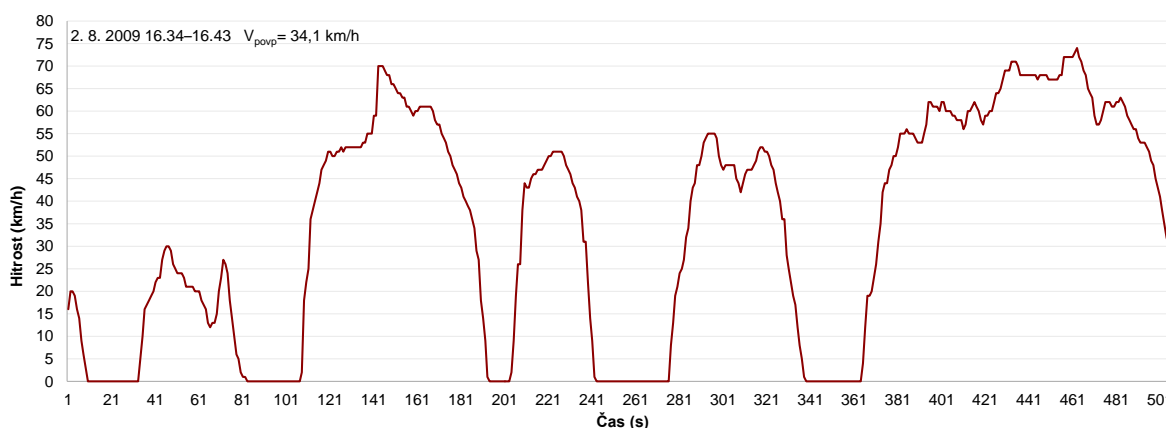
4.2 Analiza značilnosti voženj na urbanem območju Ljubljane

4.2.1 Vzorci voženj in porazdelitev hitrosti

Vzorci voženj predstavljajo pomembno komponento v procesu razvoja novega voznega cikla. Pomembno je, da prepoznamo značilne vzorce voženj, na podlagi katerih se lahko odločimo za primerno metodo razvoja novega cikla. V diplomski nalogi smo se osredotočili na urbani del Ljubljane, zato smo si za analizo vzorcev vožnje izbrali Dunajsko cesto, kjer potekajo glavni prometni tokovi. Spodnja Grafikona 18 in 19 prikazujeta primer časovnega grafa hitrosti, pridobljena na poti Tobačna–Dunajska cesta med tednom in med vikendom. Opazimo lahko razliko v načinu vožnje. Med tednom za isto prevoženo pot porabimo veliko več časa. Vzorec vožnje v dnevih med tednom prikazuje številna nihanja hitrosti s številnimi daljšimi zaustavitvami in izrazitejšimi pospeševanji ter pojemANJI. Dolžina trajanja potovanja med obema zaustavitvama je daljša za dneve med vikendom. Povprečne potovalne hitrosti med tednom so nižje od hitrosti med vikendom. Razlike med grafoma so pričakovane, saj je Ljubljana med tednom bolj obremenjena zaradi velikega odstotka delovnih migracij.



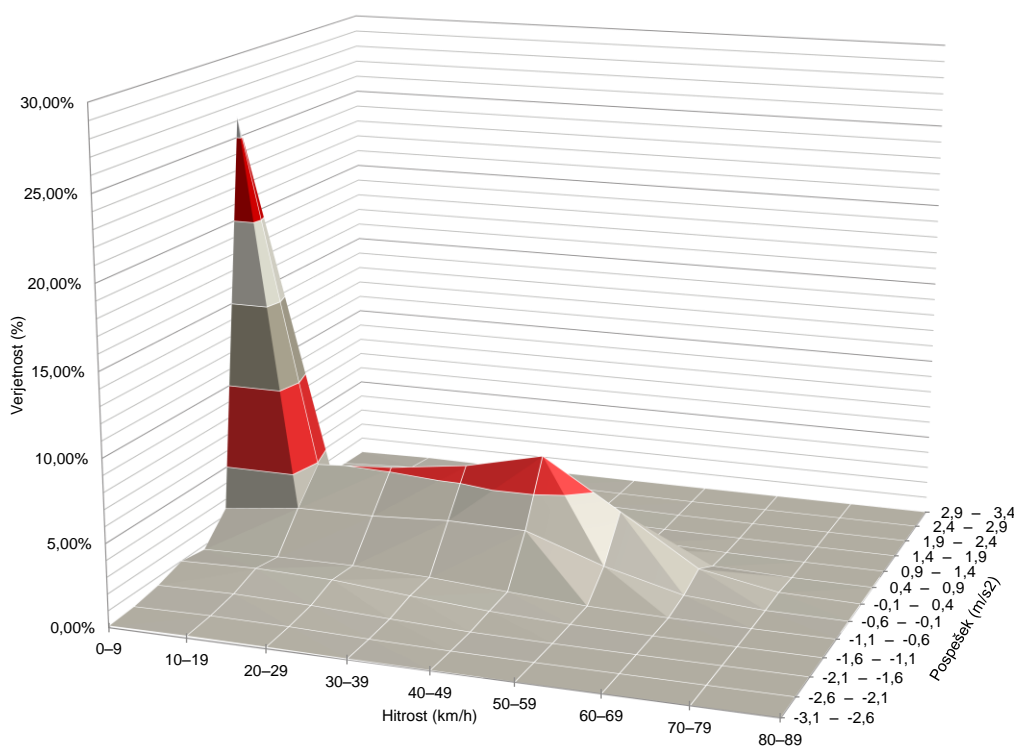
Grafikon 18: Časovni graf hitrosti za primer vožnje med tednom, Dunajska cesta



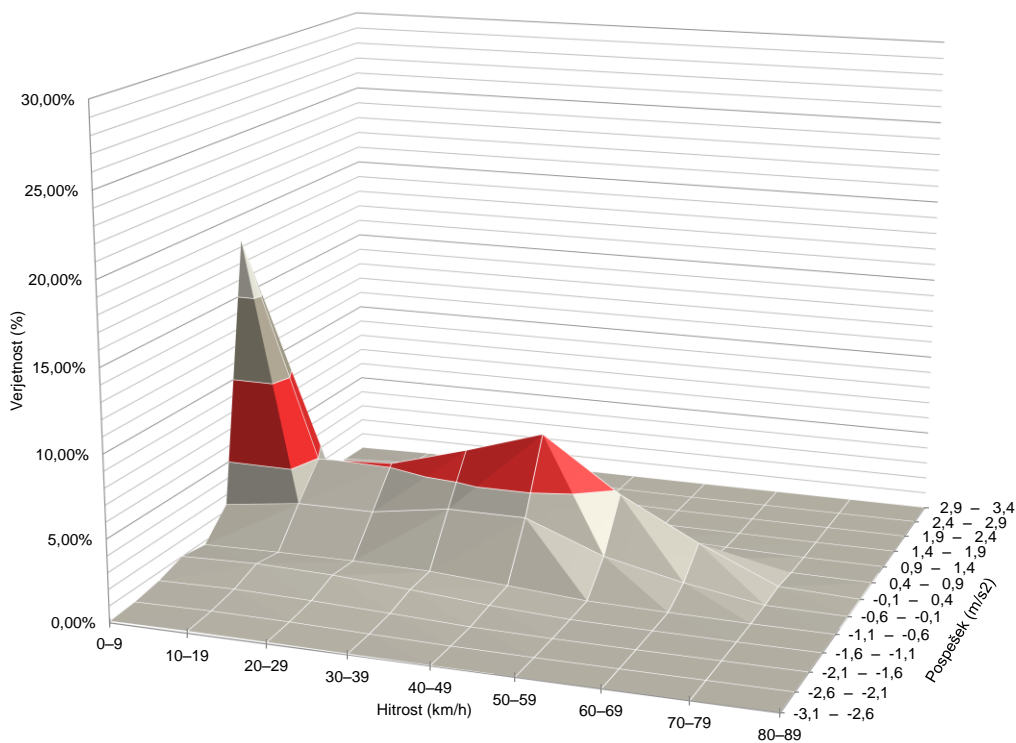
Grafikon 19: Časovni graf hitrosti za primer vožnje med vikendom, Dunajska cesta

4.2.2 Porazdelitev hitrosti in pospeška

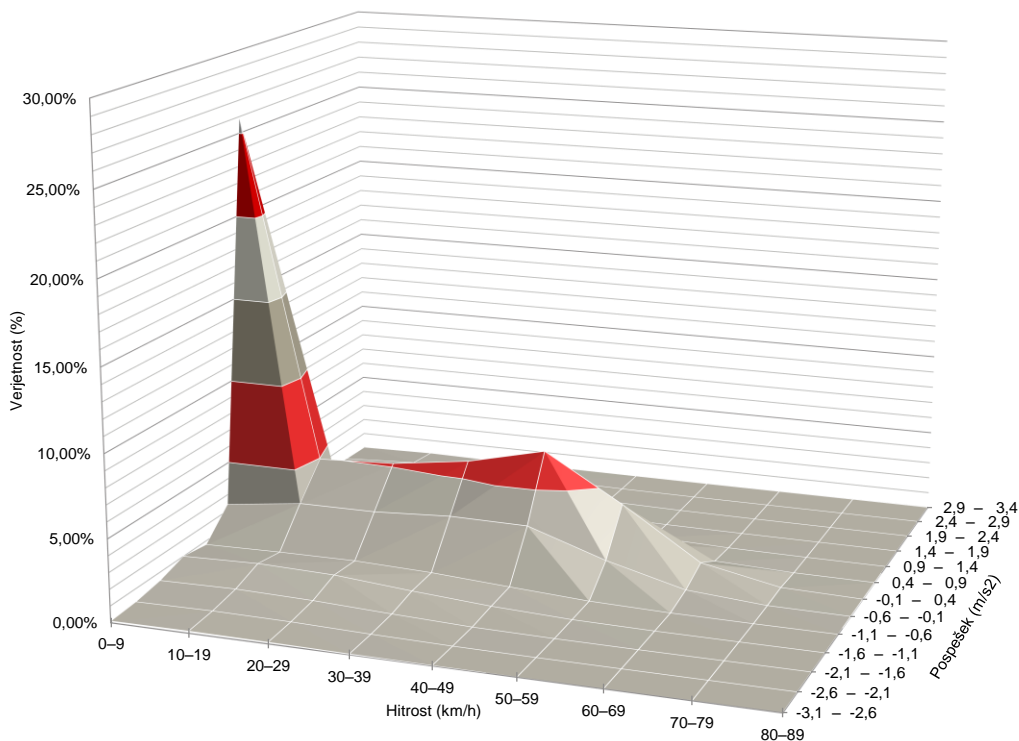
Pridobljene in obdelane podatke iz meritev smo razporedili v tri kategorije, in sicer na delovne dni med tednom, vikende ter kombinacijo delovniki in vikend. Nato smo na osnovi teh podatkov naredili frekvenčno porazdelitev hitrosti in pospeška za vsako izmed kategorij ter jo nato pretvorili v verjetnostno porazdelitev. Ta nam pove verjetnost, da se podatki o vožnji nahajajo znotraj posameznega razreda hitrosti in pospeška. Tako imamo vizualno predstavo o vzorcih vožnje za posamezno vožnjo ali več voženj skupaj. Delež celotnega časa potovanja v posameznem načinu vožnje je pomemben podatek pri določanju emisij ter porabe goriva. Kakovost prikaza razredov hitrosti in pospeškov je odvisna od zbranih vzorcev voženj. Če imamo v hitrostnem profilu majhna nihanja, potem je za prikaz značilnosti voženj potrebno zagotoviti dovolj dobro kakovost prikaza razredov. V našem primeru sta prikazana hitrost na intervalu od 0 do 90 km/h s korakom 10 km/h ter pospešek na intervalu $-3,1$ do $3,4$ m/s² s korakom $0,5$ m/s². Spodaj prikazani histogrami so tridimenzionalni z gostoto verjetnosti na vertikalni osi in hitrostjo ter pospeškom na horizontalnih oseh. Histogram prikazuje frekvenco oz. verjetnost posamezne vrednosti pospeška, ki se pojavi pri določeni hitrosti vozila.



Grafikon 20: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za dneve med tednom



Grafikon 21: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za vikend



Grafikon 22: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za kombinacijo (teden/vikend)

Kot je razvidno iz Grafikona 20 in 21 so vrednosti hitrosti med tednom malo bolj skoncentrirane pri nižjih razredih hitrosti kot pri vožnjah med vikendi. To je posledica

zastojev, ki se pojavljajo na območju Ljubljane med tednom, predvsem v koničnih urah, ko imamo največje obremenitve prometa. Med tednom vožnja pri zelo nizkih hitrostih oz. mirovanju predstavlja več kot 25 % celotnega časa vožnje. V času vikenda se ta delež giblje okrog 20 %. V času med tednom se vozila gibljejo z nižjo hitrostjo in bolj agresivnim načinom vožnje kot med vikendom. Opaznejša razlika med obema grafikonoma je v območju hitrosti od 30 do 60 km/h, kjer imamo pri vožnji med vikendi nekoliko večji delež. Vozila se med vikendi namreč gibljejo bolj enakomerno ter pri večjih hitrostih in z manj agresivnim pospeševanjem ter pojemanjem. Tudi na splošno lahko na grafikonih opazimo relativno majhen vrh v območju hitrosti od 40 do 49 km/h. Iz tega sklepamo, da se lahko vožnja na nekaterih odsekih, kljub zastojem, odvija pri glede na omejitve običajnih hitrostih. Grafikon 22 prikazuje verjetnostno porazdelitev hitrosti in pospeška za kombinacijo podatkov vikenda in tedna, ki smo jo v nadaljevanju diplomske naloge uporabili za reprezentativni prikaz verjetnostne porazdelitve hitrosti in pospeška na območju Ljubljane.

4.2.3 Ciljni parametri

Pri razvoju novega voznega cikla, ki predstavlja dejanske vzorce voženj, skušamo dobiti vozne parametre čim bolj podobne dejanskim parametrom, izračunanim iz množice pridobljenih podatkov. Tem dejanskim parametrom rečemo »ciljni parametri« (angl. *target parameters*). Parametri opisujejo značilnosti voženj ter so hkrati faktorji, ki imajo velik vpliv na vrednosti emisij in porabe goriva (Tamsanya, 2008). Ciljni parametri so: povprečna hitrost, povprečni pospešek, povprečni pojemek, delež mirovanja, delež vožnje pri konstantni hitrosti, delež pospeševanja, delež pojemanja, število zaustavitev na kilometer poti ter pozitivna kinetična energija (PKE).

4.2.3.1 Povprečna hitrost

Povprečno hitrost navadno uporabimo za opisovanje prometnih razmer na proučevanem območju. Študiji André et al. (2006) in Sturm et al. (1997) kažeta na to, da ima povprečna hitrost zelo velik vpliv na emisije vozil in porabo goriva. Pri nizkih hitrostih, ki so značilne za urbano vožnjo, emisije dosegajo visoke vrednosti. Računamo jo lahko kot povprečje vseh hitrosti iz zbranih podatkov na podlagi meritev ali pa kot povprečje vseh hitrosti, kjer ne upoštevamo ničelnih vrednosti zaradi mirovanja vozila. Slednjo povprečno hitrost imenujemo povprečna potovalna hitrost.

4.2.3.2 Povprečni pospešek in pojemek

Poleg hitrosti ima tudi pospešek zelo znaten vpliv na emisije vozil ter porabo goriva. Po André et al. (1996, 2006) in Sturm et al. (1997) se vrednosti emisij in porabe goriva povečajo med vožnjo, pri kateri pospeški dosežajo velike vrednosti. Pospeški niso bili vključeni v meritve, ker merilnik pospeškov ni bil del opreme za pridobivanje podatkov. Zato smo pospeške naknadno izračunali za vsako sekundo na podlagi razlike med zaporednima dvema vrednostnima hitrosti. Povprečni pospešek predstavlja povprečje vseh pozitivnih vrednosti pospeška za zbrane podatke. Povprečni pojemek pa povprečje vseh negativnih vrednosti pospeška iz pridobljenih meritev.

4.2.3.3 Način vožnje: delež mirovanja, delež vožnje s konstantno hitrostjo, delež pospeševanja in delež pojemanja

Analiza emisij in porabe goriva (Unal et al., 2003) je pokazala, da se vrednosti emisij oz. porabe odvisne od deleža načina vožnje. Pri načinu, ko vozilo pospešuje oz. pojema, opazimo izrazito povečanje emisijskih vrednosti v primerjavi s stanjem, pri katerem vozilo potuje s konstantno hitrostjo. Hkrati pa povečevanje deleža mirovanja vozila glede na celoten čas vožnje rezultira v višjih emisijah in večji porabi goriva. Načini voženj so definirani na naslednji način:

- mirovanje je stanje, pri katerem je hitrost vozila enaka 0 km/h;
- pospeševanje je, del poti kjer imamo pozitivne prirastke sprememb hitrosti večje od $0,1 \text{ m/s}^2$;
- pojemanje je, del poti, kjer imamo negativne prirastke sprememb hitrosti večje od $0,1 \text{ m/s}^2$;
- vožnja s konstantno hitrostjo, kjer so absolutni prirastki sprememb hitrosti manjši ali enaki $0,1 \text{ m/s}^2$, ter hitrost večja od 0 km/h.

Na podlagi teh definicij izračunamo deleže časa, ko se vozilo nahaja znotraj posameznega načina glede na celotni čas vožnje.

4.2.3.4 Število zaustavitev vozila

S številom zaustavitev vozila na kilometer dobimo oceno prometnih razmer. Veliko število zaustavitev kaže na gost prometni tok. Z večjo frekvenco zaustavitev se pojavi večje število pospeševanj in pojemanj. Posledično pride do povečanja porabe goriva in izpušnih emisij. Študija avtorjev Rakha in Ding (2003) je npr. pokazala, da se lahko vrednosti emisij HC pri

zaustavitvi povečajo tudi za 100 odstotkov. Število zaustavitev je definirano z številom zaustavitev na kilometer prevožene poti. Izračunamo ga tako, da delimo skupno število vseh zaustavitev s celotno prevoženo razdaljo na poti.

4.2.3.5 Sprememba pozitivne kinetične energije (PKE)

V študiji so Watson et al. (1983) definirali pojem PKE, ki predstavlja spremembo pozitivne kinetične energije na enoto razdalje med pospeševanjem pri kateri hitrost naraste iz v_i na v_f . Tukaj moramo poudariti, da gre za specifično kinetično energijo, ki jo avtorji v članku ne omenjajo. Iz zgornje definicije sledi, da se parameter PKE neposredno navezuje na pospeševanje in je pokazatelj agresivnosti vožnje. Za izračun skupne pozitivne kinetične energije moramo sešteti prispevke sprememb kinetične energije in deliti z dolžino celotnega potovanja. Spodaj je podana izpeljava izraza za PKE po Watson et al. (1983).

Moč potrebna za premagovanje vztrajnosti vozila zapišemo z enačbo (1):

$$P = mv \frac{dv}{dt}. \quad (1)$$

Če je poraba goriva na enoto razdalje proporcionalna porabljeni energiji, potem:

$$FC = \frac{m \int_{v_i}^{v_f} v \frac{dv}{dt} dt}{\int_0^x v dt} = \frac{k_4(v_f^2 - v_i^2)}{x}. \quad (2)$$

Iz tega sledi, da je PKE definirana z enačbo (3):

$$PKE = \frac{\Sigma(v_f^2 - v_i^2)}{x}, \frac{dv}{dt} > 0, \quad (3)$$

kjer je:

- PKE sprememba pozitivne (specifične) kinetične energije (m/s^2);
- v_f končna hitrost (m/s);
- v_i začetna hitrost (m/s);
- x prevožena razdalja (m).

4.2.4 Ciljni parametri vzorcev voženj za urbano območje Ljubljane

Zgoraj navedeni parametri so vsesplošno znani kot pokazatelji dejanskih prometnih situacij. V diplomski nalogi smo jih uporabili kot kriterij pri procesu razvoja voznega cikla.

V spodnji Preglednici 19 so zbrani ciljni parametri za vse tri kategorije razdelitve podatkov. Vidimo lahko, da so parametri razlikujejo glede na vikend oziroma teden. Za vikend je značilna višja hitrost vozil, večji delež vožnje s konstantno hitrostjo ter daljši časi vožnje med zaustavitvami. Med tednom je delež mirovanja večji zaradi bolj zgoščenega prometa v primerjavi z vikendi, ko je v mestu manj prometa. Tako znaša delež mirovanja med tednom 26,12 %, med vikendom pa 18,56 %. To se odraža tudi na povprečni potovalni hitrosti, ki je med vikendom višja (28,27 km/h) kot sredi tedna (21,22 km/h). Delež časa, ko vozilo potuje z enakomerno hitrostjo, je za dneve med tednom nižji (20,15 %) v primerjavi s prometno manj obremenjenimi vikendi (28,39 %). Zaradi zastojev, ki se pojavijo sredi tedna, se povprečno število zaustavitev na kilometer prevožene poti povzpne na 2,6 stop/km, medtem ko znaša vrednost med vikendi zgolj 1,3 stop/km. Iz ciljnih parametrov za kombinacijo vikenda in tedna ugotovimo, da povprečna potovalna hitrost znaša 22,42 km/h. Mirovanje, pospeševanja in pojemanja vozila skupaj predstavljajo 77,56 % časa celotne vožnje, kar v zgoščenih razmerah pomeni velik vpliv na vrednosti emisij in porabo goriva. Vrednosti ciljnih parametrov za delovne dni med tednom se zelo približajo vrednostim za kombinacijo tedna in vikenda. To je mogoče sklepati iz dejstva, da imamo iz meritev zbranih več podatkov o vožnjah, ki se nanašajo na dneve med tednom.

Preglednica 19: Ciljni parametri voznih karakteristik za teden, vikend in kombinacijo tedna in vikenda

	Teden	Vikend	Skupaj
Povprečna hitrost (km/h)	21,22	28,27	22,42
Povprečni pospešek (m/s^2)	0,83	0,79	0,82
Povprečni pojemek (m/s^2)	-0,75	-0,74	-0,75
Delež mirovanja (%)	26,12	18,56	22,62
Delež vožnje s konst. hitrostjo (%)	20,15	28,39	22,45
Delež pospeševanja (%)	27,86	20,87	27,04
Delež pojemanja (%)	25,87	32,18	27,90
Št. zaustavitev (1/km)	2,6	1,3	1,97
PKE (m/s^2)	0,491	0,393	0,461

5 METODE ZA RAZVOJ VOZNIH CIKLOV

Vozni cikel je časovni graf hitrosti, ki predstavlja splošen način vožnje za določen tip vozila v določenem časovnem obdobju. Na splošno po André (2004) metode za razvoj voznega cikla vključujejo štiri osnovne korake: zbiranje dejanskih podatkov o vožnjah, obdelavo in razčlenitev zbranih podatkov, generiranje voznega cikla na podlagi izbrane metode ter na koncu ovrednotenje in izbiro končnega voznega cikla. Glede na obstoječe metode razvoja voznih ciklov lahko po Dai (2008) metode delimo na štiri tipe:

- metoda mikro poti;
- metoda na osnovi odsekov poti;
- metoda na podlagi razvrščanja vzorcev;
- modalna metoda.

5.1 Metoda mikro poti

Eden izmed pristopov za razvoj voznih ciklov je povezovanje mikro poti, ki so definirane kot potovanje med dvema zaporednima časovnima točkama, pri katerih se vozilo ustavi. Potovanje sestoji iz pospeševanja, vožnje s konstantno hitrostjo in pojemanja (Kamble et al., 2009). Pri metodi mikro poti dejanske podatke o vožnjah, ki jih npr. dobimo z zajemom podatkov med vožnjo opazovanih vozil, razdelimo na posamezne mikro poti. Vozni cikel tvorimo s povezovanjem reprezentativnih mikro poti in odsekov poti, ko vozilo miruje ter pri tem skušamo dobiti vozni cikel, ki se najbolj ujema z opazovanimi podatki. Pri tem lahko mikro poti povezujemo na tri načine:

- z naključnim izbiranjem mikro poti;
- s postopnim iskanjem in dodajanjem mikro poti s specifičnimi modalnimi karakteristikami;
- s kombiniranjem obeh načinov (Austin et al., 1993, cit. po Dai, 2008).

Kandidatne cikle ocenjujemo s parametri, ki običajno zajemajo povprečno hitrost, maksimalno hitrost, minimalno hitrost, povprečni pospešek, povprečni pojemek in frekvenčno porazdelitev hitrost-pospešek. Pomanjkljivost te metode se kaže pri analiziranju zaporedja med dvema zaustavitvama, saj ni vedno mogoče analizirati dejanskih lokalnih voznih razmer. Zajamemo lahko več kilometrov dolge odseke brez zaustavitev ali pa imamo na primer urbane vozne razmere z zelo visokim odstotkom zaustavitev, ki ne morejo predstavljati vsesplošnih vzorcev voženj. Z mikro potmi težko razlikujemo med različnimi kategorijami cest in nivoji uslug (angl. *Level of Service*). Zato je težko posnemati načine voženj pod točno določenimi pogoji. Uporaba metode mikro poti je tako omejena na razvoj cikla z namenom

predstavitve zgolj ene vrste potovanja oziroma voznega cikla, ki naj bi posnemali vozne razmere na območju širše regije (Dai, 2008).

5.2 Metoda na osnovi odsekov poti

Odseke poti dobimo z delitvijo časovni grafov hitrosti tako, da poleg zaustavitev upoštevamo spremembe v kategoriji ceste in nivoju uslug. Na ta način lahko ločimo posamezne vožnje glede na kategorijo ceste oziroma nivo uslug in posledično razvijemo vozni cikel, ki je reprezentativen za določeno kategorijo ceste in vozne razmere. Tako kot pri metodi mikro poti so odseki poti izbrani in povezani naključno oziroma z metodo postopnega dodajanja. Vendar se lahko v tem primeru odseki poti za razliko od mikro poti začnejo in končajo pri kateri koli hitrosti. Povezovanje odsekov zato zahteva določene omejitve hitrosti in pospeška med koncem prejšnjega in začetkom obravnavanega odseka poti. Na koncu izberemo tisti vozni cikel, ki ustreza dvema osnovnima parametroma: vsoti razlik frekvenčne porazdelitve hitrost-pospešek in času delovanja pri največji moči (Austin et al., 1997, cit. po Dai, 2008).

5.3 Metoda na podlagi razvrščanja vzorcev

Ta metoda je značilna za veliko število Evropskih voznih ciklov. Pri tej metodi z uporabo statističnih metod razvrščamo »kinematična zaporedja« v heterogene razrede. S pomočjo stopnje verjetnosti lahko ocenimo in nato upoštevamo verjetnost, da eden izmed razredov sledi drugemu razredu aktivnosti oz. je ta pred njim. Pri generiranju voznega cikla ponovno povežemo kinematična zaporedja, ki jih naključno izberemo iz vsakega od razredov aktivnosti skladno z verjetnostjo in kronologijo kinematičnih zaporedij (André et al., 1995, cit. po Dai, 2008).

Osnove te metode so André et al. (1995, cit. po Dai, 2008) predstavili pri razvijanju urbanega cikla European Urban Cycle. Kinematična zaporedja opišemo z 20 spremenljivkami vključno s trajanjem vožnje, časom mirovanja in razdaljo v celotnem zaporedju: povprečje, maksimum, standardni odklon ter drugimi meritvami, kot so: trenutna hitrost in pospešek ter razdalja med dvema pospeševanjema. Z nadaljnjo analizo teh 20 spremenljivk so bili identificirani 4 značilni razredi, ki predstavljajo zgoščen mestni prometni tok, prosti mestni prometni tok, izvenmestne ter avtocestne vozne razmere. V nadaljevanju so pri analizi obravnavali potovanje kot serijo kinematičnih zaporedij. Opazovana potovanja so razvrstili v posamezen razred kinematičnega zaporedja na podlagi frekvence zaporedij ter na podlagi števila prehodov med dvema razredoma kinematičnih zaporedij. Prepoznali so tri glavne razrede potovanj: mestna potovanja, izvenmestna ter avtocestna potovanja. Metodo je

kasneje André (2004) v sklopu projekta ARTEMIS nadgradil. Zaradi odstopanja v trajanju posameznega zaporedja med dvema zaustavitvama je časovne grafe hitrosti razčlenil v zaporedja enakih velikosti. S pomočjo korespondenčne analize z uporabo funkcije hi-kvadrat in cluster analize je razvrstil zaporedja v 12 voznih razmer (Dai, 2008).

5.4 Modalna metoda

Lin in Niemeier (2002) sta predstavila novo stohastično metodo za razvoj voznega cikla, ki sta jo uporabila za izboljšavo obstoječega voznega cikla LA92. Pri stohastični metodi razdelimo časovni graf hitrosti na t. i. modalne dogodke. Vožnjo obravnavamo kot zaporedje pospeševanj, pojemanj, mirovanj ter vožnje pri konstantni hitrosti. Študije (An et al., 1997, Barth et al., 1996) so pokazale, da so emisije vozil poleg povprečne hitrosti povezane tudi z načinom delovanja vozila (mirovanje, pospeševanje, pojemanje itd.). Zaporedje pojavljanja modalnih dogodkov opišemo z uporabo teorije Markovih verig. Verjetnost, da se določeni modalen dogodek (npr. pospeševanje, pojemanje, mirovanje) pojavi, je odvisno samo od predhodnega modalnega dogodka.

Modalna metoda je sestavljena iz štirih osnovnih korakov. Najprej podatke o dejanskih vožnjah z uporabo metode največjega verjetja (MLE) hierarhičnega razvrščanja razdelimo na dele različnih trajanj in intenzitete (Lin in Niemeier, 2002). Te dele po segmentaciji vseh časovnih grafov hitrosti razvrstimo v različne skupine modalnih dogodkov s ponovno uporabo metode največjega verjetja (MLE). Sedaj imajo spremenljivke za razvrščanje povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti hitrosti ter pospeškov. Skupina modalnih dogodkov lahko vsebuje celo več tisoč delov, ki imajo podobne karakteristike hitrosti in pospeška, vendar se razlikujejo v dolžini trajanja dogodka. V tretjem koraku ustvarimo prehodno matriko, ki vsebuje niz verjetnosti med različnimi dogodki. Na koncu sestavimo cikel z uporabo Markove verige tako, da za vsak del, ki ga dodamo, predvidimo naslednjo modalno skupino glede na modalno vrsto trenutnega dela in prehodne matrike. V procesu izbiranja izberemo tak del katere koli dolžine trajanja, ki bo izboljšal ujemanje frekvenčne porazdelitve hitrosti in pospeška vzorčnih podatkov. Hkrati se mora začetna hitrost dela ujemanjati s končno hitrostjo predhodnega dela znotraj spremenljivih vrednosti (navadno $\pm 0,2$ km/h) (Lin in Niemeier, 2002). Postopek izbiranja delov ponavljamo do zelene dolžine voznega cikla. Izbira končnega cikla je odvisna od vrste globalnih statistik, ki so poznane tudi pri drugih metodah (npr. povprečna hitrost, maksimalni in minimalni pospeški, delež mirovanja itd.).

6 RAZVOJ URBANEGA VOZNEGA CIKLA LJUBLJANE (LJURBAN)

6.1 Osnove razvoja urbanega voznega cikla Ljubljane (LJURBAN)

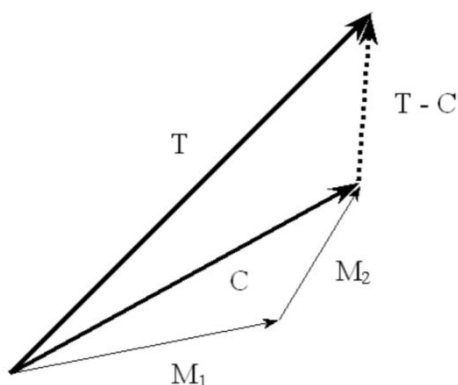
V diplomskem delu smo uporabili metodo, pri kateri iz dejanskih časovnih grafov hitrosti, pridobljenih z meritvami, tvorimo posamezne mikro poti. Metoda z mikro potmi je primerna za razvoj novega voznega cikla, saj omogoča določeno fleksibilnost za vzpostavitev reprezentativnih voznih ciklov na način, da ne popačimo dejanskega voznega profila (Lee, 2006). Izbrane mikro poti s postopnim iskanjem dodajamo v zaporedje, dokler se statistika sintetiziranega cikla ne ujame s ciljno statistiko baze podatkov.

Osnovo cikla predstavlja primerjava parametrov, ki opisujejo delovanje vozila in so tesno povezani z emisijami izpušnih plinov, s parametri pridobljenih podatkov. Z uporabo takšnega pristopa, da primerjamo parametre, dobljene na podlagi meritev in parametre, ki so rezultat izračunanega voznega cikla, lahko sklepamo, da bo obnašanje emisij vozil preko cikla enako obnašanju emisij v cestnem prometu. Za zelo pomembne spremenljivke v tem procesu smo privzeli hitrost vozila ter vrednosti pospeškov, saj v kombinaciji predstavljajo obremenitev motorja, ki v znatni meri vpliva na emisije izpušnih plinov.

Uporabljena metoda temelji na konvergenci razlik med vektorjem \vec{C} , ki predstavlja vožnjo na podlagi generiranega cikla in vektorjem \vec{T} , ki predstavlja vožnjo na osnovi baze podatkov, iz katere smo izbirali mikro poti za vključitev v cikel. S tem, ko povezujemo mikro poti v cikel, se razlika med vektorjema postopoma zmanjšuje. Število dodanih mikro poti je tako odvisno od želene razlike med vektorjema oz. trajanja voznega cikla (Fincher et al., 2010).

Pri generiranju cikla naključno izbiramo takšne mikro poti, da vsota njihovih vektorjev \vec{M}_1, \vec{M}_2 , tvori nov vektor \vec{C} iskanega cikla, ki naj bo čim bolj podoben ciljnemu vektorju \vec{T} baze podatkov. Slika 7 prikazuje hipotetično situacijo vektorjev, potem ko smo dodali dve mikro poti za generiranje cikla. V tem primeru smo prvo mikro pot izbrali iz baze podatkov tako, da je bil vektor \vec{M}_1 te poti najbližje ciljnemu vektorju \vec{T} baze podatkov. Nato poiščemo takšno naslednjo mikro pot, da bo seštevek njenega vektorja \vec{M}_2 in vektorja \vec{M}_1 tvoril rezultirajoč vektor \vec{C} , da bo nato razdalja med koncema vektorjev \vec{C} in \vec{T} najmanjša. Ko dodajamo mikro poti, ki skupaj tvorijo generirani cikel, predstavljen z vektorjem \vec{C} , računamo za vsako novo dodano mikro pot razdaljo med vektorjema $\vec{T} - \vec{C}$ in tako opazujemo proces generacije cikla. Potrebno je poudariti, da vrstni red mikro poti v končnem ciklu ni pomemben z vidika izbire

mikro poti. Vzrok temu je neodvisnost rezultante \vec{C} od vrstnega reda seštevanja vektorjev \vec{M}_i . Mikro poti dodajamo tudi, če najboljša inkrementalna mikro pot poveča dolžino vektorja $\vec{T} - \vec{C}$. Po nekaj dodanih mikro poteh lahko pride do rahlega povečanja dolžine vektorja $\vec{T} - \vec{C}$. Kasneje, ko se število mikro poti poveča, se zgodi relativno hitro zmanjšanje dolžine vektorja $\vec{T} - \vec{C}$, tako da cikel postane bistveno bolj primeren kot je bil na začetku procesa.



Slika 7: Primerjava vektorjev baze podatkov in voznega cikla (Fincher et al., 2010)

Najsi gre za mikro pot, del voznega cikla ali celotno bazo podatkov, lahko del vožnje opišemo kot frekvenčno porazdelitev. Porazdelitev je sestavljena iz kombinacije dveh spremenljivk, in sicer hitrosti ter pospeška. Vrednosti teh dveh spremenljivk smo spremenili v frekvenčno porazdelitev z uporabo matrike. Vsaka vrednost je bila zapisana v določeno vrstico in stolpec (i,j). Kumulativna frekvenčna porazdelitev je sestavljena iz števila vrednosti, ki spadajo v trenutno i-vrstico in j-stolpec za vsako od dveh spremenljivk.

Spodaj imamo dve matriki, in sicer matriko na osnovi baze podatkov ter matriko voznega cikla. Matriki imata 10 x 10 elementov. V preglednicah 20 in 21 so po poljih zbrane vrednosti iz baze podatkov in iz podatkov cikla. Število v vsakemu polju predstavljajo pogostost opazovanj, ki izpolnjujejo kriterij za to polje.

Preglednica 23: Matrika voznega cikla z akumuliranimi opazovanji po vrsticah

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	1	1	1	1	1	1	4	4	4
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	5	8	8	12	12	15	15	15	15
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	3	3	3	7	7	7	12	12
6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2
8	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5
9	4	4	4	4	7	7	7	7	11	11
10	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3

V Preglednicah 24 in 25 so po stolpcih akumulirane vrednosti Preglednic 22 in 23.

Preglednica 24: Matrika baze podatkov z akumuliranimi opazovanji po stolpcih

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	1	1	1	1	1	1	4	4	4
2	2	3	3	3	3	3	3	6	6	6
3	2	5	5	5	8	8	8	11	11	15
4	2	5	5	10	13	13	13	16	16	20
5	2	9	9	14	20	20	20	28	31	35
6	2	13	13	18	24	28	31	39	42	46
7	4	15	15	20	26	30	33	41	44	48
8	4	15	26	26	32	36	39	47	59	63
9	4	15	26	28	34	46	49	57	69	73
10	5	16	27	29	35	47	50	58	70	74

Preglednica 25: Matrika voznega cikla z akumuliranimi opazovanji po stolpcih

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	1	1	1	1	1	1	4	4	4
2	0	1	1	1	1	1	1	4	4	4
3	5	6	9	9	13	13	16	19	19	19
4	5	6	9	9	13	13	16	19	19	19
5	5	6	12	12	16	20	23	26	31	31
6	8	9	15	15	19	23	26	29	34	34
7	8	9	15	15	19	25	28	31	36	36
8	8	9	20	20	24	30	33	36	41	41
9	12	13	24	24	31	37	40	43	52	52
10	12	13	24	24	31	37	43	46	55	55

Rezultat so polja s frekvencami na kumulativni osnovi, ki potekajo od majhnih vrednosti v zgornjem levem kotu matrike do velikega števila v spodnjem desnem kotu matrike. Vrednost

(A, 10) v spodnjem desnem kotu Preglednic 24 in 25 je enako celotnemu številu opazovanj ciljne matrike oz. matrike cikla. Te vrednosti skupnega števila opazovanj v spodnjem desnem kotu Preglednic 24 in 25 uporabimo za normalizacijo vseh frekvenc v Preglednicah 24 in 25, da dobimo normalizirane kumulativne matrike v Preglednicah 26 in 27.

Preglednica 26: Normalizirana matrika baze podatkov

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,000	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,054	0,054	0,054
2	0,027	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,081	0,081	0,081
3	0,027	0,068	0,068	0,068	0,108	0,108	0,108	0,149	0,149	0,203
4	0,027	0,068	0,068	0,135	0,176	0,176	0,176	0,216	0,216	0,270
5	0,027	0,122	0,122	0,189	0,270	0,270	0,270	0,378	0,419	0,473
6	0,027	0,176	0,176	0,243	0,324	0,378	0,419	0,527	0,568	0,622
7	0,054	0,203	0,203	0,270	0,351	0,405	0,446	0,554	0,595	0,649
8	0,054	0,203	0,351	0,351	0,432	0,486	0,527	0,635	0,797	0,851
9	0,054	0,203	0,351	0,378	0,459	0,622	0,662	0,770	0,932	0,986
10	0,068	0,216	0,365	0,392	0,473	0,635	0,676	0,784	0,946	1,000

Preglednica 27: Normalizirana matrika voznega cikla

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,000	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,073	0,073	0,073
2	0,000	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,073	0,073	0,073
3	0,091	0,109	0,164	0,164	0,236	0,236	0,291	0,345	0,345	0,345
4	0,091	0,109	0,164	0,164	0,236	0,236	0,291	0,345	0,345	0,345
5	0,091	0,109	0,218	0,218	0,291	0,364	0,418	0,473	0,564	0,564
6	0,145	0,164	0,273	0,273	0,345	0,418	0,473	0,527	0,618	0,618
7	0,145	0,164	0,273	0,273	0,345	0,455	0,509	0,564	0,655	0,655
8	0,145	0,164	0,364	0,364	0,436	0,545	0,600	0,655	0,745	0,745
9	0,218	0,236	0,436	0,436	0,564	0,673	0,727	0,782	0,945	0,945
10	0,218	0,236	0,436	0,436	0,564	0,673	0,782	0,836	1,000	1,000

Vrednosti v Preglednicah 26 in 27 nato uporabimo za izračun kvadrata razlike za vsako posamezno polje in dobimo vrednosti po poljih v Preglednici 28.

Preglednica 28: Kvadrat razlike vrednosti matrik

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
3	0,001	0,002	0,009	0,009	0,004	0,016	0,033	0,038	0,038	0,020
4	0,001	0,002	0,009	0,001	0,004	0,004	0,013	0,017	0,017	0,006
5	0,001	0,000	0,009	0,001	0,000	0,009	0,022	0,009	0,021	0,008
6	0,014	0,000	0,009	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003	0,000
7	0,008	0,002	0,005	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,004	0,000
8	0,008	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005	0,000	0,003	0,011
9	0,027	0,001	0,007	0,003	0,008	0,003	0,011	0,000	0,000	0,002
10	0,023	0,000	0,005	0,002	0,008	0,001	0,011	0,003	0,003	0,000

Vrednost v Preglednici 29 je samo vsota vseh elementov Preglednice 28 in predstavlja kvadrat dolžine vektorja $\vec{T} - \vec{C}$.

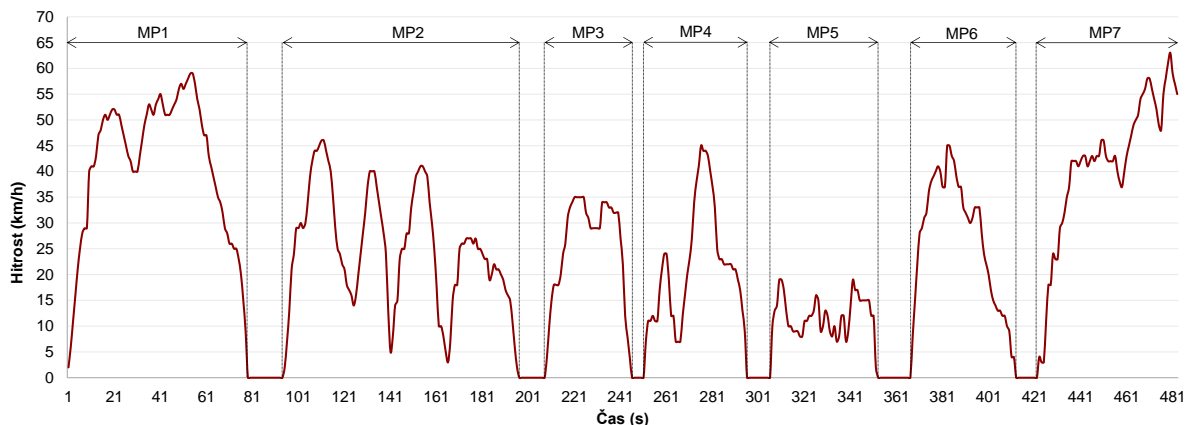
Preglednica 29: Vsota kvadratov razlike

0,538

6.2 Karakterizacija in ločitev mikro poti

Vse zbrane podatke o vožnjah smo razdelili na mikro poti, na podlagi katerih smo razvili nov vozni cikel. Mikro pot je zaporedje podatkov o vožnji med dvema zaustavitvama vozila na poti. Znotraj zbranih podatkov smo poiskali mikro poti in jim določili zaporedno število. Tako smo lahko kasneje posamezno mikro pot lažje prepoznali. Za vsako mikro pot smo izračunali vozne parametre, na podlagi katerih na koncu, ko izbrane mikro poti povežemo skupaj v nov vozni cikel, naredimo primerjavo s ciljnimi parametri.

Grafikon 23 prikazuje primer časovnega grafa hitrosti ene izmed poti, iz katerega so razvidne posamezne mikro poti. Oblika (zaporedje hitrosti) mikro poti prikazuje posamezne značilnosti vožnje.



Grafikon 23: Primer ločitve mikro poti iz časovnega grafa hitrosti

Mikro poti smo, za kasnejšo primerjavo z rezultati novega voznega cikla, združili v razrede glede na njihovo povprečno hitrost. Povprečno hitrost smo razdelili na 5 hitrostnih razredov: od 0 do 10 km/h, nad 10 do 20 km/h, nad 20 do 30 km/h, nad 30 do 40 km/h in nad 40 km/h.

Preglednica 30: Primerjava mikro poti po hitrostnih razredih glede na število mikro poti ter odstotek časa mikro poti znotraj posameznega razreda

	Hitrostni razred (km/h)						Σ
	V=0	0<V≤10	10<V≤20	20<V≤30	30<V≤40	V>40	
Št. mikro poti	-	383	1562	2032	1567	567	6111
Št. mikro poti v %	-	6,27	25,56	33,25	25,64	9,28	100
Čas trajanja mikro poti v sekundah	109359	56458	74961	71175	69601	102010	483564
Čas trajanja mikro poti v %	22,62	11,68	15,50	14,72	14,39	21,10	100

S pomočjo zgoraj opisane delitve lahko opazujemo število mikro poti in trajanje mikro poti znotraj posameznega razreda hitrosti. Iz Preglednice 30 je razvidno, da ima v Ljubljani večina potovanj (85 %) povprečno hitrost med 10 in 40 km/h. Največji del (33,25 %) odpade na hitrostni razred nad 20 in do vključno 30 km/h. Primerjava odstotka časa mikro poti znotraj hitrostnih razredov nam pove, da polovica časa trajanja voženj poteka pri hitrostih, manjših od 10 km/h ter večjih od 40 km/h. Tako lahko opazimo, da se po številu in času trajanja večina mikro poti nahaja v hitrostnih razredih nižjih, od 40 km/h. To nakazuje na že znano dejstvo, da podatki odražajo prometne razmere, značilne za zgoščen promet v urbanem območju, kjer se promet odvija pri majhnih hitrostih s številnimi zaustavitvami.

6.3 Razvoj voznega cikla LJURBAN po metodi mikro poti

Razvoj urbanega voznega cikla Ljubljane je osnovan na bazi podatkov, ki predstavlja vzorce voženj na območju Ljubljane. Najtežje opravilo pri generiranju novega voznega cikla je bilo združitev tako velike količine podatkov o hitrosti v cikel razumne dolžine. Zato je bila pri sintetiziranju ljubljanskega voznega cikla uporabljena metoda procesa naključnega izbiranja mikro poti in metoda konvergence razlike vektorjev, ki predstavljajo vožnje.

Pred začetkom konstruiranja cikla smo definirali dolžino novega voznega cikla. Dolžina voznega cikla naj ne bi bila prekratka, ker je potrebno imeti zadostno število mikro poti, ki odražajo dejanske vzorce voženj. Hkrati pa dolžina cikla ne sme biti predolga, saj ni praktična za uporabo pri testiranju na dinamometru. Večina zakonodajnih voznih ciklov je dolgih od 10 do 30 min. V tej nalogi smo se odločili za približno 25 min dolg cikel.

Tako kot priprava podatkov je bil tudi sam proces razvoja voznega cikla izveden v programu Microsoft Access 2010 z uporabo modulov. Modul je zbirka Visual Basicovih deklaracij in procedur, ki so shranjene skupaj kot enota. Program se je z dodatkom Microsoft Visual Basic izkazal kot uporabno orodje za matematično obdelavo podatkov in s tem za razvoj novega voznega cikla za urbano območje Ljubljane.

Potem, ko smo v prvem koraku (poglavje 4) iz začetne baze podatkov pridobili posamezne mikro poti, smo se v nadaljevanju posvetili metodi razvoja novega cikla. Pripravili smo modul, ki iz baze podatkov tvori matriko pogostosti pojavljanja hitrosti in pospeška. Ta matrika je osnova za primerjavo, na podlagi katere smo izbrano mikro pot ohranili oz. zavrgli v procesu generiranja novega voznega cikla. Znotraj tega modula je zapisana tudi koda, ki naredi matriko pogostosti pojavljanja hitrosti in pospeška za vsako mikro pot posebej. Koda v modulu sledi metodi, ki je opisana zgoraj v poglavju 6.1. Procedure se znotraj modula ponavljajo toliko časa, dokler ni dosežena zelena razlika med vektorjema oz. dolžina trajanja voznega cikla. V našem primeru se je procedura zaustavila pri dolžini trajanja voznega cikla 1587 s, saj smo na začetku postavili zahtevo o dolžini cikla (približno 25 min).

```

ttabK.MoveNext

Loop

' izračunam kumulativno matriko po vrsticah
For x = 0 To 18
    wvsota = 0
    For y = 0 To 22
        avsota = matf(x, y)
        matf(x, y) = wvsota + avsota
        wvsota = matf(x, y)
    Next y
Next x

' izračunam kumulativno matriko po stolpcih
For y = 0 To 22
    wvsota = 0
    For x = 0 To 18
        avsota = matf(x, y)
        matf(x, y) = wvsota + avsota
        wvsota = matf(x, y)
    Next x
Next y

' normaliziram matriko z najvišjim členom - matn je normalizirana matrika vseh
For y = 0 To 22
    For x = 0 To 18
        matn(x, y) = matf(x, y) / matf(18, 22)
    Next x
Next y

MsgBox "Hardu sm kumulativno matriko"

'izračunam matrike za vsako mikropot posebej iz MF

```

Slika 8: Prikaz Visual Basicove kode znotraj modula za izdelavo matrik

Mikro poti, ki so bile izbrane po izvedeni proceduri in sestavljajo nov vozni cikel LJURBAN, smo nato zapisali v novo tabelo. S povezovanjem tabel oziroma t. i. relacijami smo tako lahko dobili tabelo, v kateri je vozni cikel prikazan v sekundnem zapisu. Ta tabela je osnova za izdelavo časovnih grafov hitrosti, račun parametrov in prikaz verjetnostne porazdelitve urbanega voznega cikla LJURBAN v naslednjem, 7. poglavju.

Nov razviti vozni cikel mora ustrezati ciljnim statistikam, ki smo jih izračunali na osnovi baze podatkov. Zato smo na podlagi enačb, podanih v Preglednici 31 določili 9 ciljnih parametrov, ki okarakterizirajo vzorce voženj. Ti parametri so: povprečna potovalna hitrost (\bar{v}), povprečni pospešek (\bar{a}_a), povprečni pojemek (\bar{a}_d), delež mirovanja (P_m), delež vožnje s konstantno hitrostjo (P_k), delež pospeševanja (P_a), delež pojemanja (P_d), število zaustavitev na kilometer poti (S) ter pozitivna kinetična energija (PKE), ki meri energijo potrebno za pospeševanje vozila na določeni poti.

Preglednica 31: Enačbe za izračun ciljnih parametrov

Parameter		Enačba
Povprečna potovalna hitrost	\bar{v}	$\bar{v} = \frac{\sum v_i}{n_v}, \forall v_i > 0$ (4)
Povprečni pospešek	\bar{a}_a	$\bar{a}_a = \frac{\sum a_i}{n_a}, \forall a_i > 0$ (5)
Povprečni pojemek	\bar{a}_d	$\bar{a}_d = \frac{\sum a_i}{n_d}, \forall a_i < 0$ (6)
Delež mirovanja	P_m	$P_m = \frac{t_m}{T}$ (7)
Delež vožnje s konstantno hitrostjo	P_k	$t_k = T - t_m - t_a - t_d$ $P_k = \frac{t_k}{T}$ (8)
Delež pospeševanja	P_a	$P_a = \frac{t_a}{T}$ (9)
Delež pojemanja	P_d	$P_d = \frac{t_d}{T}$ (10)
Število zaustavitev na kilometer poti	S	$n_s = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1, & (v_i = 0 \wedge a_i = 0) \wedge (v_{i-1} \neq 0 \vee a_i \neq 0) \\ 0, & \end{cases}$ (11) $S = \frac{n_s}{x}$
Pozitivna kinetična energija	PKE	$PKE = \frac{\sum (v_f^2 - v_i^2)}{x}, \frac{d_v}{d_t} > 0$ (12)

kjer je:

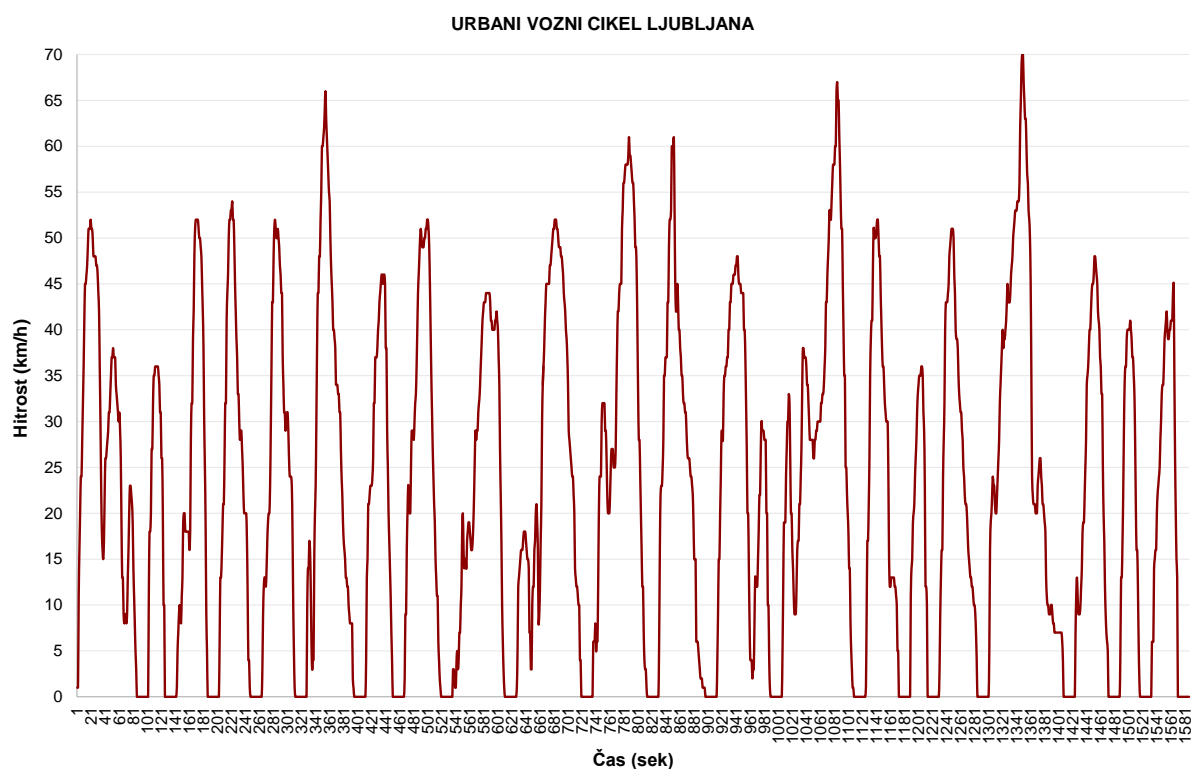
v_i	hitrost (km/h)
a_i	pospešek (m/s ²)
n_v	število zapisov hitrosti
n_a	število zapisov pospeška
n_d	število zapisov pojemka
n_s	število zaustavitev
x	celotna dolžina poti (km)
t_m	skupni čas mirovanja (s)

t_k	skupni čas vožnje s konstantno hitrostjo (s)
t_a	skupni čas pospeševanja (s)
t_d	skupni čas pojemanja (s)
T	trajanje potovanja (s)
v_f	hitrost na koncu pospeševanja (m/s)
v_i	hitrost na začetku pospeševanja (m/s)

7 ANALIZA SINTENTIZIRANEGA URBANEGA VOZNEGA CIKLA LJUBLJANE TER PRIMERJAVA Z OSTALIMI SVETOVNIMI VOZNIMI CIKLI

7.1 Rezultati generiranega voznega cikla LJURBAN

Urbani vozni cikel Ljubljane smo razvili na osnovi baze podatkov, pridobljenih z meritvami v osebnih vozilih. Baza podatkov je po analizi in obdelavi zajemala 6111 mikro poti, prevoženih v času 134 ur na razdalji 3100 km. Z uporabo metode mikro poti smo iz podatkov ustvarili nov sintetiziran urbani vozni cikel za območje Ljubljane. Celotni čas trajanja voznega cikla znaša 1587 s na dolžini 10,19 km pri povprečni potovalni hitrosti 22,5 km/h.



Grafikon 24: Časovni graf hitrosti za Urbani vozni cikel Ljubljane (LJURBAN)

Grafikon 24 prikazuje časovni graf hitrosti za urbani vozni cikel Ljubljane. Iz grafikona je razvidno, da gre za vzorec vožnje s številnimi pospeševanji in pojemanji. Rezultati podrobnejše analize časovnega grafa hitrosti so zbrani v preglednici 32. Za nov generiran vozni cikel smo določili oziroma izračunali 28 parametrov. Ti parametri opisujejo glavne značilnosti voznega cikla in so zato tudi osnova za primerjavo z ostalimi voznimi cikli.

Preglednica 32: Parametri, ki opisujejo značilnosti voznega cikla (LJURBAN)

Skupna dolžina	10,19 km	Standardni odklon hitrosti	18,57 km/h
Celotni čas	1587 s	75. – 25. percentila hitrosti	35,0 km/h
Čas vožnje	1230 s	Maksimalna hitrost	70,0 km/h
Čas vožnje s konst. hitrostjo	342 s	Povprečni pospešek	0,446 m/s ²
Čas pospeševanja	440 s	Povprečni pozitivni pospešek	0,830 m/s ²
Čas pojemanja	448 s	Povprečni negativni pospešek	-0,766 m/s ²
Čas mirovanja	357 s	Standardni odklon pospeška	0,598 m/s ²
Delež vožnje	77,50 %	Standardni odklon poz. pospeška	0,611 m/s ²
Delež vožnje s konst. hitrostjo	21,55 %	Število pospeševanj	151
Delež pospeševanja	27,73 %	Število pospeševanj na km	14,820 1/km
Delež pojemanja	28,23 %	Število zaustavitev	21
Delež mirovanja	22,50 %	Število zaustavitev na km	2,06 1/km
Povprečna potovalna hitrost	22,5 km/h	Povprečna razdalja med zaustavitvami	485,19 m
Povprečna hitrost	29,0 km/h	Pozitivna kinetična energija	0,510 m/s ²

7.2 Primerjava voznega cikla z dejanskimi podatki, pridobljenimi na podlagi meritev

Za potrditev voznega cikla je potrebno narediti primerjavo med statistiko, izračunano na podlagi podatkov, pridobljenih iz dejanskih meritev in statistiko izračunanega voznega cikla. Predvsem hočemo ugotoviti, ali so značilnosti glede hitrosti, pospeševanj in pojemanja podobne, saj le-te v največji meri vplivajo na emisije vozil.

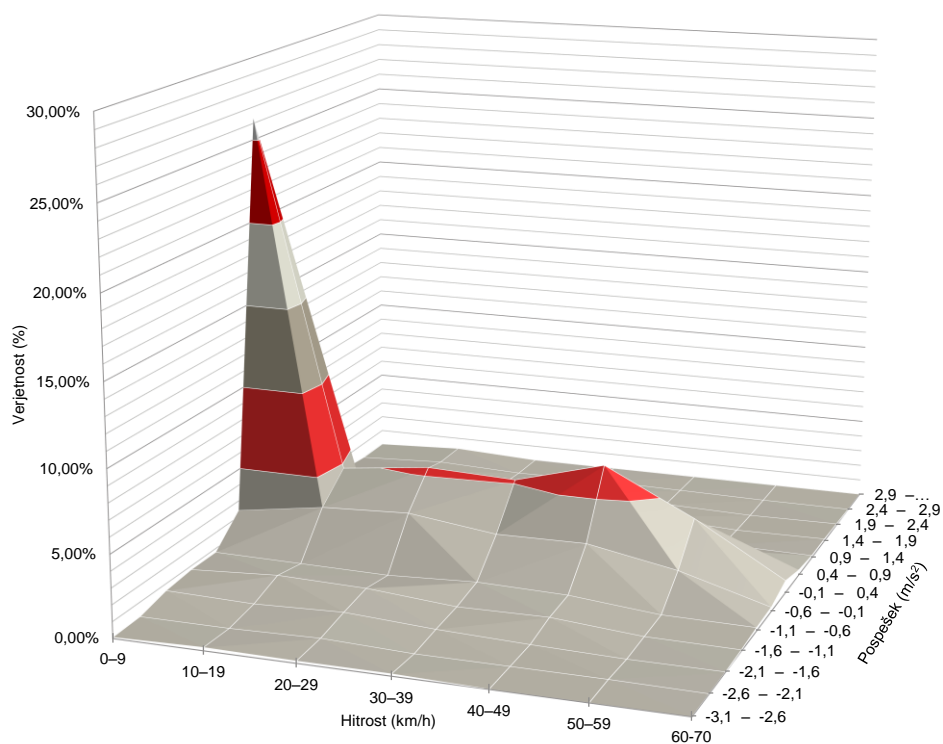
7.2.1 Primerjava ciljnih parametrov

Preglednica 33: Primerjava ciljnih parametrov dejanskih podatkov in izračunanega cikla

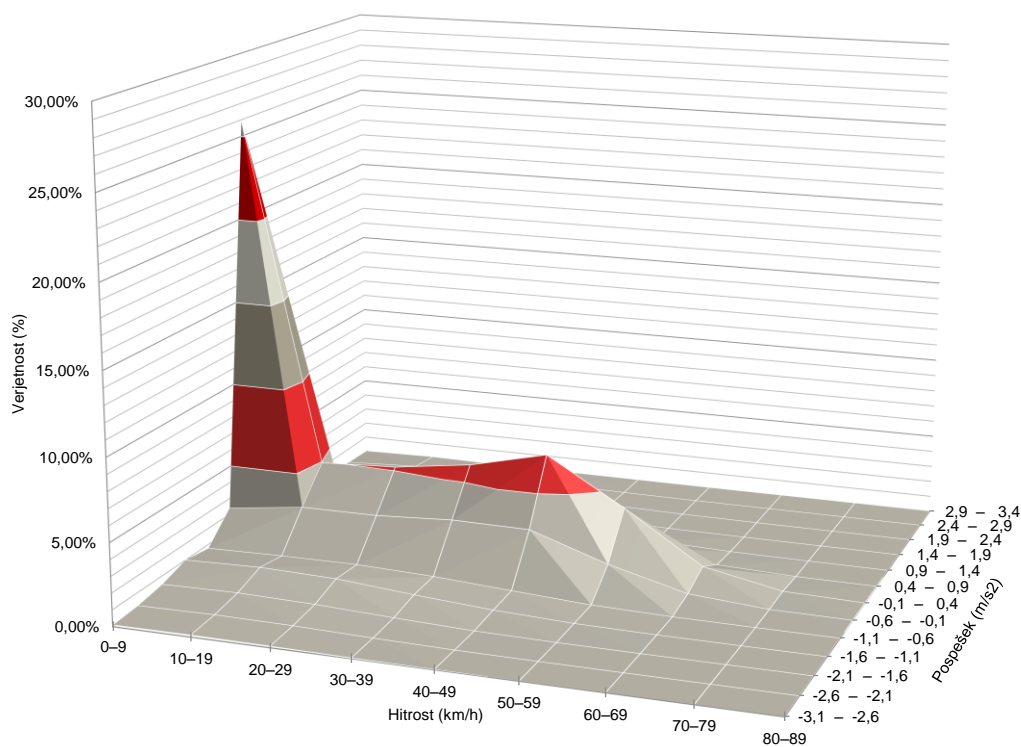
Parameter	Dejanski podatki	LJURBAN	Razlika
Povprečna potovalna hitrost	22,42 km/h	22,50 km/h	0,36 %
Povprečni pospešek	0,82 m/s ²	0,83 m/s ²	1,2 %
Povprečni pojemek	-0,75 m/s ²	-0,77 m/s ²	2,6 %
Delež mirovanja	22,62 %	22,50 %	0,53 %
Delež vožnje s konst. hitrostjo	22,45 %	21,55 %	4 %
Delež pospeševanja	27,04 %	27,73 %	2,49 %
Delež pojemanja	27,90 %	28,23 %	1,17 %
Število zaustavitev	1,97 %	2,08 %	5,3 %
PKE	0,461 m/s ²	0,510 m/s ²	9,6 %

V Preglednici 33 primerjamo Urbani vozni cikel Ljubljana z bazo podatkov iz dejanskih meritev glede na ciljne parametre. Delež mirovanja (22,50 %) in delež vožnje s konstantno hitrostjo (21,55 %) pri voznem ciklu je manjši kot pri bazi podatkov (22,62 % in 22,45 %). Ostali parametri voznega cikla imajo večjo vrednost kot parametri na podlagi podatkov. Razlike med primerjanimi vrednostmi so zelo majhne in pri najpomembnejših parametrih v glavnem ne presegajo 5 %. Večje odstopanje se kaže le pri številu zaustavitev (5,3 %) in pozitivni kinetični energiji (9,6 %).

7.2.2 Primerjava verjetnostne porazdelitve hitrosti in pospeška



Grafikon 25: Verjetnostna porazdelitev hitrost in pospeška za izračunan Urbani vozni cikel Ljubljane



Grafikon 26: Verjetnostna porazdelitev hitrosti in pospeška za dejanske podatke, pridobljene na podlagi meritev

Primerjava med grafikonoma verjetnostne porazdelitve kaže na zelo dobro ujemanje porazdelitve hitrosti in pospeška. S podrobno analizo ugotovimo, da je največje odstopanje v območju hitrosti med 20 in 50 km/h. Skupno odstopanje znaša 2,1 % in od tega odpade največji delež odstopanja na območje hitrosti med 30 in 39 km/h, ki znaša 0,74 %. Če opazujemo vrednosti pospeškov, ugotovimo, da se vrednosti pospeškov najbolj razlikujejo na intervalu med $-0,1$ in $0,9 \text{ m/s}^2$. K odstopanju, ki znaša 1,73 %, največ prispeva vrednost razlike (1,20 %) za območje pospeška med $-0,1$ in $0,4 \text{ m/s}^2$. Ena izmed opaznih razlik je tudi ta, da graf verjetnostne porazdelitve za vozni cikel LJURBAN ne vsebuje hitrostnega intervala od 70 do 90 km/h. Vzrok temu najdemo v lastnostih mikro poti, ki sestavljajo vozni cikel. Program v procesu izbiranja mikro poti namreč ni izbral nobene take poti, ki bi vključevala hitrosti tudi nad 70 km/h.

Zelo dobro ujemanje verjetnostne porazdelitve hitrosti in pospeška kaže na veliko podobnost med bazo podatkov in novim voznim ciklom. Iz tega lahko sklepamo, da je vozni cikel LJURBAN glede na izvedene meritve reprezentativni vozni cikel za urbano območje Ljubljane.

7.2.3 Primerjava časovne razporeditve po hitrostnih razredih

Preglednica 34: Primerjava časovne razporeditve po hitrostnih razredih

Hitrostni razred (km/h)	LJURBAN		Baza podatkov	
	Čas (s)	Delež (%)	Čas (s)	Delež (%)
1 do 10	184	14,96	56458	15,09
11 do 20	251	20,41	74961	20,03
21 do 30	228	18,54	71175	19,02
31 do 40	250	20,33	77224	20,64
41 do 50	191	15,53	55358	14,79
51 do 60	104	8,46	30795	8,23
61 do 70	22	1,79	7294	1,95
71 do 80	0	0,00	894	0,24
81 do 90	0	0,00	46	0,01

Primerjava časovne razporeditve cikla LJURBAN po hitrostnih razredih glede na bazo podatkov kaže na zelo dobro ujemanje odstotkov časa vožnje znotraj posameznega razreda. Opaznejša razlika je le pri zadnjih dveh razredih hitrosti, ki ju cikel LJURBAN ne vključuje. Kot smo že omenili, vzrok temu najdemo v procesu izbiranja poti pri generiranju novega cikla. V fazi izbiranja program ni vključil mikro poti, ki sodijo v najvišja dva hitrostna razreda. Vendar to ne predstavlja bistvenega pomena za reprezentativnost voznega cikla, saj glede na bazo podatkov, hitrosti nad 70 km/h predstavljajo zgolj 0,25 % časa trajanja vseh voženj.

7.2.4 Primerjava z ostalimi svetovnimi voznimi cikli

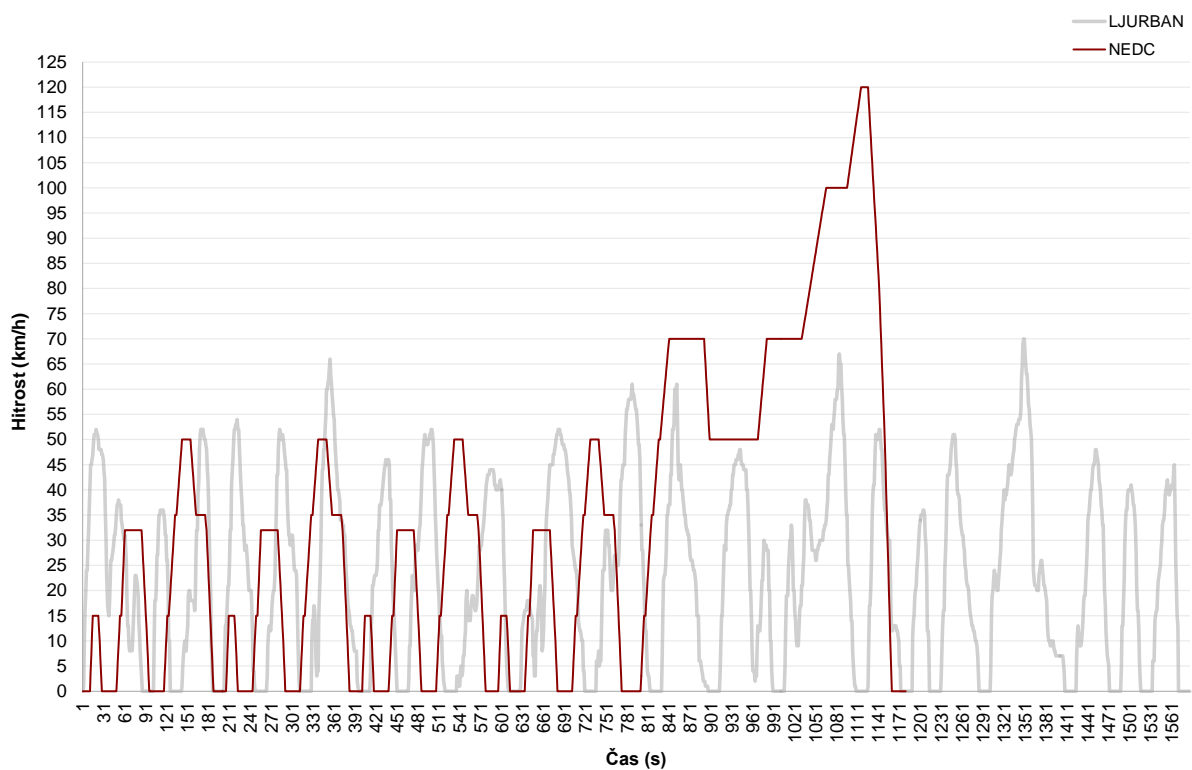
Za primerjavo smo si poleg izračunanega voznega cikla LJURBAN izbrali še 4 vozne cikle, ki vsaj v enem delu predstavljajo urbano vožnjo. Cikla NEDC in Artemis Urban sta iz skupine evropskih ciklov. NEDC je modalni vozni cikel in zakonodajni vozni cikel, saj je osnova za homologacijo vozil znotraj EU. Vozni cikel Artemis Urban je rezultat evropskega projekta, v okviru katerega je bila statistično analizirana velika baza podatkov o dejanskih vzorcih voženj na območju Evrope. Cikel spada v skupino nezakonodajnih voznih ciklov ter v skupino dejanskih voznih ciklov. Artemis Urban je izrazito urbani vozni cikel. Cikla FTP 75 in NYCC spadata v skupino voznih ciklov Združenih držav Amerike. FTP 75 je zakonodajni vozni cikel, ki je v uporabi za certificiranje vozil glede emisij ter testiranje porabe goriva. Cikel NYCC sodi v skupino dejanskih voznih ciklov in predstavlja urbano vožnjo pri nizkih hitrostih ter pogostih zaustavitvah. Vozna cikla NEDC in FTP 75 sta v uporabi za uradno testiranje emisij, zato ju je smiselno primerjati s Urbanim voznim ciklom Ljubljane (LJURBAN).

Glede na parametre, ki so zbrani v Preglednici 35, in na podlagi Grafikonov 27–36 pridemo do naslednjih ugotovitev. Cikli se razlikujejo v dolžini trajanja, in sicer od 598 s (NYCC) do 1874 s (FTP 75). Dolžina (v kilometrih) voznega cikla LJURBAN je kratka glede na dolžino trajanja voznega cikla v primerjavi s cikloma NEDC in FTP 75. Vzrok temu najdemo, če primerjamo deleže mirovanja na Grafikonu 36 ter povprečne hitrosti na Grafikonu 31. Delež mirovanja za cikel LJURBAN je višji od preostalih dveh ciklov. Iz Grafikona 31 opazimo tudi, da ima cikel LJURBAN v primerjavi s približno enako dolgima cikloma FTP 75 in NEDC manjšo povprečno hitrost. Prav tako ima Urbani vozni cikel Ljubljane visok odstotek časa (28,23 %), ko vozilo pojema. V primerjavi z voznim ciklom NEDC je razlika očitna, saj se deleža pojemanja razlikujeta za 38,75 %. Povprečna potovalna hitrost cikla LJURBAN (22,5 km/h) se najbolj približa vrednosti povprečne potovalne hitrosti cikla Artemis Urban (17,7 km/h). Zanimiva je tudi primerjava deleža vožnje in deleža mirovanja cikla LJURBAN z ostalima dvema evropskima cikloma NEDC in Artemis Urban. Iz Grafikona 35 lahko razberemo, da se deleži razlikujejo zelo malo. V tem pogledu sta si najbolj podobna cikla LJURBAN in Artemis Urban. Glede na delež vožnje se razlikujeta za 2,26 %, medtem ko glede na delež mirovanja za 7,78 %. Vozni cikel LJURBAN od ostalih izstopa v velikosti povprečnega pozitivnega pospeška. Na Grafikonu 33 lahko vidimo, da se vrednosti povprečnega pozitivnega pospeška za Urbani vozni cikel Ljubljane od ostalih ciklov razlikujejo tudi do 50 %. Da gre pri ciklu LJURBAN za močna pospeševanja in posledično višje vrednosti pospeškov lahko razberemo že iz primerjave časovnih grafov hitrosti, kjer opazujemo naklone grafa. Vrednosti povprečnega negativnega pospeška ne odstopajo v tolikšni meri kot pri pozitivnem pospešku. Tako se celo vrednost povprečnega negativnega

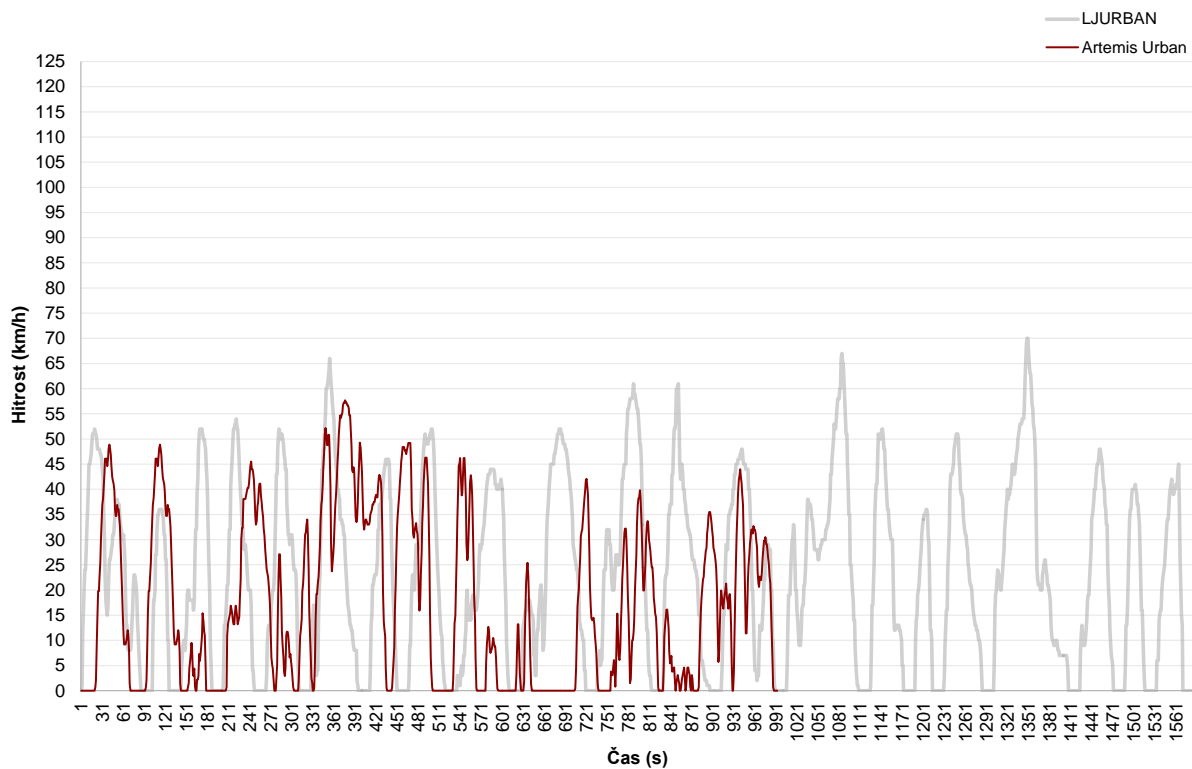
pospeška za cikel LJURBAN v primerjavi z vrednostjo za cikel NEDC razlikuje za samo 6,14 %.

Preglednica 35: Primerjava voznih ciklov za osebna vozila glede na LJURBAN

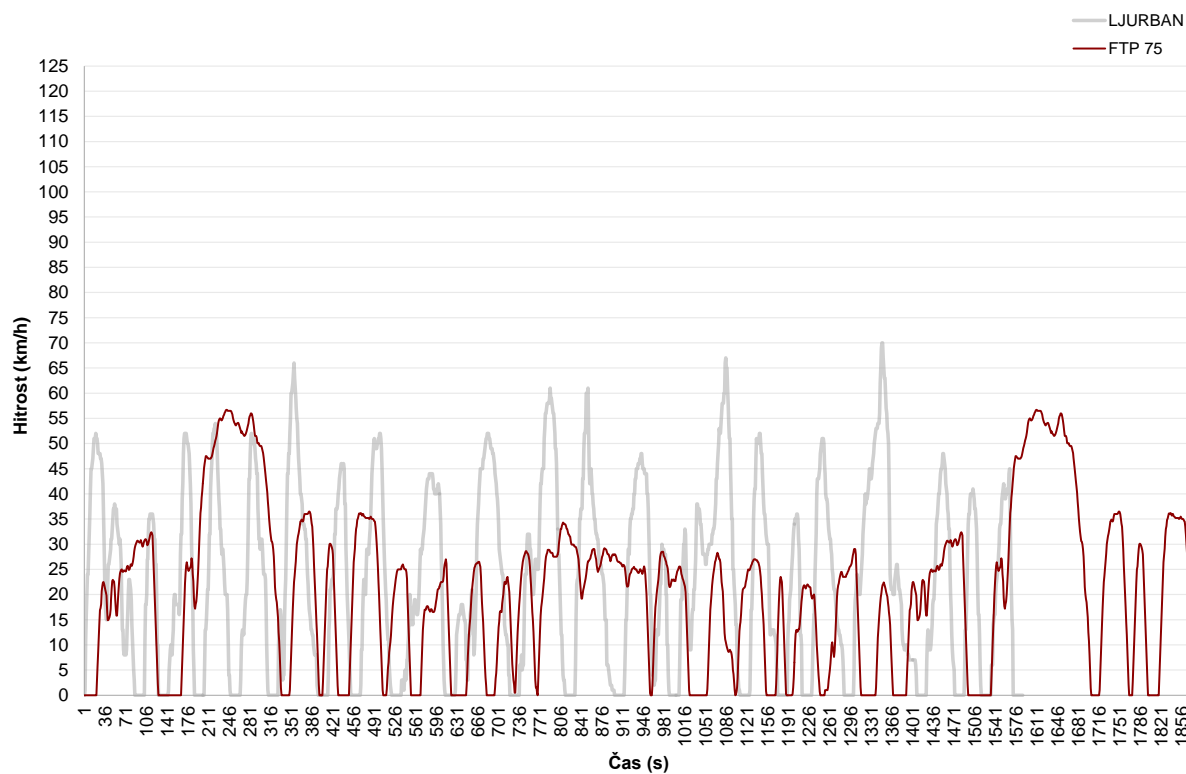
		LJURBAN	NEDC	Razlika (%)	Artemis Urban	Razlika (%)	FTP 75	Razlika (%)	NYCC	Razlika (%)
Dolžina	(km)	10,19	11,02	8,15	4,87	52,21	17,79	74,58	1,9	81,35
Trajanje	(s)	1587	1180	25,65	993	37,43	1874	18,08	598	62,32
Čas vožnje	(s)	1230	939	23,66	787	36,02	1633	32,76	412	66,50
Čas vožnje ($v_{konst.}$)	(s)	342	458	33,92	95	72,22	376	9,94	61	82,16
Čas pospeševanja	(s)	440	278	36,82	357	18,86	683	55,23	176	60,00
Čas pojemanja	(s)	448	204	54,46	335	25,22	574	28,13	175	60,94
Čas mirovanja	(s)	357	241	32,49	206	42,30	241	32,49	186	47,90
Delež vožnje	(%)	77,5	79,58	2,68	79,25	2,26	87,14	12,44	68,9	11,10
Delež vožnje ($v_{konst.}$)	(%)	21,55	38,81	80,09	9,57	55,59	20,06	6,91	10,2	52,67
Delež pospeševanja	(%)	27,73	23,56	15,04	35,95	29,64	36,45	31,45	29,43	6,13
Delež pojemanja	(%)	28,23	17,29	38,75	33,74	19,52	30,63	8,50	29,26	3,65
Delež mirovanja	(%)	22,5	20,42	9,24	20,75	7,78	12,86	42,84	31,1	38,22
Povprečna hitrost	(km/h)	29	42,2	45,52	22,29	23,14	34,2	17,93	16,63	42,66
Povprečna potovalna hitrost	(km/h)	22,5	33,6	49,33	17,7	21,33	39,21	74,27	11,5	48,89
Standardni odkl. hitrosti	(km/h)	18,57	28,91	55,68	16,07	13,46	23,51	26,60	12,23	34,14
75. - 25. percentila hitrosti	(km/h)	35	46,7	33,43	32,47	7,23	37,49	7,11	20,15	42,43
Maksimalna hitrost	(km/h)	70	120,09	71,56	57,32	18,11	91,09	30,13	44,45	36,50
Povprečni poz. pospešek	(m/s^2)	0,83	0,528	36,39	0,531	36,02	0,42	49,40	0,466	43,86
Povprečni neg. pospešek	(m/s^2)	-0,766	-0,719	6,14	-0,571	25,46	-0,457	40,34	-0,48	37,34
Standardni odkl. pospeška	(m/s^2)	0,598	0,476	20,40	0,732	22,41	0,629	5,18	0,652	9,03
Standardni odkl. poz. pospeška	(m/s^2)	0,611	0,243	60,23	0,454	25,70	0,423	30,77	0,448	26,68
Število pospeševanj		151	31	79,47	48	68,21	61	59,60	22	85,43
Število pospeševanj na km	(/km)	14,82	2,814	81,01	9,849	33,54	3,43	76,86	11,562	21,98
Število zaustavitev		21	14	33,33	14	33,33	16	23,81	7	66,67
Število zaustavitev na km	(/km)	2,06	1,27	38,35	2,87	39,32	0,9	56,31	3,68	78,64
Povp. razdalja med zaustavitvami	(m)	485,19	786,9	62,18	348,12	28,25	1111,66	129,12	271,82	43,98
Pozitivna kinetična energija	(m/s^2)	0,51	0,224	56,08	7,139	12999,80	0,348	31,76	6,568	1187,84



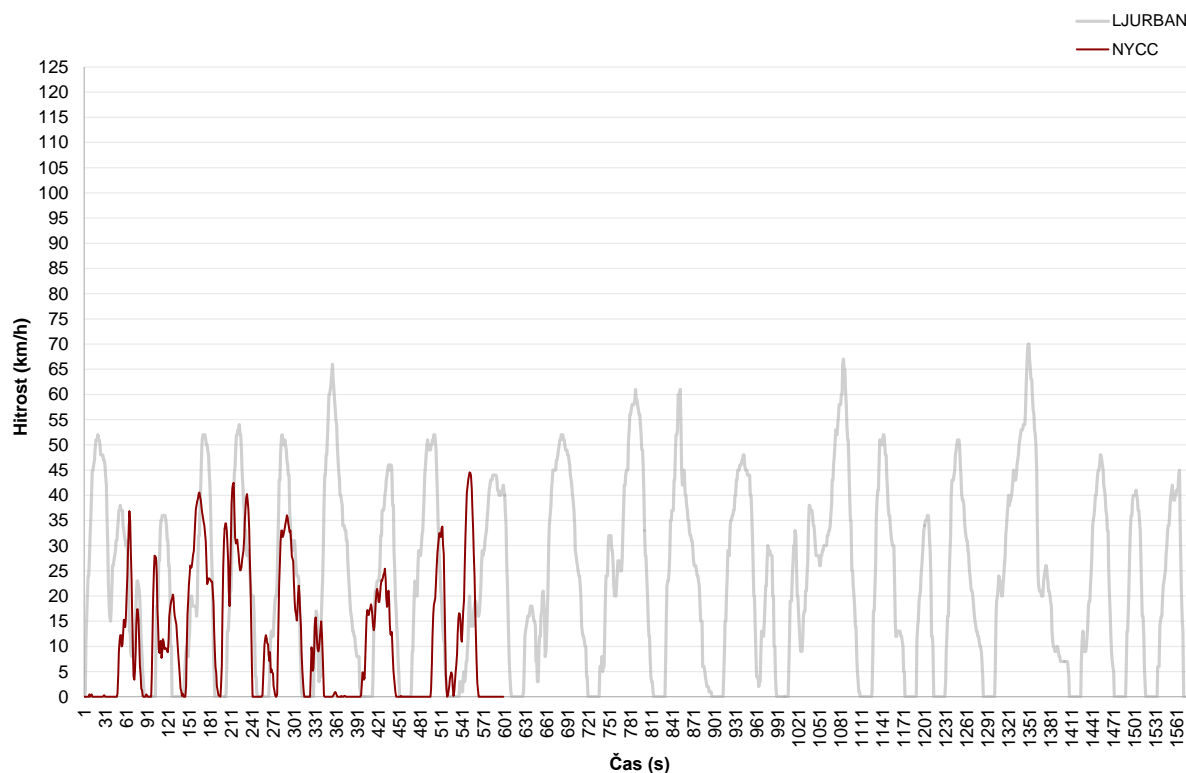
Grafikon 27: Primerjava voznega cikla NEDC in Urbanega voznega cikla Ljubljane



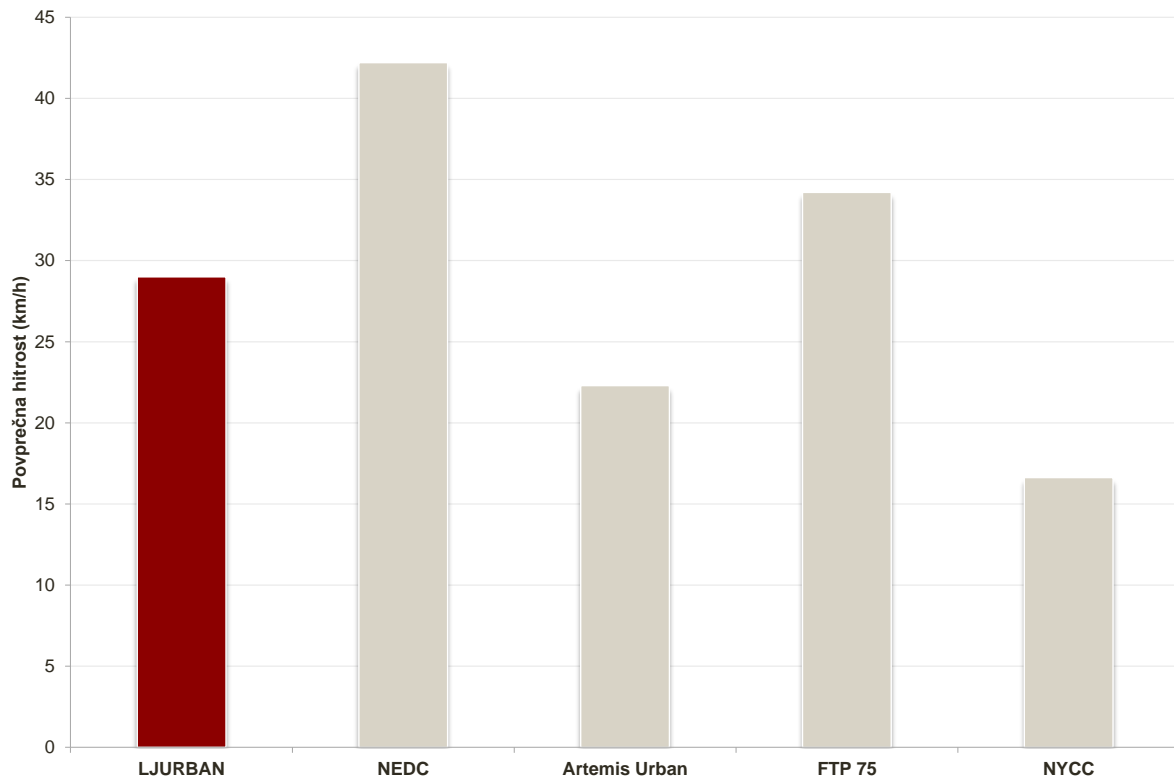
Grafikon 28: Primerjava urbanega voznega cikla Artemis Urban in Urbanega voznega cikla Ljubljane



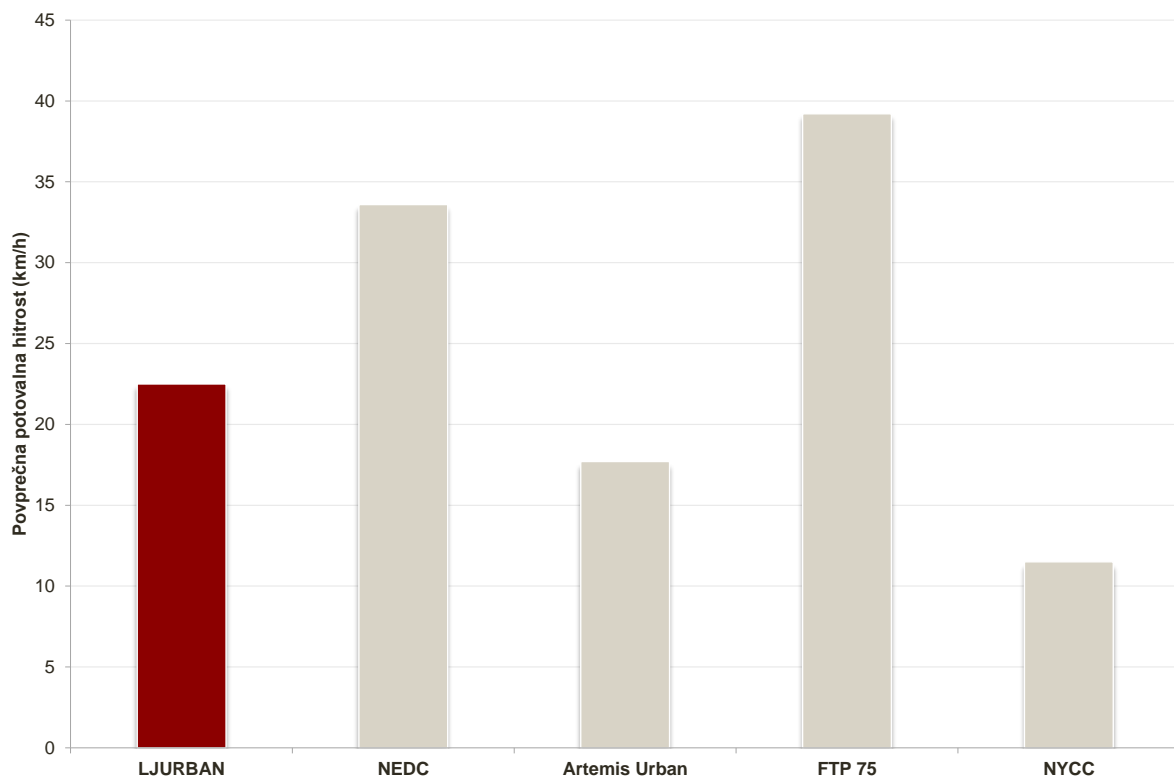
Grafikon 29: Primerjava voznega cikla FTP 75 in Urbanega voznega cikla Ljubljane



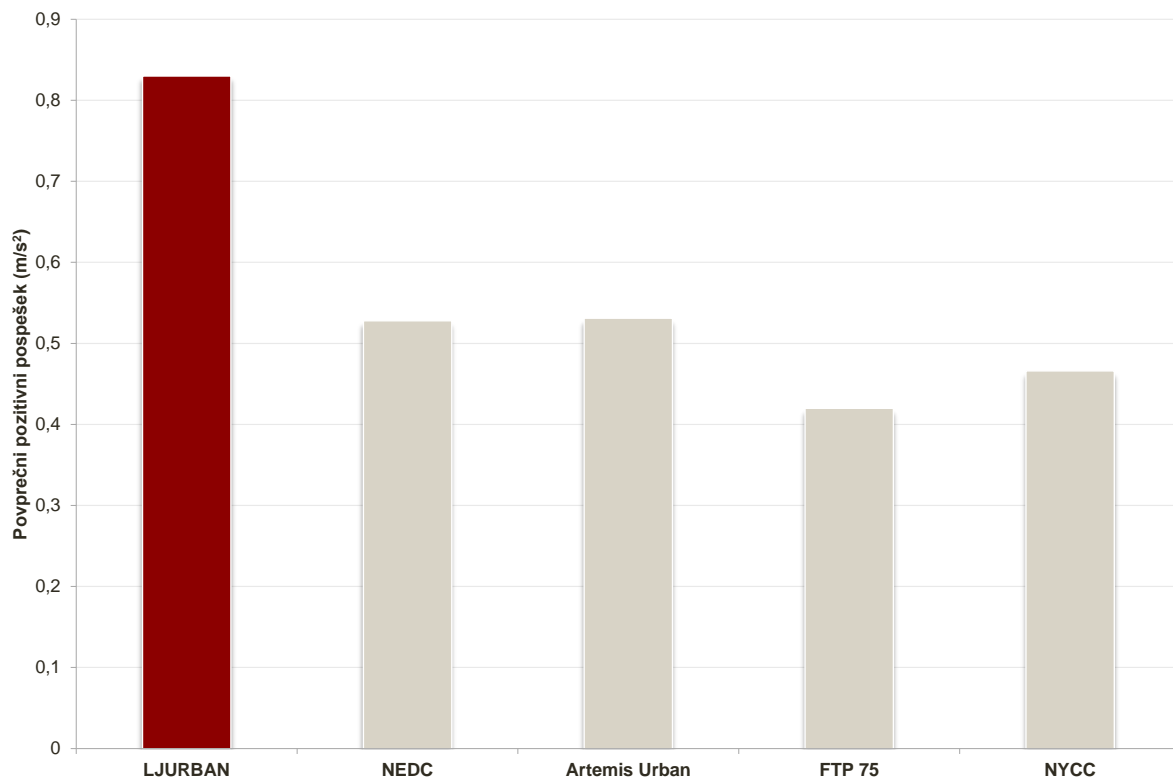
Grafikon 30: Primerjava urbanega voznega cikla NYCC in Urbanega voznega cikla Ljubljane



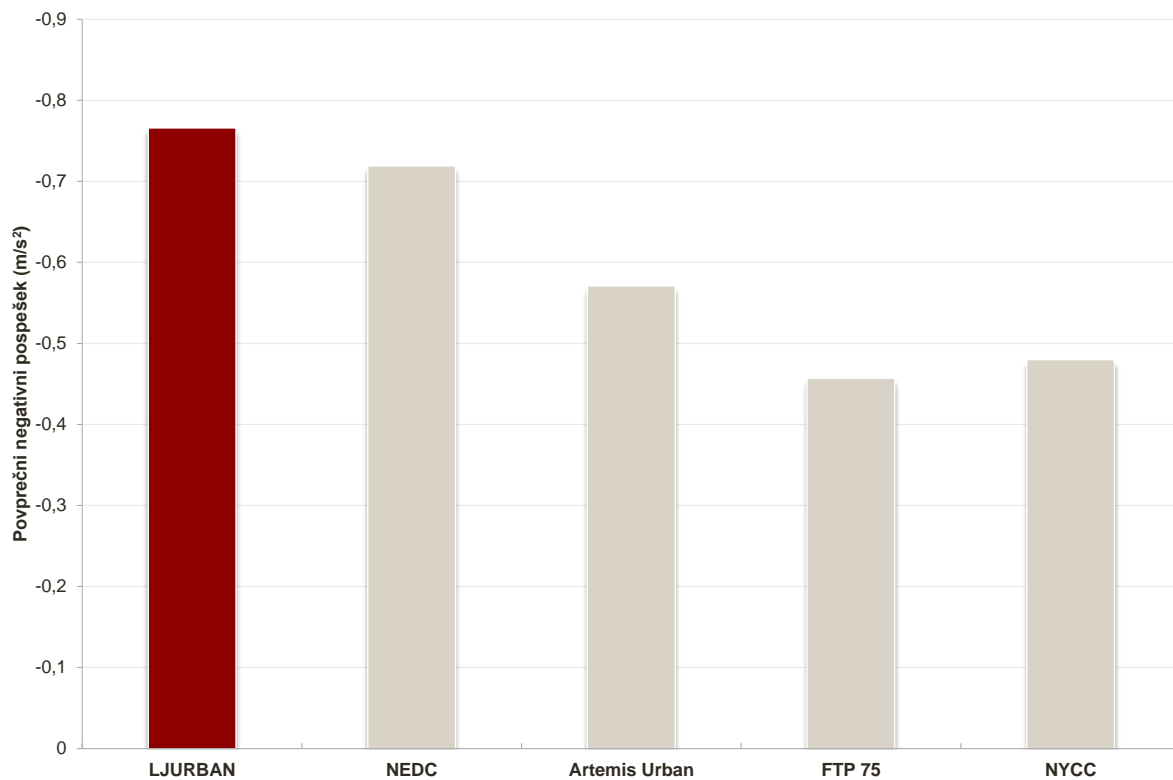
Grafikon 31: Primerjava povprečne hitrosti voznih ciklov



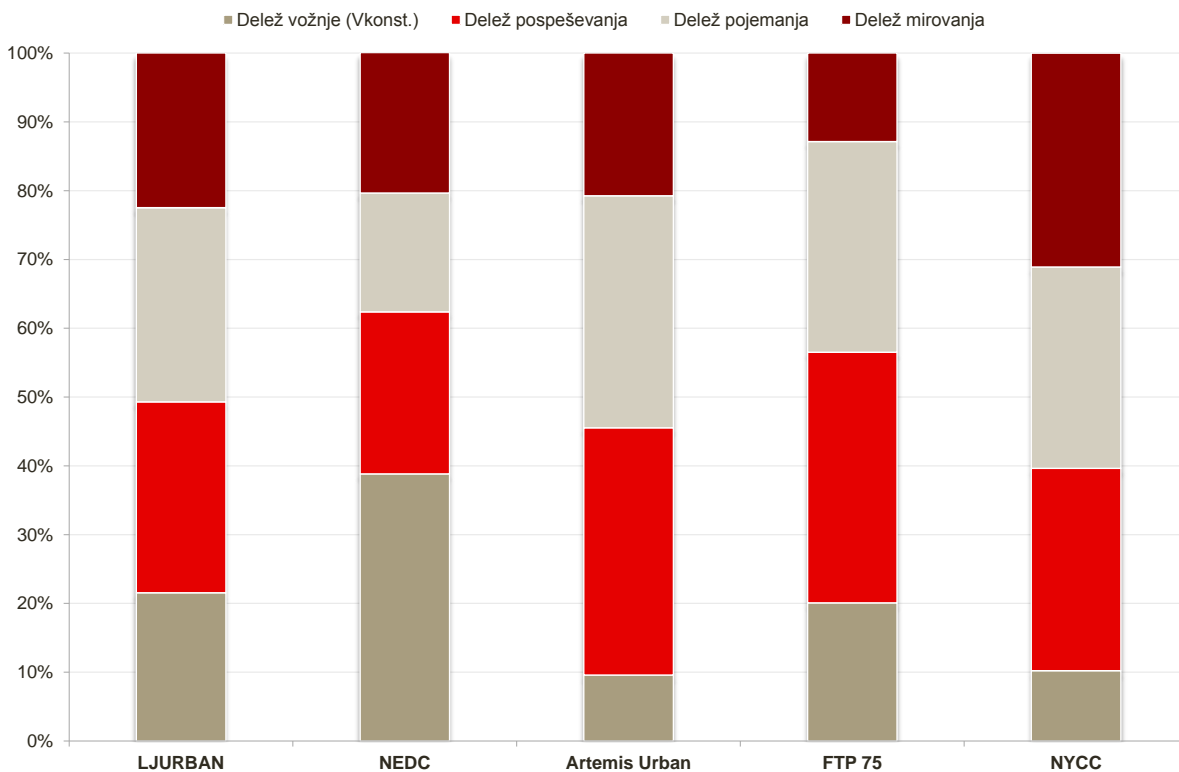
Grafikon 32: Primerjava povprečne potovalne hitrosti voznih ciklov



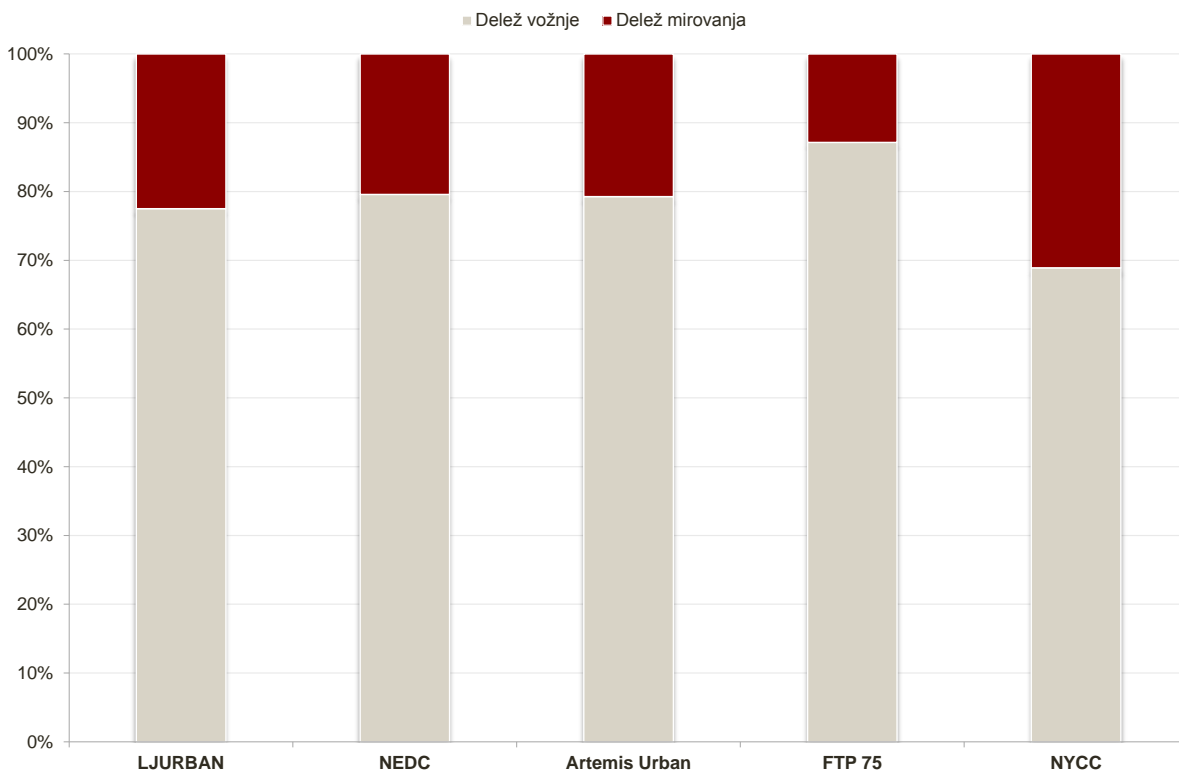
Grafikon 33: Primerjava povprečnega pozitivnega pospeška voznih ciklov



Grafikon 34: Primerjava povprečnega negativnega pospeška voznih ciklov



Grafikon 35: Primerjava deležev načina vožnje voznih ciklov



Grafikon 36: Primerjava deleža mirovanja in deleža vožnje voznih ciklov

8 VPLIV VOZNEGA CIKLA NA DOLOČANJE EMISIJ

8.1 Splošna enačba za oceno emisij

Vsota emisij posameznega polutanta cestnega prometa je izračunana kot produkt posebnega emisijskega faktorja in obsega prometne aktivnosti:

$$E = e a , \quad (13)$$

kjer je:

- E količina emisije;
- e emisijski faktor na posamezno enoto aktivnosti;
- a obseg prometne aktivnosti.

To enačbo lahko uporabimo za posamezno vozilo ali za celotni vozni park ter za eno samo cesto ali za omrežje cest.

Emisije cestnega prometa so bolj natančno določene z vsoto emisij pri vročem motorju, emisij pri hladnem motorju in emisij zaradi izhlapevanja:

$$E_{sum} = E_{vroč} + E_{start} + E_{izhlap} , \quad (14)$$

kjer je:

- E_{sum} celotna emisija;
- E_{hot} emisija pri vročem motorju;
- E_{start} emisija pri hladnem motorju;
- E_{izhlap} emisija pri izhlapevanju.

Vsaka od posameznih emisij je odvisna od emisijskega faktorja in enega ali več parametrov, ki se na nanašajo na delovanje vozila:

$$E_x = e_x a , \quad (15)$$

kjer je:

- E_x eden od prispevkov k celotni emisiji;
- e_x faktor, odvisen od aktivnosti;

a obseg prometne aktivnosti, relevantne za ta tip emisije.

Parametra e_x in a sta funkciji drugih spremenljivk. Emisijski faktor, $e_{vroč}$, za emisije pri vročem motorju je primarno izražen kot funkcija povprečne hitrosti vozila. Z modifikacijskimi faktorji lahko naredimo določene popravke glede na posamezne lastnosti (npr. obtežba vozila, nagib ceste itd.). V tem primeru je parameter a obseg aktivnosti obteženega vozila (prevoženi kilometri) pri določeni povprečni hitrosti na cesti z določenim nagibom. Ker se emisije pri hladnem motorju sproščajo samo na začetku potovanj, jih izrazimo kot količino, ki je odvisna od števila potovanj in ne od njihove dolžine. Emisijski faktor, e_{start} , je izračunan kot funkcija povprečne hitrosti vozila, temperature motorja, dolžine potovanja ter dolžine vožnje s hladnim motorjem. Aktivnost a predstavlja število potovanj. Emisije pri izhlapevanju se pojavijo na več različnih načinov. Bencinski hlapci iz posode za gorivo se pojavijo pri vsakem dolivanju goriva. Povečanje temperature čez dan povzroča raztezanje hlapov goriva in posledično uhajanje le-teh iz rezervoarja. Zaradi različnih načinov izhlapevanja uporabimo več različnih emisijskih faktorjev – e_{izhlap} . V splošnem so ti faktorji funkcija temperature okolja in hlapljivosti goriva. Ob tem pa je potrebno upoštevati še vrsto podatkov o aktivnosti, ki so funkcija prepotovane razdalje in število potovanj glede na temperaturo motorja na koncu potovanja (Hickman et al., 1999).

Zgoraj navedene principe izračuna lahko uporabimo za vse škodljive snovi in tipe vozil. Ob tem pa se pojavijo nekatere razlike med posameznimi razredi vozil. Med emisijami in karakteristikami vožnje se spreminjajo razmerja glede na polutant. Pri prometu, ki je sestavljen iz različnih tipov vozil, moramo seštevati emisije posameznih enotnih razredov vozil.

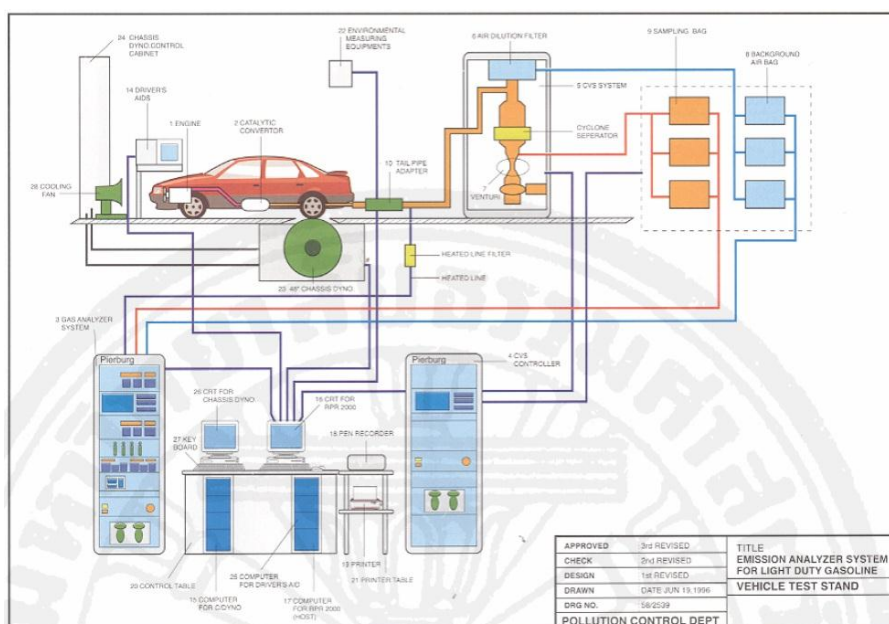
8.2 Uporaba voznih ciklov za merjenje emisij pri testnem postopku

Za določitev emisij izpušnih plinov vozila je pomembno obravnavati emisije glede na dejanske vzorce voženj. Emisije izpušnih plinov ogljikovega monoksida (CO), hlapnih organskih spojin (HOS), dušikovih oksidov (NO_x) in trdnih delcev so regulirane z direktivami EU. Testi emisij so nujno potrebni pri homologaciji novih vozil. Na območju Evropske unije so z zakonom zahtevani testi emisij za homologacijo vseh novih modelov lahkih tovornih vozil ter za motorje, ki so vgrajeni v težka tovorna vozila. Emisije izpušnih plinov so same po sebi precej spremenljive zato je najboljši način, da zagotovimo ponovljivost testa emisij, da ga opravimo v okviru standardiziranih laboratorijskih pogojih. Postopki za meritve in analizo polutantov so definirani v zakonodaji.

Pri testih, izvedenih v laboratorijskem okolju, postavimo vozilo na šasijski dinamometer tako, da so pnevmatike v stiku z valjarji. Te lahko prilagodim tako, da simulirajo odpor trenja in aerodinamični odpor. Nato sledi vzorčenje emisij izpušnih plinov med »vožnjo« po vnaprej definiranemu voznemu ciklu. Vozni cikel je točno določen razpored načina delovanja vozila, ki ga definira hitrost vozila kot funkcija časa. Test na šasijskem dinamometru izvaja usposobljen voznik in z nekaterimi pomagali skuša slediti vnaprej definiranemu voznemu ciklu tako, da je na koncu razlika med cikloma najmanjša ter znotraj predpisanih toleranc.



Slika 9: Osebno vozilo med testiranjem na šasijskem dinamometru (AVL, 2013)



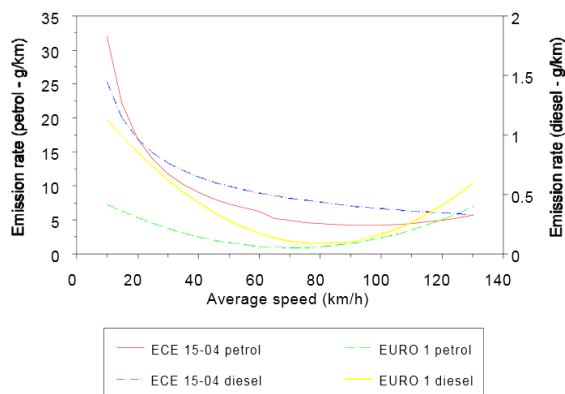
Slika 10: Shematični prikaz laboratorijske opreme za izvajanje meritev emisij (Tamsanya, 2008:

Ravni emisij so odvisne od velikega števila parametrov. Med njimi so tako parametri v povezavi z lastnostmi vozila (model, velikost, vrsta goriva, prevoženi kilometri) kot tudi operativni dejavniki (hitrost, pospeševanja, izbira prestav in nagib ceste). Zato imamo razvitih veliko število različnih voznih ciklov za vrsto različnih tipov vozil in različne načine voženj (Barlow et al., 2009).

Dinamika voznih ciklov vozil (spremembe povprečne hitrosti, pospeševanja, pojemanja in čas mirovanja) je pomembna pri določevanju emisij vozila. To lahko opazimo, če opazujemo dejanske vozne cikle, ki opisujejo dejansko vožnjo ter t. i. zakonodajne vozne cikle, ki so večinoma modalni vozni cikli. Jomuard et al. (2000) je testiral majhen vzorec vozil na dizelski in bencinski pogon z uporabo zakonodajnih voznih ciklov (NEDC, FTP 75, US Highway) ter dejanskih voznih ciklov (INRETS, Modem, Pure Modem Hyzem). Rezultati so pokazali, da se pri uporabi zakonodajnih voznih ciklov znatno podcenjuje vpliv vročih emisij v primerjavi z dejanskimi voznimi cikli.

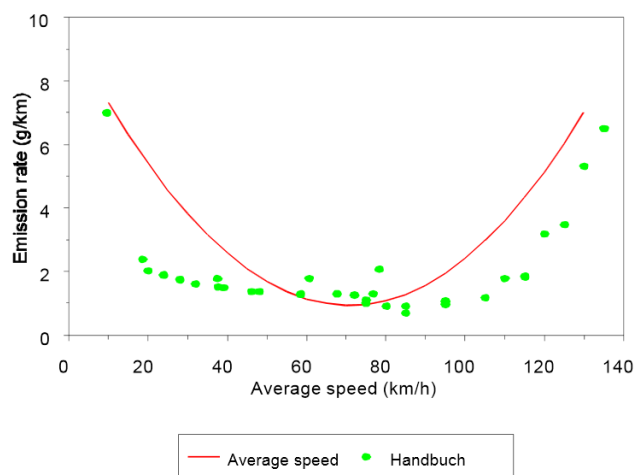
8.3 Vloga voznih ciklov v okviru modeliranja emisij

Na splošno poznamo tri osnovne modele za oceno emisij. Vsi emisijski modeli morajo upoštevati različne vrste faktorjev, ki vplivajo na emisije, čeprav se način in podrobnosti lahko bistveno razlikujejo. Eden najbolj splošnih pristopov temelji na principu, pri katerem se povprečni emisijski faktor za določen polutant ter tip vozila spreminja glede na povprečno hitrost med potovanjem. V tem primeru zvezno funkcijo emisij v odvisnosti od povprečne hitrosti prilagodimo emisijskim faktorjem, ki so bili izmerjeni za tipe vozil ter za različne vozne cikle, ki predstavljajo določeno vrsto vožnje. Navadno imamo visoke vrednosti emisij v območju majhnih povprečnih hitrosti (ustavljanja, speljevanja, mirovanja) in velikih hitrosti (zahteva po moči na motorju) ter majhne vrednosti emisij v območju srednjih hitrosti.



Grafikon 37: Emisije ogljikovega monoksida osebnega vozila kot funkcija povprečne hitrosti (Hickman et al., 1999: str. 33)

Meritve, na podlagi katerih pridobimo emisijske funkcije, so izvedene na šasijskem dinamometru. Povezavo med povprečno hitrostjo in emisijami določimo s primerjanjem rezultatov testiranja voznih ciklov pri različnih povprečnih hitrostih. Natančnost povezave je odvisna od reprezentativnosti voznega cikla. Običajno so zakonodajni vozni cikli zelo stilizirani in ne predstavljajo dejanske vožnje. Dejanski vozni cikli imajo večjo frekvenco prehodnega delovanja vozil (pospeševanje, pojemanje, mirovanje). V zvezi z modelom povprečne hitrosti obstaja veliko število omejitev. Ena izmed njih je nezmožnost upoštevanja stopenj delovanja vozil in obnašanja emisij pri določeni vrednosti povprečne hitrosti. To je zlasti pomembno pri vozilih na bencinskih pogon, ki so opremljena s sodobnim katalizatorjem. Ta vozila velik delež skupnih emisij proizvedejo v obliki zelo kratkih in intenzivnih intervalov, ki se pojavijo med prestavljanjem ter med obdobji hitrega pospeševanja. Emisijske funkcije glede na povprečno hitrost se uporablja predvsem za lokalne modele z namenom napovedovanja onesnaženosti zraka. Drug pristop se nanaša na prometne situacije. Za vsako prometno situacijo, polutant in tip vozila je določen edinstven emisijski faktor. Prometne situacije so definirane kvalitativno glede na kategorijo ceste in prometne razmere. Emisijski faktorji glede na prometne situacije imajo na splošno podoben vzorec kot faktorji, pridobljeni na podlagi povprečne hitrosti. Za območje Evrope je v uporabi baza emisijskih faktorjev Handbook of emission factors for road transport (HBEFA), ki zajema široko paleto prometnih situacij.



Grafikon 38: Primerjava med vrednostmi emisij CO na podlagi povprečne hitrosti in vrednostmi emisij baze HBEFA za srednje veliko vozilo na bencinski pogon EURO I (Hickman et. al, 1999: str. 35)

Alternativa tema dvema pristopoma, je trenutni oz. modalni model. Pri tem pristopu ne računamo povprečnih emisij na potovanje, ampak določimo emisijsko vrednost za vsako kombinacijo dveh spremenljivk v sekundnem intervalu. Ena izmed spremenljivk je trenutna

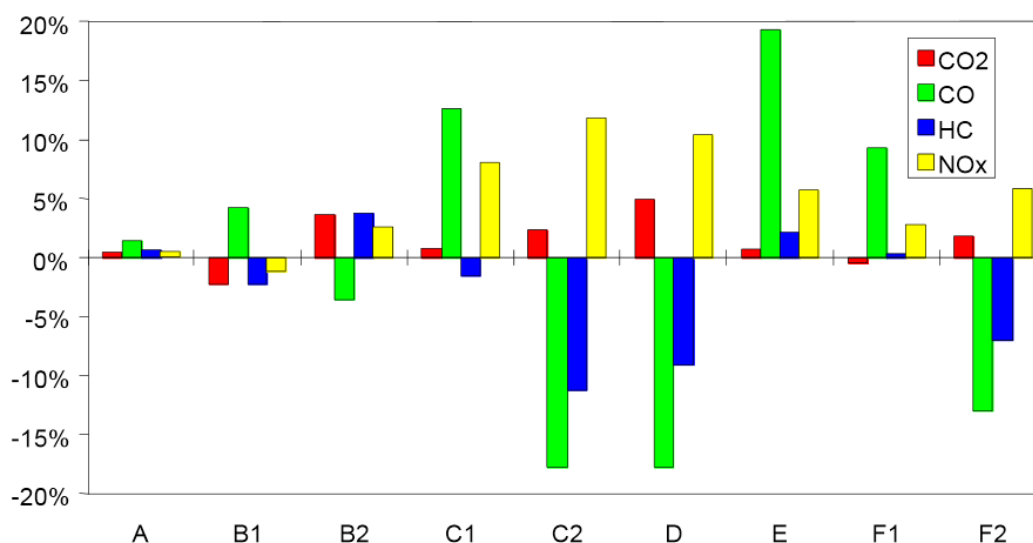
hitrost, druga pa vrednost pospeška ali pa produkt hitrosti in pospeška. Podatke za trenutne modele dobimo iz neprekinjenih meritev hitrosti in emisij. Na podlagi dveh spremenljivk, ki opisujejo načine delovanja vozila (hitrost in pospešek), tvorimo dvodimenzionalno matriko emisijskih faktorjev. Preglednica 36 prikazuje primer emisijske matrike, ki jo definirata hitrost in produkt hitrosti ter pospeška.

Preglednica 36: Emisijska matrika emisij CO (g/h) za srednje veliko vozilo EURO I na bencinski pogon (Hickman et. al, 1999: str. 35)

Speed x acceleration (m ² /s ³)	Speed (km/h)									
	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85
-15	-	-	66	56	63	69	59	76	92	115
-10	-	-	57	61	63	84	94	141	129	134
-5	-	53	53	73	85	102	130	204	194	325
0	33	59	74	116	123	131	196	193	274	152
5	-	142	163	192	192	207	275	263	350	211
10	-	-	274	301	295	357	330	454	403	275
15	-	-	-	469	568	603	779	706	1041	308

Uporaba modela zahteva uporabo voznih ciklov, ki so reprezentativni za dejanske prometne razmere, in integracijo emisijskih faktorjev, ki ustrezajo kombinaciji hitrosti ter produktu hitrosti in pospeška v sekundnem intervalu. Zato pri tem pristopu postane uporabna dinamika ciklov. Dinamiko ciklov v smislu kakovosti predstavlja agresivnost vožnje oz. obseg prehodnih načinov delovanja v vzorcu vožnje. Proučevan je bil širok spekter spremenljivk, da bi razumeli povezavo med dinamiko ciklov in emisijami (Barlow et al., 2009). Vpliv voznih ciklov na emisijsko matriko lahko proučimo na podlagi primerjave izmerjenih emisij in emisij, ocenjenih s pomočjo emisijskih matrik. Študija Hickman et. al (1999) je pokazala, da obstaja velika razlika v vrednosti emisij za dejanske vozne cikle, če primerjamo rezultate, pridobljene iz meritev emisij in rezultate, ocenjene z uporabo emisijskih matrik za stilizirane vozne cikle. Pri emisijskih matrikah je potrebno upoštevati podatke o emisijah na podlagi dejanskih vzorcev vožnje. Samo uporaba vrednosti emisij iz stiliziranih voznih ciklov je nezadostna. Izračune izboljšamo z vključitvijo pravih podatkov v matriko. To pomeni, da moramo za vožnje, ki imajo visoko stopnjo dinamičnosti, upoštevati emisijske matrike, ki ustrezajo voznim ciklom z visoko stopnjo dinamičnosti in obratno. Grafikon 39 prikazuje rezultate primerjave za dizel vozila. V primeru A je razlika majhna, saj v obeh primerih, pri merjenju in računanju emisij, uporabimo podatke iz stiliziranega cikla FTP 75. Nasprotno se večji odstotek napake izkaže npr. za C1 in C2, kjer so emisije dejanskih voznih ciklov CMS (City

Main Street) in CSS (City Secondary Street) izračunane na podlagi podatkov o emisijah, pridobljenih iz stiliziranega voznega cikla FTP 75 (Hickman et. al, 1999).



Grafikon 39: Razlika med izračunanimi in merjenimi emisijami, srednje velika vozila na bencinski pogon (Hickman et. al, 1999: str. 41)

V zadnjih letih je modalni model postal predmet raziskovanja zaradi visoke stopnje kompleksnosti in širine uporabnosti rezultatov tega modela.

8.3.1 Vpliv faktorjev na emisije

Trije parametri so neizogibni pri določanju relativne pomembnosti različnih faktorjev na emisije: tip goriva (dizel, bencin), emisijski standard in pogoji vožnje (vrsta vožnje, mestne ceste, podeželske ceste, avtoceste, glavne ceste in vozni cikli). Eden glavnih parametrov je raznolikost med vozili, razen za CO₂, za katerega so parametri in karakteristike vozila manj pomembni kot način vožnje oz. vozni cikel. Kar pomeni, da je razlika CO₂ med bencinskimi in dizelskimi avtomobili ter celo med različnimi emisijskimi standardi zelo majhna oziroma nepomembna. Razlike s strani voznih pogojev so lahko bolj pomembni kot razlike zaradi goriva (HC, CO₂) ali emisijskega standarda (NO_x, CO₂) oz. razlik med tipi vozil. Ta pogled nam pokaže pomembnost voznega cikla in vsesplošne vozne pogoje na emisije (André et al., 2006).

Preglednica 37: Vplivi posameznih faktorjev na emisije (André et al., 2006: str. 46)

CO (g/km)	CO ₂ (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Faktorji, ki pomembno vplivajo na emisije (podani so v padajočem zaporedju)			
Tip vozila	Vozni cikel	Tip vozila	Tip vozila
Vrsta goriva	Tip vožnje (Urb./pod./AC)	Emisijski standard	Vrsta goriva
Emisijski standard	Tip vozila	Tip vožnje (Urb./pod./AC)	Visoka/nizka motorizacija
Vozni cikel	Visoka/nizka motorizacija	Vozni cikel	Vozni cikel
Tip vožnje (Urb./pod./AC)	Emisijski standard	Vrsta goriva	Emisijski standard
Stanje onesnaževalca (normalno/visoko)	Cikel/podcikel	Niz podatkov	Tip vožnje (Urb./pod./AC)
Cikel/podcikel		Visoka/nizka motorizacija	
Faktorji, ki nimajo pomembnejšega vpliva na emisije			
Visoka/nizka motorizacija		Stanje onesnaževalca (normalno/visoko)	Cikel/podcikel
Niz podatkov	Vrsta goriva	Cikel/Pod cikel	Stanje onesnaževalca (normalno/visoko)
	Niz podatkov		Niz podatkov
	Stanje onesnaževalca (normalno/visoko)		

André et al. (2006) so v sklopu študije opazovali tudi vpliv pomembnejših kinematičnih parametrov, ki opisujejo vozni cikel, na emisije. Ker ima vrsta goriva velik vpliv na emisije, so v Preglednicah 38 in 39 parametri podani glede na bencinski oziroma dizelski pogon.

Preglednica 38: Pomembni kinematični parametri in njihov vpliv na emisije za vozila na dizelski pogon
(André et al., 2006: str. 51)

	CO (g/km)	CO₂ (g/km)	HC (g/km)	NO_x (g/km)
Urbana vožnja				
Visoke emisije	V (80–100 km/h)	Stop/km	Stop/km	Čas mirovanja v %
	V (60–80 km/h)	Čas mirovanja v %	Čas mirovanja v %	Stop/km
	V (60–80 km/h) A (< -1,4 m/s ²)	Pospeševanj/km	Pospeševanj/km	Močnih pospeševanj/km
	Stop/km	V (< 20 km/h)	Povprečni negativni pospešek	Standardni odklon pospeševanja
	V (40–60 km/h) A (> 1 m/s ²)	Močnih pospeševanj/km	V (< 20 km/h) A (-0,2 – 0,2 m/s ²)	Povprečni pozitivni pospešek
	V (40–60 km/h) A (< -1,4 m/s ²)			V (< 20 km/h)
			Pospeševanj/km	
Povprečne emisije	V (40–60 km/h)	Pozitivna kinetična energija	Pozitivna kinetična energija	Razdalja (m)
	A (0,2 – 0,6 m/s ²)	Razdalja (m)	A (-1,4 – -0,6 m/s ²)	A (-0,2 – 0,2 m/s ²)
Nizke emisije	A (0,6 – 1,0 m/s ²)	V (40–60 km/h)	A (0,6 – 1,0 m/s ²)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)
	Razdalja (m)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)	V (40–60 km/h)
		V (40–60 km/h)	V (20–40 km/h)	V (20–40 km/h)
		Povprečna hitrost (km/h)	Povprečna hitrost (km/h)	Povprečna hitrost (km/h)
Avtocestna vožnja				
Visoke emisije	V (20–40 km/h)	Maksimalna hitrost		Maksimalna hitrost
	V (40–60 km/h)	Povprečna hitrost (km/h)		V (> 140 km/h)
	Čas mirovanja v %	Povprečna potovalna hitrost (km/h)		Povprečna potovalna hitrost (km/h)
	V (< 20 km/h)	V (120–140 km/h)		Povprečna hitrost (km/h)
	Stop/km	V (> 140 km/h)		Pozitivna kinetična energija
	V (60–80 km/h)	Pozitivna kinetična energija		V (120–140 km/h)
	Pospeševanj/km	Standardni odklon hitrosti		V (> 140 km/h) A (> 1 m/s ²)
	A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	V (100–120 km/h)		V (120–140 km/h) A (> 1 m/s ²)
	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	Razdalja (m)		Standardni odklon hitrosti
Povprečne emisije	Maks. hitrost	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	V (100–120 km/h) A (> 1 m/s ²)	Povprečni negativni pospešek
	V (120–140 km/h)	Povprečni negativni pospešek		Povprečni pozitivni pospešek
	Povprečna potovalna hitrost (km/h)	V (60–80 km/h)		A (-0,6 do -0,2 m/s ²)
	Povprečna hitrost (km/h)	Pozitivna kinetična energija		A (-0,2 do 0,2 m/s ²)
		A (-0,6 do -0,2 m/s ²)		V (60–80 km/h)

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 38

Nizke emisije		V (80–100 km/h)		V (80–100 km/h)	
	Podeželska vožnja				
	A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	Standardni odklon pospeška	Stop/km	Standardni odklon pospeška	
	V (20–40 km/h)	A (> 1 m/s ²)	V (20–40 km/h)	A (>1 m/s ²)	
	Stop/km	Močnih pospeševanj/km	V (<20 km/h)	Močnih pospeševanj/km	
	Močnih pospeševanj/km	Čas mirovanja v %	A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	Čas mirovanja v %	
Visoke emisije	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	A (< -1,4 m/s ²)	Čas mirovanja v %	A (< -1,4 m/s ²)	
	V (<20 km/h)	Povprečni pozitivni pospešek	Močnih pospeševanj/km	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	
	Čas mirovanja v %	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	Pospeševanj/km	Povprečni pozitivni pospešek	
	A (< -1,4 m/s ²)	Stop/km	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	Stop/km	
		V (20–40 km/h)	Standardni odklon pospeška	V (20–40 km/h)	
		V (< 20 km/h)	Povprečni pozitivni pospešek	V (< 20 km/h)	
			Pospeševanj/km	Pospeševanj/km	
		V (60–80 km/h)	Maksimalna hitrost	Razdalja (m)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)
		A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	V (80–100 km/h)	V (80–100 km/h)	A (-0,6 do -0,2 m/s ²)
Povprečne emisije	V (100–120 km/h) A (0,6 do 1,0 m/s ²)	V (60–80 km/h)	Pozitivna kinetična energija	V (60–80 km/h)	
	V (80–100 km/h) A (-0,6 do -0,2 m/s ²)	A (-0,6 do -0,2 m/s ²)	V (60–80 km/h)	Povprečna hitrost (km/h)	
	Povprečna potovalna hitrost (km/h)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)	Maksimalna hitrost	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	
	Povprečna hitrost (km/h)	Povprečna hitrost (km/h)	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	Povprečni negativni pospešek	
		A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)		
		Povprečni negativni pospešek	Povprečna hitrost (km/h)		
Nizke emisije					

Legenda

V (80–100 km/h)	delež časa pri hitrosti med 80–100 km/h
A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	delež časa pri pospeških od -0,2 do 0,2 m/s ²
V (80–100 km/h)	delež časa pri hitrosti med 80–100 km/h in pospeških od -0,6 do -0,2 m/s ²
A (-0,6 do -0,2 m/s ²)	

Iz Preglednice 38 lahko za dizelska vozila sklepamo naslednje:

Urbani način vožnje:

- vrednosti emisij za vsak polutant naraščajo s frekvenco zaustavitev (za 20–35 %, v primerjavi s povprečnimi vrednostnimi) ter s časom mirovanja v povezavi z nizko hitrostjo (za od 35 % do 70 %, 40 % za CO₂);
- vse vrednosti emisij se zmanjšajo z naraščanjem hitrosti (–25 % do –35 %), z izjemo emisije CO, ki je zelo občutljiva na pojav visokih hitrosti (okrog 60–100 km/h);
- NO_x in CO₂ narastejo za 22 % in 27 %, odnosno s frekvenco pospeševanj, ter za 40 % in 34 % s pojavom močnih pospeševanj (André et al., 2006).

Vožnja na hitri cesti in glavnih cestah:

- dizel NO_x in CO₂ emisije so občutljive na visoke hitrosti (+40 % in +12 %) in variabilnost hitrosti ter se zmanjšajo pri srednjih hitrostih (60–100 km/h);
- CO se poveča s pojavom srednjih hitrosti, pospeševanj (+75 %) ter je nizek pri visoki hitrosti (okrog 120–140 km/h, –27 %) (André et al., 2006).

Vožnja na podeželskih cestah:

- vrednost dizelskih emisij vseh polutantov se poveča (za 20–40 % in s faktorjem 2 za CO) s frekvenco zaustavitev in trajanjem (povezanim z nizkimi hitrostmi okoli 20–40 km/h);
- emisije se zmanjšajo z naraščanjem hitrosti (–20 % do –40 %) in povečajo za 20–50 % s pospeševanji (povprečni pozitivni pospešek, standardna deviacija, frekvenca pospeševanja);
- emisija CO je občutljiva na močna pospeševanja/pojemanja (faktor 2–3) (André et al., 2006).

Preglednica 39: Pomembni kinematični parametri in njihov vpliv na emisije za vozila na bencinski pogon (André et al., 2006: str. 52)

	CO (g/km)	CO ₂ (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Urbana vožnja				
Visoke emisije	V (60–80 km/h)	Stop/km	Standardni odklon pospeševanj	V (< 20 km/h) A (> 1 m/s ²)
	V (80–100 km/h)	Čas mirovanja v %	Standardni odklon hitrosti	Močnih pospeševanj/km
	V (40–60 km/h) A (> 1 m/s ²)	Pozitivna kinetična energija	A (> 1 m/s ²)	A (-1,4 do -0,6 m/s ²)
	V (40–60 km/h) A (< -1,4 m/s ²)	Pospeševanj/km	V (80–100 km/h)	V (< 20 km/h) A (-1,4 do -0,6 m/s ²)
	Pozitivna kinetična energija	Močnih pospeševanj/km	V (60–80 km/h)	
	V (20–40 km/h) A (> 1 m/s ²)	V (< 20 km/h)	Povprečni pozitivni pospešek	
	A (> 1 m/s ²)		Čas mirovanja v %	
	A (< -1,4 m/s ²)			
Povprečne emisije		Standardni odklon hitrosti		
		razdalja (m)	A (-0,2 do 0,6 m/s ²)	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)
		V (40–60 km/h)	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	
		V (20–40 km/h)		
		Povprečna hitrost (km/h)		
Nizke emisije		Povprečna potovalna hitrost (km/h)		
Avtocestna vožnja				
Visoke emisije	V (> 140 km/h) A (0,6 do 1,0 m/s ²)	Maksimalna hitrost	V (> 140 km/h) A (> 1 m/s ²)	V (40–60 km/h) A (-0,6 do -0,2 m/s ²)
	V (> 140 km/h)	V (> 140 km/h) A (-0,2 +0,2 m/s ²)	V (> 140 km/h) A (0,6 do 1,0 m/s ²)	V (60–80 km/h) A (< -1,4 m/s ²)
	V (> 140 km/h) A (> 1 m/s ²)	V (> 140 km/h)		
	V (120–140 km/h) A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	Povprečna potovalna hitrost (km/h)		
	V (> 140 km/h) A (0,2 do 0,6 m/s ²)	Povprečna hitrost (km/h)		
	V (> 140 km/h) A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	Pozitivna kinetična energija		
	V (120–140 km/h) A (< -1,4 m/s ²)	V (120–140 km/h)		
Maksimalna hitrost	Standardni odklon hitrosti			
Povprečna potovalna hitrost (km/h)	Razdalja (m)			
Povprečna hitrost (km/h)				
Standardni odklon hitrosti				

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 39

Povprečne emisije	V (80–100 km/h)	Pozitivna kinetična energija		
	V (80–100 km/h) A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	V (60–80 km/h)		
	Pozitivna kinetična energija	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)		
	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	A (-0,6 do -0,2 m/s ²)		
		V (80–100 km/h)		
Nizke emisije				
Podeželska vožnja				
Visoke emisije	V (20–40 km/h) A (> 1 m/s ²)	Standardni odklon pospeška	A (> 1 m/s ²)	Močnih pospeševanj/km
	V (60–80 km/h) A (-1,4 do -0,6 m/s ²)	Močnih pospeševanj/km	V (40–60 km/h) A (> 1 m/s ²)	Standardni odklon pospeška
	A (0,2 do 0,6 m/s ²)	A (> 1 m/s ²)	Standardni odklon pospeška	A (> 1 m/s ²)
	V (60–80 km/h) A (> 1 m/s ²)	Stop/km	Povprečni pozitivni pospešek	Čas mirovanja v %
	Standardni odklon hitrosti	Povprečni pozitivni pospešek	Močnih pospeševanj/km	A (< -1,4 m/s ²)
	Pospeševanj/km	Čas mirovanja v %	Pospeševanj/km	A (0,6 do 1,0 m/s ²)
	A (> 1 m/s ²)	A (0,6 do 1,0 m/s ²)	V (20–40 km/h) A (0,2 do 0,6 m/s ²)	Povprečni pozitivni pospešek
	Pozitivna kinetična energija	V (< 20 km/h)	Čas mirovanja v %	Stop/km
	Standardni odklon pospeška	V (20–40 km/h)		V (20–40 km/h)
		Pospeševanj/km		V (< 20 km/h)
Povprečne emisije		Standardni odklon hitrosti		Pospeševanj/km
	Pozitivna kinetična energija	Pozitivna kinetična energija	Povprečni negativni pospešek	Maksimalna hitrost
	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	A (-0,6 do -0,2 m/s ²)	A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	V (80–100 km/h)
		Maksimalna hitrost		Povprečna potovalna hitrost (km/h)
		V (80–100 km/h)		Povprečna hitrost (km/h)
		V (60–80 km/h)		Povprečni negativni pospešek
		Povprečna potovalna hitrost (km/h)		A (-0,2 do 0,2 m/s ²)
Nizke emisije		Povprečni negativni pospešek		
		Povprečna hitrost (km/h)		
		A (-0,2 do 0,2 m/s ²)		

Legenda

V (80–100 km/h)	delež časa pri hitrosti med 80–100 km/h
A (-0,2 do 0,2 m/s ²)	delež časa pri pospeških od -0,2 do 0,2 m/s ²
V (80–100 km/h)	delež časa pri hitrosti med 80–100 km/h in pospeških od -0,6 do -0,2 m/s ²
A (-0,6 do -0,2 m/s ²)	

Iz Preglednice 39 lahko za bencinska vozila sklepamo naslednje:

Urbani način vožnje:

- vse vrednosti emisij, razen NO_x , se povečajo za 15–30 % (faktor 2 za CO) s parametri pospeševanja (povprečni pospešek, pojav močnega pospeševanja);
- emisije CO in HC so občutljive na visoke hitrosti (60–100 km/h) in močna pospeševanja;
- CO_2 in HC se poveča za 30–40 % s časom zaustavitve in frekvenco, vse emisije, razen CO, se zmanjšajo z naraščanjem hitrosti (za -20 % do -30 %) (André et al., 2006).

Vožnja na hitri cesti in glavnih cestah:

- vrednosti emisij vseh polutantov za bencinske motorje so občutljive na pospeševanja pri veliki hitrosti. CO_2 in CO so visoke (+13 % in +50 %) pri visokih hitrostih (120–140 km/h in več) in nizke pri srednjih hitrostih (60–100 km/h) (André et al., 2006).

Vožnja na podeželskih cestah:

- kot pri urbanih so vse bencinske emisije močno občutljive na parametre pospeševanja: CO_2 , HC in NO_x narastejo za 20–50 % s povprečnim pospeševanjem in frekvenco pospeševanja. CO_2 , HC in NO_x narastejo s trajanjem zaustavitve in frekvenco (za 20–50 %); CO_2 in NO_x se znižajo, ko hitrost naraste (-13 % in -32 %) (André et al., 2006).

Na podlagi teh ugotovitev lahko sklepamo:

- za avtocestno vožnjo so najbolj značilni kinematični parametri visoke hitrosti ($V > 140$ km/h, V 120–140 km/h), veliki pospeški pri visokih hitrostih, hitrostni razredi (maksimalna hitrost, povprečna hitrost, potovalna hitrost) ter njena variabilnost (standardna deviacija hitrosti);
- za podeželsko vožnjo so to pojavi visokih in nizkih hitrosti (V 100–120 km/h, $V < 20$ km/h, V 20–40 km/h), frekvenca zaustavitev, pospeševanja in močna pospeševanja, pojavi visokih pospeškov/pojemkov, čas mirovanja, v večini primerov standardna deviacija pospeševanja in včasih povprečni pozitivni pospešek;
- za mestno vožnjo pa so najbolj opazovani parametri pojav nizkih hitrosti ($V < 20$ km/h, V 20–40 km/h), frekvence zaustavitev, pospeševanja in močna pospeševanja, pojav visokih pospeškov in pojemkov, čas zaustavitve (%) ter včasih standardna deviacija in povprečni pozitivni pospešek (André et al., 2006).

Analiza emisij v sklopu študije ARTEMIS (André et al., 2006) je pokazala prevladujoč vpliv voznega cikla za večino emisij. Najbolj pogosto dobimo najboljše ujemanje med opazovanimi in napovedanimi emisijami s porazdelitvijo trenutne hitrosti in pospeška, med tem ko model, ki temelji samo na povprečni hitrosti, ne more napovedati obnašanja emisij, povzročena z dinamiko ciklov.

Preglednica 40: Prikaz razlike v emisijah in porabi goriva glede na povprečne vrednosti hitrosti in porazdelitev hitrosti (André et al., 2006: str. 52)

EURO1, vozila na bencinski pogon s trismernim katalizatorjem, 1,4–2 l		Povprečna hitrost (km/h)	Emisije (g/km)		
			Na osnovi povprečne hitrosti	Na osnovi hitrostne porazdelitve	Razlika (%)
Emisije CO	Urbano območje	20	5,5	4,7	-14
	Podeželske ceste	58	1,2	1,6	+30
	Hitra cesta	120	5,1	6,2	+20
Poraba goriva	Urbano območje	20	96	92	-4
	Podeželske ceste	58	49	51	+4
	Hitra cesta	120	65	73	+12

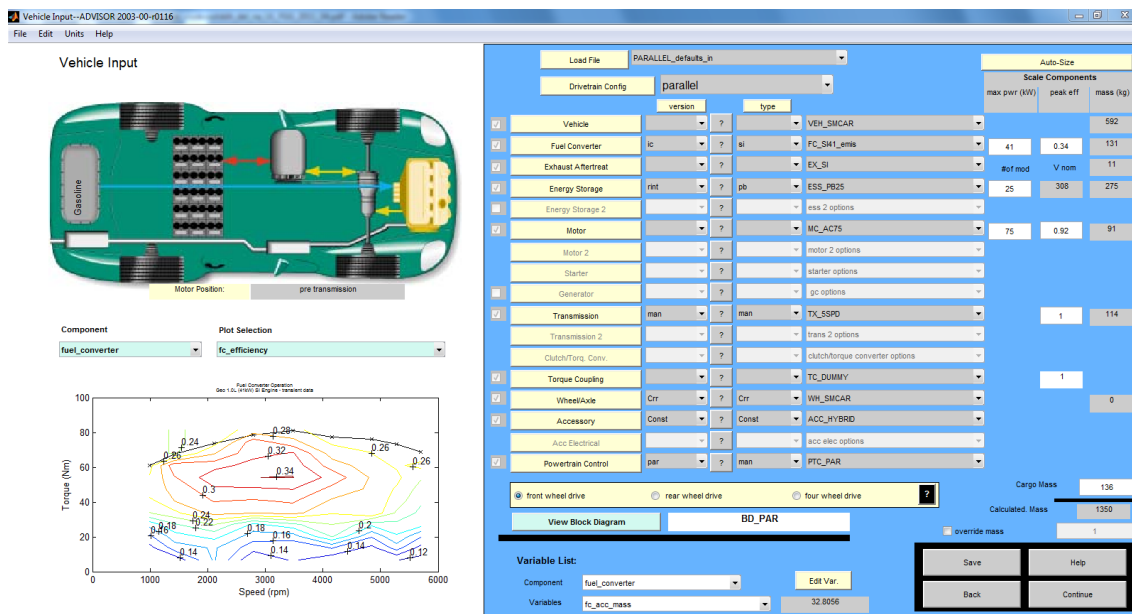
9 IZRAČUN EMISIJ S POMOČJO PROGRAMA ADVISOR

V tem poglavju smo pridobljeni vozni cikel LJURBAN preizkusili s programom ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) in izračunali vrednosti emisij. Naredili smo tudi primerjavo med izračunanimi vrednostmi emisij za vozni cikel LJURBAN in ostalimi voznimi cikli, ki so podrobno predstavljeni v tretjem poglavju diplomskega dela. Na koncu smo proučili primernost uporabe novega voznega cikla za določanje vrednosti emisij v primerjavi z ostalimi voznimi cikli.

9.1 Predstavitev programa ADVISOR

Prva različica programa Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) je bila razvita novembra 1994 v Nacionalnem laboratoriju za obnovljive vire energije v ZDA. Prvotno je bil namenjen podpori pri razvijanju tehnologij za hibridna električna vozila. Njegova glavna vloga je bila prikazati medsebojni vpliv komponent hibridnega in električnega vozila na sistemski ravni in njihov vpliv na delovanje vozila ter porabo goriva. Od prve predstavitve je program doživel več posodobitev, ki so dostopne uporabnikom na spletu. ADVISOR Ver. 3.2 je zadnja različica programske opreme. ADVISOR je orodje, ki deluje na principu osnovnih zakonitosti dinamike vozil ter podatkov, ki jih uporabnik poda glede karakteristik in zmogljivosti vozila.

Program deluje v programskem okolju MATLAB/Simulink. MATLAB nudi uporabniku prijazno programsko okolje na osnovi matrik za izvajanje izračunov. Simulink pa služi grafični predstavitvi kompleksnih sistemov z uporabo blok diagramov (Markel et. al, 2002). Uporabniki upravljajo s programom prek treh osnovnih zaslonov grafičnega uporabniškega vmesnika. V prvem oknu uporabnik določi vhodne podatke, ki definirajo karakteristike vozila, namenjenega testiranju. Na voljo imamo široko paleto parametrov, ki jih nastavimo glede na želje oz. zahteve. Končne nastavitve vozila lahko shranimo za kasnejše namene testiranja.



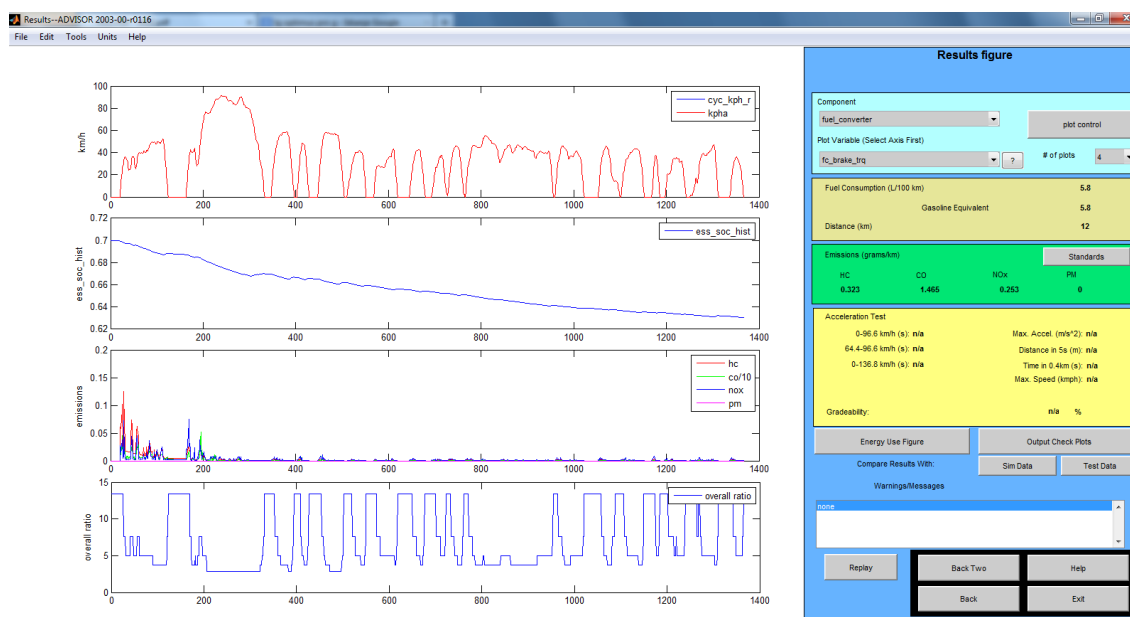
Slika 11: Okno za vnos vhodnih podatkov (ADVISOR, 2013)

Drugo uporabniško okno je namenjeno nastavitvam simulacije. Uporabnik določi vozni cikel, na podlagi katerega bo izvedena simulacija. Program omogoča hkratno simulacijo več različnih voznih ciklov. Vozni cikli so vnaprej shranjeni v sistemskih datotekah programa, vendar program omogoča tudi naknaden vnos lastnih voznih ciklov. Ob izbiri voznega cikla se nam levo izrisujejo časovni grafi hitrosti, ki definirajo posamezen vozni cikel. Po končani nastavitvi parametrov simulacije lahko s klikom na gumb »run« zaženemo simulacijo, ki nam nato v tretjem uporabniškem oknu izpiše rezultate v tekstovni in grafični obliki.



Slika 12: Okno za nastavitve simulacije (ADVISOR, 2013)

Okno z rezultati simulacije omogoča uporabniku pregled delovanja vozila skozi celotni vozni cikel in na kateri koli točki v voznem ciklu. Na desni strani okna je prikazan povzetek rezultatov kot sta poraba goriva in količina emisij. Na levem delu pa so podrobno prikazani časovno odvisni grafi. Z uporabo padajočega menija lahko izbiramo med širokim naborom parametrov, ki so predmet našega interesa.



Slika 13: Okno za prikaz rezultatov simulacije (ADVISOR, 2013)

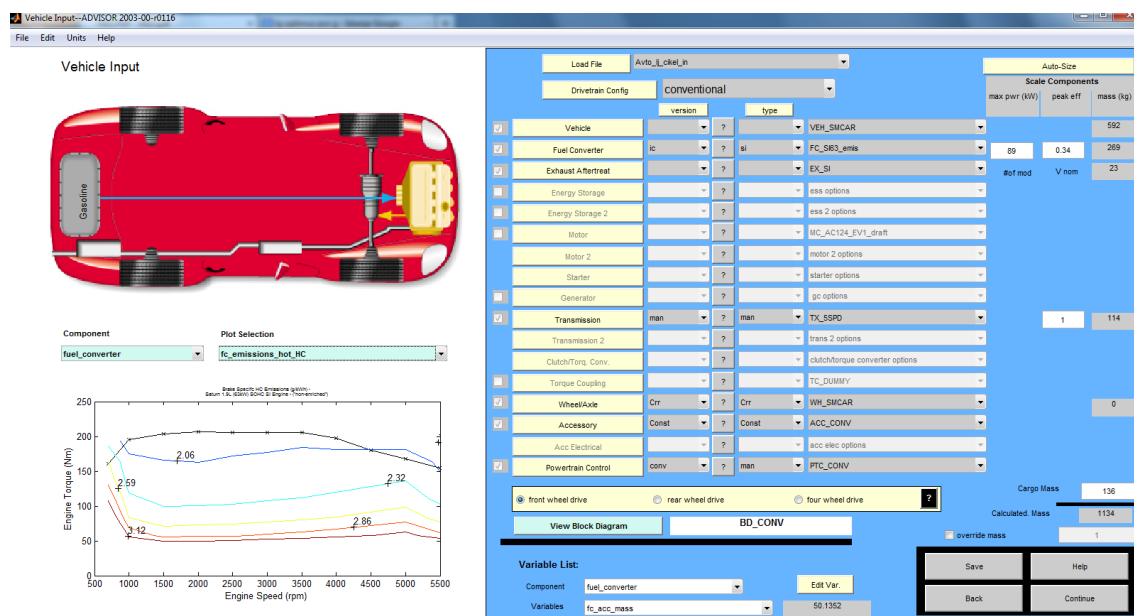
Program ADVISOR inženirjem zagotavlja enostavno uporabo in prilagodljivost ter omogoča podrobno analizo delovanja vozil.

9.2 Simulacija emisij s programom ADVISOR

Da bi proučili vpliv voznega cikla LJURBAN in ostalih voznih ciklov na emisije in porabo goriva, smo s pomočjo programa ADVISOR izvedli simulacije testiranja emisij in porabe goriva.

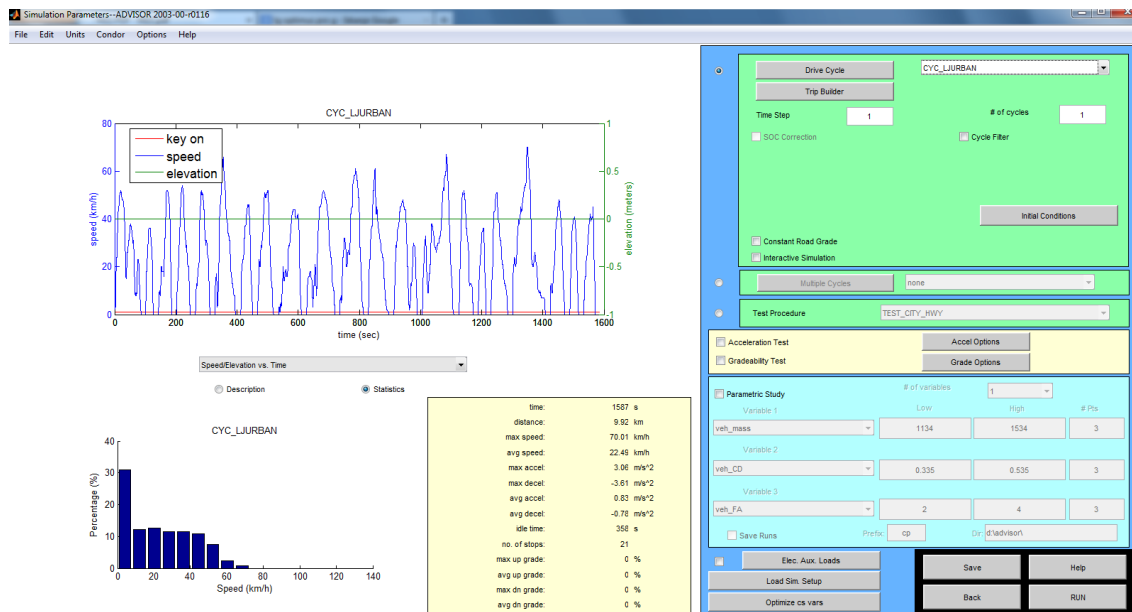
Najprej smo določili vhodne podatke za izbrani tip vozila. Za testiranje smo si izbrali osebno vozilo na konvencionalen pogon srednje velikosti, primerno za vsakodnevno uporabo v mestnem območju. Ker nismo imeli posebnih zahtev glede karakteristik motorja, smo privzeli že v programu prednastavljen tip motorja. Sam postopek integriranja podatkov o motorju po lastni izbiri je zelo zahteven, saj zahteva od uporabnika natančne podatke glede porabe goriva ter emisijskih map. Naknadno je bila samo povečana moč motorja, in sicer na 89 kW. Vozilo ima pogon na sprednji par koles ter ročni menjalnik. Izbrali smo tudi konstanten

koeficient modela kotalnega upora. Na Sliki 14 so prikazani izbrani vhodni podatki ter shematski prikaz izbranega vozila z grafom odvisnosti navora od obratov motorja.

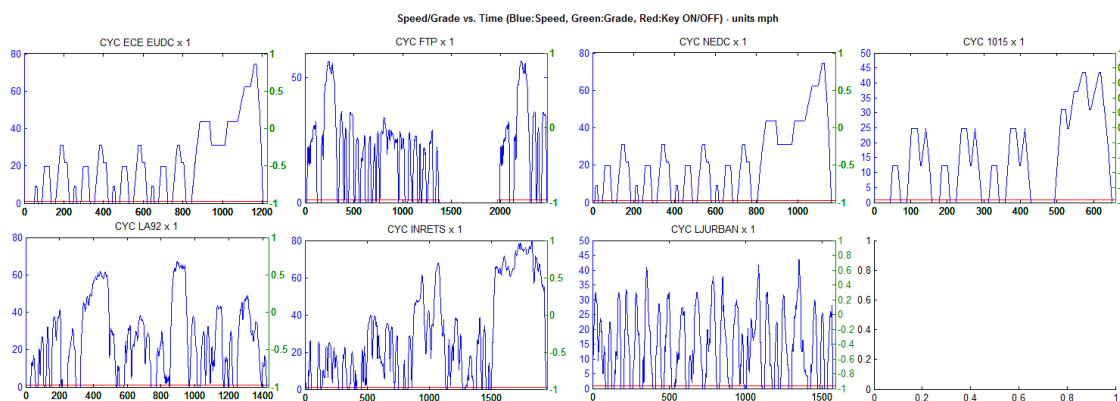


Slika 14: Vhodni podatki – karakteristike vozila za izvedbo simulacije emisij in porabe goriva

Sledil je drugi korak, v katerem izberemo vozne cikle in definiramo začetne pogoje za izvedbo simulacije. Ker smo želeli narediti primerjavo emisij ostalih voznih ciklov z voznim ciklom LJURBAN, smo se odločili za izbiro načina »Multiple cycles«. Ta na način omogoča istočasno simulacijo do 8 voznih ciklov. Poleg voznega cikla LJURBAN smo izbrali še naslednje vozne cikle za primerjavo: ECE + EUDC, NEDC, FTP 72, Japan 10-15 Mode, LA92 ter INRETS. Vozni cikel LJURBAN smo nato integrirali v program, ki to v osnovi omogoča, vendar je potrebno določeno poznavanje okolja MATLAB. Program zahteva datoteko s končnico .m in .mat. V datoteki je potrebno vnesti podatke o hitrosti voznega cikla v sekundnem zapisu. Poleg tega lahko definiramo tudi spreminjanje naklona ceste vzdolž poti in spreminjanje mase vozila tekom trajanja voznega cikla. Začetnih pogojev (temperatura okolja, specifična temperatura zraka, temperatura konvertorja itd.) nismo spreminjali in smo ohranili privzete nastavitve.



Slika 15: Prikaz osnovnih parametrov cikla LJURBAN v oknu za nastavitve simulacije emisij in porabe goriva



Grafikon 40: Časovni grafi hitrosti izbranih voznih ciklov za izvedbo simulacije emisij in porabe goriva

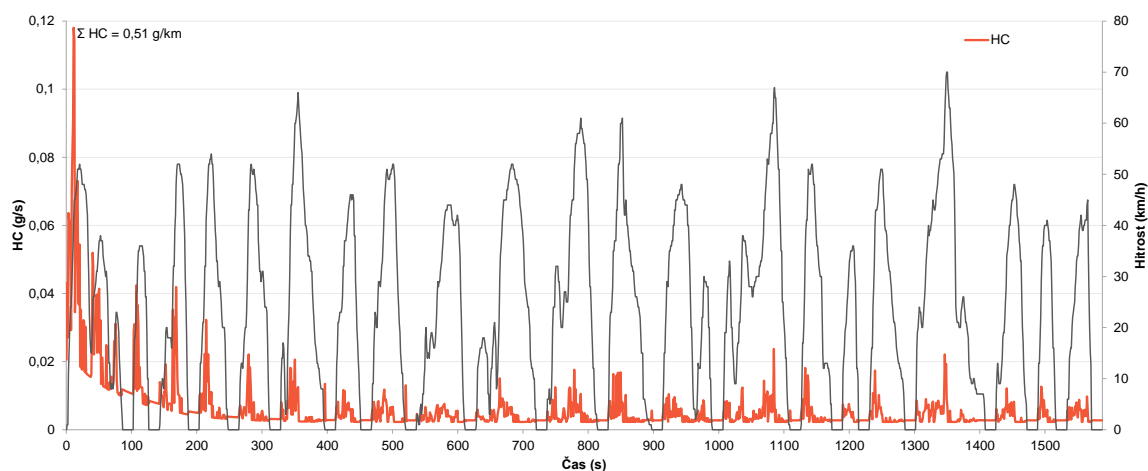
Po končani konfiguraciji vhodnih podatkov ter nastavitvi simulacije smo program zagnali in dobili vrednosti glede emisij in porabe goriva, ki so natančneje predstavljene v poglavju 9.3.

9.3 Rezultati meritve emisij in primerjava emisij glede na vozni cikel

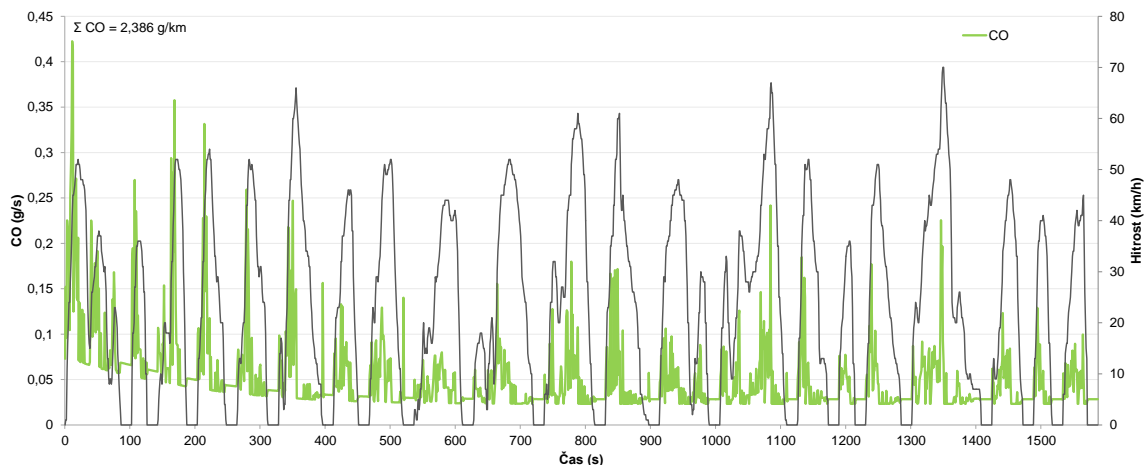
Po končani simulaciji nam program ADVISOR preko grafičnega vmesnika izpiše rezultate meritev emisij in porabe goriva. Rezultati so prikazani v grafični in tekstovni obliki. Grafi prikazujejo vrednosti posamezne emisije skozi celotni vozni cikel v odvisnosti od časa. Prikazana je tudi vsota emisij in porabe goriva za izbrani vozni cikel. Program simulira meritve emisij ogljikovega monoksida (CO), dušikovega oksida (NO_x), ogljikovodika (HC) (g/km) ter porabo goriva (l/100 km).

9.3.1 Rezultati meritve emisij za vozni cikel LJURBAN

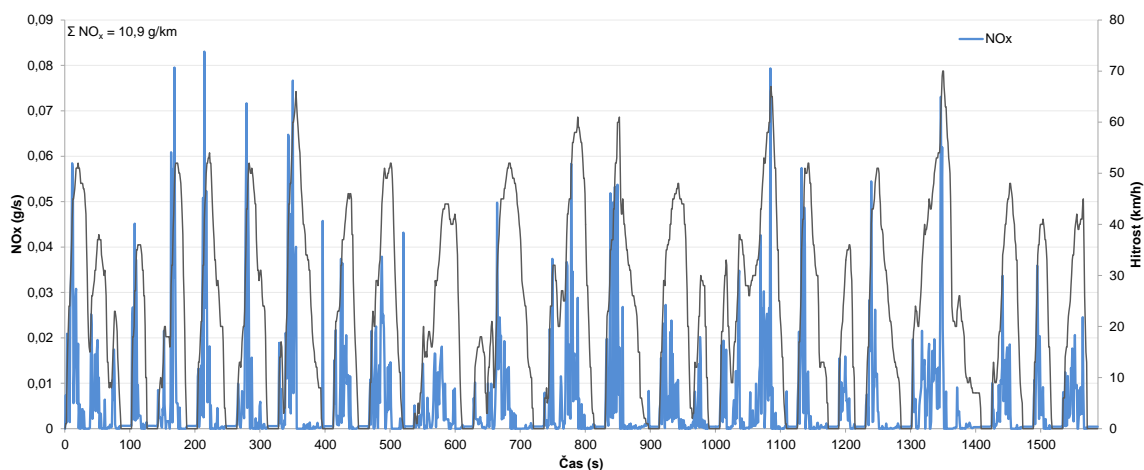
Iz grafikonov je razvidno, da pride do nihanja vrednosti emisij zaradi sprememb v hitrosti. Opazimo tudi izrazito povečanje emisij pri pospeševanju vozila in močno zmanjšanje pri pojavu nenadnega zaviranja oziroma pojemanja. Emisije CO se povečajo pri mirovanju in pospeševanju vozila, medtem ko se zmanjšajo pri pojemanju. Opaziti je, da se emisije HC zmanjšajo s povečevanjem časa, ko vozilo pojema ter da se emisije HC povečajo pri pospeševanju in mirovanju vozila. Pri vožnji s konstantno hitrostjo emisije HC sprva naraščajo, nato pa se zmanjšajo sorazmerno s časom, ko se vozilo premika s konstantno hitrostjo. Vrednosti emisij NO_x naraščajo s povečanjem časa, ko vozilo pojema oz. vozi s konstantno hitrostjo ter se manjšajo s časom, ko vozilo pospešuje. Emisije HC in CO dosežejo na začetku voznega cikla zelo visoke vrednosti, kar je posledica t. i. hladnega zagona motorja. Zato imajo nekateri vozni cikli, npr. vozni cikel Japan 10-15 Mode, na začetku predhodni cikel, namenjen ogrevanju motorja.



Grafikon 41: Vrednosti emisij ogljikovodika (HC) za vozni cikel LJURBAN

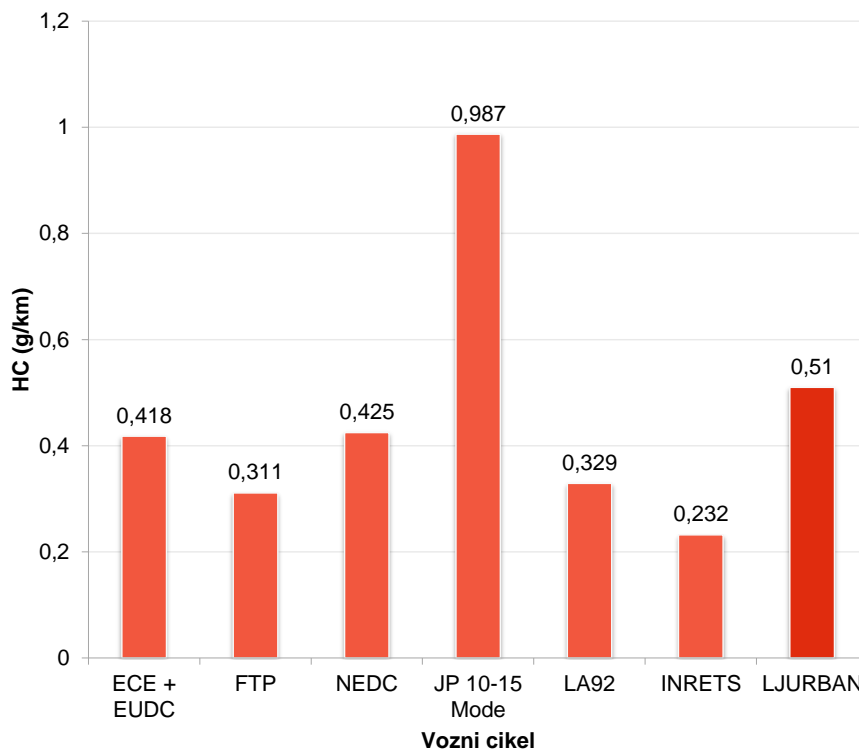


Grafikon 42: Vrednosti emisij ogljikovega monoksida (CO) za vozni cikel LJURBAN

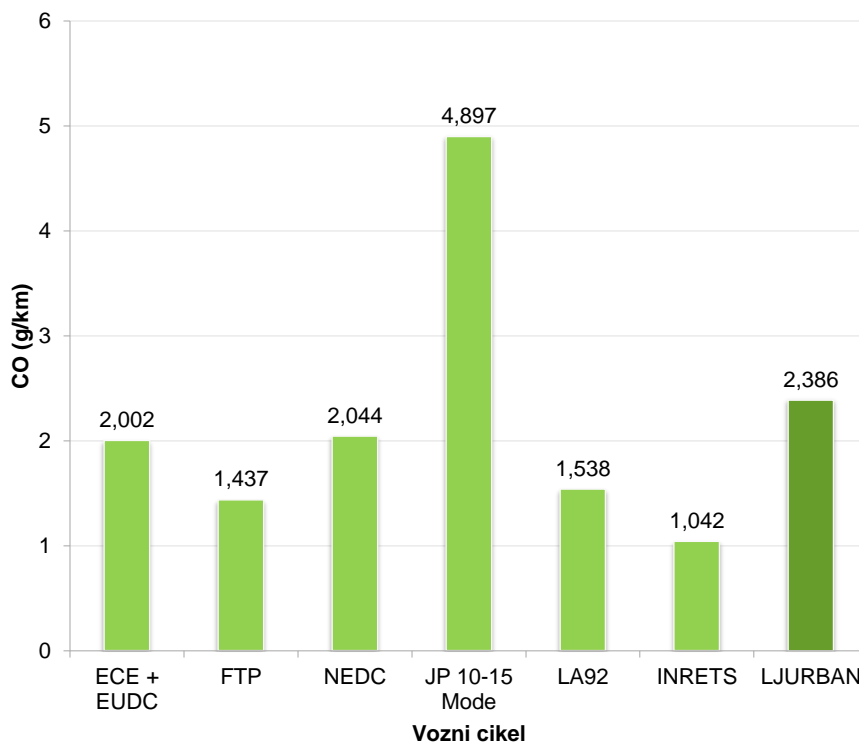
Grafikon 43: Vrednosti emisij dušikovega oksida (NO_x) za vozni cikel LJURBAN

9.3.2 Primerjava skupnih emisij in porabe goriva na podlagi voznih ciklov

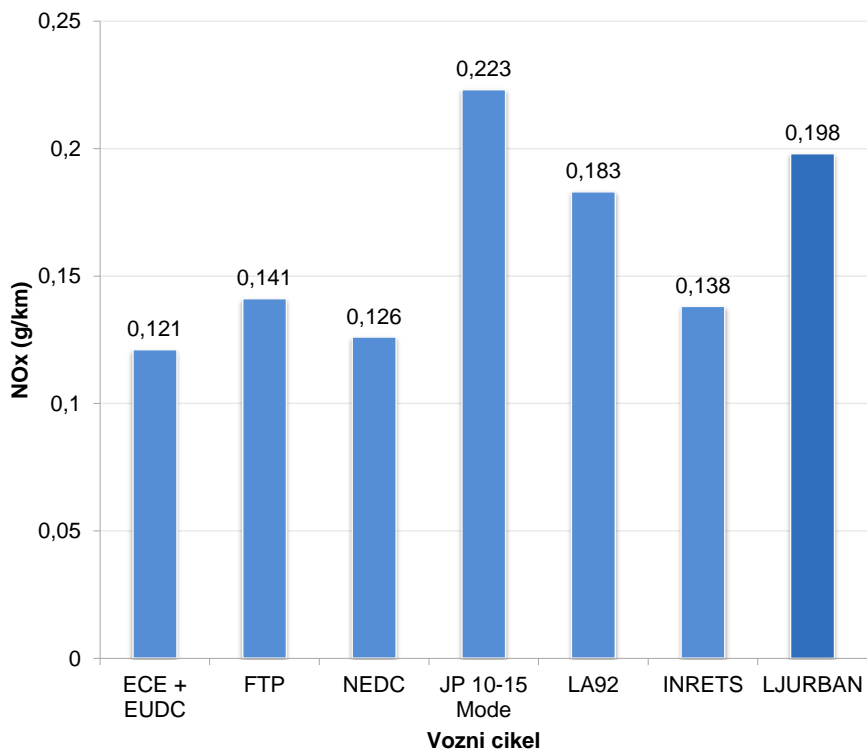
Za primerjavo smo izbrali vozne cikle, ki predstavljajo urbano vožnjo ter zakonodajne cikle. Izmed izbranih ciklov najbolj izstopajo vrednosti vseh treh emisij pri voznem ciklu Japan 10-15 Mode, ki ima znotraj cikla odseke silovitega pospeševanja in pojemanja. Vozni cikel LJURBAN ima poleg Japan 10-15 Mode ravno tako visoke vrednosti emisij in porabe goriva. Iz primerjave časovnih grafov hitrosti in grafikonov vrednosti emisij je mogoče sklepati, da je vzrok temu visoka frekvenca pospeševanj in pojemanj, ki je značilna za vozni cikel LJURBAN.



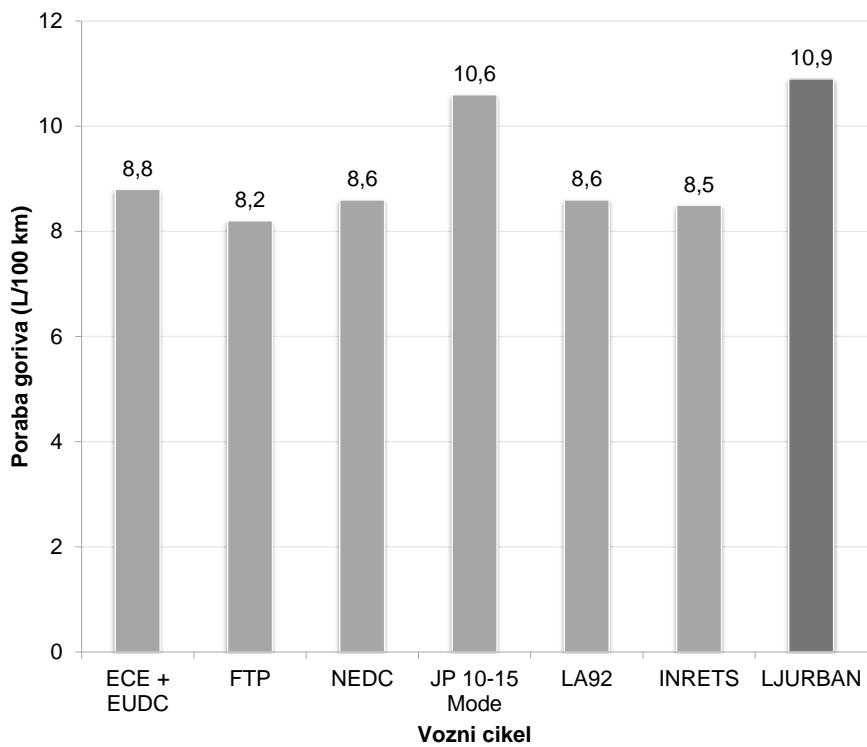
Grafikon 44: Primerjava vrednosti skupnih emisij ogljikovodika (HC) glede na vozni cikel



Grafikon 45: Primerjava vrednosti skupnih emisij ogljikovega monoksida (CO) glede na vozni cikel



Grafikon 46: Primerjava vrednosti skupnih emisij dušikovega oksida (NOx) glede na vozni cikel



Grafikon 47: Primerjava porabe goriva glede na vozni cikel

Pri primerjavi vrednosti emisij glede na časovne grafe hitrosti voznih ciklov lahko v grobem najdemo določene povezave med vzorci voženj in vrednosti emisij. Omeniti moramo, da gre v našem primeru za simulacijo merjenja emisij in ne dejanske meritve emisij, preko katerih bi lahko natančneje določili povezavo voznih ciklov z dobljenimi vrednostmi emisij.

S primerjavo grafikonov vrednosti emisij in časovnih grafov hitrosti lahko ugotovimo, da se z zmanjšanjem povprečne hitrosti voznega cikla poveča vrednost emisij ogljikovodika (HC). Iz tega izhajamo, da obstaja visoka povezava med povprečno hitrostjo vozila in emisijami HC. Na količino emisij ogljikovega monoksida (CO) vpliva nihanje hitrosti, ki jo povzročajo spremembe pospeška. Vrednosti CO so večje pri voznih ciklih, ki imajo visoko stopnjo variacije hitrosti. Na emisije NO_x vplivajo silovita pospeševanja in vožnja pri visokih hitrostih ter vrtljajih motorja.

Primerjava vrednosti emisij voznega cikla LJURBAN z ostalimi svetovnimi voznimi cikli je pokazala, da se emisije razlikujejo glede na obliko voznega cikla oz. vzorce voženj. Iz tega sklepamo, da moramo za natančno oceno emisij nujno upoštevati dejanske vzorce voženj na obravnavanem območju.

10 ZAKLJUČEK

Cestni promet povzroča emisije izpušnih plinov, ki nastanejo kot posledica izgorevanja fosilnih goriv v motorjih z notranjem izgorevanjem. V Ljubljani imamo zaradi prometne obremenjenosti in specifičnega načina voženj (pogosta pospeševanja in pojemanja, daljša obdobja mirovanja) visoke koncentracije polutantov, kot so: dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, ogljikovodiki ter še nekateri drugi. Visoke stopnje onesnaženosti lahko zmanjšamo z omejevanjem izpustov na najbolj obremenjenih območjih mesta, zato je pomembno, da natančno določimo vrednosti emisij vozil. To nam omogoča lažjo vzpostavitev ukrepov za zmanjševanje emisij.

Pri meritvah emisij vozila in računanju emisij prometa imajo vozni cikli pomembno vlogo. Uporabljamo jih v tesnih postopkih za homologacijo vozil glede emisij, pri razvoju emisijskih faktorjev ter za računanje emisij na podlagi emisijskih modelov. Reprezentativnost voznih ciklov in njihova kakovost prikaza dejanskih voženj je torej bistvenega pomena za meritve in izračun emisij polutantov.

Namen diplomske naloge je bil razviti reprezentativen cikel za urbano območje Ljubljane na podlagi dejanskih meritev, ki smo jih pridobili z metodo meritve v vozilu med junijem in oktobrom 2009. V Sloveniji trenutno še nimamo razvitega nobenega, nam poznanega, voznega cikla, zato bi za namene določanja emisij izpušnih plinov morali uporabiti enega izmed standardnih voznih ciklov, ki so bili razviti drugod po Evropi ali svetu. Teoretični del naloge je razkril, da gre pri obravnavanju voznih ciklov za široko področje, znotraj katerega lahko najdemo različne pristope za vzpostavitev novih voznih ciklov. Pri praktičnem delu naloge je bilo potrebno izbrati najbolj primeren pristop glede na naravo pridobljenih podatkov, ki v prvi fazi niso bili namenjeni izračuni urbanega voznega cikla ter napisati program na podlagi algoritma izbrane metode.

Glede na že zbrane podatke o prometnih parametrih smo za izdelavo voznega cikla izbrali metodo mikro poti, ki se v praksi pogosto uporablja in se je v preteklosti izkazala za primerno. Pri metodi mikro poti je potrebno izdelati podrobno obdelavo in analizo podatkov o voznjah. Narejena je bila s pomočjo programskega orodja Microsoft Access in ESRI ArcMap, kar je dejansko novost na področju vrednotenja prometnih podatkov. Na osnovi podatkov iz baze so bili izračunani ciljni parametri in porazdelitev hitrosti ter pospeška. Izbrana metoda zahteva uporabo dejanskih vzorcev voženj, ki opisujejo vožnje na območju Ljubljane, zato je bilo potrebno podatke ločiti na mikro poti. S povezovanjem mikro poti v zaporedje je bil razvit nov Urbani vozni cikel Ljubljane. Pri tem smo se odločili za drugačen, nov pristop, in sicer za

postopno iskanje in dodajanje mikro poti s specifičnimi karakteristikami ter povezovanje mikro poti z metodo, ki temelji na konvergenci razlik med vektorjema, ki predstavljata vožnjo na osnovi generiranega cikla in vožnjo na osnovi baze podatkov pridobljene iz meritev. Za razvoj voznega cikla na osnovi algoritma izbrane metode je bil napisan program v Microsoft Accessu. Primerjava med ciljnim parametri in porazdelitvijo za bazo podatkov ter za pridobljeni cikel je pokazala na zelo dobro reprezentativnost voznega cikla. Razlike med primerjanimi vrednostmi so bile zelo majhne in pri pomembnejših parametrih v glavnem niso presegle 5 %. Tako lahko zaključimo, da se je izbira metode mikro poti ter metode povezovanja mikro poti na podlagi konvergence razlik vektorjev izkazala za zelo primerno.

V nadaljevanju je bila narejena primerjava Urbanega voznega cikla Ljubljane z ostalimi voznimi cikli, vključno z New European Driving Cycle (NEDC), ki je zakonodajni vozni cikel na območju Evropske unije ter Artemis Urban, ki je dejanski vozni cikel in posnema vzorce voženj v urbanem okolju, pridobljenih v okviru evropske raziskave. Ugotovljene so bile določene podobnosti in razlike med cikli.

Izdelana je bila tudi simulacija emisij izpušnih plinov in porabe goriva s programom ADVISOR. Urbani vozni cikel Ljubljane, ki smo ga poimenovali LJURBAN, je bilo potrebno integrirati v datoteke programa s pomočjo programskega orodja MATLAB. S primerjavo emisij med voznim ciklom LJURBAN in v svetu poznanimi voznimi cikli ECE+EUDC, FTP, NEDC, JP 10-15, LA92 ter INRETS je bila preverjena možnost uporabe obstoječih voznih ciklov na območju Ljubljane. Izkazalo se je, da se vrednosti emisij, pridobljenih z uporabo Urbanega voznega cikla Ljubljane precej razlikujejo od vrednosti emisij, pridobljenih na podlagi ostalih standardnih voznih ciklov, kar je po našem mnenju pomembno glede izračuna dejanskih emisij polutatnov v Ljubljani.

Glede na zgornje ugotovitve lahko potrdimo že znano trditev, da je za natančnejšo določitev vrednosti emisij na obravnavnem območju nujno potrebno razviti vozni cikel, ki je reprezentativen glede na dejanske vzorce voženj specifičnega okolja. To velja predvsem za zakonodajne vozne cikle. Sem spada tudi cikel NEDC, ki je modalni in ne odraža dejanskih voženj, a ima pomembno vlogo v postopku pridobivanja homologacije za nova vozila v zvezi z emisijami. Ne nazadnje to potrjuje tudi Poročilo o predlogu uredbe Evropskega parlamenta in Sveta o spremembi Uredbe (ES) št. 443/2009 zaradi opredelitve načinov za doseganje cilja za leto 2020 glede zmanjšanja emisij CO₂ iz novih osebnih avtomobilov, v katerem je predlagana sprememba voznega cikla NEDC, saj ne odraža emisij, ki nastanejo pri dejanski vožnji na cesti (Ulmer, 2013).

Za nadaljnje raziskave voznih ciklov predlagamo, da se predhodno izbere metodo in način meritve podatkov ter se nato določi poti, na katerih bodo meritve potekale. Dejstvo je, da samo skrbno in sistematično pripravljene podatki omogočajo uporabo več različnih metod za razvoj voznega cikla. Posledično lahko pričakujemo, da bi bil tako pridobljeni vozni cikel še bolj reprezentativen in bi bolj natančno posnemal vzorce voženj, ki opisujejo lastnosti odvijanja prometa na proučevanem območju.

VIRI

An, F., Barth, M., Norbeck, J., Ross, M. 1997. Development of comprehensive modal emissions model: operating under hot-stabilized conditions. Transportation Research Record 1587. National Research Council, Transportation Research Board, Washington, DC: str. 52–61.

<http://dx.doi.org/10.3141/1587-07> (Pridobljeno 15. 5. 2013.)

André, M. 2004. Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions – Part A: The ARTEMIS European driving cycles. Report INRETS-LTE 0411. LTE, Laboratoire Transports et Environment: str. 8, 63.

http://inrets.fr/ur/lte/publi-utresactions/fichesresultats/ficheartemis/road3/method31/Artemis_cycles_report_LTE0411.pdf (Pridobljeno 15. 4. 2013.)

André, M. 2004. The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. Science of The Total Environment. 334–335: 73–84.

<http://dx.doi.org.nukweb.nuk.uni-lj.si/10.1016/j.scitotenv.2004.04.070> (Pridobljeno 25. 6. 2013.)

André, M., Pronello, C. 1996. Speed and Acceleration Impact on Pollutant Emissions. SAE Technical Paper 961113: str. 1–8.

<http://papers.sae.org/961113/> (Pridobljeno 27. 4. 2013.)

André, M., Rapone, M. 2009. Analysis and modeling of the pollutant emissions from European cars regarding the driving characteristics and test cycles. Atmospheric Environment. 43, 5: 986–995.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.013> (Pridobljeno 27. 4. 2013.)

André, M., Rapone, M., Joumard, R. 2006. Analysis of the car pollutant emissions as regards driving cycles and kinematic parameters. Report INRETS – LTE 0607. Transport and Environment Laboratory: str. 7, 11, 13–15, 46, 50–54.

http://www.inrets.fr/ur/lte/publiautresactions/fichesresultats/ficheartemis/road3/method31/A3141_MA_LTE0607_infl_cycle.pdf (Pridobljeno 11. 4. 2013.)

AVL. 2013.

<https://www.avl.com/chassis-dynamometer-gallery> (Pridobljeno 23. 4. 2013.)

Barlow, T. J., Latham, S., McCrae, I. S., Boulter, P. G. 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions: version 3. Bracknell, IHS: str. 3, 4, 8, 31–35, 38.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4247/ppr-354.pdf (Pridobljeno 12. 4. 2013.)

Barth, M., An, F., Norbeck, J., Ross, M. 1996. Modal emissions modeling: a physical approach. Transportation Research Record 1520. National Research Council, Transportation Research Board, Washington, DC: str. 81–87.

<http://www.cert.ucr.edu/cmем/docs/TRR1996-Physical-Approach.pdf> (Pridobljeno 15. 5. 2013.)

Dai, Z., Niemeier, D., Eisinger, D. 2008. Driving cycles: a new cycle – building method that better represents real – word emissions. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis: str. 1–5.

<http://dn.engr.ucdavis.edu/images/0/07/2008-Dai-arterial-cycles-final.pdf> (Pridobljeno 25. 6. 2013.)

Driving Cycle. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Driving_cycle (Pridobljeno 11. 4. 2013.)

Emission Test Cycles. 2013.

<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/> (Pridobljeno 13. 4. 2013.)

Fincher, S., Palacios, C., Kishan, S., Preusse, D., Perez, H. 2010. Modifying Link – Level Emissions Modeling Procedures for Applications within the MOVES Framework: Final Report. Eastern Research Group, Federal Highway Administration: str. 50–74.

http://www.fhwa.dot.gov/environment/air_quality/conformity/research/modeling_procedures/procedures_rpt.pdf (Pridobljeno 26. 6. 2013.)

FTP-75. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/FTP-75> (Pridobljeno 13. 4. 2013.)

Hass, G. C., Brubacher, M. L. 1962. A test procedure for motor vehicle exhaust emissions. Journal of Air Pollution Control Association. 12, 11: 505–509.

<http://dx.doi.org/10.1080/00022470.1962.10468120> (Pridobljeno 27. 4. 2013.)

Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson, S. 1999. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Deliverable 22 for the project MEET. TRL: str. 28–29, 33–43.

<http://www.inrets.fr/ur/ite/cost319/M22.pdf> (Pridobljeno 27. 4. 2013.)

Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K., Pao, L.Y. 2007. Development of practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 12, 27: 115–128.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2007.01.002> (Pridobljeno 4. 5. 2013.)

Joumard, R., André, M., Vidon, R., Tassel, P., Pruvost, C. 2000. Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars. *Atmospheric Environment*. 34, 27: 4621–4628.

[http://dx.doi.org.nukweb.nuk.uni-lj.si/10.1016/S1352-2310\(00\)00118-7](http://dx.doi.org.nukweb.nuk.uni-lj.si/10.1016/S1352-2310(00)00118-7) (Pridobljeno 25. 6. 2013.)

Kamble H., Sanghpriya, Mathew V., Tom, Sharma K., G. 2009. Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 14, 2: 132–140.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.008> (Pridobljeno 25. 6. 2013.)

Lee, C. – P. 2006. Development of driving cycles for characterizing vehicular emission factors. *Diplomsko delo*. Hong Kong, Dept. of Civil & Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University: str. 4, 9–10, 20, 21–23, 90, 98, 129–132.

http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/10397/3465/2/b20593302_ir.pdf (Pridobljeno 12. 4. 2013.)

Lin, J., Niemeier, D. A. 2002. An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle. *Atmospheric Environment*. 36, 38: 5759–5770.

http://www.iesp.uic.edu/Publications/Faculty%20Publications/Lin/Lin_California%20Regulatory%20Cycle.pdf (Pridobljeno 26. 6. 2013.)

Lipar, P., Kostanjšek, J., Filipič K., Milovanovič K. 2009. PAMS Activity Monitoring of Light-Duty Vehicles: Recruitment of vehicles in the region of Ljubljana (Slovenia): Final Report. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in Geodezijo, Prometnotehniški inštitut: str. 4–9.

Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O'Keefe, M., Spirk, S., Wipke, K. 2002. *Journal of Power Sources*. 110, 2: 255–256.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00189-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00189-1) (Pridobljeno 23. 4. 2013.)

Rakha, H., Ding, Y. 2003. Impact of Stops on Vehicle Fuel Consumption and Emissions. *Journal of Transportation Engineering*. 129, 1: 30–33.

[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:1\(23\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:1(23)) (Pridobljeno 23. 4. 2013.)

New European Driving Cycle. 2013.

http://en.wikipedia.org/New_European_Driving_Cycle (Pridobljeno 14. 4. 2013.)

Sensors. 2013.

<http://www.sensors-inc.com/> (Pridobljeno 23. 4. 2013.)

Sturm, P. J., Almbauer, R., Sudy, C., Pucher, Karl. 1997. Application of Computational Methods for the Determination of Traffic Emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 47, 12: 1204–1210.

<http://dx.doi.org/10.1080/10473289.1997.10464065> (Pridobljeno 23. 6. 2013.)

Tamsanya, N. 2008. Driving Cycle for the Measurements of Fuel Consumption and Exhaust Emissions of Automobiles in Bangkok. Doktorska disertacija. Thammasat University, Sirindhorn International Institute of Technology: str. 7, 40.

Tong, H. Y., Hung, W. T., Cheung, C. S. 1999. Development of a Driving Cycle for Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 33, 15: 2323–2335.

[http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00074-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00074-6) (Pridobljeno 21. 5. 2013.)

Tzirakis, E., Pitsas, K., Stournas, S. 2006. Vehicle emissions and driving cycles: Comparison of the Athens Driving Cycle (ADC) with ECE-15 and European Driving Cycle (EDC). *Global NEST Journal*. 8, 3: 283.

http://www.gnest.org/journal/Vol8_No3/282-290_TZIRAKIS_376_8-3.pdf (Pridobljeno 12. 4. 2013.)

Unal, A., Roupahl, N. M., Frey, H. C. 2003. Effect of Arterial Signalization and Level of Service on Measured Vehicle Emissions. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board 2003: str. 12.

http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000884.pdf (Pridobljeno 27. 4. 2013.)

Watson, H. C., Milkins, E. E., Preston, M. O., Chittleborough, C., Alimoradian, B. 1983. Predicting Fuel Consumption and Emissions-Transferring Chassis Dynamometer Results to Real Driving Conditions. SAE Technical Paper 830435: str. 10, 24.
<http://dx.doi.org/10.4271/830435> (Pridobljeno 27. 4. 2013.)