

Fakulteta za gradbeništvo

Maribor, 2014.

Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)





Matjaž Šraml Goran Jovanović





CIP - Kataložni zapis o publikaciji Univerzitetna knjižnica Maribor

004.94:656(075.8)

ŠRAML, Matjaž

Praktikum iz mikrosimulacij v prometu [Elektronski vir] : (z uporabo VISSIMa) / Matjaž Šraml, Goran Jovanović. - El. učbenik. - Maribor : Fakulteta za gradbeništvo, 2014

ISBN 978-961-248-419-4 1. Jovanović, Goran, 1973-COBISS.SI-ID 76768769 ISBN 978-961-248-419-4



Naslov:	"Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIMa)"			
Avtorja:	dr. Matjaž Šraml, mag. Goran Jovanović			
Strokovna recenzenta:	dr. Tomaž Tollazzi, dr. Irena Ištoka Otković			
Lektorica:	Urška Pevec, prof. slov. in zgod.			
Tehnični recenzenti:	Zoran Pučko			
Računalniški prelom:	dr. Matjaž Šraml, mag. Goran Jovanović			
Oblikovanje slik:	mag. Goran Jovanović, Sašo Turnšek, Boštjan Celan			
Oblikovanje ovitka:	mag. Goran Jovanović			
Urednik:	Zoran Pučko			
Tipologija (COBISS) / vrsta publikacije:	2.03 Univerzitetni, visokošolski ali višješolski učbenik z recenzijo			
Založnik:	UM FG			
Kraj založbe:	Maribor			
Datum izida:	03.01.2014			
Naklada:				
Različica (e-pub):	R1			
URL (e-pub):	http://dkum.uni-mb.si/			
Sistemske zahteve (e-pub):	internetni dostop			
Programske zahteve (e-pub):	PDF bralnik, internetni brskalnik, Vissim 6.0 (za izvajanje praktičnih primerov)			



Prevedeno i pripremljeno za korištenje studentima Građevinskog fakulteta Sveučilišta J.J. Strossmayera uz dopuštenje autora.

UVODNA RIJEČ

Poštovani studenti i ostali korisnici udžbenika "Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)"!

Pred vama je gradivo koje je nastajalo nekoliko godina i plod je rada ne samo autora, već i svih ostalih koji su kao suautori članaka i istraživačkih zadataka dali svoj doprinos razvoju i primjeni mikrosimulacijskih modela kako u pedagoške, istraživačke, tako i u stručne svrhe simulacija kapaciteta i sigurnosti u prometu.

Kao autori željeli smo udžbenik približiti prije svega studentima kojima je u osnovi i namijenjen,stoga su, naravno, struktura i stupanj zahtjevnosti prilagođeni njima. *"Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)*" ili ukratko *"Radni udžbenik VISSIM-a"* u osnovi je podijeljen na dva dijela: teorijski dio i praktični dio. Dok je materijal za teorijskidio crpljen uglavnom iz literature koja je navedena na kraju materijala (članci, istraživanja, priručnici), praktični je dio izvorni rad autora. Prvi (teorijski) dio udžbenika usredotočen je na bitankoncept mikrosimulacija i na djelovanje programa VISSIM te podrobno objašnjenje onih parametara i funkcija koje će korisnici (studenti) trebati da bi mogli samostalno koristiti mikrosimulacijski program. Tijekomproteklih godina na tržištu su se pojavile brojne verzije. Od 2007. na raspolaganju je verzija VISSIM 5.0; za vrijeme nastanka ovog udžbenika bila je aktualna verzija 5.40. Trenutačno je aktualna verzija VISSIM 6.0, s kojom su također riješeni primjeri u radnom udžbeniku. Time smo se potrudili da korisnicima istinski približimo najnovije stanje s područja kojim se bavimo.

Cilj ovog udžbenika je nadogradnja znanja koje su studenti stekli za vrijeme studija prometnog inženjerstva (Teorija prometnih tokova, Statističke metode u prometu i slično) u upotrebljivo znanje, to jest za izvođenje simulacija prometnih tokova, u prvom redu za analizepropusne moći. U predmetu II. stupnja prometnog inženjerstva *Simulacijske metode*i upredmetu III. stupnja *Simulacijski modeli sigurnosnih analiza u prometu* studenti se susrećusa spomenutim programskim alatom u okviru računalnih vježbi. Od studenata (korisnika) se, naravno, očekuje da su već usvojili osnovna znanja iz kinematike, teorije prometnog toka, engleskog jezika, statističkih metoda itd.

Kao što smo već rekli u uvodu, za vrijeme nastajanja udžbenika svjedočimo 6. generacijiverzije programskog alata VISSIM, verziji 6.0, koja je temelj za izvođenje praktičkihprimjera nabrojanih u četvrtom poglavlju udžbenika. Upozorili bismo da je na kraju trećeg poglavlja opisan osnovni koncept izvođenja praktičnog dijela simulacija.

Mišljenja smo da će gradivo biti korisno svim generacijama naših studenata koji će sebaviti mikrosimulacijama, a prije svega primjenom programskog alata VISSIM.

Osim ovogagradiva, korisnicima predlažemo i primjenu uputa pojedine verzijeprogramskog alata VISSIM 6.0 (Guidelines), koje možete pronaći na internetskimstranicama PTV (<u>http://www.ptv-vision.com/cgi-bin/traffic/traf_vissim.pl</u>). Također, istraživačima, studentima i svima koji se žele baviti mikrosimulacijama predlažemo i čitanje prikladnih članaka i izvješća projekata (navedeni u poglavlju*Literatura*).

Autori zahvaljuju recenzentima i lektorici za sve korisne naputke i mišljenja. Otvoreni su zamoguće sugestije (u vezi nenamjernih pogrešaka koje su se potkrale u materiji ili u vezi

želje za dodacima). S obzirom na prirodu udžbenika koji se izvorno nalazi u digitalnom obliku, nadogradnja udžbenika (nova verzija) bit ćelakše izvediva.

Autori, Maribor, siječanj 2014.

PREDSTAVLJANJE AUTORA

Dr. Matjaž Šraml

Matjaž Šraml izvanredni je profesor i prodekan za međunarodnudjelatnostna Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Mariboru (FG UM). Istraživački i pedagoški djeluje na području prometnog inženjerstva. Deset godina (1995.-2005.) bio je zaposlen na Strojarskom fakultetu Sveučilišta u Mariboru,gdje je 2001. i doktorirao. Istraživački se bavio prije svega primjenom numeričkih simulacijskih metoda na strukturne analize tehničkih sustava i uređaja s primjenom metode konačnih elemenata (MKE) i diskretnih simulacija toka materijala. Od 2006. godine zaposlen je na FG UM adie se bavi prometnom sigurnošću i diskretnim numeričkimsimulacijama prometnih tokova, s naglaskom na mikrosimulacije u prometnom inženjerstvu. (Su)autor je 40 izvornih znanstvenih članaka i nositelj predmeta s područja vozila, prometne sigurnosti i simulacija uprometu. Gostujući je profesorSveučilišta u HasseltuiSveučilišta u Novom Sadu te član međunarodnog društva za prometnu sigurnost ICTCT.



Adresa:

Fakulteta za gradbeništvo UM Smetanova 17 2000 Maribor matjaz.sraml@um.si

Mag. Goran Jovanović

Jovanović, magistar znanosti s područja Goran građevinarstva, smjerpromet, profesionalno djeluje kao odgovorni voditelj projekata i direktortvrtke APPIA d.o.o., koja je u Sloveniji prepoznata kao vodeća tvrtka na području planiranja cestovne infrastrukture, s naglaskom nauređenju urbanih prometnih površina. Kao distributer i predstavnikpotpornog regijskog centra za tvrtku PTV AG te autorprogramske opreme VISSIM, teorijska i praktična iskustva skupljaod 1996. godine, doma i u inozemstvu. Svake godine je aktivan sudioniksvjetske konferencije s područja planiranja prometa organiziratvrtka PTV AG. Intenzivno surađuje s ljubljanskim i koiu mariborskimsveučilištem. Bio je mentor mnogim studentima u procesu izrade diplomskihradova s područja prometa. Član je Inženjerske udruge Slovenije od 2002. godine i licencirani vještak sigurnosti cesta. Od 1999. odgovorni je voditelj u više od 500 projekata za uređenjecestovne infrastrukture za državne i općinske ceste u Sloveniji i inozemstvu. Napisao je pedesetak recenzija projektnih dokumentacija. Od 2012. godine obavlja poslove voditeljarecenzija za područje cestovne infrastrukture uSloveniji.



Adresa:

APPIA, d.o.o. Leskoškova c. 9 1000 Ljubljana goran.jovanovic@appia.si

POPISUPORABLJENIH KRATICA

Izvorno značenje

ADC	Automatic Data Collection
AVI	Audio Video Interleave
ATR	Automatic Traffic Recorder
DARS	Družba za avtoceste Republike Slovenije
DRSC	Direkcija Republike Slovenijeza ceste
DOT	Department of Transportation
FHWA	Federal Highway Administration
GEH	Geoffrey E. Havers statistic
GIS	Geographical Informational System
GPS	Glavna prometna smer
GUI	Graphical User Interface ("gooey")
HOV	High Occupancy Vehicle
HCM	Highway Capacity Manual
ITS	Intelligent Transporation Systems
JPP	Javni potniški promet
MOE	Measure of Effectiveness
O-D	Origin and Destination
OOP	Object Oriented Programming
PrT	Private Transport
PuT	Public Transport
SOV	Single Occupant Vehicles
SPS	Stranska prometna smer
VISSIM	Verkehr in Städten – Simulation
VISUM	Verkehr in Städten – Umlegung
VPH	Vehicles per Hour
W 74	Wiedemann 74
W 99	Wiedemann 99

Značenje na hrvatskom jeziku

Automatsko skupljanje podataka Audiovizualni zapis Automatski snimač prometa Udruženje za autoceste Republike Slovenije Direkcija Republike Slovenijezaceste Odjel za transportSAD Savezna uprava za ceste Statistički model Geoffreya E. Heaversa Geografski informacijski sustav Glavniprometnismjer Grafičkokorisničko sučelje ("gooey") Visoka zauzetost vozila (2+) Priručnik za analizu kapaciteta cesta Inteligentni transportni sustavi Javni putnički promet Mjerilo učinkovitosti Izvor i odredište Objektno orijentirano programiranje Osobni transport Javni transport Vozilo s vozačem (bez suvozača) Sporedniprometnismjer Promet u gradovima - simulacije Promet u gradovima - raspodjela Vozila na sat Wiedemannov model(1974.) Wiedemannov model (1999.)

Napomena

POPIS UPORABLJENIH SIMBOLA

Značenje

f()	funkcija	
ť	vrijeme	
V	brzina vozila	
λ	frekvencija toka vozila	
х	vremenskaprazninaizmeđu dva uzastopna vozila	
AX	željeni(sigurni) razmakizmeđu dva vozila u redu čekanja (koloni)	
VehL	dužina vozila	
MinGap	minimalna prazninaizmeđu vozila	
ABX	željena minimalna udaljenost slijeda vozila	
d	udaljenost između dva vozila	W 74
ах	prosječni razmak između vozila u mirovanju	W 74
bx	sigurnosni razmak	W 74
bxadd	dodatni udjel željenog sigurnosnog razmaka	W 74
bxmult	dodatni faktor željenog sigurnosnog razmaka	W 74
dx_safe	sigurnosni razmak	W 99
Flsim	simulirani prometni tok	
Flobs	promatrani ("terenski") prometni tok	

SADRŽAJ

UVOD	DNA RIJEČ	I			
PRED	PREDSTAVLJANJE AUTORAIII				
POPIS	S UPORABLJENIH KRATICA	IV			
POPIS	S UPORABLJENIH SIMBOLA	IV			
POPIS	S SLIKA	VI			
LISTA	A TABLICA	VII			
1 U	IVOD	9			
1.1	UVOD U MIKROSIMULACIJE CESTOVNOG PROMETA	9			
1.2	VISSIM – POVIJEST I ČINJENICE	11			
2 M	NIKROSIMULACIJSKI MODEL VISSIM	13			
2.1	STRUKTURA SIMULATORA	13			
2.1.1	MODELIRANJE INFRASTRUKTURE	14			
2.1.2	MODELIRANJE PROMETA	17			
2.1.3	NADZOR PROMETA	19			
2.1.4	REZULTATI SIMULACIJE	20			
3 O	SNOVNI MATEMATIČKI MODELI U VISSIM-u	22			
3.1	MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA (ANG.: GAP ACCEPTANCE MO	DEL)			
2 2		22			
3.2 3.2.1	MODEL SLIJEDA VOZILA (ANG.: CAR FOLLOWING MODEL)	21			
322		31			
3.3	MODEL PRESTROJAVANJA (eng. LANE CHANGE)	33			
3.3.1		35			
3.4	KALIBRACIJA I VALIDACIJA SIMULACIJSKOG MODELA	36			
4 P	RAKTIČNI PRIMJERI	40			
4.1	PRIPREMA PODATAKA	40			
4.1.1	GEOMETRIJA MODELA	40			
4.1.2	NAČIN UREĐENJA PROMETA	41			
4.1.3	PROMETNE OPTEREĆENJA	41			
4.1.4	KALIBRACIJA MODELA	42			
4.1.5	KAPACITET I TOK ZASIĆENJA	43			
4.1.6	PRAKTIČNI PRIMJER POSTUPKA PRIKUPLJANJA PODATAKA	43			
4.2	KORISNIČKO SUČELJE VISSIM 6.0 I OBJAŠNJENJE OSNOVNIH POJMOVA	45			
4.3	PRIMJER 1: "PRVA MIKROSIMULACIJA"	47			
4.4	PRIMJER 2: T-RASKRIŽJE	51			
4.5	PRIMJER 3: T-RASKRIŽJE S TRAKOM ZA LIJEVO SKRETANJE				
4.6	PRIMJER 4: SEMAFORIZIRANO T-RASKRIŽJE63				

4.7	PRIMEJR 5: KRUŽNO RASKRIŽJE	69
4.8	PRIMJER 6: PJEŠACI I BICIKLISTI	75
4.9	PRIMJER 7: MEĐUSOBNI UTJECAJ RASKRIŽJA	80
5	LITERATURA	85

POPIS SLIKA

Slika 1.1: Simulacijske metode s obzirom na preciznost obrade (Algres, 1998)	10
Slika 1.2: Mogućnost mjerenja parametara karakteristika vozača (a) i vozila (b)	13
Slika 2.1: Shematski prikaz strukture VISSIM-ovog simulatora (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)	14
Slika 2.2: Modeliranje spajanja i odvajanja cesta s linkovima i konektorima (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)16
Slika 2.3: Primjer: Gradsko semaforizirano raskrižje s tramvajskim prugama (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)20
Slika 2.4: Prozor za unos određivanja izlaznih rezultata	22
Slika 3.1: Prikaz postavljanja "Priority Rules" za potrebe modeliranja prihvatljivih vremenskih praznina u programskom alatu VISSIM 6.0	23
Slika 3.2: Prikaz postavljanja Conflict Area za potrebe modeliranja prihvatljivih vremenskih praznina u programskom alatu VISSIM 6.0	25
Slika 3.3: Prikaz Front Gap (lijevo) i Rear Gap (desno) parametara	26
Slika 3.4: Prikaz "Safety Distance Factor"; gore vrijednost 1.0, dolje 0.5. Plavo vozilo semože uključitii, crver (PTV, 2013)	no ne 26
Slika 3.5: Prikaz psihofizičkog matematičkog modela slijeda vozila prema Wiedemannu. (PTV AG, 2013)	28
Slika 3.6: Prikaz cestovnih parametara u urbanoj sredini prema Wiedemannu 74. (PTV AG, 2013)	30
Slika 3.7: Primjer programskog prozora za unos psihofizičkih parametara Wiedemann 99	32
Slika 3.8: Prikaz parametara za postavljanje modela prestrojavanja VISSIM.	34
Slika 3.9: Prikaz raspodjele brzina (a) i maksimalnog ubrzanja (b) za osobna vozila	35
Slika 3.10: Prikaz omjera mase i snage motora za osobna vozila.	36
Slika 4.1: Korisničko sučelje VISSIM 6.0	45
Slika 4.2: Izbornik sa strane – elementi mreže.	45
Slika 4.3: Izbornik sa strane – elementi mreže: mogućnost nastavljanja grafičkog prikaza	46
Slika 4.4: Network editor	46
Slika 4.5: Primjer 1 – tok državne ceste	47
Slika 4.6: Kreiranje proizvoljne kompozicije vozila	49
Slika 4.7: Promjena kompozicije na ulaznom linku (Lists/Private Transport/Vehicle Composition)	49
Slika 4.8: Geometrija i prometna opterećenja T- raskrižja	51
Slika 4.9: Prikaz toka konektora (prebaciti na pravolinijski način CTRL+A).	54

Slika 4.10: Prikaz podešavanja prava prvenstva (Conflict area)	54
Slika 4.11: Prikaz podešavanja smjera vožnje (Vehicle Routes)	54
Slika 4.12: Podešavanje grafičkog prikaza za cestovne linkove (Network Objects/Links)	55
Slika 4.13: Prikaz podešavanja za potrebe analize rezultata	55
Slika 4.14: Geometrija i prometna opterećenjaT-raskrižja s lijevim skretanjem	58
Slika 4.15: Primjena geometrije pri postavljanju trake za skretanje	60
Slika 4.16: Postupak izrade lijeve trake za skretanje	61
Slika 4.17: Izrada horizontalne signalizacije	61
Slika 4.18: Izrada zona ograničenja brzina u zavojima za skretanje	62
Slika 4.19: Prikaz semaforiziranog T- raskrižja.	63
Slika 4.20: Određivanje signalnog nadzora i načina djelovanja	65
Slika 4.21: Određivanje signalnih grupa za potrebe faznog upravljanja	66
Slika 4.22: Određivanje ciklusa, faza i vremena djelovanja	66
Slika 4.23: Određivanje lokacije signalnih glava na raskrižju	67
Slika 4.24: Određivanje 3D semaforske opreme	67
Slika 4.25: Određivanje tipa signalne glave i pripadajuće signalne grupe	68
Slika 4.26: Geometrija i opterećenje kružnog raskrižja	69
Slika 4.27: Određivanje pravila prioriteta na kružnom raskrižju	71
Slika 4.28: Postavljanje mjernih mjesta za potrebe analize rezultata	72
Slika 4.29: Određivanje zona ograničenja brzina u kružnom raskrižju	72
Slika 4.30: Geometrija i prometno opterećenje pješaka i biciklista	75
Slika 4.31:Određivanje boje za biciklističke staze i pješačke prijelaze	77
Slika 4.32: Određivanje tipa i boje prikaza pješačkih prijelaza	78
Slika 4.33: Međusobni utjecaj raskrižja (Primjer 4 i Primjer5A)	80
Slika 4.34: Određivanje parametara u slučaju spajanja dva primjera	82
Slika 4.35: Spajanje dvije mreže s konektorom	

LISTA TABLICA

Tablica 1.1: Povijest razvoja programskog alata VISSIM (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).	. 11
Fablica 4.1: Rezultati simulacije	70
Fablica 4.2: Rezultati simulacije	73
Fablica 4.3: Rezultati simulacije za krak Erjavčeve ceste u smjeru Ruše	78
Fablica 4.4: Rezultati simulacije za cjelokupnu mrežu	. 83

1 UVOD

1.1 UVOD U MIKROSIMULACIJE CESTOVNOG PROMETA

svijetu postoji pedesetak mikrosimulacijskih programskih alata koji su u većini U slučajevanastali na istraživačkim institutima i sveučilištima. Počeci mikrosimulacija u prometu potječu iz 1955. godine (Gerlough, 1955.). U početku su se mikrosimulacijski modeli razvijali zbog potrebeza testiranjem pojedinih prometnih rješenja, s namjerom poboljšanja protočnostiodnosno kapaciteta raskrižja, prije svega u urbanom okruženju. Razvoj mikrosimulacijskih modela slijedio je neprestani razvoj tadašnjih osobnih računala i sve veće potrebe za uvođenjem informacijskih tehnologija u prometne sustave kao što su inteligentni transportni sustavi(ITS), adaptivni upravljači semaforskih uređaja, vođenje i usmjeravanje prometa na temeljuaktualnih prometnih zastoja, izrada scenarija prometnog vođenja kod nastanka nepredviđenihdogađaja itd. S razvojem mikroprocesora iosobnih računala, današnji modeli jednakom preciznošću obrađujuviše od 100 km mreže sviše od 200 raskrižja i desetak tisuća vozila u realnom vremenu bez većih poteškoća. Većina simulacijskih modela koristi grafičkosučelje za unos (GUI) i djeluje u Windows okruženju. U pravilu su komercijalni programi zasnovani tako da se unos mreže odvija grafičkim unosom točaka i/ili unosom mreže iz postojećih baza podataka (*.shp, *.tif, *.dwg ...). Većina modela jeadaptivna i omogućava unos i promjene nekih parametara koji imaju ključno značenje za reprezentativno odvijanje simulacija. Kao rezultat mikrosimulacija većina modela obrađuje prometnu učinkovitost prema parametrima koji se najčešće upotrebljavaju u analizi propusne moći: brzina, trajanje putovanja, zasićenje, dužina kolona vozila itd. Praktički, komercijalni programi omogućuju vizualno promatranje simulacije, to jest animaciju, dok nekomercijalni modeli (razvijeni u specijalne studijske svrhe)nemaju takve mogućnosti i rezultate prikazuju u alfanumeričkom obliku. Rezultati mikrosimulacija mogu se podijeliti prema pokazateljima za prometnu učinkovitost, sigurnost, okoliš, udobnost i tehničke karakteristike, kao što prikazuje dijagram (Slika 1.2).



IZLAZNI REZULTATI MIKROSIMULACIJSKIH MODELA

Slika 1.1: Simulacijske metode s obzirom na preciznost obrade(Algres, 1998)

Vodeća uloga u području mikrosimulacija pripada programskom alatu VISSIM(njemačkog poduzeća PTV -<u>http://www.ptv-vision.com</u>)koji se rabi u stotinu zemaljasvijeta, između ostalog i u Sloveniji, zbog dovršenosti programa i neprestanog razvoja novih funkcija te ažuriranja već postojećih. Od 2013. godine na raspolaganju je (već) verzija VISSIM 6.0(PTV AG, 2013).

VISSIM je mikroskopski simulacijski računalni program koji se temelji na višenamjenskojsimulaciji prometnih tokova, s naglaskom na analizi i optimizaciji prometnih tokova. Programska oprema VISSIM-a temelji se na objektno orijentiranom kodu C++. VISSIM nudi mnoštvo različitih mogućnosti simulacija urbanog i izvanurbanog prometa, tepovezivanjesimulacija javnog i pojedinačnog prometa. Pomoću modeliranja realnih prometnihuvjeta možemovrlo dobro, s relativno visokim stupnjem sličnosti između realnih i modeliranih prometnih tokova, obuhvatiti kompleksnost uvjeta u prometu. Naravno da je osnova svakog prometnog simulacijskog programa matematički model pomoću kojeg osnovne fizikalnezakonitosti prometa (tehničke i definiramo organizacijske). U prezentiranom gradivupotrudili smo se upoznatičitatelja s teorijskim osnovama tepregledom tipičnih aplikacija i načela modeliranja, s ciljem da približimo opću strukturu simulatora VISSIM.

Za bolje razumijevanje problematike mikrosimulacija prikazane su karakteristikemikrosimulacijskih modela koje se najčešće rabe u cestovno-prometnoj struci, kako kod simulacije kapaciteta tako i u analiziprometne sigurnosti.

1.2 VISSIM – POVIJEST I ČINJENICE

VISSIM ima dugupovijest koja je kronološko predstavljena u tablici(Tablica1.1).

Tablica1.1: Povijest razvoja programskog alata VISSIM(Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)

Wiedemann (1974.)	Uvodi psihofizički model slijeda vozila koji opisuje pomake vozila na
	jednoj voznoj traci, ali ne ukijucuje odvajanja.
	Sveuciliste u Karlsruheu (Njemacka)provodi vise istrazivačkih projekata
	na temumjerenja i razvoja modela u vezi s posebnim kretanjem vozila
	poinfrastrukturi. Sparmann (1978.)opisuje prestrojavanje vozila na
19781983.	cetverotrachimautocestama, Winzer (1980.) mjeri zeljenu brzinu na
	njemackimautocestama, Brannolte (1980.) proucava prometne tokove
	na usponima, Busch i Leutzbach (1983.) istrazuju prestrojavanje vozila
	na autocestama sa sest traka.
	Razvija simulacijsko okruženje modela vozila na višetračnim
Hubschneider (1983.)	cestama te usignaliziranim i nesignaliziranim raskrižjima. Model je
(,	nazvan MISSION te je pokrenut na temelju simulacije s imenom
	SIMULA-67 naracunalu UNIVAC 1108.
	Istraživački projekti Sveučilišta u Karlsruheu uključuju
	modelMISSION u brojnim kapacitetnim i sigurnosnim studijama. Glavne
1000 1001	aplikacije sadržavaju izračune buke (Haas, 1985) i emisije (Benz,
19831991.	1985), dok Wiedemann i Schnittger (1990) proučavaju
	utjecajsigurnosnih propisa na prometne tokove. ModelMISSION
	instaliran je u MS-DOS- <i>u</i> nakon neuspjesnih pokusa u programskom
	jeziku PASCAL i MODUL-2.
19901994.	Wiedemann i Reiter (Reiter, 1994)poboljsavaju izvorni model slijeda
	vozila s uporabom vozila za mjerenje tzv. akcijskih tocaka.
	Autor je prve komercijalne verzije programskog alata u Njemačkoj,
	namijenjeneanaliziranju propusne moci signaliziranin raskrizja s
Fellendorf (1994.)	aktivnim upravijanjem. U spomenutom programskom alatu na
(, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	raspolaganju je grafičkooblikovanje mreza, animacije vozila i mape u
	pozadini. Programskialat je napisan u programskom jeziku C, a
	tunkcionirao je uoperacijskom sustavu MS-windows 3.1.
1004 1007	deliniamedelireniejeveze medelirenie prednesti u
19941997.	ualifijemodeli alijejavnog prijevoza, modeli alije prednosti u
	Dodatni modeli promotnih tokova smanjuju zabiovnost izvornih modela
	čto omogućujo boljo kolibriranjo promotnih uvjeta po
1998.	onterećenimautocestama Razvijaju se dalinja grafička
	poboličanja kao što je 3Dvizualizacija
	Zbog povećanja aplikacija i sporog definiranja puta uvodi se
2000.	dinamično dodielijvanje puta
	COM sučelje omogućuje korisnicima standardiziranu
2003	programiranuanlikaciju za razvijanje posebnih anlikacija s VISSIM-om u
2003.	nozadini
	Standardizirano sučelje između programskih alata VISLIM i VISSIM
	omogućuje stvaranje novih anlikacija koje se temelje na
2004.	jednakoja oprometriji mreže i na jednakim podacima o prometnim
	tokovima
	Uporaba multiprocesora i skupine računala za potrebeusporednog
2006	procesirania sa syrhom skraćivania vremena izračuna na primjeru većih
2000.	prometnih mreža
2007	Predviđanje vožnji na konfliktnim područijma
	Modeli u vezi s prometnim tokovima piešaka koli se temelie na bazi
2008.	modela kretanja piešaka Helbinga i Molnária (1995)
2008.	Veza s programom SSAM za potrebe analize prometne sigurnosti
2013	Na raspolaganiu je verzija 6.0 s potpuno novom arhitekturom
2010.	

Dakle, mikrosimulacijski programski alat VISSIM predstavljastohastički (slučajni), diskretan diskretnih događaja: izdvajanje samo onih vremenskih intervala u kojima su (simulacija zabilježene promjene stanja te njihov prikaz u vrlo kratkom vremenu)vremenskiprilagođen model. Model rabi psihofizičke karakteristike(Slika 1.2a) slijeda vozila (ang.: Car Following Model) u njihovom uzdužnom kretanju i algoritme koji se temelje na pravilima vožnje zavozila Koncipiran je naideji koja proizlazi iz koja se uključuju iz sporednih pravaca. Wiedemannove teorije prometnog toka (Leutzbach W. & Wiedemann R., 1986; Wiedemann R., 1991; Wiedemann & Reiter, 1992) gdje je vrijeme reakcije "vozača" (kao i osnovni kinematički parametri: vrijeme, brzina, ubrzanje) prilagođeno pojedinom vozaču odnosno vozilu.

Jedna od karakteristika programskog alata VISSIM je i ta da ne rabi konvencionalni način"link/node" sustava modeliranja, već rabi "link/connector" sustav koji omogućujemodeliranje vrlo kompleksnih geometrija (npr. u više razina).

VISSIM-ovi mikrosimulacijski modeli najčešće su sastavljeni od pet osnovnih elemenata, a to su:

I. cestovne poveznice ("linkovi" i"connectori") koje se mogu napraviti s realnom"z"koordinatom, koja omogućava 3D simulacije

- II. prometna signalizacija (semaforizirana, nesemaforizirana);
- III. strukture vozila (Slika 1.2*b*);
- IV. prometna opterećenja
- V. smjerovi kretanja vozila

Pomoću mikrosimulacijskih modela VISSIM-a možemo simulirati sve vrste prometnihpovršina (autoceste, lokalne ceste, biciklističke staze itd.), sve vrste prometa (motorizirani,nemotorizirani), ijavni promet (autobusi, tramvaji, podzemne željeznice i sl.).

Driving Behavior Parameter Set		Vehicle Type
No.: 1 Name: Urban (motorized Following Lane Change Lateral Signal Co) ntrol	No.: 100 Name: Car
Look shead distance min: 0,00 m max: 250,00 m 4 Observed vehicles Look back distance min: 0,00 m Temporary lack of attention Duration: 0,00 s Probability: 0,00 % Smooth closeup behavior Standstill distance for static obstacles: 0,50 m	r following model fiedemann 74 Joidel parameters Verage standstill distance: 2,00 Aultiplic: part of safety distance: 3,00	Static Functions & Distributions Special External Driver N < > Maximum Acceleration 1: Car (3.50 m/s2, 250.00 km/h • Desired Acceleration 1: Car (3.50 m/s2, 250.00 km/h • Maximum Deceleration 1: Car (-7.50 m/s2, -5.10 m/s2) • Desired Deceleration 1: Car (-2.75 m/s2, -2.75 m/s2) • Weight None Power None Occupancy 1: Single Occupancy N(1.00, 0. •)
	OK Cancel	

Slika 1.2: Mogućnost mjerenja parametara karakteristika vozača (a) i vozila (b)

2 MIKROSIMULACIJSKI MODEL VISSIM

Mikroskopski simulator prometnih tokova VISSIM sadrži pojedine matematičke modelekoji su potrebni za pokretanje i izvođenje simulacija. Programska oprema u osnovi ne obuhvaća specifične podatke za aplikacije ili dodatne alate koje korisnik treba za pokretanjedodatnih, odnosno naprednih modela. Alati za statistiku, vanjski alati za nadzor prometa i alati za kalkulaciju emisija predstavljaju dodatnu programsku opremu u ponudi.

VISSIM se temelji na programskom jeziku C++ i usmjeren je naobjektno usmjerenoprogramiranje (eng. Object Oriented Programming - OOP). OOP je bio prvobitnonamijenjen simulatorima pomorskog prometa, odnosno za simuliranje pomorskih linija. Prethodnik VISSIM-a, MISSION (koji je bio razvijen na Sveučilištu u Karlsruheu) djelovaoje na takozvanoj simulaciji 67 (SIMULA 67), za koju su bili karakteristični različiti razredi predmeta, virtualne metode i kontinuirano djelovanje. U VISSIM-u postoje razredi vozila u kojima se kategorizirajupojedine karakteristike s atributnim vrijednostima i metodama upravljanja funkcija. U nastavkućemo upoznati osnovnu strukturu VISSIM-ovih mikrosimulacijskih modela.

2.1 STRUKTURA SIMULATORA

Matematički modeli su osnovni sastavni elementi svakog prometnog simulatora i predstavljaju osnovu za definiranje prometne mreže koja simulira tehničke i organizacijske aspekte realnog stanja. Simulator je podijeljen na 3 glavna dijela, te jedan dodatni dio kojigenerira rezultate svake simulacije (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

Prvi dio - *infrastrukturni dio* - sastavljen je od cestovne i željezničke infrastrukture. U programskoj opremi taj je dio važan za modeliranje cestovnog i željezničkog prometa. Stajališta javnog prijevoza i parkirališta su potrebna za određivanje izvornih i odredišnih mjestaputovanja. U taj se dio ubrajaju još pojedini fizički i stacionarni elementi mreže (znakovi,detektori i sl.).

Drugi dio predstavljaju tehničke karakteristike vozila i specifikacije prometnih tokova. Prometni tokovi definirani su pomoću izvorno-odredišnih matrica ili s generiranim prometom na ulaznim vezama (putovima). U drugi se dio ubrajajui opisi infrastrukturne mreže te model dodjeljivanja karakteristika. Linije javnog prijevoza su u spomenutom dijelu definirane kao redoslijed veza i stajališta. Treći dio predstavlja sve elemente koji su povezani s kontrolom, odnosno nadzorom prometa.Sastavni elementi toga dijela su: pravila vožnje u raskrižjima izvan razine, pravila vožnje u jednakovrijednim raskrižjima, pravila prednosti u vezi s prihvaćanjem praznina (vremenskih, prostornih) i postavke signala (semafori, prometni znakovi s promjenjivim sadržajem i sl.).

Sva tri dijela su u programskoj opremi međusobno smisleno povezana (Slika 2.1). Primjerice, tekućipromet (2. dio) aktivira detektore (1. dio) koji promjene sadržaj na portalu (3. dio). Četvrti dioje namijenjen svim vrstama izlaznih podataka, bez povratnih petlji. Izlazni podaci mogu se dobiti tijekom same simulacije ili u obliku animacija, stanja nadzora prometa ili statističkih podataka o stanju vozila i detektora. Većina mjerenja (t. i. MOE's) nastane tijekom simulacije i pohranjujese, čineći dodatak simulaciji.



Slika 2.1: Shematski prikaz strukture VISSIM-ovih simulatora(Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)

Unastavku su podrobnije opisani pojedini dijelovi programske opreme.

2.1.1 MODELIRANJE INFRASTRUKTURE

Razina sličnosti između realnog i simulacijskog modela ovisi o svrsi primjene aplikacije VISSIM-a. Za testiranje "logike" prometno ovisnih signala dovoljan jetek grubi nacrt određenog raskrižja, a podrobniji modeli rabe se usimulacijskimanalizama različitih prometnih scenarija. S drugestrane, za potrebe simulacija prometnih operacija potrebno je prometnu mrežu smanjitina određeno mjerilo. Smanjene mreže su u program uvezene iz

makroskopskihprograma planiranja prometa, GIS programa ili su pak ručno nacrtane na podlozi ortofotosnimaka. Cestovna i željeznička infrastruktura na taj je način modelirana pomoću posebnihelemenata, nazvanih "razredi".

a) Poveznice i priključci (ang.: Links and Connectors)

Cestovnu mrežu najčešće prikazujemo u obliku mreže s čvorištima (eng. Nodes) koji senalaze na raskrižjima i poveznica (eng. Links) cestovnih dionica. Čvorištatrebamo ako: 1. dvije ili više poveznica međusobno se prepliću, 2.poveznice se međusobno križaju, 3. jedna se poveznica dijeli na dvije ili više poveznica i 4.promijene se karakteristike cestovne dionice. U načelu,zbog dodatne prilagodljivosti programskog koda, u VISSIM-u nije potrebno eksplicitno definirati čvorišta. Naravno da funkcionalnostspajanja, prelaženja i odvajanja prometnih tokova prikladno modeliramo s priključcima, takoda smisleno međusobno povežemo dvije poveznice. Priključci uvijek međusobno "smisleno" vežu par poveznica,stoga za spajanje, primjerice, od jedne do tri poveznice uvijek trebamo tri priključka.

Pojedine poveznice imaju obvezne i izborne (opcijske) karakteristike, pomoćukojih možemo definirati karakteristiku infrastrukture (ceste ili željeznice). Obvezne karakteristike sadrže jednolično određivanje trase u koordinatnom sustavu u ravnini, broj prometnih traka s pripadajućim širinama i vrstu (tip) vozila, prikladnih za povezivanje. Opcijske karakteristikedolaze u obzir u manje standardnim simulacijskim zadaćama. Te su karakteristike npr. vertikalna ("z") koordinata nakošenih dijelova infrastrukture (nagiba), vrijednost cestarina za pojedine dionice cestovne infrastrukture koje se plaćaju, posebne postavke ponašanja prometnog toka (miješani promet vozila, prometna traka namijenjena samo određenim vozilima, zabrana pretjecanja teretnih vozila...).

Ako se karakteristika pojedine poveznicene mijenja, može ostati ista za određeni(željeni) broj cestovnih dionica. Slika 2.2prikazuje primjer poveznice zaautocestu sa šest prometnih traka. S ciljem da omogućimo neprekidano (kontinuirano) spajanje iz prometne trake za ubrzavanje na autocestu sa šest prometnih traka, trotračna poveznica završava na području povezivanja, a dodaje se četverotračna poveznica prethodnoj dionici autoceste i ulazna rampa. Iza spajanja nalazi se izlazna rampa (izvoz), bez posebne zone usporavanja (zaustavne trake). Budući da se karakteristike šestotračne autoceste ne mijenjaju, možemo izlaznu rampu postaviti bez posebnog modeliranja te dionice.

Priključci povezuju traku za ubrzavanje s ostalim prometnim trakama. Namještanje prometne trake i određivanjedužine preglednostiobvezne su karakteristike priključaka koji imaju veliku važnost s obziromna izbor prometne trakeza svako pojedino vozilo. S ciljem da što više prilagodimo krivuljezavoja (s priključcima i poveznicama), najčešće koristimo Bezierjeve krivulje.



Slika 2.2: Modeliranje spajanja i razdvajanja cesta s poveznicama i priključcima (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)

b) Ostali elementi (prometne) mreže (ang.: Other Network Elements)

Poveznice i priključcisu osnovni sastavni elementi potrebni za modeliranje prometneinfrastrukture i osnova su za dodavanje mogućih posebnih objekata. Postoje još i skupinelokalnih objekata i drugih objekata s prostornim proširenjem. Lokacija pojedinog objekta odnosi se na pojedinu kolničku traku. Stoga je potrebno objekt koji se odnosi na pojedini poprečni presjek kolnika prikladno vezati uz pojedinu kolničku traku. Prostorne objekte možemo vezati samo uz jedan priključak. Točkasti objekt nema fizičku dužinu i mora biti precizno određen lokacijom (koordinatama) uz kolničku traku.

Tipični točkasti objekti su:

- prometni znak "Ograničenje brzine kretanja" koji ograničava brzinu kojom vozilo prometuje
- znakovi "Raskrižje sa cestom koja ima prednost" i "Obvezno zaustavljanje "kojima seodređuje poziciju vozila na sporednom prometnom smjeru (SPS) u odnosu na vozila glavnog prometnog smjera (GPS)
- semafor (uređaj za svjetlosnu signalizaciju i regulaciju prometa)prilikom simulacije namješten je na stupu za znak "Obvezno zaustavljanje" (odnosno na mjestu gdje je crta zaustavljanja), pred kojim se vozila zaustavljaju na udaljenosti 0.5 – 1.5 m.

Prostorni objekti smješteni su na određenoj lokaciji kolničke trake, do njezine određenedužine. Najčešće objekti korišteni u simulacijama su:

 detektori - detektiraju vozila i ljude tijekom prelaženja određene lokacije.
 Impulsdetektora rabi seu svrhu statističkog vrednovanja i odašiljanja podataka do nadzora signala. Detektori registriraju tip karakterističnog impulsa za prisutnost i brzinu vozila, a postoji i poseban (dodatan) detektor za vozila javnog prijevoza.

- stajališta za JPP autobusi se mogu zaustavljati ili na samoj prometnoj traci (eng. Curbside Stop) ili na autobusnim stajalištima. Tramvaji se uvijek zaustavljaju na stajalištima uz cestu (eng. Curbside Stop). Dužina stajališta mora biti duža od najduljeg vozila javnog prometa. U slučaju da je stajalište kraće, putnici ne mogu pravilno ulaziti i izlaziti iz vozila.
- parkirališni prostori parkirališta su opcijski objekti, potrebni kao "izvori" i "odredišta" u slučaju da je programski odabrana opcija dinamičkog dodjeljivanja (izbora) rute generiranim vozilima
- područja ograničene brzine- ograničenja brzine kretanja vozilanalaze se na svim područjima gdje je potrebna bolja prometna sigurnost(npr. traka za ubrzavanje ili usporavanje vozila)

2.1.2 MODELIRANJE PROMETA

Poglavlje *Modeliranje prometa* opisuje putovanje (različitih) vozila po (predviđenoj)infrastrukturi (cesti). Za pojedinačni (osobni) transport karakteristično je da svako vozilo izabire proizvoljanput, dok vozila javnog putničkog prometa voze po unaprijed određenim linijama JPP i zaustavljaju se na unaprijed određenim stajalištima. Autobusi koji prevoze putnike na posebne vožnje (npr. izletnici) pripadaju osobnom transportu.

a) Slobodni protok vozila, odnosno osobni transport (ang.: Private Transport, PrT)

Osobni transport se, osim pješaka, dijeli na slijedeće kategorije vozila: osobnavozila, teretna vozila, motorna vozila, izletnički autobusi itd. Svaka od tih kategorijadefinirana je karakteristikama kao što sudužina i širina vozila, ubrzanje i usporavanje vozila, te maksimalna dopuštena brzina. Umjesto definiranja pojedinih tipova vozila, ulaznise podatci mogu uopćiti pomoću klasifikacije tehničkih karakteristika vozila. Pravilna raspodjeladužine vozila koja odražava realnu "flotu" vozila utječe na rezultate simulacije, npr. kao na podatako dužini kolone vozila. Za većinu istraživanja, širina vozila nevažan je podatak, ali kod modeliranjamiješane strukture prometnih tokova potrebno je podrobno definirati geometrijske podatkeza pojedinu vrstu vozila. Tipovi vozila mogu biti spojeni u nizove vozila, u svrhu različitih analiza, npr. za prikupljanje podataka o ukupnom vremenu putovanja ili podataka o visokoj zauzetosti vozila – HOV vozila(eng. HOV – High Occupancy Vehicles).

Osobni transport definiran je sljedećim karakteristikama:

- kategorija vozila (obvezan podatak)
- dužina vozila ili raspodjela dužina vozila (obvezan podatak)

17

- raspodjela tehničkih i željenih ubrzanja te usporavanja kao funkcija brzine (obvezan podatak)
- maksimalna brzina ili raspodjela maksimalnih brzina (obvezan podatak)
- širina vozila (opcijski podatak)
- boja i 3D model ili raspodjela boja i 3D modela (opcijski podatak)
- težina vozila ili raspodjela težine vozila (opcijski podatak)
- razred emisija ili raspodjele nizova emisija (opcijski podatak)
- varijabilni i fiksni troškovi uporabe vozila (opcijski podatak).

Vozila su generirana nasumce na početcima poveznica ili na parkiralištima koja mogu biti locirana i na sredini dionica. Ulazni podatci prometnih tokova pojedinačno su definirani za više vremenskih intervala. Budući da se broj odlazaka u vremenskom intervalu [0, t] temelji na Poissonovoj raspodjeli, s prosjekom $\lambda \cdot t$, gdje je *t* vremenska praznina *x*između dva uzastopna vozila prema eksponencijalnoj raspodjeli s prosjekom $\frac{1}{\lambda}$. Jedinica za parametar λ je broj vozila na sat (voz/h). Vjerojatnost vremenske praznine *x* između dva uzastopno generirana vozila može se zapisati kao:

$$f(x,\lambda) = \lambda e^{-\lambda x} \tag{2.1}$$

Ukoliko definirano prometno opterećenje premaši kapacitet poveznice, vozila se uklanjaju iz mreže i "pohranjuju" na neko mjesto "u pozadini", dok se prostor ne isprazni. Ako vozila na kraju simulacijenisu "vraćena" u mrežu, program će automatski na to upozoriti.

b) Javni putnički promet (JPP, ang. Public transport, PuT)

Sve tehničke karakteristike vozila osobnog transporta upotrebljive su za simulaciju JPP i istovremeno su još dodane posebne karakteristike. Linije JPP odnose se na autobuse, tramvajei vozila lakih željeznica, koja se zaustavljaju na stajalištima prema ustaljenom vremenu s obzirom na vozni red. Vrijeme zaustavljanja određeno je na temelju raspodjele mirovanja vozila prilikom ulaska i izlaska putnika ili kalkulacije vremena putničkih usluga. Vozni redovi propisuju vrijeme odlazaka spojedinog stajališta. Vrijeme odlaska računa se na sljedeći način:

Simuliran dolazak na sljedeće stajalište + vrijeme mirovanja

+ max(0; (početno vrijeme + nadomjesno vrijeme odlaska – simulir.dolazak + vrijeme mirovanja)vrijeme zaustavljanja)

Nadomjesno vrijeme odlaska je vrijeme između dva uzastopna stajanja, definirano na temeljuvoznog reda. Vrijeme zaustavljanja računa se u slučaju prijevremenih zaustavljanja (ako ih nema, ima vrijednost 1). Ukoliko je vrijeme odlaska (u usporedbi

s voznim redom) drukčije od izračuna vremena dolaska i vremena mirovanja, vozilo mora pričekati na stajalištudok ne dostigne vrijeme polaska prema voznom redu. Međutim, ako vrijeme zaustavljanja ili vrijeme odlaska ima vrijednost 0, vozilo će napustiti stanicu s obzirom na prometne uvjete i vrijeme mirovanja.

2.1.3 NADZOR PROMETA

a) Nesemaforizirano raskrižje (ang.: Unsignalised Intersections)

Protok prometa u nesemaforiziranom raskrižju reguliran je na temelju takozvanih pravila prednosti (eng. Priority Rules) ili konfliktnih područja (eng. Conflict Area). Ta pravila služeza međusobno prepoznavanje vozila na različitim poveznicama i čvorištima. Pravila prednosti primjenjuju se u sljedećim slučajevima:

- "nesignalizirano" raskrižje u kojem vrijedi pravilo desne strane
- "nesignalizirano" raskrižje u kojem vozila iz sporednog prometnog smjera (SPS) moraju dati prednost vozilima iz glavnog prometnog smjera (GPS)
- raskrižje koje na dva pristupna pravca ima znak "Stop" i raskrižje koje na svim pristupnim pravcima ima znak "Stop"
- kružno raskrižje
- područje spajanja prometa gdje vozila iz pristupnih rampi nemaju prednost u odnosu na vozila iz glavnog prometnog smjera
- skretanje na semaforiziranom raskrižju kao što je lijevi i desni zavoj koji je u konfliktu s prometnim tokom pješaka ili polukružno okretanje koje je u konfliktu s prometnim tokom vozila iz suprotnog smjera
- autobus, koji se sa stajališta uključuje u promet, ima prednost u odnosu na ostala vozila ako pokazivačem smjera (tzv. žmigavcem) naznači smjer kretanja.

Različite nacionalne smjernice opisuju različita pravila prednosti, stoga je to u VISSIMupojednostavljeno. Program, naime, nudi mogućnost da korisnik jednim "klikom" promijeninačin vožnje vozila. Dakle, takozvani "desnosmjerni" promet (kojeg poznajemo u većemdijelu Europe, također i kod nas) korisnik može promijeniti u "lijevosmjerni" (npr. Velika Britanija).

b) Semaforizirano raskrižje (ang.: Signalised Intersections)

Dok signalne glave (eng. Signal Heads) ubrajamo u infrastrukturu, signalnikontrolori (eng. Signal Controllers)predstavljaju dio nadzora prometa. U jednoj signalnoj grupi (eng. Signal Groups) može biti spojeno više signalnih glava koje nadzire signalni kontrolor. Slika

2.3prikazuje primjer raskrižja u kojem su dvije prometne trake na zapadnom kraku nadziranesignalnom grupom K3, dok su trake za desno i lijevo skretanje nadzirane putem ostalih signalnih grupa, drukčijim postavkama.



Slika 2.3: Primjer: gradsko semaforizirano raskrižje s tramvajskim prugama(Fellendorf M. & Vortisch P., 2010)

Nakon podjele signalnih glava u signalne grupe, vrijeme potrebno za promjenu svjetlosne signalizacije (kada u raskrižju nema vozila) izmeđukonfliktnih tokovadefinirano je unutar matrice preklopnog vremena (eng. Intergreen Matrix). Zazadana prometna opterećenja unutar vremenskog intervala, moguće je programskim alatom VISSIMizračunati kašnjenja vozila i po potrebi produžiti/skratiti dužinu pojedine faze semaforskog ciklusa - tzv. prometno ovisno upravljanje (eng. Actuated Traffic Control).

U američkom priručniku *Highway Capacity Manual (HCM),* i nekim ostalim nacionalnim smjernicama, za stalne postavke signalnih uređaja zadane su pojedine jednadžbe kojima se određujukašnjenja, dužina kolona vozila te broj zaustavljanja. Osim za izračun razine uslužnosti semaforiziranih raskrižja, mikrosimulacije se često rabe i za upravljanje te prilagođavanje svjetlosnih signala.VISSIM sadrži programski jezik sa grafičkim sučeljem za definiranje upravljanja signalima. Po strukturi sličan je programskim jezicima*C* i *Pascal,* no sadrži pojedine funkcije koje odgovaraju području prometnog inženjerstva. Primjerice, spomenute funkcije imaju sposobnost prihvaćanja impulsa iz detektora, prikaz zauzetosti i prisutnosti vozila te signalnih grupa i faza. Upravljačka logika nacionalnog standarda signaliziranja može se odrediti na temelju signalnih grupa ili faza.

Kretanje vozila može biti vizualizirano u 2D ili 3D obliku. Ova posebnost korisnicima omogućuje stvaranje realnih videozapisa u AVI obliku datoteka koji se mogu rabiti kao prezentacije u nekom projektu, seminaru, diplomskom radu i slično.Za bolje predstavljanje sposobnosti kartiranja u pozadini možemo upotrijebiti ortofoto snimke i crteže u *AutoCAD*-u. Dodatni modeli objekata mogu biti uvezeni npr. iz programa Google Sketchup. Za još realniju vizualizaciju, simulirani promet može se, primjerice, opremitiprogramom *Autodesk 3ds Max*.

U izlaznim rezultatima mogu biti uključeni brojni pokazivači učinkovitosti (eng. Measure of Effectiveness - MOE's). Tipični parametri mjerenja učinkovitosti su kašnjenje, trajanje putovanja,broj zaustavljanja, kolone, brzina i gustoća prometnog toka. Proces odlučivanja podržan je osiguravanjem fleksibilnosti sažetaka i izvješća mjerenja učinkovitosti (MOE's). Ovo služikao odgovor na zadani problem. Kada, gdje i kako će podatci biti prikazani, korisnik može odrediti sam. Oni se mogu i sažeti te se odnositi na određeno vremensko razdoblje ili njegove intervale, određenu lokaciju na mreži, raskrižje, dio puta, cielokupnu mrežu. kombinaciju spomenutih načina. razrede vozila ili svako vozilo pojedinačno.Podacisu na raspolaganju u ASCII zapisu ili u formatima baza podataka; istovremeno su automatski pretvoreni u oblik koji je upotrebljiv u programima kao što su Microsoft Access i Excel (Slika 2.4). Neka mjerenja učinkovitosti (MOE's) mogu biti izvezena u programsku opremu za planiranje prometa, npr. VISUM koji služi za podrobnije grafičke prezentacije. VISUM nudi opsežnu grafičku bazu za učinkovitu grafičku vizualizaciju rezultata.

Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)

Evaluation Configur	ation					×
Evaluation output direct	tory:					
Result Attributes Direct	Result Attributes Direct Output					
 Overwrite all prev Keep results from 	vious results previous sim	ulation runs				
Add list colum	nns for new sir	mulation run	s automat	ically		
Additionally collect d	ata for these c	asses:				
Vehicle Classes	Pe	destrian Cla	sses			
10: Car 20: HGV 30: Bus 40: Tram 50: Pedestrian 60: Bike	1:	People				
	Collect data	From time	To time	Interval		
Area measurements		0	99999	99999		
Areas & Ramps		0	99999	999999	More	
Data collection		0	99999	99999		
Delays		0	99999	99999		
Links		0	99999	999999	More	
Network performance		0	999999	999999		
Nodes		0	99999	999999	More	
Pedestrian travel times		0	99999	99999		
Queue counters		0	99999	99999	More	
Vehicle travel times		0	99999	99999	More	
				ОК	Can	cel

Slika 2.4: Prozor za određivanje izlaznih rezultata

3 OSNOVNI MATEMATIČKI MODELI U VISSIM-u

U nastavku ćemo opisati modele u VISSIM-ovom programskom kodu koji se najčešće rabe, a to su*Model prihvatljivih vremenskih praznina(eng. Gap Acceptance Model)*i *Model slijeda vozila(eng. Car Following Model).* Primjenjujemo ih u simuliranjuprometnog toka vozila.

3.1 MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA (ANG.: GAP ACCEPTANCE MODEL)

Modeliranje vremenskih praznina predstavlja ključni element svake mikroskopske simulacije. U programskom alatu VISSIM imamo dva načina za određivanje parametara vremenskih praznina koji se rabe u analizama propusne moći.

a) Pravila prednosti (ang.: Priority Rules)

Za određivanje pravila prednosti u nesemaforiziranim raskrižjima (odnosno priključcima) možemo primijeniti takozvana *pravila prednosti* odnosno "*Priority Rules*". Taj način određivanja prednosti vožnje kroz konfliktne točke primjenjujemo u svim slučajevima križanja prometnih tokova, odnosno kad želimo da se vozila međusobno vide na susjednim

prometnim trakama i da primjene pravila prednosti (desne strane) koje odredi korisnik programskog alata.

Slika 3.1prikazuje tipičan primjer i prozor za unos koji omogućuje brojna prilagođavanja. Sažet ćemo samo ono što je bitno za mikrosimulacijsku analizu. Naravno da je najvažnija vrijednost vremenske praznine (*ang.: Gap Time*) koja utječe na samu propusnu moć (kapacitet). Osim vrijednosti vremenske praznine, u najvažnije parametre vezane uz analizu prometne sigurnosti ubrajamo i dužinu konfliktnog područja (*ang.: Headway*). U Sloveniji nemamo propisane vrijednosti (parametre) koje bismo mogli uporabiti u modeliranju vremenskih praznina. U *Pravilniku za projektiranje cesta* usvojenaje metodologija HCM za potrebe kapacitetnih proračuna, no smatramo da ti parametri nisu najprikladniji za slovenske okolnosti, što bi bilo potrebno utemeljiti na osnovi konkretnih istraživanja. Programski alat VISSIM ima preporučene (zadane) vrijednosti (*ang.: Default Values*) minimalno prihvatljivih vremenskih praznina koje služe kao pomoć korisniku za postavljanje osnovnog modela koji je potrebnona kraju potvrditi (*validirati*) i standardizirati (*kalibrirati*) – – vidi poglavlje 3.4.



Slika 3.1: Prikaz postavljanja "Priority Rules" za potrebe modeliranja prihvatljivih vremenskih praznina u programskom alatu VISSIM 6.0

Prednosti programa VISSIM su u tome što je moguće postaviti više različitih kriterija i parametara za određivanje pravila prednosti. Tako možemo prilagoditi različite uvjete za

različite tipove vozila i vozača (npr. teretna vozila trebaju za uključivanje u promet bitno više vrijednosti *Min. Gap Time).* Važno je naglasiti da je moguće odrediti i različite parametre za različite karakteristike mreže (biciklističke staze, tramvajske pruge, ...).

Nedostatke programa VISSIM vidimo u tome što u nesemaforiziranim raskrižjima nije moguće odrediti različite vrijednosti minimalne prihvatljive vremenske praznine koje bi bile prihvatljive za neke vozače (npr. mlađe, smionije) i obrnuto.

Ukoliko je Min. Gap Time postavljen na 3 sekunde, tada će vozači koji se vozilom uključuju u raskrižje prihvatiti samo one vremenske praznine koje će biti više od 3 sekundi i odbit će sve niže vrijednosti. Također, u praksi se događa da vozači koji čekaju dulje vrijeme na uključenje (kapacitetno preopterećena raskrižja i priključci), nakon određenog vremena (većeg broja neprihvaćenih vremenskih praznina) više riskiraju te su spremni prihvatiti i kraću vremensku prazninu od propisane. No, općenito vrijedi da veće vremenske praznine imaju bitno veću mogućnost da ih vozači prihvate i obrnuto.

b) Konfliktna područja (ang.: Conflict Areas)

Konfliktna područja se (u VISSIM-u) također primjenjuju za određivanje pravila prednosti na mjestu križanja prometnih tokova (Slika 3.2). Za razliku od funkcije *Priority Rules,* funkcija *Conflict Area* primijenjena je u većini obrađenih primjera. Svojom funkcionalnošću i jednostavnošću (djelomično i automatizacijom) olakšava rad te, što je najvažnije, minimizira mogućnost inženjerskih grešaka prilikom određivanja pravila prednosti i izbora potrebnih parametara.



Slika 3.2: Prikaz postavljanja konfliktnih područja (Conflict Areas) za potrebe modeliranja prihvatljivih vremenskih praznina u programskom alatu VISSIM 6.0

Vozač koji se iz SPS približi području konflikta, "izradi" plan prelaska konfliktnog područja. U tom slučaju promatra vozila koja prometuju GPS i na temelju svog poimanja (percepcije), svojih sposobnosti i karakteristika svog vozila (dužina, sposobnost ubrzavanja...) te uvjeta na cesti (kiša, snijeg...) donese odluku o tome koju će vremensku prazninu prihvatiti prilikom uključivanja. Na temelju analize i odluke, vozač ima izrađen i plan ubrzavanja koji će mu omogućiti uključivanje u prometni tok (ne želeći pritom prouzročiti sudar u naletu na vozilo iz GPS). Pri tome vozač uzima u obzir i uvjete prometne trake na GPS (hoće li imati slobodan put za prikladno ubrzavanje do željene brzine...). Ako vozač ustvrdi da će morati usporiti ili da će čak morati zaustaviti svoje vozilo zbog drugih vozila, on "proračuna" odnosno

odabereveću vremensku prazninu ili pak donese odluku o odustajanju od manevra uključivanja (do daljnjega).

Vozači na GPS jednako reagiraju na konfliktna područja. Ukoliko vozilo iz SPS ne uspije u potpunosti realizirati manevar uključivanja (preoptimistična najava vozača iz SPS), vozač na GPS počne s manevrom kočenja (po potrebi se zaustavi). Ukoliko se na području konflikta stvori kolona vozila na GPS, nadolazeća vozila uvažavaju mogućnost uključivanja iz SPS i ne zaustavljaju se na području konflikta kako ne bi uzrokovali "blokadu" priključka.

Funkciju *Conflict Area* primjenjujemo u križanju, spajanjui preplitanju prometnih tokova. Uvođenjem funkcije *Conflict Area* nudi se mogućnost direktnog prilagođavanja preglednosti *(eng. Visibility)* koja omogućuje modeliranje prepreka u polju preglednosti iz SPS.

Osim parametra vidljivosti, moguće je odrediti još dva parametra: "prednju prazninu"(eng. Front Gap) i "zadnju prazninu"(eng. Rear Gap) kao što prikazuje Slika 3.3. Parametri se rabe samo u simulaciji križanja prometnih tokova. Parametar "sigurnosni razmak"(eng. Safety Distance) primjenjujemo samo u slučaju spajanja prometnih tokova. Parametra "sigurnosni razmak" kod spajanja prometnih tokova množimo tim parametrom kao što prikazuje Slika 3.4. Za svaki tip vozila možemo odrediti pripadajuću vrijednost parametra.



Slika 3.3: Prikaz Front Gap (lijevo) i Rear Gap (desno) parametra



Slika 3.4: Prikaz "Safety Distance Factor"; gore vrijednost 1.0, dolje 0.5. Plavo vozilo se može uključiti, crveno ne može. (PTV, 2013)

Parametar "dodatni zaustavni put" (eng. Aditional Stop Distance) rabimo sa svrhom da na SPS možemo odrediti "zamišljenu" crtu zaustavljanja vozila, ukoliko nisu ispunjeni uvjeti za

uključivanje u GPS. Ukoliko je izbrana mogućnost "uvažavaj susjednu prometnu traku" (*eng.ObserveAdjacentLanes*), vozači iz SPS promatraju vozila na GPS koja će se na konfliktnom području prestrojiti i voziti drugom prometnim trakom.Parametar "predviđanje puta" (*eng. Anticipate Routes*) je u području [0,1]; njime određujemo postotak vozila na SPS kojaće predvidjeti skretanje vozila na GPS prije konfliktnog područja.

Parametar "izbjegavanje blokiranja" *(eng. Avoid Blocking)* je u području [0, 1] i primjenjuje se samo za križanja prometnih tokova. Tim parametrom određujemo postotak vozila na GPS koja neće ulaziti u područje konfliktnog križanja ako ga ne mogu odmah i razriješiti. Dok vozila s GPS čekaju odgovarajući trenutak prolaza kroz konfliktno područje, vozila iz SPS mogu ući u raskrižje i proći kroz konfliktno područje. Zadana *(eng. Default)* je vrijednost dužine koju očekuje vozilo na GPS da može proći kroz konfliktno područje (dužina vozila + 0.5 m). U obzir se uzima i zadana *(eng. Default)* vrijednost brzine vozila na GPS. Ukoliko je manja od 5 km/h i manja od 75 % njegove željene brzine ili ako je prepreka za prelaženje odnosno dostizanje brzine crveni signal na semaforu, vozilo neće ući u konfliktno područje kako tim manevrom ne bi blokiralo križanja prometnih tokova vozila.

Kao što možemo razabrati iz prethodnog teksta, uvođenjem funkcije *Conflict Area* 2008. godine, tvorci programske opreme VISSIM pojednostavili su rad s konfliktima i postigli bitno veće približavanje realnom stanju vožnje vozila na području konflikata.

3.2 MODEL SLIJEDA VOZILA (ENG. CAR FOLLOWING MODEL)

1963. godine Michaelis je ustanovio (Michaelis, 1963.) da vozač na temelju percepcije veličine vozila koja se mijenja brzinom odnosno udaljenošću, može zamijetiti promjene u brzini vozila koje vozi ispred njega (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010). Preciznost mikrosimulacijskog modela u velikoj mjeri ovisi o kvaliteti modeliranja vozila, odnosno o metodi pomicanja vozila u mreži. Za razliku od ostalih mikrosimulacijskih alata koji koriste manje zamršene metode (konstantna brzina vozila i deterministični pristup slijedu vozila te tzv. stanični model), VISSIM primjenjuje psihofizički matematički model, prvotno razvijen od strane njemačkog stručnjaka Wiedemanna (PTV AG, 2013). Osnovni princip modela temelji se na "imitiranju" konkretnih reakcija i odluka koje donosi vozač kada vozi iza drugog vozila.

Kada vozač dostigne vozilo ispred sebe, počne kočiti u trenutku svog individualnog praga zamjećivanja sporijeg vozila ispred sebe. Budući da nije moguće odrediti točnu brzinu vozila ispred sebe, njegova će prilagođena brzina biti niža od brzine vozila ispred njega. Zatim vozač počne ponovno ubrzavati vozilo dok ne postigne sljedeći prag zamjećivanja (percepcije). Proces se iterativno nastavlja s izmjenom ubrzavanja i kočenja (Slika 3.5).



Slika 3.5: Prikaz psihofizičkog matematičkog modela slijeda vozila po Wiedemannu(PTV AG, 2013)

Granične vrijednosti modela razjašnjene su pomoću sljedećih matematičkih izraza i opisa (Wiedemann & Reiter, 1992), (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010):

AX: *željeni* (sigurni) razmak između dva vozila u redu čekanja (koloni), gdje predstavlja rnd1 s normalnom raspodjelom N (0.5, 0.15):

$$AX \coloneqq VehL + MinGap + rnd1 \cdot axmult \tag{3.1}$$

pri čemu su:

VehL –dužina vozila

MinGpa - minimalna praznina između vozila

ABX: željeni minimalni razmak slijeda vozila koje ovisi o vrijednosti *AX*, vrijednosti *BX*,koja predstavlja sigurnosni razmak i brzinu vožnje*v*:

$$ABX \coloneqq AX + BX \cdot v \tag{3.2}$$

SDV: reakcija vozača kada je svjestan da se približava vozilu ispred sebe. Vrijednost *SDV* raste sa smanjivanjem razlike brzine Δv . U izvornom radu Wiedemanna iz 1974. godine dodano je još jedno granično stanje *CLDV* (približavajuća razlika u brzini) koju je uporabio za modeliranje dodatnog kočenja (usporavanja), s većim učinkom kočenja nego kod *SDV*.

OPDV: reakcija vozača kada zamijeti da postaje (bitno) sporiji od vozila ispred sebe i stoga počne ponovno ubrzavati. Razlika u vrijednosti reakcije OPDV je veća u usporedbi s vrijednošću CLDV.

SDX: granično predviđanje/zamjećivanje (percepcija) u svrhu modeliranja razmaka između vozila koje iznosi od (1.5÷2.5) vrijednosti ABX.

Vozač koji slijedi vozilo ispred sebe počne reagirati na određenoj udaljenosti, obično na 150 m. Minimalni stupanj ubrzavanja i usporavanja iznosi 0.2 m/s². Maksimalni stupanj ubrzanja ovisi o tehničkim karakteristikama vozila. Obično su te vrijednosti manje (npr. za teretna vozila) nego što bi vozač želio. Model sadrži i pravilo mogućeg prekoračenja maksimalnog stupnja ubrzanja u nuždi. To se dogodi ako vrijednost ABX raste. U tom slučaju granične vrijednosti ovise o trenutnoj brzini vozila (v), kao što prikazuje Slika 3.5.

Slika 3.5prikazuje i utjecaje različitih graničnih vrijednosti. Vozači koji riskiraju približavaju se graničnim vrijednostima, dok smireniji vozači i manje pozorni vozači voze udaljenije od graničnih vrijednosti. Pozornost (pribranost) vozača mjerimo pomoću vrijednosti SDV, dok sigurnosni razmak mjerimo sa BX (Wiedemann & Reiter, 1992).

<u>Primjer:</u> S obzirom na osnovni dijagram (Slika 3.5), kapacitet četverotračne autoceste bio bi otprilike 1950 voz/h/trak kada bi svi vozači vozili defenzivno (manje rizično). No, kapacitet ceste povisi se i na 2250 voz/h/trak kada su na njoj agresivnijivozači,tj. koji više riskiraju (voze na granici dijagrama - Slika 3.5). Jasno je da različite propisane granične vrijednosti znatno utječu na kapacitet ceste.

Osnovna ideja Widemannovega matematičkoga modela temelji se na predviđanju da se vozač može nalaziti u jednoj od četiriju situacija:

- vožnja u slobodnom prometnom toku: vozač vozi bez utjecaja ostalih vozila.
 Vozač teži postići propisanu brzinu putovanja i održavati ju u procesu vožnje.
- II. približavanje:vozač prilagođava brzinu vožnje sporijem vozilu ispred sebe (kočenjem) s namjerom da razlikau brzini bude nula u trenutku kad ostvari (za njega) primjeren sigurnosni razmak;
- III. **slijeđenje**.vozač slijedi vozilo ispred sebe, no zbog premalo preciznog dodavanja i oduzimanja gasa dolazi do blagih oscilacija u brzini koje se kreću oko vrijednosti nula.
- IV. kočenje: događa se u procesu srednjih ili većih usporavanja, ukoliko sigurnosni razmak između vozila padne ispod granične vrijednosti. Drugu mogućnost predstavlja iznenadno kočenje vozača u vozilu ispred i/ili ukoliko se vozilo iz susjedne prometne trake"ispreplete" (mijenja prometnu traku).

U svim situacijama ubrzavanje je opisano kao rezultat trenutačne brzine, razlike u brzini, razmaka između vozila i individualnih karakteristika vozača i vozila. Vozač mijenja situaciju kad postigne određenu graničnu vrijednost koja se izražava kao kombinacija razlike u brzini i sigurnosnog razmaka. Sposobnosti vozača u zamjećivanju razlika u brzini i utvrđivanju razmaka od vozila ispred sebe mijenjaju se s obzirom na pojedine karakteristike starosnih grupa vozača. U nastavku su opisani osnovni parametri(Slika 3.6), koje je moguće prilagoditi u procesu standardizacije (kalibracije) simulacijskog modela.

💕 Driving Behavior Parameter Set	
No.: 1 Name: Urban (motori	zed)
Following Lane Change Lateral Signa	Control
Look ahead distance	Car following model
min.: 0,00 m	Wiedemann 74 🔹
max.: 250,00 m	Model parameters
4 Observed vehicles	Average standstill distance: 2,00 m
Look back distance	Additive part of safety distance: 2,00
min.: 0,00 m	Multiplic. part of safety distance: 3,00
max.: 150,00 m	
Temporary lack of attention	
Duration: 0,00 s	
Probability: 0,00 %	
Smooth closeup behavior	
Standstill distance for	
static obstacles:	
	OK Cancel

Slika 3.6: Prikaz parametara za cestu u naselju prema Wiedemannu 74. (PTV AG, 2013)

Osnovni parametri koje korisnik mora propisati su:

- I. promatranje prometa(sigurnosnog razmaka)(eng. Look Ahead Distance): s minimalnim odnosno maksimalnim razmakom određujestvarnu mogućnost percepcije vozača u zamjećivanju ostalih vozila na istoj traci
- II. **promatrana vozila**(*eng. Observed Vehicles*): broj promatranih vozila utječe na predviđanje pomaka ostalih vozila i, sukladno tome, vozač prilagođuje svoju vožnju
- III. **promatranje prometa iza sebe**(*eng. Look Back Distance*): određuje razmak s kojeg vozač može promatrati promet iza sebe i reagirati s obzirom na situaciju
- IV. privremeno pomanjkanje (preusmjeravanje) pozornosti (eng. Temporary Lack of Attention): vozač neće reagirati na vozila ispred sebe (osim u slučaju iznenadnoga snažnog kočenja) u određenom vremenu. Služi za određivanje trajanja (engl. Duration) pomanjkanja pozornosti i vjerojatnosti (engl. Probability), kojima definiramo koliko se često preusmjeravanja pozornosti događaju. Što su te vrijednosti više, bit će niža propusna moć ceste.
- V. precizno definiranje ponašanja vozača:zamjećivanje vozila u mirovanju uzima se u obzir ukoliko je odabrana opcija"*Smooth closeup behavior*". Ukoliko ta opcija nije odabrana, vozači se ponašaju po principu "slijeda" i zaustavit će se tek kada se zaustavi vozilo ispred njih(brzina<1 m/s).</p>
- VI. razmak od fiksnih objekata(eng. Standstill Distance For Static Obstacles): ukoliko je odabrana ta opcija, bit će uporabljen standardni razmak (ax = 0.5 m) prema stajaćem objektu, umjesto zadane (eng. default) vrijednosti [0.5, 0.15].

Tijekom izvođenja mikrosimulacija možemo odabiratisljedeće modele slijeda vozila (*eng. Car Following Model*):

- a) Wiedemann 74: prikladan za ceste u naselju
- b) Wiedemann 99: prikladan za ceste izvan naselja i autoceste (osim za područja preplitanja i uključivanja)
- c) bez modela: prikladan izbor za jednostavne simulacije (npr. pješaka).

3.2.1 MATEMATIČKI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 74"

U simulacijskom programu VISSIM-a primjenjujemo dopunjenu verziju osnovnoga Wiedemannovog matematičkog modela iz 1974. godine. U njemu se nude sljedeći parametri:

- prosječni razmak između vozila u mirovanju(eng. Average Standstill Distance)(ax)
 određujemo prosječni željeni razmak između zaustavljenih vozila
- dodatni udio željenog sigurnosnog razmaka(eng. Additive part of desired safety distance) (bx_{add})i dodatni faktor željenog sigurnosnog razmaka (eng.Multiplicative part of desired safety distance) (bxmult) utječu na izračun sigurnosnoga razmaka. Razmakizmeđu dvaju vozila računamo prema jednadžbi (3.3), abxprema jednadžbi(3.4):

$$d = ax + bx \tag{3.3}$$

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} \cdot z) \cdot \sqrt{\nu}$$
(3.4)

gdje je:

v-brzina vozila

z- vrijednost između 0 i 1 (obično izaberemo 0.5 sa standardnom devijacijom 0.15).

3.2.2 MATEMATIČKI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 99"

Prikazane su temeljne osnove modela Wiedemann 99 (W 99) koji je nastao prema Wiedemannovem modelu prometnog toka 1999. godine (PTV AG, 2013). Parametri ovoga modela obuhvaćeni su jednadžbom(3.5).

CC0 je propisani željeni razmak između zaustavljenih vozila i nema varijacija.

CC1 je vrijeme kretanja, gdje je v brzina u [m/s]; sigurnosni razmak dx_safeutvrđujemo na sljedeći način:

$$dx_safe = CC0 + CC1 \cdot v \ [m]. \tag{3.5}$$

Sigurnosni razmak *dx_safe* predstavlja minimalni razmak između dvaju vozila i činjenično je individualan podatak te ovisi o vozaču. Sigurnosni razmak bitno utječe na kapacitet prometnog toka i, naravno, na samu sigurnost.

CC2 je promjenjivi razmak slijeda. Taj je razmak jednak*dx_safe* i može se povisiti (ovisi o vozaču), npr. dx_safe + 10 m.

CC3 je parametar koji nadzire kočenje vozila u slijedu koje se događa kada vozač zamijeti da je vozilo ispred njega sporije i na vrijeme počne kočiti (za vozača je to sigurnosni razmak).

CC4 i CC5 sigurnosni su parametri slijeda koje možemo podesitina odgovarajuću graničnuvrijednost (reagiraju u slučaju prekoračenja).

CC6 predstavlja oscilaciju brzine kod slijeda. Ako parametar iznosi 0, nema oscilacije brzine. Posljedično, veći parametri znače veće oscilacije.

CC7 predstavlja oscilaciju ubrzanja.

CC8 predstavlja ubrzanje kod starta vozila iz stanja mirovanja.

CC9 je ubrzanje brzine vozila koja voze 80 km/h. Ograničen je krivuljama ubrzanja.

8 [®] Driving Behavior Parameter Set									
No.: 1 Name: Urban (motorized)									
Following Lane Change Lateral Signal Control									
Look ahead distance	Car following model								
min.: 0,00 m	Wiedemann 99 🗸								
max.: 250,00 m	Model parameters								
4 Observed vehicles	CC0 (Standstill Distance):	1,50	m						
Look back distance	CC1 (Headway Time):	0,90	s						
min.: 0,00 m	CC2 ('Following' Variation):	4,00	m						
max.: 150,00 m	CC3 (Threshold for Entering 'Following'):	-8,00							
	CC4 (Negative 'Following' Threshold):	-0,35							
Temporary lack of attention	CC5 (Positive 'Following' Threshold):	0,35							
Duration: 0,00 s	CC6 (Speed dependency of Oscillation):	11,44							
Probability: 0,00 %	CC7 (Oscillation Acceleration):	0,25	m/s2						
Creath classus habituits	CC8 (Standstill Acceleration):	3,50	m/s2						
Standstill distance for	CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h):	1,50	m/s2						
static obstacles: 0,50 m									
1					ĸ	Cancel			
				0		Cancer			

Slika 3.7: Primjer programskog polja za unos psihofizičkih parametara Wiedemann 99

Promjena prometne trake (prestrojavanje) odvija se na dva načina: potrebno (nužno) mijenjanje i slobodno (svojevoljno) mijenjanje traka.

Kod mijenjanja prometne trake, model W 99 prati brzinu vozila koje mijenja prometne trake i vozila za njim te omogućuje promjenu prometne trake lijevo i desno.

3.3 MODEL PRESTROJAVANJA (ENG. LANE CHANGE)

Kod simulacijeprometnih tokova razlikujemo dvije "potrebe" (nužnosti) upromjeni prometnih traka(Slika 3.8):

1. potrebno (nužno) mijenjanje trake (kako bismo vozilo "doveli" na željenu cestu)

2. slobodno mijenjanje trake (zbog postizanja veće brzine na manje zauzetom prometnom traku).

U slučaju "potrebne promjene prometne trake", u parametrima ponašanja vozačauključene su maksimalno prihvatljive deceleracije vozila. Ovi podaci obuhvaćaju i vozilo na susjednoj prometnoj traci, ovisno o udaljenosti do trenutačne (promptne) lokacije zaustavljanja na sljedećem "konektoru" cestovnog linka.

U slučaju *"slobodnog mijenjanja prometne trake"* simulacijski program "provjerava" sigurnosni razmak vozila (u susjednoj traci) iza vozača koji se prestrojava. Taj sigurnosni razmak ovisi o brzini promatranog vozila i brzini vozila koje se prestrojava. U aktualnoj verziji VISSIM 6.0 nema opcije za podešavanje "agresivnosti" vozača koji želi promijeniti prometnu traku, ali je moguće prilagođivanjem parametara (koji su uporabljeni u *modelu slijeda vozila*) utjecati na slobodno mijenjanje prometne trake.

U oba primjera, kad vozač želi promijenitiprometnu traku, u prvom koraku iteracije provjeravamo odgovarajuću "vremensku prazninu" (eng. Headway) na ciljnoj prometnoj traci. Vremenska praznina ovisi o brzini vozila koje se prestrojava i vozila koje dolazi "odostraga" na ciljnoj prometnoj traci. Potrebno prestrojavanje vozila također ovisi o veličini usporenja (deceleraciji) brzine, odnosno "agresivnosti" vozača drugog vozila, a koje se određuje u polju za unos. Odredimo maksimalna usporenja (deceleracije) vozila koje mijenja prometne trake (eng. Own) i vozila koje je na ciljnojprometnoj traci(eng. Trailing). Raspon tih parametara je određen "maksimalnim usporenjem" (eng. Max. Decelerations) i "prihvatljivim usporenjem"(eng. Accepted Decelerations). Dodatno je moguće prilagoditi još takozvani "redukcijski faktor" (eng.-1m/s² per distance) koji smanjuje maksimalnu vrijednost usporenja s povećavanjem udaljenosti do trenutačnog zaustavljanja.

Funkcija "vrijeme čekanja prije uklanjanja vozila iz simulacije" *(eng. Waiting Time Before Diffusion)* određuje koliko će vozilo uz "punu crtu" čekati na promjenu prometne trake (traženje prikladne praznine), dok simulacija automatski ne ukloni vozila iz procesa. To je vrlo korisna funkcija kad se zbog "neaktivnosti" jednog vozila "zablokira" simulacija. U tom se slučaju na kraju simulacije pojavi poruka "*ErrorMessage*".

Također je moguće odrediti "minimalni razmak ispred" *(eng. Min. Headway)* u odnosu na vozilo u mirovanju na susjednoj traci i "faktor redukcije sigurnosnog razmaka" *(eng. Safety*

Distance Reduction Factor). Primjerice, vrijednost faktora 0.6 smanjuje sigurnosni razmak za 40 %. Kad vozilo promijeni prometnu traku, sigurnosni se razmak za ovo vozilo ponovno postavi na zadanu(*eng. Default*) vrijednost.

Vrijednost parametra "maksimalnog usporenja (deceleracije) za kooperativno kočenje" *(eng. Maximum Deceleration for Cooperative Braking)* predstavlja prihvatljivo usporenje (deceleraciju) vozila na susjednoj prometnoj tracis namjerom da "propusti" ispred sebe vozilo koje se prestrojava. Ukoliko želimo modelirati ograničenja brzine na ciljnoj prometnoj trai, odnosno spriječiti da vozila koja mijenjaju prometnu traku izvedu taj potez na području gdje to ne želimo, odaberemo funkciju "izbjegavanje područja ograničene brzine" *(eng. Overtake Reduced Speed Areas).*

Funkcija "napredno spajanje" *(eng. Advanced Merging)* predstavlja noviju mogućnost koju prethodne verzije programa nisu omogućavale. Ova funkcija omogućuje manje nerealnih čekanja za potrebe mijenjanja prometne trake, odnosno vozila se za mijenjanje prometnih traka "odlučuju" prije. Time se propusna moć (kapacitet) ceste povećava i približava realnom stanju. "Kooperativno mijenjanje prometne trake" (*eng. Cooperative Lane Change)* pokazuje primjer pražnjenja prometne trake na autocesti kad se vozila uključuju iz trake za ubrzavanje. Ukoliko odaberemo tu mogućnost, onda je potrebno odrediti još dva parametra: "maksimalnu razliku brzine" *(eng. Max. Speed Difference)* između vozila i "maksimalno vrijeme kolizije" *(eng. Max. Collision Time).*

B [®] Driving Behavior Parameter Set						
No.: 1 Name: Urban (motorized)						
Following Lane Change Lateral Signal Control						
General behavior:	ee lane selection		▼			
Necessary lane change (route)	Own	Trailing v	vehicle			
Maximum deceleration:	-4,00 m/s2	-3,00	0 m/s2			
- 1 m/s2 per distance:	100,00 m	100,00	D m			
Accepted deceleration:	-1,00 m/s2	-1,00	0 m/s2			
Waiting time before diffusion:		60,00	D s			
Min. headway (front/rear):		0,50	D m			
To slower lane if collision time is above		11,00	0 s			
Safety distance reduction factor:		0,60	D			
Maximum deceleration for cooperative braking:		-3,00	0 m/s2			
Overtake reduced speed areas						
Advanced merging 📝						
Cooperative lane change						
Maximum speed difference:		10,80	0 km/h			
Maximum collision time:		10,00	D s			
Lateral correction of rear end position						
	Maximum speed:	3,00	km/h			
Active during time period from	1,00 s until	10,00	s after lane change start			
			OK Cancel			

Slika 3.8: Prikaz parametara za podešavanje modela prestrojavanja VISSIM

U mikrosimulacijskom modelu moguće je simulirati i pretjecanje vozila koja se nalaze na istoj prometnoj traci (npr. pretjecanje biciklista koji voze desnom prometnom trakom). Parametri se mogu podešavati unutar kartice postavki "*Lateral*" unutar parametara "*Driving Behavior Parametar Set*".

Običnonavedena podešavanja validiraju s grafom ovisnosti brzine o prometnom toku gdje se na određenim lokacijama modelirani podaci uspoređuju s činjeničnim.

3.3.1 OSTALI PARAMETRI MIKROSIMULACIJSKOG MODELA

Osim opisanih karakteristika ponašanja vozača, postoje i dodatni parametri za izvođenje mikrosimulacija, korisni prilikom izrade simulacijskog modela unutar programa VISSIM.

Brzina: *željena brzina, prosječna brzina i konkretna brzina* važne su varijable u simulaciji. Terenska (*realna*) mjerenja brzine možemo ubaciti u model konkretne raspodjele (*distribucije*) *brzine*(Slika 3.9). Za simulacijske modele (koji su namijenjeni testiranju prometne sigurnosti) vrlo su važni preciznost mjerenja i preciznost unosa raspodjele brzine. Povećavanje prosječne brzine vozila povećava stupanj ozbiljnosti prometnih nesreća i njihovih posljedica. Snižavanjebrzine pak posljedično smanjuje stupanj rizika i posljedice prometnih nesreća.



Slika 3.9: Prikaz raspodjele brzine (a) i maksimalnog ubrzanja (b)za osobna vozila

Karakteristike vozila: postoji mnoštvo karakteristika vozila koje utječu na prometnu sigurnost i na posljedice prometnih nesreća. Zasigurno su najvažnije "maksimalno ubrzanje" i "maksimalno usporenje". Mikrosimulacijski program VISSIM ne koristi samo jednu vrijednost za spomenute varijable, već rabi funkcijsku ovisnost ubrzanjai usporenja za svaki tip vozila posebno. Zadane *(eng. Default)* vrijednosti u VISSIM-u plod su dugogodišnjih istraživanja i standardizacija (kalibracija) te validacija simulacijskih modela. Usprkos svemu, korisnik ima mogućnost samostalnog podešavanja željenih parametara. Stohastičku "prirodu" ubrzanja i usporenja prikazujeSlika 3.9, gdje pojedinu funkciju čine tri krivulje (minimum, maksimum i prosječna vrijednost).

Preporučljivoje za motorna vozila upisati konkretne podatke omjera snage motora i težine vozila, što je u VISSIM-u vrlo jednostavno učiniti. Također možemo upotrijebiti zadane *(eng. Default)* vrijednosti (Slika 3.10). Teretna vozila ne koriste nasumce odabrane vrijednosti
(težina, snaga motora), već omjer snage i mase (kW/t), što obično iznosi 7 – 30 kW/t (prosječna vrijednost je 18,5 kW/t). Važno je još upisati pravilne omjere dužine i širine vozila unutar pojedine kategorije. Naravno, moguće je i proizvoljno određivanje vozila (heterogenost prometnog toka motornih vozila) unutar simulacijskog modela.



Slika 3.10: Prikaz omjera mase i snage motora za osobna vozila.

3.4 KALIBRACIJA I VALIDACIJA SIMULACIJSKOG MODELA

Zasigurno se svatko, tko se bavi simulacijama,pita koliko su vjerodostojni dobiveni rezultati, odnosno koliko su realni, posebice ako simulacije koristimo kao alat za prognoziranje prometnih tokova u budućnosti ("*što ako analize*" odnosno *eng. What if Analysis*). U tu svrhu je potrebno simulacijski model standardizirati (*kalibrirati*) i ocijeniti(*validirati*).

Kalibracija simulacijskog modela u pravilu se odnosi na konačno ("fino") podešavanje parametara s ciljem prikazivanja što stvarnijeg (realnom) stanja prometnog toka (na "terenu") u granicama (statističkih) dozvoljenih odstupanja. Najčešće se proces kalibracije simulacijskog modela odnosi na uređivanje prometa, karakteristike prometnog toka i karakteristike ponašanja vozača.

Validacija se odnosi na kontrolu preciznosti vrijednosti prometnih parametara koji su rezultat simulacije i parametara mjerenih na terenu. Vrijednosti simulacije obično se kreću unutar 5 % odstupanja od terenskih mjerenja. Za usporedbu promatranih i simuliranih vrijednosti možemo uporabiti široki spektar statističkih metoda (npr. t-test, Chi-2 test...) ili pak posebne modele (što je u Sloveniji "nepisano" pravilo). Mikrosimulacijske modele najčešće vrednujemo izrazom u jednadžbi (3.6), tj. GEH statističkom metodom (prema autoru Geoffrey E. Havers) koja u Velikoj Britaniji (DMRB 12, 1997)predstavlja standard za usporedbu prometnih tokova.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Flsim - Flobs)^2}{(Flsim - Flobs)/2}}$$
(3.6)

gdje je:

Flsim - simulirani prometni tok

Flobs - promatrani ("terenski") prometni tok.

Preporuka je da za barem 85 % prometnih tokova pokazatelj GEH ima vrijednost manju od 5 (GEH<5), ali na "kontrolnim presjecima" vrijednost mora biti manja od 4 (GEH<4).

Također je važno upotrijebiti veći broj simulacija pojedinog primjera jer se, u slučaju stohastičkih simulacijskih modela (kao u slučaju VISSIM-a), nasumce generiraju različiti parametri za različitu distribuciju prometnih tokova. Kako bismo izbjegli taj problem, unutar programa moguće je odrediti broj ponavljanja simulacije funkcijom "*Multi run*" (zadana vrijednost je 10).

Diskusija:

Opsežan korisnički priručnik (660 stranica) za potrebe programa VISSIM 6.0 (PTV AG, 2013) usmjeravat će i iskusnoga korisnika prema samostalnom radu te od njega zahtijevati usredotočenost na specifična poglavlja, karakteristična za program VISSIM 6.0. Svakako će biti potrebno detaljnije proučiti cijeli priručnik u susretu s brojnim funkcijama i parametrima te zadanim vrijednostima koje od korisnika traže puno znanja i iskustva s područja prometnog inženjerstva i teorije prometnog toka.

Praktični primjeri kojima se bavimo u nastavku (4. PRAKTIČNI PRIMJERI) korisnicima (studentima) zapravo predstavljaju tek smjernice za lakše razumijevanje i prve korake u području mikrosimulacija, te dodatak praktičnim primjerima koji se izvode unutar vježbi pripadajućeg studijskog predmeta. Primjeri su opisani tako da ih može shvatiti korisnik koji se prvi puta susreće s mikrosimulacijom, ali ga istovremeno potiču na čitanje literature i korisničkog priručnika. Poželjna je studentova prisutnost na vježbama gdje će, radeći sasistentom, otkritidetalje koji nisu pronašli mjesto uprimjerima. Htjeli smo izbjeći praktičneprimjere koji bi korisnika vodili "korak po korak", želeći skratiti vrijeme za pripreme osnovnih praktičkih primjera, a povećati motivaciju korisnika za samostalni rad.

Želja nam je potaknuti korisnike (studente) da nakon usvajanja, tj. ponavljanja teorije predstavljene u prvom dijelu ovoga udžbenika, kroz primjere upoznaju praktičnu primjenu mikrosimulacija u prometu. Nakon pripreme podataka, geometrije modela, prometnog opterećenja, kalibracije itd. teosnovne konstrukcije korisničkog sučelja s objašnjenjem osnovnih pojmova u VISSIM-u 6.0, slijedi prvi primjer koji smo nazvali "Prva mikrosimulacija", gdje se na jednostavnom praktičnom primjeru korisnik (vjerojatno prviputa) susreće sa simulacijom i animacijom prometa. Zatim slijede sve zahtjevniji primjeri, no još

uvijek dovoljno jednostavni i razumljivi da mogu i početnicima jasno približiti osnovnu ideju mikrosimulacija u prometu.

Svi praktični primjeri temelje se na konkretnim prometnim problemima s kojima se prometni inženjeri svakodnevno susreću i uzeti su iz stvarne okoline, s lokacije sjeveroistočne Slovenije. Nekisu korisnici, koji proučavaju ovaj udžbenik, možda već prolazili kroz navedeno kružno raskrižje. Prometna opterećenja prilagodili smo potrebama udžbenika, no ona su i dalje bliska spomenutom okruženju.

Budući da su procesi učenja vremenski ograničeni, praktični primjeri vode korisnika kroz nove funkcije, dok se već usvojeno znanje (npr. na prethodnim primjerima) primjenjuje tako da se prethodno izrađeni primjeri otvore, preimenuju i zatim nadograđuju. Tako smo nastojali izbjeći nepotreban i ponekad spor posao pripreme ulaznih podataka. Kao pomoć, pripremili smo sve ulazne datoteke *.inpx, prilog ovomudžbeniku u digitalnom obliku, i korisniku mogu poslužiti u provjeri i procjeni njegova rada.

Kao što je zapisano, preporučujemo primjenu priručnika "PTV VISSIM 6, User Manual", na raspolaganju u PDF formatu u "\Doc\Eng", direktoriju gdje je namještena aplikacija VISSIM 6.0. Unutar programa, korisniku je na raspolaganju pomoć koja se nalazi u glavnom meniju "Help/Online Help". Također, preporučujemo primjenu dodatne literature, navedene na kraju poglavlja *Literatura.*

Sa željom da korisniku što više približimo i pojednostavimo prve korake kroz praktične primjere, pripremili smo ujednačenu tipografiju: kratko pritisnuta lijeva tipka miša (analogno desna). U slučaju kada je potrebno napraviti više povezanih koraka, tada oni slijede kronološkim redom, npr. "Network Objekts/Links, tj. lijevom tipkom miša kliknuti željeni link, a zatim pritisnuti tipkuCTRL istovremeno s desnom tipkom miša te povući na željeno mjesto.

Na kraju svakog praktičnog primjera dodani su karakteristični slikovni isječci iz radne okoline VISSIM-a, s dodatnim tekstualnim opisima funkcija i parametara. Oni su namijenjeni kao pomoć studentu u samostalnom radu i u pravilu se ne nadovezuju na prethodni tekst koji je opisan u predmetnom primjeru, no pokušavaju slijediti logičan niz potrebnih radnji u praktičnom primjeru.

Sve potrebne datoteke za izvođenje pojedinih primjera priložene su aktualnom dokumentu udžbenika. Potrebno je otvoriti privitke (ikona ATTACHMENTS, dolje lijevo u dokumentu), odnosno pohraniti potrebne datoteke na svoje računalo.

Za ujednačenje oznaka unutar praktičnih primjera upotrijebljene su sljedeće grafičke oznake.

🗁 Grafička oznaka za novi praktični primjer

Grafička oznaka za opis novog primjera

Grafička oznaka za opis očekivanih rezultata

Grafička oznaka za opis koraka izrade primjera

Grafička oznaka za opis podsjetnika za brži i učinkovitiji rad

Orafička oznaka namijenjena produbljenom i dodatnom radu na primjeru

4 PRAKTIČNI PRIMJERI

4.1 PRIPREMA PODATAKA

Neovisno o izabranom mikrosimulacijskom modelu, za potrebe izrade modelatrebamo sljedeće podatke:

- **geometriju ceste** (širina prometnih traka, broj traka, dužine trake za skretanje, polumjer kružne krivine);
- uređivanje prometa (semafori, prometni znakovi);
- prometna opterećenja (opterećenje u prometnoj špici, opterećenje izvan prometne špice, broj vozila prema strukturi i smjeru, O-D matricu¹);
- **kalibraciju modela**(brojenje prometa i prikupljanje ostalih parametara: brzina vozila, konkretne dužine kolone vozila itd.).

Osim nabrojenih podataka, za potrebe izrade mikrosimulacijskog modela trebamo podatke o karakteristikama vozila (dužina i širina vozila, maksimalno ubrzanje/deceleracija, itd.) i vozača (agresivnost vozača, poznavanje okoline, itd.). Ove (podatke) možemo također prikupiti na terenu, no potrebno je naglasiti da je neke od njih vrlo teško izmjeriti; prije svega karakteristike vozača (npr. poznavanje okoline). Programski alat VISSIM nudi zadane parametre za vozila i vozače koji su dovoljni za usporedbu pojedinih varijanti uređivanja mreže.

4.1.1 GEOMETRIJA MODELA

Prilikom izrade mikrosimulacijskog modela, potrebno je prikupiti osnovne geometrijske podatke: broj prometnih traka, dužina traka za skretanje, horizontalni i vertikalni tok (u slučaju većih uzdužnih nagibakoji mogu utjecati na kapacitet), administrativna ograničenja brzine. Većinu tih podataka prikupljamo na temelju terenskog razgledanja i/ili izrađenih nacrta te ortofoto snimaka manje i veće rezolucije. Ortofoto snimke manje rezolucije su, u pravilu, javno dostupne (npr. *Bing, Google Maps)*,no u većini slučajeva dovoljne su za izradu geometrije modela postojećeg stanja. Na području Slovenije također su na raspolaganju ortofoto snimke više rezolucije (M 1:5000, 1:1000) koje su dostupne na *Geodetskoj upravi RS*(<u>www.gu.gov.si</u>) ili kod potencijalnih naručitelja (DARS, *Općine,...)* koji za svoje potrebe naručuju i arhiviraju podatke, također u višoj rezoluciji. Vrlo upotrjebljivi su i podaci iz geografskih informacijskih sustava (npr. <u>www.iobcina.si</u>, <u>www.prostor3.gov.si</u>).

Ukoliko želimo izraditi model *"predviđenog uređenja"*,tada trebamo podatke koji se nalaze u jednom od grafičkih formata (*.jpg, *.tif, ...)²ili u jednom od vektorskih formata (*.dwg, *.dxf).

¹ Samo u primjeru dinamičnog opterećenja.

²Potrebno geopozicionirati.

4.1.2 NAČIN UREĐENJA PROMETA

Pojam "način uređenja prometa" nadovezuje se na priključke (konektore) i raskrižja gdje je potrebno u modelu dodijeliti pravila prednosti u prometu, koja su uređena vertikalnom i horizontalnom signalizacijom. Svjetlosni signalni uređaji (semafori) predstavljaju jedan od načina uređivanja prometa. Ukoliko na terenu postoji semaforizacija, prilikom izrade modela potrebni su nam postojeći upravljački dijagrami koji su, najčešće, izrađeni u različitim vremenskim razdobljima (prometne špice, razdoblje izvan prometne špice, noćno vrijeme). Upravljačke dijagrame prikupljamo od strane upravitelja ili servisera semaforizacije (npr. *Centar za nadzor i upravljanje prometom).* Ukoliko je semaforizacija predviđena, izrađujese upravljački dijagram u procesu optimizacije i izbora optimalne varijante od strane (prometnog) inženjera.

U slučaju nesemaforiziranih raskrižja i priključaka potrebno je terenskim razgledanjem ustanoviti točnu lokaciju i način uređivanja prometa (davanjem prednosti ili znakom *"obvezno zaustavljanje"*).

4.1.3 PROMETNA OPTEREĆENJA

Za izradu modela potrebna su*konkretna* i *predviđena* prometna opterećenja prema strukturi i smjeru putovanja. Analiza se obično izrađuje za vrijeme jutarnje i popodnevne prometne špice koja se najčešće određuje na temelju ručnog, 16-satnog brojenja (između 5:00 i 21:00 sati u mjerodavnom danu). Ukoliko je na temelju pouzdanih podataka (blizina automatskih brojača prometa;<u>www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/promet/</u>) moguće odrediti vrijeme jutarnje i popodnevne špice, dovoljno je brojenje u intervalu dva sata ujutro i dva sata popodne, obuhvaćajući interval vršnog sata.

U slučaju analize propusne moći predviđenog raskrižja/priključka, generirane prometne tokove (npr. nova gradnja u prostoru) ocjenjujemo na temelju faktora generiranja prometa (npr. *Trip Generation Factors*; <u>www.pubsindex.trb.org/view.aspx?id=540317</u>) odnosno vrednovanja, primjerice, prema podatcima makroskopskog prometnog modela *Općine*.

Predviđena prometna opterećenja postojećeg raskrižja/priključka računamo pomoću faktora rasta prometa (analiza rasta prometa obližnjih automatskih brojača ili prema podatcima prometnog modela*Općine, Države*).

Ukoliko je predmet analize mreža s više raskrižja/priključaka, potrebno je podatke(zbog konzistencije) obuhvatiti u istom danu. U slučaju kapacitetno preopterećenih raskrižja,potrebno je pažljivo prebrojiti vozila koja žele proći kroz raskrižje, a ne samo ona koja u vršnom satu stvarno prolaze kroz raskrižje (kapacitet).

U slučaju kad želimo izraditi model dinamičnog opterećenja (odabir puta vozila u ovisnosti o propusnosti mreže), rabimo izvorno-odredišne matrice (O-D matrice) koje možemo izračunati sami, na temelju obavljenog brojenja (slijeđenje registarskih tablica) i/ili na temelju postojećeg općinskog odnosno državnog prometnog modela.

Jedan od ključnih parametara je struktura vozila, koju je potrebno uvažavati u fazi unosa prometnih opterećenja. U VISSIM-u je zadana struktura vozila *(Traffic/Vehicle Composition)* koju je potrebno nadomjestiti sa stvarnom strukturom vozila (brojenje prometa) za svaki krak raskrižja posebno.

4.1.4 KALIBRACIJA MODELA

Podatke za potrebe kalibracije modela najčešće dobivamo za vrijeme brojenja prometa. Parametri koje je potrebno obuhvatiti za potrebe kalibracije su: trajanje putovanja, dužine kolone vozila, kašnjenja vozila i konkretna brzina vozila na presjeku. Za potrebe kalibracije također je potrebno usporediti upravljački dijagram semaforizacije s činjeničnim stanjem na terenu.

4.1.4.1 TERENSKI RAD

Promet (u razdoblju prometnih špica) koji ćemo simulirati, korisno je promatrati na terenu. Vrlo jednostavnim promatranjem možemo odrediti, primjerice, karakteristike vozača koje se u procesu brojenja prometa ne mogu obuhvatiti. Također nam mogu pomoći videosnimke koje u cjelokupnom procesu kalibracije bitno pojednostavljuju rad (dužine kolone vozila, brzina vozila...). Na temelju terenskog razgledanja možemo ustanoviti i druga odstupanja, npr. geometrijska (ortofoto snimke nisu nužno aktualne, ažurne).

4.1.4.2 TRAJANJE PUTOVANJA

Za određivanje trajanja putovanja, u pravilu se rabi mjerenje u vozilu koje prijeđe put od točke A do točke B u razdoblju prometnih špica i izvan njega. Mjerenje se može obaviti u više vozila i ponoviti više puta. Za određivanje trajanja putovanja u razdoblju izvan prometnih špica preporučujemo barem tri mjerenja, a u razdoblju prometnih špica barem deset mjerenja.

4.1.4.3 STVARNA BRZINA

Za određivanje konkretne brzine vozila možemo koristiti podatke iz automatskih brojača prometa ili podatke iz indukcijskih petlji postojećih semaforiziranih prometno ovisnih raskrižja. Ukoliko ovi podaci nisu na raspolaganju, možemo obaviti terensko mjerenje brzine (npr. laserskim mjeračem brzine ili automatskim brojačima: *Metrocount, Numetrics* itd.). Također

je prihvatljiva pojednostavljena metoda mjerenja konkretnih brzina (u slobodnom prometnom toku) pomoću metode slijeda vozila (vožnje u koloni).

4.1.5 KAPACITET I TOK ZASIĆENJA

Kapacitet se može vrlo jednostavno izmjeriti pomoću brojenja vozila koja prelaze točku iza mjesta gdje nastaje zastoj. Idealno mjerenje provodi se u razdoblju jednosatnog zastoja.

Tok zasićenja definiran je kao broj vozila koja u sat vremena prođu kroz raskrižje, pod pretpostavkom da je zeleni signal na raspolaganju cijelo vrijeme i da tijekom vožnje ne nastaju nikakvi zastoji. Tok zasićenja prikazan je brojem vozila koja prometuju prometnom trakom u jednom satu. Prometni tok zasićenja može se izmjeriti (HCM, 2010) za svako semaforizirano raskrižje čije je opterećenje veće od nazivnog kapaciteta. Obično ta mjerenja prekoračuju razinu izrade analize propusne moći, stoga se rabe vrijednosti preuzete iz HCM-a.

4.1.5.1 KAŠNJENJA I PODATCI DUŽINE KOLONE VOZILA

Kašnjenja možemo izračunati prema vozilima koja prometuju za potrebe mjerenja konkretnih trajanja putovanja. U slučaju većeg broja raskrižja, također izvan razina (npr. priključne rampe),mjerenja najčešće premašuju troškove same izrade analize propusne moći. Usporedive rezultate postižemo brojenjem vozila koja se u raskrižju zaustave (vidi HCM, 2010.). Broj zaustavljenih vozila bilježi se svakih 30 sekundi. Taj broj množimo s intervalom brojenja (30 sekundi) i dobivamo ukupne vremenske gubitke odnosno kašnjenja. Prosječnu vrijednost vremenskih gubitaka saznajemo ako dijelimo ukupni vremenski gubitak s brojem vozila koja prelaze poprečnu crtu gdje je predviđeno zaustavljanje (odvojeno mjerenje). Vremenski gubitci zaustavljenog vozila mogu se pretvoriti u vremenske gubitke zbog uređivanja prometa (određivanje pravila prednosti) prema metodologiji HCM-a (2010).

4.1.6 PRAKTIČNI PRIMJER POSTUPKA PRIKUPLJANJA PODATAKA

Izračunati (odrediti) je potrebno npr. moguću dužinu traka za skretanje na državnoj cesti zbog potrebe priključivanja trgovačkog centra preko novog kraka raskrižja.

Grafičku podlogu u formatu *.dwg izrađuje projektant (osnovu predstavlja geodetski plan postojećeg stanja) koji je odredio način uređivanja prometnih tokova s nesemaforiziranim raskrižjem zbog niskih prometnih opterećenja na GPS.

Provjerimo bazu podataka automatskih brojača kojima upravlja *Direkcija RS za ceste (DRSC).* Ustvrdimo da u neposrednoj blizini nema na raspolaganju automatskog brojača, stoga obavimo ručno strukturno brojenje prometa na lokaciji gdje je predviđen novi priključak. Brojenje prometa obavimo između 5:00 i 21:00 sat, u utorak po sunčanom vremenu. Odredimo jutarnji, popodnevni i mjerodavni vršni sat.

Na temelju podataka predviđenog trgovačkog centra (predviđeni broj parkirališta, očekivani broj posjetitelja, bruto etažne površine, predviđene djelatnosti itd.) odredimo generiranje i atrakciju putovanja u vršnim satovima koji se poklapaju s vršnim satovima na državnoj cesti i još za mjerodavni vršni sat trgovačkog centra (obično subota ujutro ili petak popodne).

Za vrijeme brojenja obavimo mjerenje konkretnih brzina (vožnja u slobodnom prometnom toku) i promatranje prometa (npr. mogući utjecaj susjednih raskrižja).

U*Općini* i kod upravitelja državne ceste potrebno je obaviti moguće nove gradnje koje bi u planiranom razdoblju (20 godina s obzirom na *Pravilnik o projektiranju cesta*) mogle dodatno opteretiti cestovni presjek na mjestu priključivanja. Ako *Općina* ne raspolaže prometnim modelom, izračunamo predviđeni rast prometa na temelju trenda rasta (min. promatranje 5 godina) obližnjih automatskih brojača, pojedinačno za osobni i zateretni promet. Na temelju određenih faktora rasta prometa izračunamo prometna opterećenja u jutarnjem, popodnevnom i mjerodavnom vršnom satu za planirano razdoblje od 20 godina.

Prije svega, provjerimo izbrojena i izračunata prometna opterećenja, usporedimo ih s poznavanjem lokalnih uvjeta (npr. usmjerenost prometnih tokova u jutarnjoj špici prema "radnim mjestima"). Izračunata generiranja i atrakcije uspoređujemo s već izgrađenim sličnim trgovačkim centrima. Provjerimo mogućnost pristupa pješice(općenito, pješaci smanjuju kapacitet raskrižja) i po potrebi u analizu uključimo još prometni tok pješaka. S tako pripremljenim podacima možemo početi s izradom mikrosimulacijskog modela.

4.2 KORISNIČKO SUČELJE VISSIM 6.0 I OBJAŠNJENJE OSNOVNIH POJMOVA

Korisničko sučelje VISSIM sastoji se od više prozora(Slika 4.31), koje možemo proizvoljno pomicati. Većina funkcija prikazana je u lijevom sporednom meniju "*Network Objects*". Parametri koje podešavamo, kao i rezultati simulacija, ispisuju se u tabličnom obliku *"List"* u donjem dijelu zaslona.



Slika 4.1: Korisničko sučelje VISSIM 6.0

U sporednom meniju "Network Objects" možemo podešavati aktivne elemente lijevim klikom. Pojedine elemente možemo zaključati (lijevi klik na ključanicu pokraj imena) i tako ih zaštititiod nenamjernog mijenjanja. Uz desni rub nalaze se mogućnosti grafičkog prikaza pojedinog elementa i ime elementa koji mijenjamo jednostavnim lijevim klikom (Slika 4.3).

	Sel	ectability	Insert	Labe	1
Visibility	/				GPar
K	<u>30</u>	Desired Speed Deci	sions		
4	А 🛆	Reduced Speed Are	as		
	a a	Conflict Areas			
5	$\overline{}$	Priority Rules			
6		Stop Signs			
	2	Signal Heads			1
C		Detectors			
	P	Parking Lots			
-		Vehicle Inputs		А	
	-	Vehicle Routes		А	
	2	Public Transport Sto	ops		

Slika 4.2: Sporedni meni – elementi mreže

Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)



Slika 4.3: Sporedni meni – elementi mreže: mogućnost podešavanja grafičkog prikaza

U VISSIM-u možemo prikazati jedan ili više prozora za uređivanje mreže (*eng. Network Editor*)kao što prikazujeSlika 4.4. Na gornjoj alatnoj traci za uređivanje mreže nalaze se postavke grafičkog prikaza mreže (*eng. Basic GPar*)inaredbe za pomicanje (*eng. Pan*) te povećavanje/smanjivanje slike (*eng. Zoom*).



Slika 4.4: Network editor

Sve postavke korisničkog sučelja pohranjuju se zajedno s mrežom i prilikom idućeg otvaranja podešavaju se prema stanju prije pohranjivanja. U slučaju da želimo vratiti tvorničke postavke izgleda korisničkog sučelja, trebamo slijediti naredbu iz glavnog menija *Edit/User Preferences/ GUI/General/ Reset Dialog Positions.*

4.3 PRIMJER 1: "PRVA MIKROSIMULACIJA"



Slika 4.5: Primjer 1 – tok državne ceste

Upoznavanje osnovnih funkcija i radnog okruženja VISSIM-a. Samostalno uvoženje grafičke podloge s namjerom izrade otvorene dionice ceste u dužini od 500 m. Modeliranje tok ceste s obzirom na njezin konkretni tok. Upoznavanje korisnika s unosom konkretnih prometnih opterećenja, strukturom vozila prema smjeru vožnje i brzini. Upoznavanje rada sa prozorima, ikonama, mišem.

,

Rezultat predstavlja prvu samostalnu mikrosimulaciju prometa.

V

File/Save as i spremite Primjer1.inpx.

Većinu funkcija pozovete desnim klikom na element mreže ili radnog okružja, posljedično senudenove funkcije. Ako na elementkliknete dvaput, otvorese karakteristike elementa.

Učitajte podlogu s imenom Primjer1.jpg (Network Objects/Background image/Add new Background image). Potrebno je odrediti mjerilo učitane podloge (Set scale).Možete si pomoći s izmjerenim stvarnim razmakom susjednih priključaka (51 m). Pritisnite tipku "CTRL + desni klik".

Najprije izradite jednosmjernu prometnu površinu koristeći naredbu*Network Objects/Links* tako da pritisnite tipku "CTRL + desni klik". Za određivanje realnog toka ceste držite "CTRL + desni klik" i dodajte točke lijevim klikom ("CTRL + desni klik + lijevi klik"). Prometna površina neka slijedi tok ceste što je moguće preciznije. Točke možemo dodavati i kasnije naredbom *Add points* ili "CTRL + desni klik". Unesite činjeničnu širinu prometne trake. Traku suprotnog smjera izradite automatski *(Generatte Opposite Direction).* Unesite konkretna prometna opterećenja *(Network Objects/Vehicle input),* odabirući prometnutraku za svaki smjer. Udio teretnih vozila možete odrediti za svaki smjer posebno, također i brzinu vozila (Traffic/Vehicle Composition/Relative flows),kao što prikazujeSlika 4.7.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivopromatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

6			

- ✓ Većinu naredbi možemo poništiti funkcijom "poništi", koja se nalazi ispod glavnog menija
- ✓ CTRL+A uključi "pravolinijski" tijek linkova.
- ✓ CTRL+D uključi "3D" pogled, također tijekom simulacije.
- ✓ Brzinu prikaza simulacije kontrolirate tipkom "+" i "-" na tipkovnici.
- ✓ U sporednom meniju NetworkObjectsmožemo za svaki element odabrati način (veličina fonta, boja itd.) grafičkog prikaza naredbom Edit graphic parameters.

U prozoru 2*D/3D models(BaseData/2D/3DModels)* kliknete desnu tipku + *Add,* zatim sastavite proizvoljno teretno vozilo tako da najprije odaberete tegljač (npr. *3DModels/Vehicle/Road.... HGV - EU01 Tractor.v3d* i zatim još prikolicu *HGV - EU01 Trailer.v3d*). Više o kreiranju 3D objekata pročitajte u priručniku VISSIM 6.0, poglavlje**5.3.1 Defining 2D/3D models.**



Slika 4.6: Kreiranje proizvoljne kompozicije vozila



Slika 4.7: Promjena kompozicije na ulaznom linku(Lists/Private Transport/Vehicle Composition)

\odot

File/Save as i spremite Primjer1a.inpx.

Promijenite udio teretnih vozila iz smjera istoka na 15%. Odredite kompoziciju udjela teretnih vozila (*Base Data/2D/3D models*) tako da u strukturi teretnih vozila bude 20% tegljača (*Base Data/Distributions/2D/3D models*).

Ne zaboravite spremiti i pokrenuti simulaciju.

File/Save as i spremite kao Primjer1b.inpx.

Povećajte broj vozila iz smjera istoka za 100%.

Ne zaboravite spremiti i pokrenuti simulaciju.

4.4 PRIMJER 2: T-RASKRIŽJE





Slika 4.8: Geometrija i prometna opterećenja T-raskrižja.

Određivanje pravila prednosti vozila i osnove analize rezultata. Nastavak rada prema rezultatima prethodne vježbe - Primjer1 (podloga, izrađen tok GPS). Modeliranje novog kraka koji je namijenjen dovozu do trgovačkog centra (TC). Upoznavanje korisnika s međusobnim vezama različitih linkova, određivanje smjera vožnje i prikaz prvih rezultata analize propusne moći.

\checkmark

Rezultat predstavlja analizu propusne moći trokrakog nesemaforiziranog raskrižja.

File/Open Primjer1A.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer2.inpx.

Većinu podataka možemo prikazati u tablicama. U glavnom meniju odaberite "Lists"i zatim kliknite željeno.

Otvorite prethodno izrađeni primjer Primjer1A, spremite u Primjer2. Dodajte sjeverni krak (najprije *Links*) i povežite ga sa svim prometnim pravcima pomoću konektora *(Connector).*

- 1.Konektor izradite tako da kliknete Network Objekts/Links, lijevom tipkom kliknete željeni link i zatim "CTRL + držite desnu tipku" i povucite na mjesto gdje želite da se konektor zaključi. Kad otpustite desnu tipku, otvori se dijaloški prozor Connector. Potražite polje Spline (zakrivljenost konektora) i upišite prikladnu vrijednost (vrijednost 2 znači da je link ravan, veći broj znači veću zakrivljenost). Ponovite postupak za sve smjerove (zajedno trebamo 4 konektora) Slika 4.9.
- 2. Pravila prednosti možemo odrediti sNetwork Objects/Conflict Areas (automatski se generira za sve potencijalne konflikte između linkova i konektora). Lijevom tipkom kliknemo na svaku konfliktnu točku i promijenimo konkretni tijek prednosti (desna tipka ⇒ Change status of Conflict Area). Primijenimo zadane atribute. Za podešavanje atributa pročitajte poglavlje 6.12.2.6 Attributes of conflict areas u priručniku VISSIM 6.0. Pravila prednosti također možemo odrediti primjenom funkcije *Priority rules* (za kompleksnije primjere analize) kao što prikazuje Slika 4.10.
- 3. Kad imamo na raspolaganju više smjerova vožnje (npr. ravno i lijevo), potrebno je za svaki smjer odrediti "lokaciju odluke" i "cilj" putovanja te udio ili broj vozila koja nastavljaju vožnju u tom smjeru. Naredbom *Network Objects/Vehicle Routes* odredimo moguće smjerove vožnje i pripadajuća prometna opterećenja(Slika 4.11).
- 4. Unesite prometna opterećenja kao što prikazuje Slika 4.8.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Analizu rezultata možemo prikazati na više načina. Najčešće se rezultati vrednuju za cjelokupnu mrežu (više raskrižja u mreži) i/ili za pojedino raskrižje (detaljna analiza). Za potrebe analize nužno je prethodno odrediti područja pojedinog raskrižja.

 Područje raskrižja izradite tako da kliknete Network Objekts/Nodes i zatim "CTRL + desnu tipku" na mjesto gdje želite da se prikaže prvo čvorište područja raskrižja. Desnim klikom unesete proizvoljni broj čvorišta. Kad završite sa zadnjim unosom čvorišta poligona, dvaput kliknete i tako završite naredbu. U prozoru *Node* možemo odrediti također ime, K1.

 Analiza rezultata za raskrižje uređuje se u glavnom meniju Evaluation/Configuration. Odaberemo opcijuNodes/Collect data i namjestimo vremenski interval analize (npr. 1h = 3600 sek.). Analiza se može izraditi i za pojedine vrste vozila - Vehicle Classes, gdje izaberemo vrste vozila. Rezultati se ispisuju tijekom simulacije u prozoru Lists(Evaluation/Results Lists/Nodes) kao što prikazuje Slika 4.13.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

koja se nalazi ispod glavnog menija. Nakon završene simulacije, očitajte u tablici Node Resultsnajdulju dužinu kolone vozila (QLenMax) i prosječno kašnjenje svih vozila(VehDelay(All)).

6

- ✓ Tipkom "razmaknica" na tipkovnici možete zaustaviti simulaciju u proizvoljnom vremenu, tipkom "Enter" poništavate naredbu i simulacija se nastavlja.
- ✓ Ako dvaput kliknete na *Link*, možete uređivati njegove atribute. U polje *Name* unesite ime kraka koje se može ispisati na slici ili će poslužiti kao pomoć u analizi rezultata.





Slika 4.9: Prikaz toka konektora (preklopite u pravolinijski način sa "CTRL +A")

Slika 4.10: Prikaz podešavanja pravila prednosti (Conflict area)



Slika 4.11: Prikaz podešavanja smjera vožnje(Vehicle Routes)



Slika 4.12: Podešavanje grafičkog prikaza za cestovne linkove (Network Objects/Links).



Slika 4.13: Prikaz podešavanja za potrebe analize rezultata

\odot

File/Save as i spremite kao Primjer2A.inpx.

U prethodnoj analizi uzeli smo u obzir popodnevnu špicu tijekom radnoga dana. Za potrebe analize poslovanja TC potrebno je izraditi analizu mjerodavne špice (petkom 18:00 - 19:00). U tu svrhu ustvrđena su sljedeća prometna opterećenja: broj vozila iz smjera istoka povećajte za 40 %,a broj lijevih "skretača" iz smjera zapada iznosi 75 voz/h. Ostala prometna opterećenja preuzmete izprimjera *Primjer2.inpx*.

Pokrenite simulaciju (prepišite prethodne rezultate simulacije) i promatrajte promet. Očitajte vrijednost najduže kolone vozila (**QLenMax=____)** i prosječno kašnjenje svih vozila na zapadnom kraku, smjer lijevo (**VehDelay(AII)=____)**.

File/Save as i spremite kao Primjer2B.inpx.

Na temelju analize obližnjih automatskih brojača, evidentiran je porast prometa1,5% u godini dana (za osobna i teretna vozila). Izračunajte faktor rasta za planirano 20-godišnje razdoblje i to uvažavajte u prometnim opterećenjima. <u>Pozor:</u> trgovački centar posluje sa 100-postotnim kapacitetom već u prvoj godini. Pokrenite simulaciju i promatrajte promet. Što primjećujete, odnosno kakvi su rezultati?

4.5 PRIMJER 3: T-RASKRIŽJE S TRAKOM ZA LIJEVO SKRETANJE



Promjena raskrižja s uvođenjem trakeza lijevo skretanje. Potpomaganje s već izrađenom geometrijom i prometnim opterećenjima iz primjera *Primjer2A*. Modeliranje nove trake za lijevo skretanje iz smjera zapada koja je namijenjena vožnji do trgovačkog centra (TC). Svrha: upoznavanje korisnika s modeliranjem brzine vozila kroz radijuse manjih veličina i rezultata analize propusne moći.

\checkmark

Rezultat predstavlja analizu propusne moći trokrakog nesemaforiziranog raskrižja s trakom za lijevo skretanje na GPS.

Rezultat predstavlja prvu samostalnu mikrosimulaciju prometa.

File/Open Primjer2A.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer3.inpx.

Otvorite prethodno izrađeni primjer *Primjer2A*. Dodajte traku za lijevo skretanje na glavni prometni smjer (GPS) prema sljedećem postupku:

- Za potrebe postavljanja traka za lijevo skretanje moramo najprije pripremiti prostor prikladne širine (š=3,00 m). U konkretnom slučaju, prometnu površinu proširit ćemo jednostrano i prema sjeveru (južna strana je ograničena gradnjom pokraj ceste). U meniju *Network Objects* odaberemo *Links* i zatim kliknemo sjevernu prometnu traku na GPS te pomičemo čvorišta tako da osiguramo prostor za izradu trake za skretanje. Pazimo da tok slijedi projektantovu podlogu. Ukoliko ju nemamo na raspolaganju, sami izradimo tok kao na gornjoj slici (Slika 4.14) te pritom pazimoda nemamo oštrih prijelaza. Postojeće konektore popravimo tako da ih odaberemo lijevim klikom, a zatim kliknemo desnu tipku te naredbu *Recalculate Spline,* koja automatski popravlja tijek konektora, kao što prikazuje Slika 4.15.
- Dodavanje trake za lijevo skretanje napravimo tako da izradimo novu traku koja je usporedna s trakom za ravno i povežemo ju s konektorom, kao što prikazuje Slika 4.16.
- 3. Kad smo promijenili tijek GPS (dodavanjem novog traka), "srušio" nam se unaprijed izrađentok lijevih "skretača" koji se može generirati automatski (upozorenje programa prije pokretanja simulacije) ili ga možemo ručno popraviti dodavanjem naredbe Network Objects/Vehicle Routes Static.
- 4. Provjerimo konfliktna područja Conflict Areas.
- 5. Za bolju "čitljivost" izrađene mreže, prometne trake možemo označiti strelicama za smjer, i to naredbom *Network Objects/Pavement Markings+ CTRL + desni klik* na lokaciju gdje želimo oznaku. Oznaku odaberemo u ponudi mogućih oznaka (*Arrow +* smjer), kao što prikazuje Slika 4.17.
- 6. Simulacijski model ne simulira bočna ubrzanja i time posljedično ne prilagođavabrzinu vožnje vozila kroz horizontalne krivine. Stoga za potrebe realnog odvijanja simulacije na raskrižjima postavimo "ograničenje brzine" na područja manjih horizontalnih krivina (radijusi za skretanje). Ograničenje brzine izradimo naredbom *Network Objects/Reduced Speed* + CTRL + desni klik na lokaciju gdje želimo ograničiti brzinu. Dužinu područja možemo proizvoljno odrediti. Za potrebe radijusa za skretanje, dovoljna je manja dužina (npr. 2m), budući da vozila u simulaciji to područje pravovremeno zamijete i prilagode brzinu već ispred samog područja ograničene brzine. Kad vozila napuste "lokaciju" ograničene brzine, počnu ubrzavati do zadanog administrativnog ograničenja brzine (Slika 4.18).

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici *Node Results*najdulju dužinu kolone vozila (*QLenMax*) i prosječno kašnjenje svih vozila(*VehDelay(AII*)).



Slika 4.15: Promjena geometrije pri postavljanju trake za skretanje







Slika 4.17: Izrada horizontalnih oznaka

Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)



Slika 4.18: Izrada ograničenja brzina naradijusima skretanja

\odot

File/Save as i spremite kao Primjer3A.inpx.

U prethodnoj smo analizi uzeli u obzir mjerodavnu špicu (petak između 18:00 i 19:00). Provjerimo još djelovanje raskrižja između 19:00 i 20:00 sati, kad većina vozila napušta trgovački centar. Prometna opterećenja iz smjera istoka prema zapadu se povećaju na 720 vozila/h. Na izlazu iz TC imamo 210 voz/hkoja skreću lijevo i 90 voz/h koja skreću desno. Ostala prometna opterećenja se ne mijenjaju.

Pokrenite simulaciju (prepišite prethodne rezultate simulacije) i promatrajte promet. Očitajte vrijednost najdulje dužine kolone vozila (**QLenMax=____)** i prosječno kašnjenje svih vozila na kraku TC (**VehDelay(AII)=____)**.

62

4.6 PRIMJER 4: SEMAFORIZIRANO T-RASKRIŽJE



Slika 4.19: Prikaz semaforiziranog T-raskrižja.

Upoznavanje osnova djelovanja modula za semaforizaciju. Potpomaganje s već izrađenom geometrijom i prometnim opterećenjima iz primjera *Primjer3* (T-raskrižje s trakom za lijevo skretanje). Modeliranje dvofaznog upravljačkog programa, namijenjenog za kontrolirano i sigurno uključivanje vozila iz sporednogasmjera. Upoznavanje korisnika s modeliranjem semaforske opreme u 3D tehnici.

\checkmark

Rezultat zadaće je dvofazno upravljanje T-raskrižja.

File/Open Primjer3A.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer4.inpx.

Otvorite prethodno izrađeni primjer *Primjer3A* i spremite ga kao *Primjer4.inpx*. Za potrebe semaforizacije raskrižja možemo dodati signalni nadzor(*Signal Controller*), odredimo signalne glave (*Signal Heads*) i grupe signala (*Signal Groups*, npr. za sporedni prometni smjer). Na raspolaganju imamo više mogućnosti upravljanja (unaprijed određenu, prometno ovisno, SCATS, SCOOTS). U nastavku ćemo obrađivati unaprijed određeno *Fixed time control* upravljanje. Više o tome pročitajte u priručniku VISSIM 6.0, poglavlje 6.13.

- Za potrebe određivanja načina upravljanja u glavnom meniju odaberemo Signal Control/Signal Controllers. Otvori se lista gdje desnom tipkom izaberemo naredbu Add. Odaberemo Type: Fixed time i zatim Edit Signal Control, kao što prikazujeSlika 4.20.
- Određivanje grupe signala obavimo tako da na lijevoj strani odaberemo Signal groups i kreiramo tri signalne grupe: za krak SPS –TC, za istočni krak GPS i zapadni krak GPS. Jednoj signalnoj grupi možemo odrediti više signalnih glava kao što prikazuje Slika 4.21.
- 3. Potrebno je odrediti još signalnih glava i njihovu lokaciju, i to tako da usporednom meniju Network objects odaberemo Signal Heads. Držimo tipku "CTRL + desni klik" na željenoj lokaciji signalne glave (obično tamo gdje se nalazi crta zaustavljanja). Otvori se prozor za unos atributa Signal Heads. Potrebno je odrediti signalni nadzor SC, signalnu grupu Signal group i Type signalne glave (za 2D prikaz), gdje odaberemo opciju Circular.Signalnu glavu odredimo za svaku prometnu traku, odnosno smjer kao što prikazuje Slika 4.23.
- 4. Potrebno je još odrediti mjerodavni signalni program. Signal Controlers/Signal Groups odaberemo desnom tipkom, zatim Edit...(ili dvaput lijevi klik) i odaberemo još Edit Signal Control. Izaberemo Signal program i dodamo novi program s imenom Mjerodavna špica. Za početak odaberemo trajanje ciklusa od 60 sek. Desnim klikom i odabirom Edit otvara se prozor za grafičko uređivanje faza upravljačkog dijagrama. Sporednom prometnom smjeru odredimo 7 sek. zelenog svjetla, ostatak damo glavnom prometnom smjeru, spremimo i zatvorimo polje za unos kao što prikazujeSlika 4.22.
- 5. Pokušajte sami izraditi još 3D signalne glave. U tome vam može pomoći naredba*Network objects/3D Traffic Signal*i dodani "podsjetnici" Slika 4.25.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici *Node Results*najdulju dužinu kolone vozila (*QLenMax*) i prosječno kašnjenje svih vozila(*VehDelay*(*AII*)).

- ✓ Semafor radi na dva načina: 1. faze se mijenjaju prema unaprijed određenom (fiksnom) nizu (uobičajen način upravljanja u Sloveniji, *Phase based*) ili 2.faze se mijenjaju prema unaprijed određenim scenarijima (uobičajen način upravljanja u Njemačkoj, *Stage based*).
- ✓ U mrežu možemo postaviti signalne glave, pojedinačno za svaku prometnu traku.
- ✓ Vozila će se zaustaviti ispred signala na razdaljini 0,5 2,5 m.
- ✓ U trenutku kad semaforu svijetli žuto svijetlo,vozila će proći kroz raskrižje ukoliko se ne mogu sigurno zaustaviti (namještanje pomoću parametra *Draiving behavior*).
- Za svaku signalnu glavu možemo odrediti kojim su vozilima namijenjene. (Ukoliko imamo autobuse na prometnoj traci, moguće je u raskrižju upravljati signalima namijenjenima samo za autobuse.)
- Postavljanjem semaforskih uređaja još se ne određuju pravila prednosti vozila. Za sva vozila koja mogu prolaziti kroz raskrižje, istovremeno je potrebno odrediti i pravila prednosti.



Slika 4.20: Određivanje signalnog nadzora i načina djelovanja.

66







Slika 4.22: Određivanje ciklusa, faza i vremena djelovanja.







Slika 4.24: Određivanje 3D semaforske opreme



Slika 4.25: Određivanje tipa signalne glave i pripadajuće signalne grupe

©_____

File/Save as i spremite kao Primjer4A.inpx.

U prethodnoj smo analizi zamijetili da kod dužine zelenog signala u trajanju od 7 sekundi na SPS dolazi povremeno do dužina kolone vozila na kraku TC, koje prouzrokuju poteškoće s pražnjenjem/punjenjem internog parkirališta. U tu svrhu je potrebno za istu dužinu ciklusa potražiti optimalnu dužinu zelenog signala na SPS.

Pokrenite simulaciju s promijenjenom vrijednošću i promatrajte promet. Očitajte vrijednost najdulje dužine kolone vozila (QLenMax=____) i prosječno kašnjenje svih vozila na kraku TC (VehDelay(AII)=____). Postupak možete ponavljati dok ne dobijete najkraću dužinu kolone vozila na kraku TC. Optimalna dužina zelenog signala na SPS iznosi_____s.

4.7 PRIMJER 5: KRUŽNO RASKRIŽJE



Slika 4.26: Geometrija i opterećenja kružnog raskrižja.

Upoznavanje s osnovama modeliranja kružnog raskrižja. Rad s već pripremljenom i geokodiranom podlogom zapisanom u primjeru Primjer5. Modeliranje jednotračnog, trokrakog kružnog raskrižja. Utvrđivanje gradiva iz prethodnih primjera: izrada linkova i konektora, unos prometnih opterećenja, određivanje prednosti vozila, određivanje područja raskrižja za potrebe analize rezultata, izrada područja smirivanja prometa, analiza rezultata.

\checkmark

Rezultat zadaće je analiza propusne moći kružnog raskrižja.

File/Open Primjer5.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer5A.inpx.

Otvorite prethodno pripremljen primjer Primjer5.inpx i spremite ga kao Primjer5A.inpx. Za potrebe izrade trokrakog kružnog raskrižja primijenite znanje i iskustva iz prethodnih primjera. Slika 4.26 prikazuje geometriju i prometna opterećenja.

- Za potrebe kontrole broja vozila i brzine na presjeku odaberite naredbu NetworkObjects/Data Collection i zatim "CTRL+desni klik" na lokaciju. Lokaciju odredite kaošto prikazujeSlika 4.28.
- Rezultate Data Collection dobijete tako da u glavnom meniju odaberete Evaluation/Configuration, a s liste Result Attributes također odberete Data Collection. Potrebno je još odrediti koji se rezultati žele prikazati. U glavnom meniju odaberite Evaluation/Measurement Definition/Data Collection Measurement i zatim desnom tipkom kliknete na listu te odabereteGenerate all (grouped).
- 3. Rezultate mjerenja možete promatrati i tijekom samog procesa simulacije, tako da u glavnom meniju odaberete Evaluation/result Lists/Data Collection.

Ne zaboravite spremiti i pokrenuti simulaciju naredbom Simulation/Continous ili ikonom , koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici Node Results najdulju dužinu kolone vozila QLenMax=____ i prosječno kašnjenje svih vozila VehDelay(AII)=____. Jednako tako za svako mjerno mjesto očitajte sljedeće rezultate.

Data Collection Measurement	Vehs(All)	Speed(All)
1: R2-Ruše		
2: Kružno-jug		
3: Kružno-sjever		

Tablica4.1: Rezultati simulacije

Ukoliko se na kraju simulacije generira *Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati s rezultatima? Kratko opišite.

6

Za potrebe dvotračnih kružnih raskrižja kod postavljanja pravila prednosti, pročitajte poglavlje 6.12.1.3 Examples of priority rules u priručnikuVISSIM 6.0.



Slika 4.27: Određivanje pravila prednosti u kružnom raskrižju






Slika 4.29: Određivanje područja ograničene brzine unutar kružnog raskrižja

\odot

File/Save as i spremite kao Primjer5B.inpx.

U prethodnoj analizi primijetili smo da vozila voze jednakom brzinom i kroz kružno raskrižje, što ne odražava stvarno stanje. Na terenu su bila obavljena mjerenja konkretnih brzina koje za osobna vozila iznose 25 km/h, a za teretna 20 km/h. Postavljanjem područja ograničene brzine pokušajte se približiti stvarnom stanju, kao što prikazuje Slika 4.29.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici Node Results najdulju dužinu kolone vozila *QLenMax=_____*i prosječno kašnjenje svih vozila *VehDelay(AII)*=____. Također, za svako mjerno mjesto očitajte sljedeće rezultate.

Data Collection Measurement	Vehs(All)	Speed(All)
1: R2-Ruše		
2: Kružno-jug		
3: Kružno-sjever		

Tablica4.2: Rezultati simulacije

Ukoliko se na kraju simulacije generira*Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati sa rezultatima? Kratko opišite.

Usporedite rezultate simulacija *Primjer5A* i *Primjer5B* tako da rezultate (*Node Results*) uvezete u Excell i pripremite grafički prikaz svih prometnih smjerova sasljedećim parametrima: *QLen, QLenMax, VehDelay (All), StopDelay(All), Stops(All).* Glavne zaključke napišite ovdje:



4.8 PRIMJER 6: PJEŠACI I BICIKLISTI



Slika 4.30: Geometrija i opterećenja pješaka i biciklista

Upoznavanje osnova modeliranja pješačkog i biciklističkog prometa. Rad na već pripremljenom primjeru Primjer5B. Modeliranje jednosmjerne, jednostrane biciklističke staze i stazeza pješake spješačkim prijelazom preko istočnog kraka kružnog raskrižja. Utvrđivanje gradiva iz prethodnih primjera, izrada linkova i konektora (poveznica i priključaka), unos prometnih opterećenja, određivanje prednosti vozila, analiza rezultata.

\checkmark

Rezultat zadaće je analiza propusne moći kružnog raskrižja, s utjecajem pješaka na protočnost kružnog raskrižja.

File/Open Primjer5B.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer6.inpx.

Otvorite prethodno pripremljen primjer Primjer5B.inpx i spremite ga kao Primjer6.inpx. Za potrebe izrade tijeka biciklističke i pješačke staze primijenite znanje i iskustva iz prethodnih primjera. Slika 4.30 prikazuje geometriju i prometna opterećenja.

- Za potrebe grafičkog prikaza veće razlučivosti odredimo dvije nove boje prometnih površina. U glavnom meniju odaberemo naredbu *Base Data/Display Types*, zatim s liste desnim klikom odaberemo *Add..*, dodamo novi tip *Bike path* (boja RGB: 255, 127,127). Nadalje, promijenimo boju *Pedestrian area* iz svjetlosive u tamnosivu (boja RGB: 64, 64, 64), kao što prikazuje Slika 4.31.
- Boju i način ponašanja vozača promijenite takoda lijevom tipkom kliknete biciklističku stazu i zatim odaberete *Behavior type: Cycle-Track (free overtaking), Display Type: Bike path*, a za pješačku stazu *Foothpath (no iteraction)* i *Pedastrian area grey* (u prijašnjem koraku promijenili smo boju u tamnosivu), kao što prikazuje Slika 4.32.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici *Node Results*dužinu kolone vozila na Erjavčevoj cesti u smjeru prema Rušama*QLenMax*=_____ i prosječno kašnjenje svih vozila *VehDelay(AII)*=_____.

Ukoliko se na kraju simulacije generira *Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati s rezultatima? Kratko opišite.

- Za potrebe simulacije pješaka imamo na raspolaganju simulaciju po principu Wiedemannovoga modela i dodatni modul *Viswalk*, temeljen na modelu *Social Force Model* (Helbing and Molnár, 1995.). Više o tome možete pročitati u poglavlju
 8.Pedestrian simulation u priručnikuVISSIM 6.0.
- ✓ Na pješačkom prijelazu potrebno je odrediti pravila prednosti naredbom*Conflict area.*



Slika 4.31: Određivanjeboje biciklističke i pješačke staze

77



Slika 4.32: Određivanje tipa i boje prikaza pješačke staze



File/Save as i spremite kao Primjer6A.inpx.

Prema teoriji prometnog toka, pješaci bi trebali smanjivati protočnost kružnog raskrižja. Povećajte broj na 200 i 300 pješaka koji prođu kružnim raskrižjem u jednome satu (Primjer6B.inpx) te usporedite rezultate s prethodnom simulacijom.

Nakon završene simulacije očitajte u tablici *Node Results*dužinu kolone vozila na Erjavčevoj cesti u smjeru prema Rušama *QlenMax*i prosječno kašnjenje svih vozila *VehDelay(All).*

Tablica4.3: Rezultati simulacije za krak Erjavčeve ceste u smjeru Ruše

Broj pješaka (br/h)	QlenMax	VehDelay
100		
200		
300		

78

Ukoliko se na kraju simulacije generira *Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati s rezultatima? Kratko opišite.



Usporedite rezultate simulacije Primjer6 i Primjer6B tako da rezultate (*Node Results*) uvezete u Excell i pripremite grafički prikaz svih prometnih smjerova sa sljedećim parametrima: *QLen, QLenMax, VehDelay (All), StopDelay(All), Stops(All)*. Glavne zaključkeopišite ovdje:

ð

4.9 PRIMJER 7: MEĐUSOBNI UTJECAJ RASKRIŽJA



Slika 4.33: Međusobni utjecaj raskrižja (Primjer4 i Primjer5A)

Netw... Levels Backg... Vehicle Inputs Data Collection Points Data Collection Measurements Data Collection Results Data Collection Measuremen... Data Collection Results (2) Links / Lanes Static Vehicle Routing Decisi...

& A ↓ Z ↓ Z ↑

▶ 2 3

Count: 2 VehRoutDec No Name DestLink DestinationPosition RelFlow(0)

20011: R2

159.089

1.000

20008: <-

577.3:96.4

Ramps & S

Pedestrian

Pedestrian

Measurem

*

#

Pedestrian

•

0

Static Vehicle Routing Decisions / Static Vehicle Routes

20007: R2-435-Marib 22.050 20008: <- R2-435-Ru 39.602

20009: TC-izhod 💌 8.988

21 + 0

No Name Link

42

Upoznavanje osnova modeliranja međusobnog utjecaja raskrižja (spajanje dvaju već izrađenih primjera). Rad na već pripremljenim primjerima Primjer4 i Primjer5A. Nakon spajanja dvaju primjera, provjeravanje osnovnih parametara: prometno opterećenje, struktura vozila, smjer putovanja, brzina.

\checkmark

Rezultat zadaće je analiza propusne moći dvaju susjednihraskrižja.

• 🖋 🖞 🖞 🛣 Static vehicle routes 🔹 🚱 🛢 💾 😫

Pos AllVehTypes VehCla

~

9.9 (190)

File/Open Primjer4.inpx.

File/Save as i preimenujte u Primjer7.inpx.

Otvorite prethodno pripremljen primjer Primjer4.inpx i spremite ga kao Primjer7.inpx. Susjedno raskrižje na zapadnoj strani, obrađeno i pohranjeno kao Primjer5A, dodat ćemo na sljedeći način:

- Za potrebe spajanja dvije mreže imamo na raspolaganju funkciju *File/Read Additionally/Network…* Klikom na nju, otvori se prozor za unos gdje možemo odabrati što želimo učitati iz "novog" primjera kao što prikazuje Slika 4.34.
- 2. Uslučaju dvostrukih vrijednosti Vehicle Composition, Links, Vehicle inputs, Static Vehicle Routing, dodani se brojevi preimenuju (ConflictAvoidance: New key at conflict, Conflict treatment: offset: XXX).
- Sada je potrebno ručno spojiti mrežu na mjestu spoja. Ubacimo novi konektor kao što prikazujeSlika 4.35.
- Pregledamo novonastalu mrežu i pažljivo pratimo moguće pogreške kod spajanja: prometna opterećenja, smjerovi, udioteretnih vozila... Pomažemosi "originalnim" vrijednostima.

Ne zaboravite spremiti i pokrenutisimulaciju naredbom Simulation/Continousili ikonom

, koja se nalazi ispod glavnog menija. Pažljivo promatrajte simulaciju i pokušajte otkriti moguće nepravilnosti.

Nakon završene simulacije očitajte vrijednosti Network Performance.

Ukoliko se na kraju simulacije generira *Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati s rezultatima? Kratko opišite.

6



Slika 4.34: Određivanje parametara kod spajanja dva primjera

Mikrosimulacije u prometu (radni udžbenik s primjenom VISSIM-a)



Slika 4.35: Spajanje dviju mreža s konektorom

File/Save as i spremite kao Primjer7A.inpx.

Povećajte semaforski ciklus u raskrižju K1 sa 60 na 75 sekundi tako da5 sekundi traje zeleni signal iz kraka TC, a ostatak vremena pripada zelenom signalu na GPS.

Nakon završene simulacije očitajte rezultate u tablici Network Performance.

File/Save as i spremite kao Primjer7B.inpx.

Izradite još jednu optimizaciju sami (na temelju promatranja i numeričkih rezultata). Tablica 4.4 namijenjena je unosu rezultata.

Nakon završene simulacije očitajte rezultate u tablici Network Performance.

Primjer	QLenMax	VehDelay
Primjer7		
Primjer7A		
Primjer7B		

Tablica4.4: Rezultati simulacije za cjelokupnu mrežu

 \odot

Ukoliko se na kraju simulacije generira *Error* datoteka, otvorite datoteku i prepišite sadržaj. Što ste zamijetili tijekom promatranja simulacije i kako to možemo povezati s rezultatima? Kratko opišite.



Usporedite rezultate simulacije Primjer7, Primjer7A i Primjer7B tako da rezultate za svako pojedino raskrižje(*Node Results*) uvezete u Excell i pripremite grafički prikaz svih prometnih smjerova sa sljedećim parametrima: *QLen, QLenMax, VehDelay (All), StopDelay(All), Stops(All).* Glavne zaključke opišite ovdje:

5 LITERATURA

Algers S. s soavtorji. Review of Micro-Simulation Models. Institute for Transport Studies, University of Leeds. 1998. doi: <u>http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/Deliv3.PDF</u>

Gerlough, D. L. (1955), Study of Traffic Flow by Simulation, Highway Research Board vol. 34, 1955.

Fellendorf M., Vortisch P. Microscopic traffic flow simulator VISSIM (Pog. 2 v: <u>Fundamentals</u> of <u>Traffic Simulation</u>, <u>International Series in Operations Research & Management Science</u>, editor Jaume Barcelo), Vol. 145, pp. 63-93. 2010.

PTV AG (2013), VISSIM user's manual, version 6.0. Karlsruhe, Germany. 2013.

Highway Capacity Manual (HCM) 2010, Transportation research board, ZDA, 2010.

Leutzbach W., Wiedemann R. Development and application of traffic simulation models at the Karslruhe Institute for Traffic. *Traffic Engineering and Control* 27 (5), pp. 270-278. 1986.

Wiedemann R. Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads. *Advanced Telematics in Road Transport* edited by the Commission of the European Community, DG XIII, Brussels. 1991.

Wiedemann R., Reiter U. Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System Mission. Department of Authomatics and Informatics.Torino. 1992.

Izvori (dodatna literatura)

Jovanović G. Napoved ravni prometne varnosti cestnih infrastrukturnih elementov na podlagi simulacijskih metod – primer AC priključkov. Magistrska naloga. Fakulteta za gradbeništvo, Univerze v Mariboru, 2013.

Banihan G. Car following theory with lateral discomfort. *Transportation Research Part B* 41, pp. 722-735. 2007.

Ranjitkar P., Nakatsuji T., Kawamua A. Car-following models: An experimental based benchmarking. Jour. of the Eastern Asia Sic. For Transport Studies, Vol. 6, pp. 1582-1596. 2005.

Ištoka Otković I., Tollazzi T., Šraml M. Calibration of microsimulation traffic model using neural network approach. *Expert syst. appl.*. Nov. 2013, vol. 40, iss. 15, str. 5965-5974, doi: <u>10.1016/j.eswa.2013.05.003</u>.

Tollazzi T., Lerher T., Šraml M. Simulation of the pedestrians' influence to the capacity of motorised vehicles in a roundabout. *Am. j. appl. sci.*, 2008, 5, 1, str. 34-41, doi: 10.3844/ajassp.2008.34.41.

Tollazzi T., Lerher T., Šraml M. Roundabout arm capacity determined by microsimulation and discrete functions technique. *Promet (Zagreb)*, 2008, vol. 20, no. 5, str. 291-300.

Tollazzi T., Lerher T., Šraml M. The use of micro-simulation in determining the capacity of a roundabout with a multi-channel pedestrian flow. *Stroj. vestn.*, 2008, letn. 54, št. 5, str. 334-346.

http://en.svjme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/SV_JME_54(2008)05_334_346_S raml.pdf.

Tollazzi T., Lerher T., Šraml M. Analiza vpliva prometnega toka pešcev na prepustno zmožnost krožišča z uporabo diskretnih simulacij = An analysis of the influence of pedestrians` traffic flow on the capacity of a roundabout using the discrete simulation method. *Stroj. vestn.*, 2006, letn. 52, št. 6, str. 359-379.

http://www.sv-jme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/2006/6/SV-JME_52(2006)06_359-379_Tollazzi.pdf.

Laković S., Tollazzi T., Šraml M. Discrete simulation of traffic flows using VISSIM 4.10. V: *PTV Vision : general information*. Ljubljana: APPIA, 2008.

Tollazzi T., Šraml M., Zorin U., Laković S., Meglič V., Renčelj M. Opredelitev najdaljših dovoljenih reakcijskih časov upravljalca predora v primeru izrednega dogodka v predoru Jasovnik : končno poročilo [naročnik Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji DARS d.d.]. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo, 2008.

Ištoka Otković I. Using neural networks in the process of calibrating the microsimulation models in the analysis and design of roundabouts in urban areas : thesis. Maribor: [I. Ištoka Otković], 2011. VI, 161 str., ilustr. <u>http://dkum.uni-mb.si/Dokument.php?id=22498</u>.

Tollazzi T., Renčelj M., Jovanović G., Turnšek S. New type of roundabout: roundabout with depressed lanes for right turning - "flower roundabout". *Gradb. vestn.*, jun. 2011, letn. 60, št. [6], str. 164-169.

Tollazzi T., Toplak S., Jovanović G.. Ocena kapacitete turbo krožnega križišča. *Gradb. vestn.*, dec. 2006, letn. 55, str. 310-318.

Laković S. *Računalniške simulacije prometnih tokov v avtocestnih predorih : magistrsko delo*. Maribor: [S. Laković], 2007. Olstam, J.J., Tapani, A. Comparison of Car-following models, Swedish National Road and Transport Research Institute, Project VTI meddelande 960 A, Linköping, Sweden, 2004.

Panwai, S., Dia, H. Comparative Evaluation of Microscopic Car-Following Behavior, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 3, pp. 314–325, 2005.

Park, B., Won, J., Yun, I. Application of microscopic simulation model calibration and validation procedure: a case study of coordinated actuated signal system, *Transportation Research Record, TRB, National Research Council*, Washington, D.C., 2006.

Polus, A., Lazar, S. S., Livneh, M. Critical Gap as a Function of Waiting Time in Determining Roundabout Capacity, *Journal of Transportation Engineering*, Vol.129, No.5, pp.504-509, 2003.

Pretnar, G., Trošt, D. Multimodal traffic model of Ljubljana, *PTV Vision User Group Meeting*, Berlin, 2007.

Ranjitkar, P., Kawamua A., Nakatsuji, T. Car-Following Models: An Experiment Based Benchmarking, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 1582 – 1596, 2005.

Schulze, T., Fliess, T.Urban Traffic Simulation with Psycho-Physical Vehicle-Following Models, *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 7-10 December, 1997, Atlanta, USA, 1997.

Tamás, B., Tamás P. Development and evaluation of a Fuzzy-based Microscopic Vehiclefollowing model, *Transportation Engineering*, Vol. 36/1-2, pp. 15–19, 2008.

Wang, R., Ruskin, H. J. Modeling traffic flow at a single-lane urban roundabout, *Computer Physics Communications*, Vol. 147, pp. 570-576, 2002.

Xin,W., Hourdos, J., Michalopoulos P., Davis, G. The Less-than-perfect Driver: A Model of Collision-inclusive Car following Behavior, *Transportation Research Board 2008 Annual Meeting*, Washington, D.C., January, 2008.

Vogel K. A comparison of headway and time to collision as safety indicators. Accident Analysis and Prevention, vol. 35. 2003.