

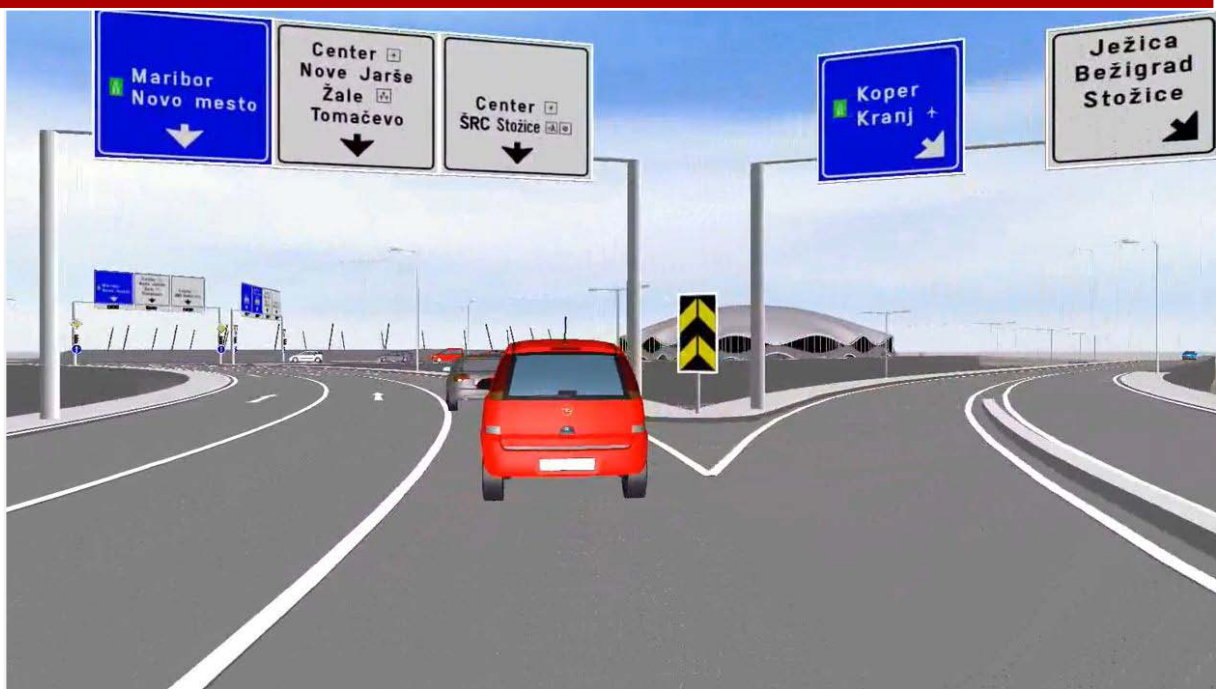


Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo

Maribor, 2014

Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIM-a)



Matjaž Šraml
Goran Jovanović



Z A L O Ž B A
FAKULTETE ZA
GRADBENIŠTVO

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



9 789612 484194

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)



Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIM-a) by Matjaž Šraml is licensed under a Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0 International License.

UVODNA BESEDA

Spoštovani študentje in ostali uporabniki učbenika "Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIM-a)". Pred vami je gradivo, ki je nastajalo kar nekaj let in je plod dela, ne samo avtorjev, pač pa tudi ostalih, ki so kot soavtorji na člankih in raziskovalnih nalogah prispevali k razvoju in uporabi mikrosimulacijskih modelov, tako v pedagoške, raziskovalne, kakor tudi strokovne namene simulacij kapacitet in varnosti v prometu.

Avtorja sva želela učbenik približati predvsem študentom, za katere je v osnovi namenjen, zato je struktura in težavnostna stopnja seveda namenjena njim. Učbenik "Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIM-a)", ali na kratko "Praktikum VISSIM" je razdeljen v osnovi na dva dela, teoretični del in praktični del. Medtem ko je snov za teoretični del črpana pretežno iz literature, navedene na koncu gradiva (članki, raziskave, priročniki), je praktični del izvirno delo avtorjev. Prvi (teoretični) del učbenika je osredotočen na bistven koncept mikrosimulacij in delovanje programa VISSIM ter natančno razlago tistih parametrov ter funkcij, ki jih bodo uporabniki (študentje) potrebovali, da bodo lahko samostojno uporabljali mikrosimulacijski program. Medtem ko so se v preteklosti na trgu pojavile številne različice, je od leta 2007 je na voljo različica VISSIM 5.0; v času nastajanja učbenika je bila aktualna različica 5.40; trenutno je aktualna različica VISSIM 6.0, s katero so tudi rešeni primeri v priloženem gradivu. S tem sva se avtorja potrudila, da uporabnikom resnično približava zadnje stanje na obravnavanem področju.

Cilj pričujočega učbenika je, da študentje nadgradijo svoje znanje, ki so ga pridobili v času študija Prometnega inženirstva (Teorija prometnih tokov, Statistične metode v prometu ipd.), v uporabno znanje, tj. izvajanje simulacij prometnih tokov, v prvi vrsti kapacitetnih analiz. Pri predmetu II. stopnje prometnega inženirstva "Simulacijske metode" in predmetu III. stopnje "Simulacijski modeli varnostnih analiz v prometu" se študentje srečajo z omenjenim programskim orodjem v okviru računalniških vaj. Od študentov (uporabnikov) se seveda pričakuje, da so že osvojili osnovna znanja iz kinematike masne točke, teorije prometnega toka, angleškega jezika, statističnih metod itd.

Kot že uvodoma rečeno, v času nastajanja učbenika smo doživeli že 6. generacijo verzije programskega orodja VISSIM, verzijo 6.0, ki je seveda osnova za izvajanje praktičnih primerov, navedenih v četrtem poglavju učbenika. Opozorila bi, da je na koncu tretjega poglavja opisan osnovni koncept izvajanja praktičnega dela simulacij.

Avtorja meniva, da bo gradivo koristilo vsem generacijam naših študentov, ki se bodo ukvarjali z mikrosimulacijami, predvsem z uporabo programskega orodja VISSIM.

Uporabnikom predlagava poleg pričujočega gradiva, še uporabo navodil posamezne verzije programskega orodja VISSIM 6.0 (Guidelines), ki jih najdete na spletnih straneh PTV (http://www.ptv-vision.com/cgi-bin/traffic/traf_vissim.pl). Prav tako predlagava vsem raziskovalcem, študentom, skratka željnim ukvarjanja z mikrosimulacijami, da poleg učbenika preberejo še ustrezne članke in poročila projektov (nekaj koristnega gradiva je navedenega v drugem delu poglavja *Literatura*).

Avtorja se zahvaljujeva recenzentoma in lektorici za vse koristne napotke in mnenja. Odprta za morebitne sugestije (bodisi nenamerne napake, ki so se prikradle v gradivo ali željo po dodatkih). Glede na naravo učbenika, ki je izvorno v digitalni obliki, bo nadgradnja (nova verzija) učbenika lažje izvedljiva.

PREDSTAVITEV AVTORJEV

Dr. Matjaž Šraml

Matjaž Šraml je izredni profesor in prodekan za mednarodno dejavnost na Fakulteti za gradbeništvo, Univerze v Mariboru (FG UM). Raziskovalno in pedagoško deluje na področju prometnega inženirstva. Deset let (1995-2005) je bil zaposlen na Fakulteti za strojništvo UM, kjer je leta 2001 tudi doktoriral. Raziskovalno se je ukvarjal predvsem z uporabo numeričnih simulacijskih metod za strukturne analize tehničnih sistemov in naprav z uporabo metode končnih elementov (MKE) in diskretnih simulacij toka materiala. Od leta 2006 je zaposlen na FG UM, kjer se ukvarja s prometno varnostjo in diskretnimi numeričnimi simulacijami prometnih tokov, s poudarkom na mikrosimulacijah v prometnem inženirstvu. Je (so)avtor 40 izvirnih znanstvenih člankov in nosilec predmetov s področja vozil, prometne varnosti in simulacij v prometu. Prav tako je gostujoč profesor na Univerzi v Hasseltu in Univerzi v Novem Sadu ter član mednarodnega društva za prometno varnost ICTCT.



Naslov:

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

Mag. Goran Jovanović

Goran Jovanović, magister znanosti s področja gradbeništva, smer promet, profesionalno deluje kot odgovorni vodja projektov in direktor podjetja APPIA, d.o.o., ki je v Sloveniji prepoznavno kot vodilno podjetje na področju načrtovanja cestne infrastrukture s poudarkom na ureditvah urbanih prometnih površin. Kot distributer in predstavnik podpornega regijskega centra za podjetje PTV AG, ki je avtor programske opreme VISSIM, si teoretične in praktične izkušnje nabira že od leta 1996 doma in v tujini. Vsako leto se aktivno udeležuje svetovne konference s področja planiranja prometa, ki ga organizira podjetje PTV AG. Intenzivno sodeluje tudi z ljubljansko in mariborsko Univerzo. Vodil je več študentov skozi proces izdelave diplomskih nalog s področja prometa. Je član Inženirske zbornice Slovenije od leta 2002 in licenciran presojevalec varnosti cest. Od leta 1999 je kot odgovorni vodja projektov vodil več kot 500 projektov za ureditev cestne infrastrukture za državne in občinske ceste v Sloveniji kakor tudi v tujini. Opravil je tudi več kot 50 recenzij projektnih dokumentacij. Od leta 2012 deluje kot Vodja recenzij za področje cestne infrastrukture v Sloveniji.



Naslov:

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

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

	Izvorni pomen	Pomen v slovenskem jeziku
ADC	A utomatic D ata C ollection	Avtomatsko zajemanje podatkov
AVI	A udio V ideo I nterleave	Audio-video zapis
ATR	A utomatic T raffic R ecorder	Avtomatski prometni snemalnik
DARS	D ružba za a vtoceste R epublike S lovenije	D ružba za a vtoceste R epublike S lovenije
DRSC	D irekcija R epublike S lovenije za ceste	D irekcija R epublike S lovenije za ceste
DOT	D eartment o f T ransportation	Oddelek za transport ZDA
FHWA	F ederal H ighway A dministration	Zvezna uprava za ceste
GEH	G eoffrey E. H avers statistic	Statistični model Geoffreya E. Heaversa
GIS	G eographical I nformational S ystem	Geografski informacijski sistem
GPS	G lavna prometna s mer	G lavna prometna s mer
GUI	G raphical U ser I nterface ("gooey")	Grafični uporabniški vmesnik ("gooey")
HOV	H igh O ccupancy V ehicle	Visoka zasedenost vozila (2+)
HCM	H ighway C apacity M anual	Priročnik za analizo kapacitet cest
ITS	I ntelligent T ransporation S ystems	I nteligenčni t ransportni s istemi
JPP	J avni p otniški p romet	J avni p otniški p romet
MOE	M easure o f E ffectiveness	Merilo učinkovitosti
O-D	O rigina and D estination	Izvor in cilj
OOP	O bject O riented P rogramming	Objektno orientirano programiranje
PrT	P riate T ransport	Zasebni transport
PuT	P ublic T ransport	Javni transport
SOV	S ingle O ccupant V ehicles	Vozilo z voznikom (brez sovoznikov)
SPS	S transka prometna s mer	S transka prometna s mer
VISSIM	V erkehr in S tädten – S imulation	Promet v mestih – simulacije
VISUM	V erkehr in S tädten – U mlegung	Promet v mestih – porazdelitev
VPH	V ehicles p er H our	Vozil na uro
W 74	W iedemann 74	Wiedemannov modeli iz l. 1974
W 99	W iedemann 99	Wiedemannov modeli iz l. 1999

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

	Pomen	Opomba
$f()$	funkcija	
t	čas	
v	hitrost vozila	
λ	frekvenca toka vozil	
x	časovna praznina med dvema zaporednima voziloma	
AX	<i>želena</i> (varna) razdalja med dvema voziloma v čakalni vrsti (koloni)	
$VehL$	dolžina vozila	
$MinGap$	minimalna verzel med voziloma	
ABX	želena minimalna razdalja sledenja vozila	
d	razdalja med dvema voziloma	W 74
ax	povprečna razdalja med mirujočimi vozili	W 74
bx	varnostna razdalja	W 74
bx_{add}	dodatni delež zelene varnostne razdalje	W 74
bx_{mult}	dodatni faktor zelene varnostne razdalje	W 74
dx_{safe}	varnostna razdalja	W 99
F_{sim}	simulirani prometni tok	
F_{obs}	opazovani ("terenski") prometni tok	

VSEBINA

UVODNA BESEDA	I
PREDSTAVITEV AVTORJEV	II
SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC	III
SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV	III
SEZNAM SLIK	V
SEZNAM TABEL	VI
1 UVOD	1
1.1 UVOD V MIKROSIMULACIJE CESTNEGA PROMETA	1
1.2 VISSIM – ZGODOVINA IN DEJSTVA.....	3
2 MIKROSIMULACIJSKI MODEL VISSIM	5
2.1 STRUKTURA SIMULATORJA.....	5
2.1.1 MODELIRANJE INFRASTRUKTURE	6
2.1.2 MODELIRANJE PROMETA.....	9
2.1.3 NADZOR PROMETA	11
2.1.4 REZULTATI SIMULACIJE	12
3 OSNOVNI MATEMATIČNI MODELI V VISSIM-u	14
3.1 MODEL SPREJEMLJIVIH ČASOVNIH VRZELI (ANG.: GAP ACCEPTANCE MODEL).....	14
3.2 MODEL SLEDENJA VOZILA (ANG.: CAR FOLLOWING MODEL).....	18
3.2.1 MATEMATIČNI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 74".....	22
3.2.2 MATEMATIČNI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 99".....	22
3.3 MODEL MENJAVE PASOV (ANG.: LANE CHANGE).....	24
3.3.1 OSTALI NASTAVLJIVI PARAMETRI MIKROSIMULACIJSKEGA MODELA.....	26
3.4 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA SIMULACIJSKEGA MODELA	27
4 PRAKTIČNI PRIMERI	31
4.1 PRIPRAVA PODATKOV	31
4.1.1 GEOMETRIJA MODELA	31
4.1.2 NAČIN UREJANJA PROMETA	32
4.1.3 PROMETNE OBREMENITVE	32
4.1.4 KALIBRACIJA MODELA.....	33
4.1.5 KAPACITETA IN TOK NASIČENJA	34
4.1.6 PRAKTIČNI PRIMER POTEKA PRIDOBIVANJA PODATKOV	34
4.2 UPORABNIŠKI VMESNIK VISSIM 6.0 IN RAZLAGA OSNOVNIH POJMOV	36
4.3 PRIMER 1: »PRVA MIKROSIMULACIJA«.....	38
4.4 PRIMER 2: »T« KRIŽIŠČE	42
4.5 PRIMER 3: »T« KRIŽIŠČE Z LEVO ZAVIJALNIM PASOM.....	49
4.6 PRIMER 4: SEMAFORIZIRANO »T« KRIŽIŠČE	54
4.7 PRIMER 5: KROŽNO KRIŽIŠČE	60
4.8 PRIMER 6: PEŠCI IN KOLESARJI.....	66

4.9	PRIMER 7: MEDSEBOJNI VPLIV KRIŽIŠČ	71
5	LITERATURA	76

SEZNAM SLIK

Slika 1.1:	Simulacijske metode glede na natančnost obdelave (Algres, 1998).	2
Slika 1.2:	Možnost spreminjanja parametrov lastnosti voznika (a) in vozil (b).	4
Slika 2.1:	Shematski prikaz strukture VISSIM simulatorja (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).	6
Slika 2.2:	Modeliranje združevanj in cepljenj cest s povezavami in priključki (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010). ..	8
Slika 2.3:	Primer: mestno semaforizirano križišče s tramvajskimi progami (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010). ...	12
Slika 2.4:	Vnosno okno za določitev izhodnih rezultatov.	13
Slika 3.1:	Prikaz postavitve "Priority Rules" za potrebe modeliranja sprejemljivih časovnih vrzeli v programskem orodju VISSIM 6.0.	15
Slika 3.2:	Prikaz postavitve Conflict Area za potrebe modeliranja sprejemljivih časovnih vrzeli v programskem orodju VISSIM 6.0.	16
Slika 3.3:	Prikaz Front Gap (levo) in Rear Gap (desno) parametrov.	17
Slika 3.4:	Prikaz "Safety Distance Factor"; zgoraj vrednost 1.0, spodaj 0.5. Modro vozilo se lahko vključi, rdeče pa ne. (PTV, 2013).	17
Slika 3.5:	Prikaz psiho-fizičnega matematičnega modela sledenja vozil po Wiedemannu. (PTV AG, 2013).	19
Slika 3.6:	Prikaz parametrov za cesto v naselju po Wiedemannu 74. (PTV AG, 2013).	21
Slika 3.7:	Primer programskega okna za vnos psiho-fizičnih parametrov Wiedemann 99.	23
Slika 3.8:	Prikaz parametrov za nastavitve modela menjave pasov VISSIM.	25
Slika 3.9:	Prikaz porazdelitve hitrosti (a) in maksimalnega pospeška (b) za osebna vozila	26
Slika 3.10:	Prikaz razmerja mase in moči motorja za osebna vozila.	27
Slika 4.1:	Uporabniški vmesnik VISSIM 6.0.	36
Slika 4.2:	Stranski meni – elementi omrežja.	36
Slika 4.3:	Stranski meni – elementi omrežja: možnost nastavljanja grafičnega prikaza	37
Slika 4.4:	Network editor	37
Slika 4.5:	Primer 1 – potek državne ceste.	38
Slika 4.6:	Kreiranje poljubne kompozicije vozil.	40
Slika 4.7:	Sprememba kompozicije na vhodnem linku (Lists/Private Transport/Vehicle Composition).	40
Slika 4.8:	Geometrija in prometne obremenitve "T" križišča.	42
Slika 4.9:	Prikaz poteka konektorjev (preklopite v črtni način z CTRL+A).	45
Slika 4.10:	Prikaz nastavitve pravil prednosti (Conflict area).	45
Slika 4.11:	Prikaz nastavitve smeri vožnje (Vehicle Routes).	46
Slika 4.12:	Prikaz nastavitve grafičnega prikaza za cestne povezave (Network Objects/Links).	46

Slika 4.13: Prikaz nastavitve za potrebe analize rezultatov.	47
Slika 4.14: Geometrija in prometne obremenitve "T" križišča z levo zavijalnim pasom.	49
Slika 4.15: Sprememba geometrije za umestitev zavijalnega pasu.	51
Slika 4.16: Postopek izdelave levo zavijalnega pasu.	52
Slika 4.17: Izdelava horizontalnih označb.	52
Slika 4.18: Izdelava omejitev hitrostih na zavijalnih krivinah.	53
Slika 4.19: Prikaz semaforiziranega "T" križišča.	54
Slika 4.20: Določitev signalnega krmilnika in načina delovanja.	56
Slika 4.21: Določitev signalnih skupin za potrebe faznosti krmiljenja.	57
Slika 4.22: Določitev cikla, faz in časov delovanja.	57
Slika 4.23: Določitev lokacije signalnih glav v križišču.	58
Slika 4.24: Določitev 3D semaforske opreme.	58
Slika 4.25: Določitev tipa signalne glave in pripadajoče signalne skupine.	59
Slika 4.26: Geometrija in obremenitve krožnega križišča.	60
Slika 4.27: Določitev pravil prednosti v krožnem križišču.	62
Slika 4.28: Postavitev merilnih mest za potrebe analize rezultatov.	63
Slika 4.29: Določitev območij omejene hitrosti znotraj krožnega križišča.	63
Slika 4.30: Geometrija in obremenitve pešcev in kolesarjev.	66
Slika 4.31: Določitev barve za kolesarske steze in hodnike za pešce.	68
Slika 4.32: Določitev tipa in barve prikaza hodnika za pešce.	69
Slika 4.33: Medsebojni vpliv križišč (Primer4 in Primer5A).	71
Slika 4.34: Določitev parametrov pri združevanju dveh primerov.	73
Slika 4.35: Združevanje dveh omrežij s konektorjem.	74

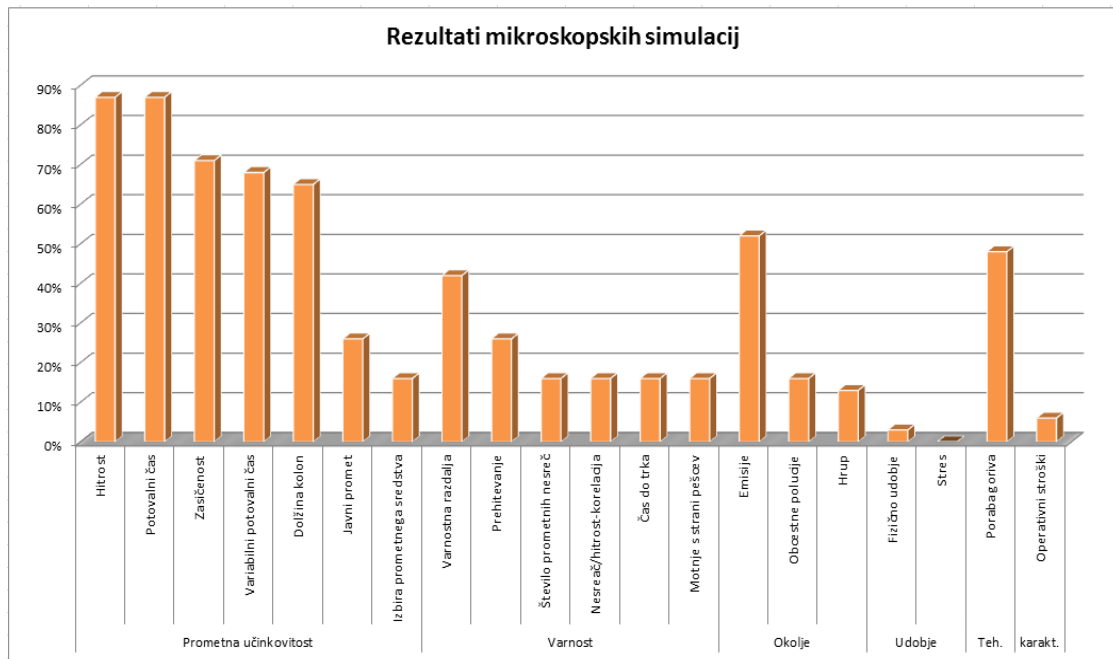
SEZNAM TABEL

Tabela 1.1: Zgodovina razvoja programskega orodja VISSIM (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).	3
Tabela 4.1: Rezultati simulacije.	61
Tabela 4.2: Rezultati simulacije.	64
Tabela 4.3: Rezultati simulacije za krak Erjavčeve ceste v smeri Ruše.	69
Tabela 4.4: Rezultati simulacije za celotno omrežje.	74

1 UVOD

1.1 UVOD V MIKROSIMULACIJE CESTNEGA PROMETA

Na svetu obstaja več kot petdeset mikrosimulacijskih programskih orodj, ki so bili razviti, v večini primerov, na raziskovalnih inštitutih in univerzah. Začetki mikrosimulacij prometa segajo v leto 1955 (Gerlough, 1955). Na začetku so se mikrosimulacijski modeli razvijali iz potrebe po testiranju posameznih prometnih rešitev, z namenom izboljšanja pretočnosti oziroma kapacitete križišč, predvsem v urbanih okoljih. Razvoj mikrosimulacijskih modelov je sledil nenehnemu razvoju takratnim namiznim računalnikom in vedno večjim potrebam po uvajanju informacijskih tehnologij v prometne sisteme, kot so: inteligentni transportni sistemi (ITS), adaptivni krmilniki semaforских naprav, vodenje in usmerjanje prometa na podlagi aktualnih prometnih zastojev, izdelava scenarijev prometnega vodenja ob nastanku nepredvidenih dogodkov itn. Z razvojem mikroprocesorjev in s tem namiznih računalnikov so današnji modeli sposobni z enako natančnostjo obdelati nekaj 100 km omrežja z več kot 200 križišči in nekaj deset tisoč vozili v realnem času, brez večjih težav. Večina simulacijskih modelov uporablja grafični vnosni vmesnik (GUI) in deluje v Windows okolju. Praviloma so komercialni programi zasnovani tako, da tudi vnos omrežja poteka z grafičnim vnosom točk in/ali vnosom omrežja iz obstoječih podatkovnih zbirk (*.shp, *.tif, *.dwg ...). Prav tako je večina modelov adaptivnih in omogoča vnos in spremembe nekaterih parametrov, ki so ključnega pomena za reprezentativno odvijanje simulacij. Kot rezultat mikrosimulacij večina modelov obravnava prometno učinkovitost s parametri, ki se najpogosteje uporabljajo pri kapacitetni analizi: hitrost, potovalni čas, zasičenost, dolžina kolon, itn. Praktično vsi komercialni programi omogočajo vizualno opazovanje simulacije, tj. animacijo, medtem ko nekomercialni modeli, ki so bili razviti za specialne študijske namene, teh možnosti nimajo in rezultate podajajo v alfa numerični obliki. Rezultati mikrosimulacij se lahko razdelijo na merila za prometno učinkovitost, varnost, okolje, udobje in tehnične karakteristike, kot prikazuje diagram (Slika 1.2).



Slika 1.1: Simulacijske metode glede na natančnost obdelave (Algres, 1998).

Vodilno vlogo na področju mikrosimulacij ima v svetovnem merilu programsko orodje VISSIM (nemškega podjetja PTV - <http://www.ptv-vision.com>), ki se uporablja v več kot 100 državah sveta, med drugim intenzivno tudi v Sloveniji. Razlog za to je prav gotovo v dovršenosti programa in nenehnem razvoju novih funkcij ter posodabljanju obstoječih. V drugi polovici leta 2013 je na voljo (že) različica VISSIM 6.0 (PTV AG, 2013).

VISSIM je mikroskopski simulacijski računalniški program, ki temelji na večnamenski simulaciji prometnih tokov, s poudarkom na analizi in optimizaciji prometnih tokov. Programska oprema VISSIM-a temelji na objektno orientirani kodi C++. VISSIM nudi veliko različnih možnosti simulacij urbanega in izven urbanega prometa ter povezovanje simulacij javnega in zasebnega prometa. S pomočjo modeliranja realnih prometnih pogojev lahko zelo dobro, z relativno visoko stopnjo podobnosti realnih in modeliranih prometnih tokov, zajamemo kompleksnost pogojev prometa. Seveda pa je osnova vsakega prometnega simulacijskega programa matematični model, s pomočjo katerega definiramo osnovne fizikalne zakonitosti (tehnične in organizacijske) prometa. V predloženem gradivu sva se avtorja potrudila, da v teoretičnem delu bralcu s pregledom tipičnih aplikacij in načeli modeliranja približava splošno strukturo simulatorja VISSIM.

Za boljše razumevanje problematike mikrosimulacij so v nadaljevanju prikazane lastnosti mikrosimulacijskih modelov, ki se najpogosteje uporabljajo v cestno prometni stroki. Opisane so bistvene lastnosti, ki se uporabljajo tako pri simulaciji kapacitete, kakor tudi pri analizi prometne varnosti.

1.2 VISSIM – ZGODOVINA IN DEJSTVA

VISSIM ima že dolgo zgodovino, ki je kronološko predstavljena v tabeli (Tabela 1.1).

Tabela 1.1: Zgodovina razvoja programskega orodja VISSIM (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

Wiedemann (1974)	Vpelje psiho-fizični model sledenja vozil, ki opisuje premike vozil na enem voznem pasu. Ne vključuje pa odcepljanj.
Obdobje (1978-1983)	Na univerzi Karlsruhe se vodi več raziskovalnih projektov na temo meritev in razvoj modelov v zvezi s posebnim gibanjem vozil na infrastrukturi. Sparmann (1978) je opisal menjavanje pasov na štiri pasovnih avtocestah, Winzer (1980) je izmeril zeleno hitrost na nemških avtocestah, Brannolte (1980) je preučil prometne tokove na vzponih ter Busch in Leutzbach (1983) sta raziskala menjavanje pasov na šest pasovnih avtocestah.
Hubschneider (1983)	Razvije simulacijsko okolje modela vozil na večpasovnih cestah in v signaliziranih ter nesignaliziranih križiščih. Model je bil poimenovan MISSION ter zagnan na podlagi simulacije, poimenovane SIMULA-67 na računalniku UNIVAC 1108.
Obdobje (1983-1991)	Raziskovalni projekti na univerzi Karlsruhe so vključevali model MISSION v številnih kapacitetnih in varnostnih študijah. Glavne aplikacije so vsebovale izračune za hrup (Haas, 1985) in emisije (Benz, 1985), medtem pa sta Wiedemann in Schnittger (1990) preučevala vpliv varnostnih predpisov na prometne tokove. V tistem času je bil model MISSION nameščen v MS-DOS-u po neuspešnih poskusih v programskem jeziku PASCAL in MODULA-2.
Obdobje (1990-1994)	Wiedemann in Reiter (Reiter, 1994) sta izboljšala izvorni model sledenja vozil z uporabo vozila za merjenje t. i. akcijskih točk.
Fellendorf (1994)	Prva komercialna različica programskega orodja v Nemčiji, namenjena za kapacitetno analiziranje signaliziranih križišč z aktivnim upravljanjem. Že od začetka so v programskem orodju bila na voljo: grafično oblikovanje omrežij, animacije vozil in mape v ozadju. Programsko orodje je bilo napisano v programskem jeziku C, delovalo pa je v operacijskem sistemu MS-Windows 3.1.
Obdobje (1994-1997)	Hiter razvoj je omogočal definiranje novih poti, nadaljnje modeliranje javnega prevoza, modeliranje prednosti v križiščih in vmesnike za številne sisteme upravljanja signalov.
1998	Dodatni modeli prometnih tokov zmanjšajo zahtevnost izvornih modelov, kar omogoča boljše kalibriranje prometnih razmer na bolj obremenjenih avtocestah. Razvijejo se nadaljnje grafične izboljšave, kot je 3D vizualizacija.
2000	Zaradi večanja aplikacij in zamudnega definiranja poti se je uvedlo dinamično dodeljevanje poti.
2003	COM vmesnik omogoča uporabnikom standardizirano programirano aplikacijo za razvijanje posebnih aplikacij z VISSIM-om v ozadju.
2004	Standardiziran vmesnik med programskima orodjema VISUM in VISSIM, kateri omogoča ustvarjanje novih aplikacij, ki temeljijo na enaki geometriji omrežja in na enakih podatkih o prometnih tokovih.
2006	Uvedba uporabe multiprocesorjev in skupine računalnikov za potrebe vzporednega procesiranja, z namenom zmanjšanja računskih časov na primeru večjih prometnih omrežij.
2007	Predvidevanje voženj na konfliktnih območjih.
2008	Modeli v povezavi s prometnimi tokovi pešcev, ki temeljijo na podlagi modelov gibanja pešcev Helbinga in Molnárja (1995).
2008	Povezava s programom SSAM za potrebe analize prometne varnosti.
2013	Na voljo je različica 6.0 s popolnoma novo arhitekturo.

V splošnem lahko ugotovimo, da mikrosimulacijsko programsko orodje VISSIM predstavlja stohastični (naključni), diskreten (simulacija diskretnih dogodkov: spremembe stanja v določenih časovnih intervalih oz. v le tistih časovnih intervalih, kjer se zgodijo spremembe, kar omogoča simulacijo daljšega časovnega obdobja v zelo kratkem času), časovno

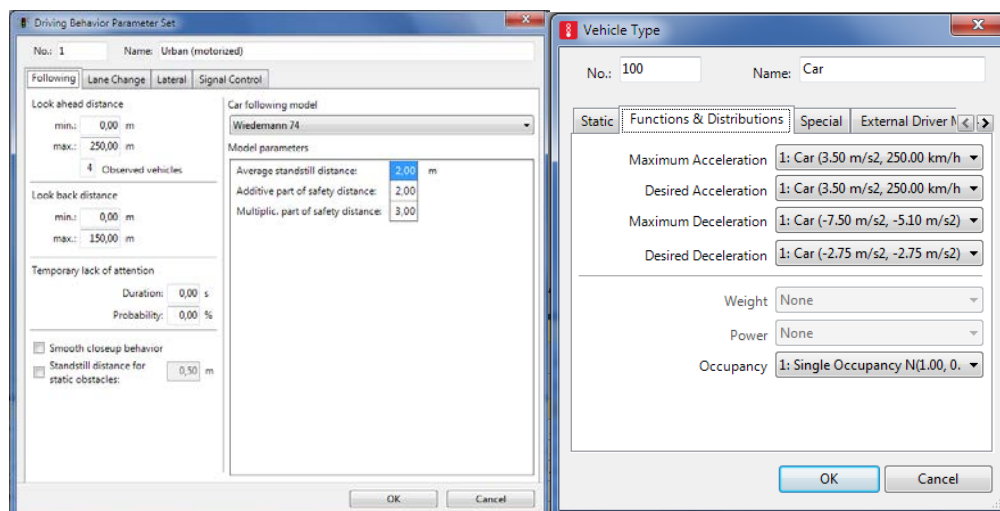
naravnani model. Model uporablja psiho-fizične lastnosti (Slika 1.2 (a)) sledenja vozil (*ang.: Car Following Model*) za vzdolžna gibanja vozil in algoritme, ki temeljijo na pravilih vožnje za vozila, ki se vključujejo iz stranskih smeri. Matematični psiho-fizični model je koncipiran na ideji, ki izhaja iz Wiedemannove teorije prometnega toka ((Leutzbach W. & Wiedemann R., 1986); (Wiedemann R., 1991); (Wiedemann & Reiter, 1992)), pri čemer je osnova reakcijski čas "voznika" oz. osnovni kinematični parametri (čas, hitrost, pospešek), prilagojeni na posameznega voznika oz. vozilo.

Značilnost programskega orodja VISSIM je tudi, da ne uporablja konvencionalnega načina "link/node" modelirnega sistema, temveč uporablja "link/connector" sistem, ki omogoča modeliranje zelo kompleksnih geometrij (npr. tudi več nivojskih).

VISSIM mikrosimulacijski modeli so najpogosteje sestavljeni iz petih temeljnih elementov, in sicer:

- (i) cestne povezave ("link-i" in "connector-ji") se lahko izdelajo z realno "z" koordinato, kar omogoča tudi 3D simulacijo;
- (ii) prometne signalizacije (semaforizirana, nesemaforizirana);
- (iii) strukture vozil (Slika 1.2 (b));
- (iv) prometne obremenitve in
- (v) smeri gibanja vozil.

Z mikrosimulacijskimi modeli VISSIM-a lahko simuliramo vse vrste vozišč (avtoceste, lokalne ceste, kolesarske steze, ...) in vse vrste prometa (motorizirani, nemotorizirani), kakor tudi javni promet (avtobusi, tramvaji, podzemne železnice, ...).



Slika 1.2: Možnost spreminjanja parametrov lastnosti voznika (a) in vozil (b).

2 MIKROSIMULACIJSKI MODEL VISSIM

Mikroskopski simulator prometnih tokov VISSIM sestavljajo posamezni matematični modeli, ki so potrebni za zagon in izvajanje simulacij. Programska oprema v osnovi ne zajema specifičnih podatkov za aplikacije ali dodatnih orodij, katere uporabnik potrebuje za zagon in modeliranje dodatnih oziroma naprednih modelov. Orodja za statistiko, zunanja orodja za nadzor prometa in orodja za kalkulacijo emisij predstavljajo dodatno programsko opremo, ki se pojavi kot opcija.

VISSIM temelji na programskem jeziku C++ in je tako usmerjen v predmetno usmerjeno programiranje (*ang.: Object Oriented Programming - OOP*). OOP je bil prvotno namenjen simulatorjem pomorskega prometa oziroma za simuliranje potovanja ladij. Predhodnik VISSIM-a, MISSION (ki je bil prav tako razvit na Univerzi v Karlsruhe) je deloval na t. i. simulaciji 67 (SIMULA 67), za katero so bili značilni različni razredi predmetov, virtualne metode in zvezno delovanje. V VISSIM-u so ti razredi vozila v katerih se kategorizirajo posamezne lastnosti z atributnimi vrednostmi in metodami upravljanja funkcij. V nadaljevanju bomo spoznali osnovno strukturo VISSIM mikrosimulacijskih modelov.

2.1 STRUKTURA SIMULATORJA

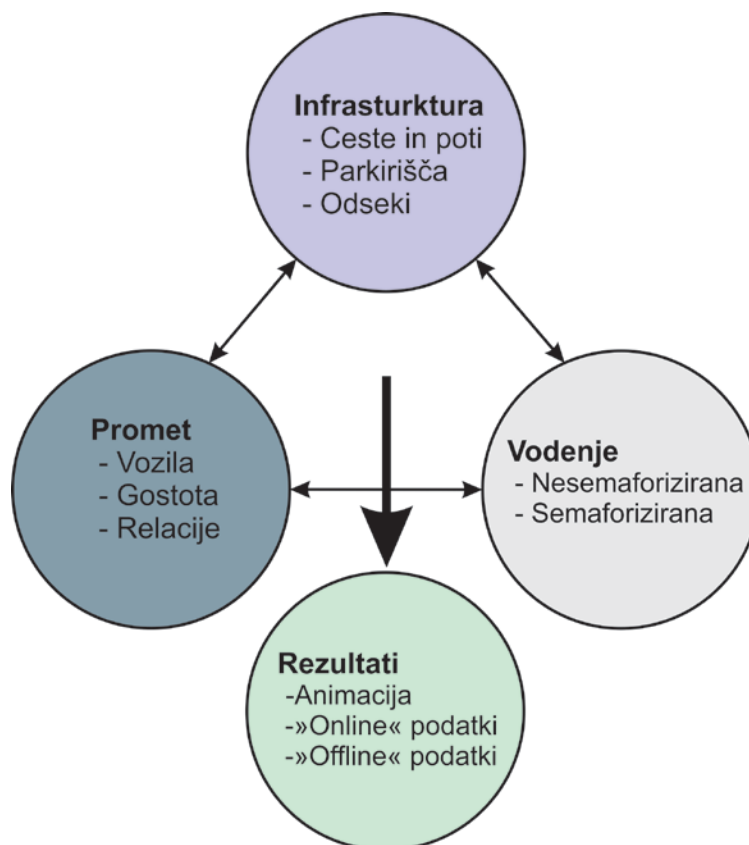
Matematični modeli so osnovni gradniki vsakega izmed prometnih simulatorjev in predstavljajo osnovo za definicijo prometnega omrežja, ki simulira tehnične in organizacijske vidike realnega stanja. Simulator je razdeljen na 3 glavne dele ter enega dodatnega, ki generira rezultate vsake simulacije (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

Prvi del, imenovan tudi "infrastrukturni del", sestavljata cestna in železniška infrastruktura. V programski opremi je ta del pomemben za modeliranje cestnega in železniškega prometa. Postajališča javnega prevoza in parkirišča so potrebna za določevanja izvornih in ciljnih mest potovanj. V ta del sodijo še posamezni fizični in stacionarni elementi omrežij (znaki, detektorji, ...).

Drugi del predstavljajo tehnične značilnosti vozil in specifikacije prometnih tokov. Prometni tokovi so definirani s pomočjo ciljno-izvornih matrik ali z generiranim prometom na vstopnih povezavah (poteh). V drugi del sodijo še opisi poti in model dodeljevanja lastnosti. Linije javnega prevoza so v omenjenem delu opredeljene kot zaporedje povezav in postajališč.

Tretji del predstavlja vse elemente, ki so povezani s kontrolo oziroma nadzorom prometa. Sestavni elementi tega dela so: pravila vožnje v izvenivojskih križiščih, pravila vožnje v enakovrednih križiščih, večja/manjša prednostna pravila v povezavi s sprejemanjem praznin (časovnih, prostorskih), nastavitve signalov (semaforjev, prometnih znakov s spremenljivo vsebino, ...).

Vsi trije deli so v programski opremi med seboj smiselno povezani (Slika 2.1). Npr. tekoči promet (2. del) aktivira detektorje (1. del), ki spremenijo vsebino na portalu (3. del). Četrty del je namenjen za vse vrste izhodnih podatkov, brez povratnih zank. Izhodni podatki se lahko pridobijo med samo simulacijo ali v obliki animacij, stanja nadzora prometa ali statistični podatki o stanju vozil in detektorjev. Večina meritev (t. i. MOE's) nastane med simulacijo in se shranjuje, na koncu pa je dodatek k simulaciji.



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

V nadaljevanju bodo podrobneje opisani posamezni deli programske opreme.

2.1.1 MODELIRANJE INFRASTRUKTURE

Raven podobnosti med realnim in simulacijskim modelom je odvisna od namena uporabe aplikacije VISSIM-a. Za testiranje "logike" prometno odvisnih signalov zadostuje že grob oris določenega križišča, podrobnejši modeli pa se uporabljajo za analize simulacij. Na drugi strani pa je potrebno za potrebe simuliranja prometnih operacij prometno omrežje pomanjšati na določeno merilo. Pomanjšana omrežja so v program uvožena iz makroskopskih programov planiranja prometa, GIS programov ali pa so ročno narisana na podlagi ortofoto posnetkov. Cestna in železniška infrastruktura je tako modelirana s pomočjo posebnih elementov, imenovanih "razredi".

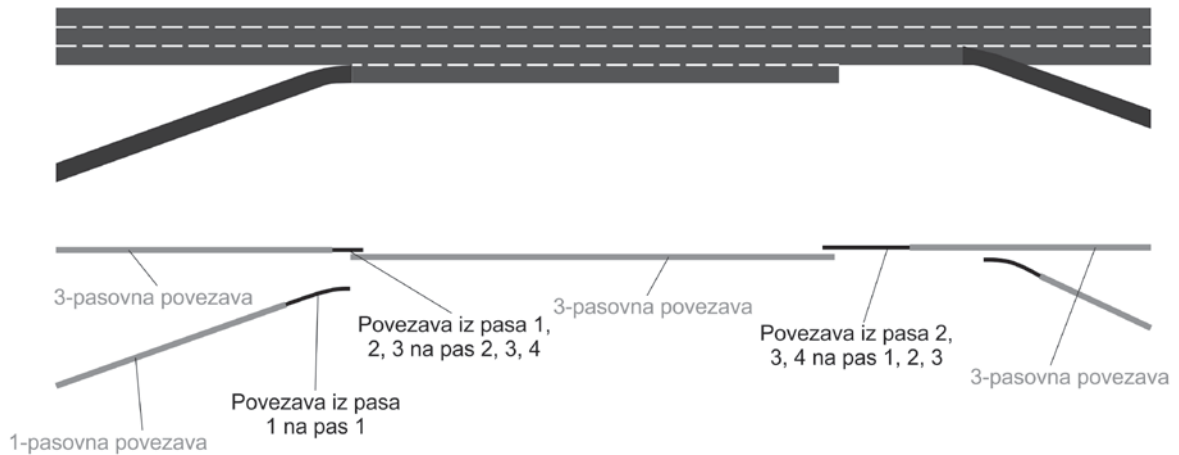
a) Povezave in priključki (*ang.: Links and Connectors*)

Cestno omrežje najpogosteje predstavimo v obliki grafov z vozlišči (*ang.: Nodes*), ki se nahajajo na križiščih, in povezav (*ang.: Links*), ki se nahajajo na cestnih odsekih. Vozlišča potrebujemo, če: (i) se dve ali več povezav medsebojno navezujejo; (ii) se povezave križajo med seboj; (iii) se ena povezava razdeli na dve ali več povezav in (iv) se karakteristke cestnega odseka spremenijo. Načeloma pa v VISSIM-u zaradi dodatne prilagodljivosti programske kode ni potrebno eksplicitno definirati vozlišč. Seveda pa funkcionalnost združevanja, prečkanja in ločevanja prometnih tokov ustrezno modeliramo s priključki, tako da smiselno medsebojno povežemo dve povezavi. Priključki vedno povežejo par "smiselno" med seboj, zato za združevanje npr. od ene do treh povezav vedno potrebujemo tri priključke.

Posamezna povezava ima nekatere obvezne in nekatere izbirne (opcijske) lastnosti, s katerimi lahko definiramo lastnost infrastrukture (ceste ali železnice). Obvezne lastnosti vsebujejo enolično določitev trase v ravninskem koordinatnem sistemu, število voznih pasov s pripadajočimi širinami le-teh, in vrsto (tip) vozil, primernih za povezavo. Opcijske lastnosti pridejo v poštev pri manj standardnih simulacijskih nalogah. Te lastnosti so, npr.: vertikalna ("z") koordinata nagnjenih delov infrastrukture (nagibov), vrednost cestnin za posamezne "plačljive" odseke cestne infrastrukture, in zlasti še posebne nastavitve vedenja prometnega toka, kot so npr.: mešani promet vozil, vozni pas namenjen samo določenim vozilom, prepoved prehitevanja tovornih vozil itn.

Če se lastnost posamezne povezave ne spreminja, lahko le-ta ostane ista za določeno (želeno) število cestnih odsekov. Slika 2.2 prikazuje primer priključka na šest pasovno avtocesto. S ciljem, da bi omogočili neprekinjeno (zvezno) združevanje iz pospeševalnega pasu na šest pasovno avtocesto, se tripasovna povezava konča na povezovalnem območju, dodata se štiripasovna povezava k predhodnem odseku avtoceste in vstopna rampa. Za združevanjem se pojavi izhodna rampa (izvoz), brez posebne cone upočasnjevanja (zaviralni pas). Ker se lastnosti šest pasovne avtoceste ne spremenijo, se lahko izvozna rampa postavi, brez posebnega modeliranja tega odseka.

Priključki povezujejo povezave z voznimi pasovi. Umestitev voznega pasu in določitev preglednostne razdalje sta pomembni obvezni lastnosti priključkov, ki imata velik vpliv glede na izbiro voznega pasu posameznega vozila. S ciljem, da čim bolj prilagodimo krivulje zavojev (s priključki in povezavami), najpogosteje uporabljamo Bezierjeve krivulje.



Slika 2.2: Modeliranje združevanj in cepljenj cest s povezavami in priključki (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

b) Ostali elementi (prometnega) omrežja (ang.: *Other Network Elements*)

Povezave in priključki so osnovni gradniki, ki jih potrebujemo za modeliranje prometne infrastrukture in so osnova za dodajanje morebitnih posebnih objektov. Obstajajo še skupine krajevnih objektov in drugih objektov s prostorsko razširitvijo. Lokacija posameznega objekta se seveda nanaša na posamezen vozní pas. Zato je potrebno posamezen objekt, ki se nanaša na posamezen prerez vozišča, ustrezno kopirati za posamezen vozní pas. Prostorske objekte lahko razširimo samo na eno povezavo. Točkovni objekt seveda nima fizične dolžine in mora biti natančno določen z lokacijo (koordinatami) na voznem pasu. Tipični točkovni objekti so:

- *Znak za omejitev hitrosti*; ko vozilo pelje mimo znaka, se njegova hitrost prilagodi glede na predpisano.
- *Znaka: "križišče s prednostno cesto" in znak "ustavi!"*; oba znaka določata pozicijo vozila na stranski prometni smeri (SPS), ki čakajo na vozila iz glavne prometne smeri (GPS).
- *Semafor*, uporablja se za prikaz zelenega in rdečega intervala. Pri simulaciji je nameščen na nosilcu za *znak "ustavi!"* (oz. na mestu, kjer je črta zaustavljanja). Vozila se bodo ustavljala naključno, v intervalu 0.5 in 1.5 m pred znakom *"ustavi!"*.

Prostorski objekti se začnejo na določeni lokaciji voznega pasu in se nadaljujejo do določene dolžine le-tega. Najpogosteje uporabljeni objekti v simulacijah so:

- *detektorji*, ki zaznavajo vozila in ljudi med prečkanjem določene lokacije. Impulz detektorja lahko uporabimo tako za namene statističnega vrednotenja kot za oddajanje podatkov do nadzora signalov. Detektorje sestavljajo tip značilnega impulza, prisotnost, hitrost in poseben (dodaten) detektor vozil javnega prevoza.
- *Postajališča za JPP*; avtobusi se lahko ustavljajo bodisi na samem voznem pasu (ang.: *Curbside Stop*) ali na avtobusnih postajališčih. Tramvaji se vedno ustavljajo na

obcestnih postajališčih (*ang.: Curbside Stop*). Dolžina postajališča mora biti daljša od najdaljšega vozila javnega prometa, v primeru krajšega postajališča potniki ne morejo izstopati in vstopati pravilno.

- *Parkirni prostori*; parkirišča so opcijski objekti, potrebni kot "izvori" in "cilji", v primeru če vozila izberejo dinamično dodeljevanje poti.
- *Področja omejitve hitrosti* (cone z omejeno hitrostjo); območja omejenih hitrosti so običajno vzpostavljena v območjih zavijanj vozil, kjer skrbijo za boljšo prometno varnost.

2.1.2 MODELIRANJE PROMETA

Podpoglavje modeliranje prometa opisuje potovanje (različnih) vozil po (predvideni) infrastrukturi (cesti). Za zasebni transport je značilno, da vsako vozilo izbira poljubno pot, medtem ko vozila javnega potniškega prometa vozijo po v naprej določenih poteh in se ustavljajo na v poznanih postajališčih. Avtobusi, ki vozijo potnike na posebne vožnje (npr. izletniki), sodijo med zasebni transport.

a) Prosti pretok vozil oz. zasebni transport (*ang.: Private Transport, PrT*)

Zasebni transport se poleg pešcev razdeli na naslednje kategorije vozil, in sicer: osebna vozila, tovorna vozila, motorna kolesa, izletniški avtobusi itn. Vsaka izmed kategorij pa je definirana s posameznimi lastnostmi, kot so: dolžina in širina vozila, pospeški in pojemki ter maksimalne dovoljene hitrosti. Namesto definiranja posameznih tipov vozil se lahko vhodni podatki vozil posplošijo s pomočjo razdelitve tehničnih značilnosti. Pravilna porazdelitev dolžine vozil, ki odraža realno "floto" vozil, vpliva na rezultate simulacije, npr. kot podatek o dolžini kolone. Za večino študij je širina vozil nepomemben podatek, toda pri modeliranju mešane strukture prometnih tokov je potrebno podrobno definirati tudi geometrijske podatke za posamezno vrsto vozil. Tipi vozil so lahko združeni v nize vozil za različne namene analiz, kot je to npr. za zbiranje vseh potovalnih časov, vseh visoko zasedenih vozil – HOV vozil (*ang.: HOV – High Occupancy Vehicles*).

Zasebni transport je definiran z naslednjimi lastnostmi:

- kategorija vozil (obvezen podatek);
- dolžina vozil ali porazdelitev dolžine vozil (obvezen podatek);
- porazdelitev tehničnih in želenih pospeškov ter pojemkov kot funkcija hitrosti (obvezen podatek);
- maksimalne hitrosti ali porazdelitve maksimalnih hitrosti (obvezen podatek);
- širina vozil (opcijski podatek);
- barva in 3D model ali porazdelitev barv in 3D modelov (opcijski podatek);
- teža vozil ali porazdelitev teže vozil (opcijski podatek);

- razred emisij ali porazdelitve nizov emisij (opcijski podatek);
- variabilni in fiksni stroški uporabe vozil (opcijski podatek).

Vozila so generirana naključno na začetkih povezav ali na parkiriščih, ki so lahko locirana tudi na sredini odsekov. Vhodni podatki prometnih tokov so posamično definirani za več časovnih intervalov. Ker število odhodov v časovnem intervalu $[0, t]$ temelji na Poissonovi porazdelitvi, s povprečjem $\lambda \cdot t$, je časovna praznina (*ang.*: *Gap*) x med dvema zaporednima voziloma porazdeljena po eksponentni porazdelitvi s povprečjem $\frac{1}{\lambda}$. Enota za parameter λ je število vozil na uro (voz/h). Verjetnost časovne praznine x med dvema zaporedno generiranimi voziloma se lahko zapiše kot:

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

V kolikor definirana prometna obremenitev preseže kapaciteto povezave, so vozila izločena iz omrežja in "shranjena" nekje v "ozadju", dokler se prostor ne izprazni. Če vozila ob koncu simulacije niso "vrnjena" na omrežje, program samodejno na to tudi opozori.

b) Javni potniški promet JPP (*ang.*: *Public transport, PuT*)

Vse tehnične lastnosti vozil zasebnega transporta so uporabne za simulacijo JPP, hkrati pa so še dodane posebne lastnosti. Linije JPP sestavljajo avtobusi, tramvaji in vozila lahkih železnic, katera ustavljajo na postajališčih po stalnih časih glede na vozni red. Časi ustavljanj so določeni na podlagi porazdelitve časov mirovanja vozil za vstopanje in izstopanje ali kalkulacij časov potniških uslug. Vozni redi opisujejo čase odhodov na posameznem postajališču. Časi odhodov na naslednjih postajah se izračunajo na način:

$$\begin{aligned} & \text{Simuliran prihod na naslednjem postanku} + \text{čas mirovanja} \\ & + \max(0; (\text{začetni čas} + \text{nadomesten čas odhoda} - \text{simuliran prihod} \\ & + \text{čas mirovanja}) \text{čas zaustavljanja}) \end{aligned}$$

Nadomestni čas odhoda je čas med dvema zaporednima postankoma, definiran na podlagi voznega reda. Čas zaustavljanja se računa v primeru predčasnih začetkov zaustavljanj, če le-teh ni, zavzame vrednost 1. V kolikor je čas odhoda (v primerjavi z voznim redom) drugačen, kot vsota časov prihoda in časov mirovanj, mora vozilo počakati na postajališču, dokler ni čas enak času na voznem redu. Če pa je čas zaustavljanja ali čas odhoda nastavljen na vrednost 0, bo vozilo zapustilo postajališče glede na razmere v prometu in čas mirovanja.

2.1.3 NADZOR PROMETA

a) Nesemaforizirana križišča (*ang.: Unsignalised Intersections*)

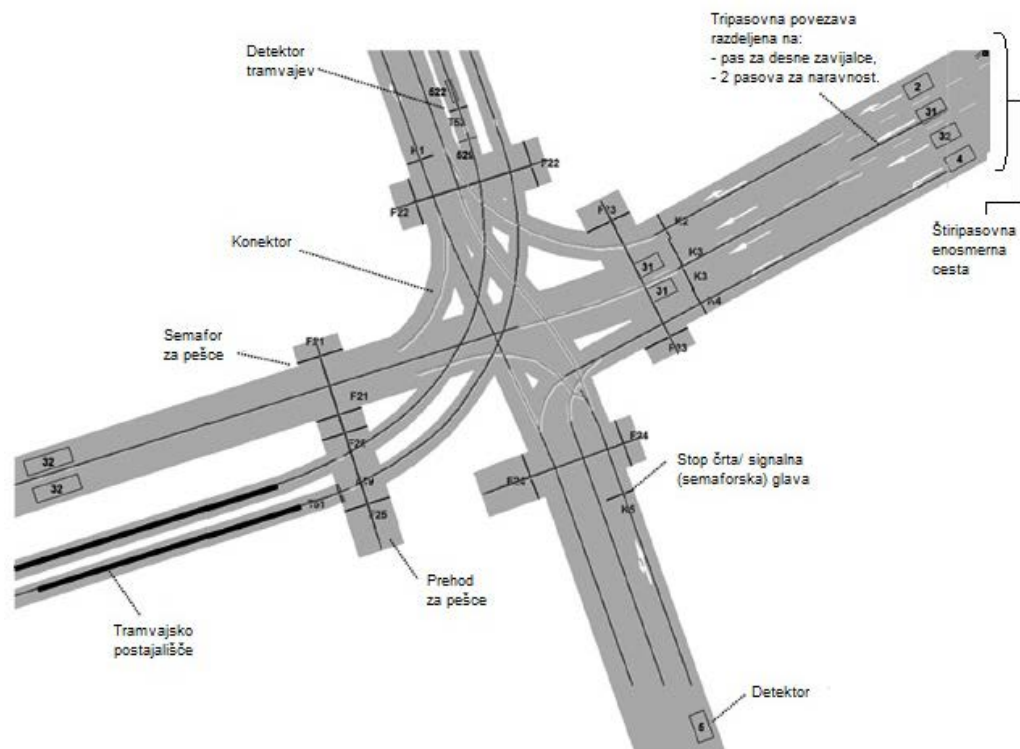
Pravila potekanja prometa v nesemaforiziranih križiščih so modelirana na podlagi t. i. pravil prednostni (*ang.: Priority Rules*) ali konfliktnih območij (*ang.: Conflict Area*). Ta pravila služijo za prepoznavanje vozil med seboj na različnih povezavah in vozliščih. Prednostna pravila se uporabljajo v naslednjih primerih:

- "nesignalizirana" križišča, kjer velja pravilo desnega;
- "nesignalizirana" križišča, kjer mora promet iz stranske prometne smeri (SPS), odstopiti prednost vozilom na glavni prometni smeri (GPS);
- križišča z dvema krakoma, ki imata *znak "ustavi!"* in križišča, kjer je na vseh krakih *znak "ustavi!"*;
- krožna križišča;
- področja združevanja prometa, kjer vozila iz ramp nimajo prednosti pred vozili na glavni prometni smeri;
- zavijalci v semaforiziranih križiščih, kot so: levi in desni zavoji, ki so konfliktni s prometnimi tokovi pešcev ali polkrožno obračanje, ki so v konfliktu z nasprotno vozečimi prometnimi tokovi;
- avtobusi, ki se vključujejo iz postajališč, imajo prednost pred ostalimi vozili, če nakažejo smer gibanja (s smerokazom).

Različne nacionalne smernice opisujejo različna prednostna pravila, zato je v VISSIM-u le-to poenostavljeno. Program namreč ponuja možnost, da z enim "klikom" uporabnik spremeni način vožnje vozil. Torej, t. i. "desno-smerni" promet (ki ga poznamo v večjem delu Evrope, tudi pri nas) spremeni v "levo-smernega" (npr. Anglija).

b) Semaforizirana križišča (*ang.: Signalised Intersections*)

Medtem ko signalne glave (*ang.: Signal Heads*) sodijo med infrastrukturo, so signalni kontrolerji (*ang.: Signal Controllers*) del nadzora prometa. V eni signalni skupini (*ang.: Signal Groups*) je lahko združenih več signalnih glav, ki jih nadzoruje signalni kontroler. Slika 2.3 prikazuje primer križišča, kjer sta dva pasova za naravnost zahodnega kraka nadzorovana preko signalne skupine K3, pasova za desno in levo zavijanje pa sta lahko nadzorovana preko ostalih signalnih skupin z drugimi nastavitvami.



Slika 2.3: Primer: mestno semaforizirano križišče s tramvajskimi progami (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

Po razdelitvi signalnih glav v signalne skupine, je čas izpraznitve križišča med konfliktnimi tokovi definiran znotraj matrike preklonnih časov (*ang.: Intergreen Matrix*). Za podane prometne obremenitve znotraj časovnega intervala je možno s programskim orodjem VISSIM izračunati zamude vozil in po potrebi podaljševati/skrajševati dolžino posamezne faze semaforkega cikla – prometno odvisno krmiljenje (*ang.: Actuated Traffic Control*).

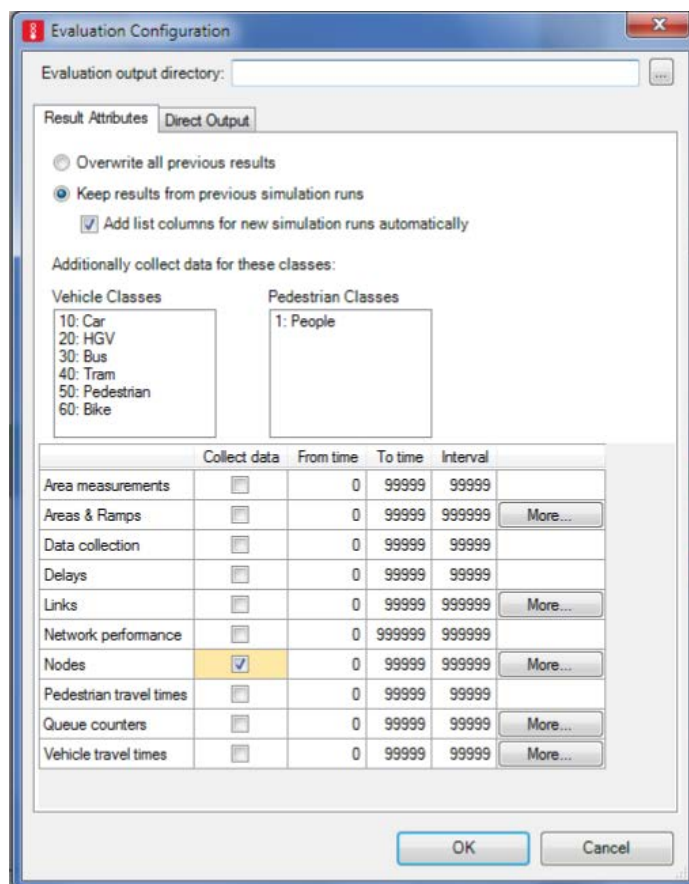
V ameriškem priročniku *Highway Capacity Manual – HCM* (in nekaterih ostalih nacionalnih smernicah) so za stalne nastavitve signalnih naprav podane posamezne enačbe za določitev zamud, dolžin kolon ter števila ustavljanj. Mikrosimulacije se pogosto uporabljajo za upravljalne in prilagajanje krmilnih signalov in ne zgolj za izračun nivoja uslug semaforiziranih križišč. VISSIM vsebuje programski jezik, z grafičnim vmesnikom, za definiranje upravljanja signalov. Strukturiran je podobno kot programska jezika C in Pascal, ampak ima posamezne dodatne funkcije, ki so primerne za prometne inženirje. Npr. omenjene funkcije so sposobne sprejemati impulze iz detektorjev, zasedenost in prisotnost vozil, prav tako pa še dostopnost prikazovanja signalnih skupin in faz. Upravljalna logika nacionalnih standardov signaliziranja je lahko definirana na podlagi signalnih skupin ali na podlagi faz.

2.1.4 REZULTATI SIMULACIJE

Gibanje vozil je lahko vizualizirano v 2D ali 3D obliki. Ta posebnost uporabnikom omogoča ustvarjanje realnih video posnetkov v AVI obliki datotek. Ta oblika datotek je lahko uporabljena kot predstavitev kakšnega projekta, seminarske naloge, diplomske naloge ipd. Za boljšo predstavitev zmogljivosti kartiranja v ozadju se lahko uporabijo ortofoto fotografije

in CAD risbe. Dodatni modeli objektov so lahko uvoženi npr. iz programa *Google Sketchup*. Za še bolj realno vizualizacijo pa se lahko simuliran promet izvozi v programsko opremo npr. *Autodesk 3DS Max*.

V izhodnih rezultatih so lahko vključeni številni kazalci učinkovitosti (*ang.: Measure of Effectiveness - MOEs*). Tipični parametri meritve učinkovitosti so: zamude, potovalni čas, število ustavljanj, kolone, hitrosti in gostota prometnega toka. Proces odločanja je podprt z zagotavljanjem fleksibilnosti povzetkov in poročila meritev učinkovitosti (MOEs). Le-te služijo kot odgovor na zadan problem. Kdaj, kje in kako bodo podatki na koncu prikazani, lahko uporabnik določi sam. Podatki so lahko povzeti: za poljubno časovno obdobje in interval znotraj določenega časovnega obdobja; za poljubno lokacijo na omrežju, za poljubno križišče, vzdolž poljubne poti ali za celotno omrežje in za poljubno kombinacijo načinov ter posameznih razredov vozil. Prav tako so lahko zapisani za vsako posamezno vozilo. Podatki so na voljo v ASCII zapisu ali v formatih podatkovnih zbirk, hkrati so samodejno pretvorjeni v oblike, ki so uporabne za programe, kot sta *Microsoft Access* in *Excel* (Slika 2.4). Nekaj izmed meritev učinkovitosti (MOE's) je lahko izvoženih v programsko opremo za planiranje prometa, kot je npr. *VISUM*, ki služi za podrobnejše grafične predstavitve. *VISUM* ponuja obsežno grafično zbirko za učinkovito grafično vizualizacijo rezultatov.



Slika 2.4: Vnosno okno za določitev izhodnih rezultatov.

3 OSNOVNI MATEMATIČNI MODELI V VISSIM-U

V nadaljevanju bomo opisali najpogosteje uporabljena modela v VISSIM programski kodi, in sicer (i) *model sprejemljivih časovnih vrzeli* (ang.: *Gap Acceptance Model*) in (ii) *model sledenja vozila* (ang.: *Car Following Model*), ki ju najpogosteje uporabljamo za simularanje prometnega toka vozil.

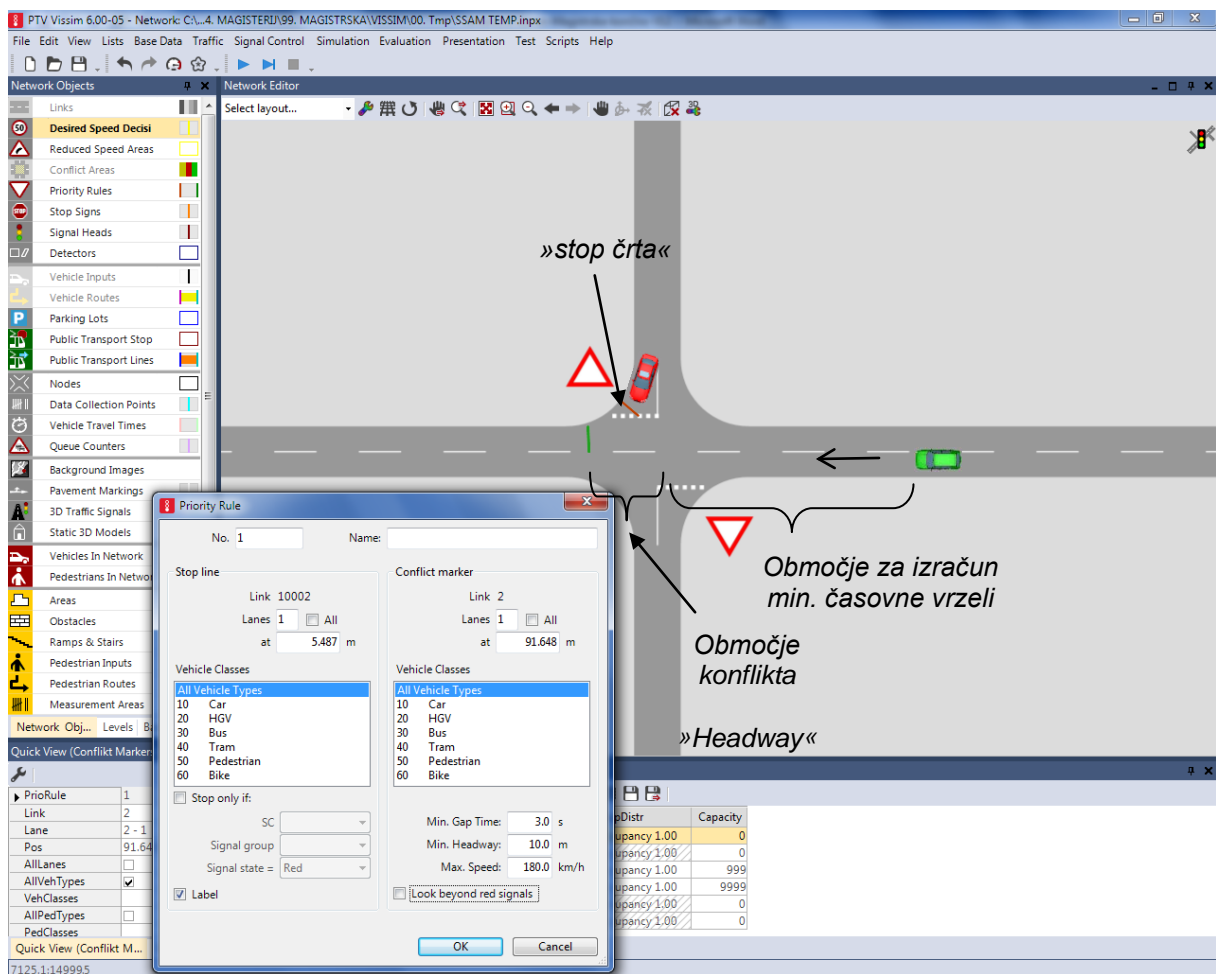
3.1 MODEL SPREJEMLJIVIH ČASOVNIH VRZELI (ANG.: GAP ACCEPTANCE MODEL)

Modeliranje časovnih vrzeli predstavlja ključni element vsake mikroskopske simulacije. V programskem orodju VISSIM imamo dva načina nastavitve parametrov časovnih vrzeli, ki se uporabljajo v kapacitetnih analizah.

a) Pravila prednosti (ang.: *Priority Rules*)

Za določitev pravil prednosti v nesemaforiziranih križiščih (oz. priključkih) se lahko uporabi t. i. pravila prednosti oziroma "*Priority Rules*". Ta način določitve prednosti vožnje skozi konfliktne točke se uporablja v vseh primerih križanja prometnih tokov oziroma kadar želimo, da se vozila "vidijo" med seboj na sosednjih voznih pasovih in da pri tem uporabijo pravila prednosti (desno pravilo), ki jih določi uporabnik programskega orodja.

Slika 3.1 prikazuje tipičen primer in vnosno okno, ki omogoča številne nastavitve. Povzeli bomo samo tiste, ki so za mikrosimulacijsko analizo bistveni. Prav gotovo je vrednost časovne vrzeli (ang.: *Gap Time*) najbolj pomembna in vpliva na samo kapaciteto. Poleg vrednosti časovne vrzeli prištevamo kot najpomembnejši parameter vezan na analizo prometne varnosti tudi dolžino konfliktnega območja (ang.: *Headway*). V Sloveniji nimamo predpisanih vrednosti oziroma parametrov, ki naj bi jih uporabili pri modeliranju časovnih vrzeli. V *Pravilniku za projektiranje cest* je opredeljena metodologija HCM za potrebe kapacitetnih izračunov, vendar smatramo, da ti parametri niso najbolj primerni za slovenske razmere, kar bi bilo potrebno utemeljiti na podlagi konkretnih raziskav. Programsko orodje VISSIM ima priporočljive vrednosti (ang.: *Default Values*) minimalno sprejemljivih časovnih vrzeli, ki služijo kot pomoč uporabniku za postavitve osnovnega modela, ki ga je potrebno na koncu potrditi (validirati) in umeriti (kalibrirati) – glej poglavje 3.4.



Slika 3.1: Prikaz postavitev "Priority Rules" za potrebe modeliranja sprejemljivih časovnih vrzeli v programskem orodju VISSIM 6.0

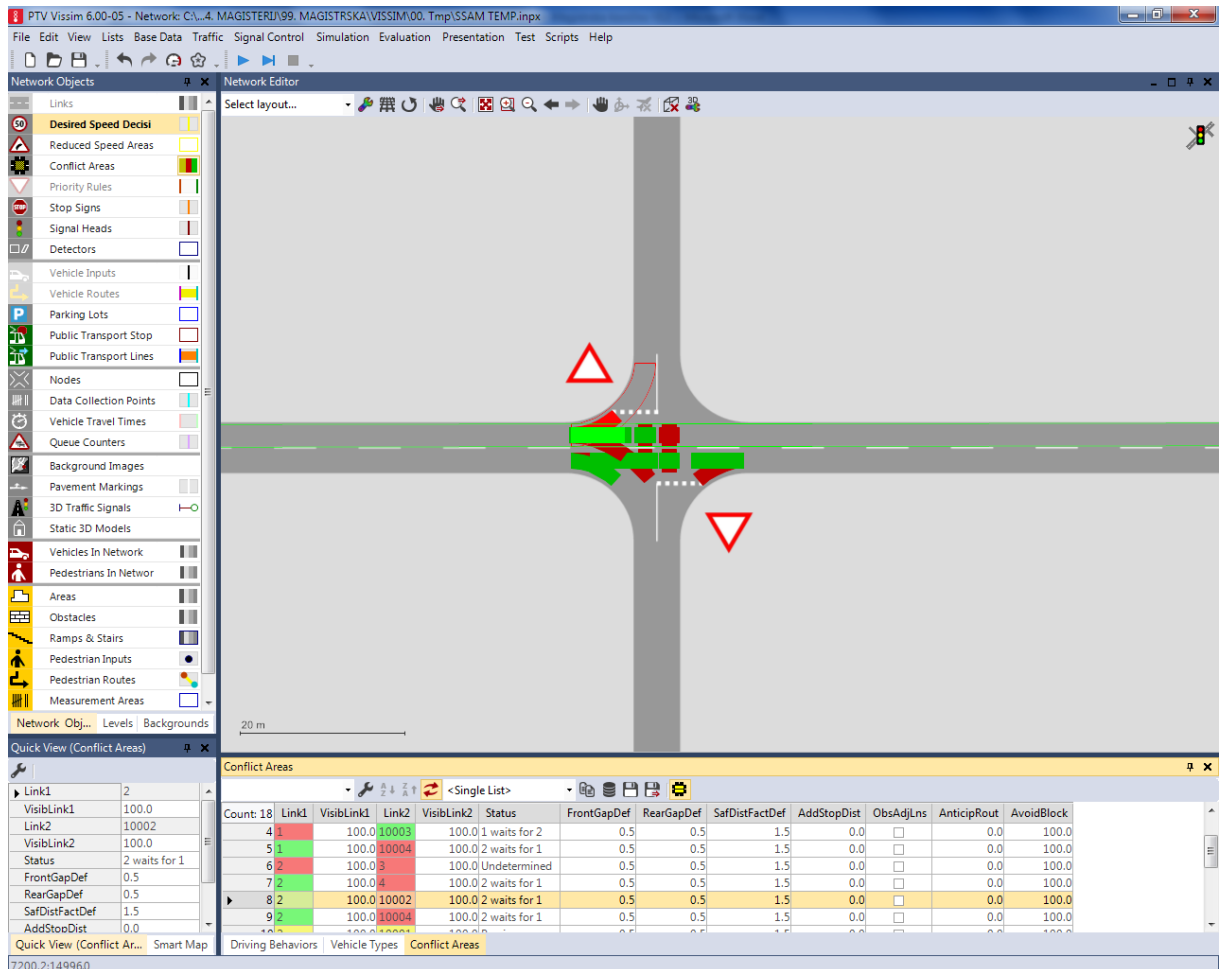
Prednosti programa VISSIM so prav gotovo v tem, da je možno postaviti več različnih kriterijev in parametrov za določitev pravil prednosti. Tako lahko postavimo različne pogoje za različne tipe vozil in voznikov (npr. tovorna vozila potrebujejo za vključevanje v promet bistveno višje vrednosti *Min. Gap Time*). Pomembno je poudariti, da je možno tudi določiti različne parametre za različne lastnosti omrežja (kolesarske steze, tramvajske proge, ...).

Pomanjkljivost programa VISSIM se kaže v tem, da v nesemaforiziranih križiščih ni možno določiti različnih vrednosti minimalne sprejemljive časovne vrzeli, ki bi bile za nekatere voznike sprejemljive (npr. mlajši, bolj drzni vozniki) oziroma obratno.

V kolikor je *Min. Gap Time* nastavljen na 3 sekunde, potem bodo vozniki, ki se vključujejo, sprejeli samo tiste časovne vrzeli, ki bodo višje od 3 sekund in zavrnilo vse nižje vrednosti. Prav tako se v praksi dogaja, da vozniki, ki čakajo daljši čas za vključitev (kapacitetno preobremenjena križišča in priključki), po določenem času (večjem številu nesprejetih časovnih vrzeli) tvegajo več in so pripravljeni sprejeti tudi krajšo časovno vrzel od predpisane. Na splošno pa velja, da imajo večje časovne vrzeli bistveno večjo možnost, da jih vozniki sprejmejo in obratno.

b) Konfliktna območja (ang.: Conflict Areas)

Konfliktna območja se (v VISSIM-u) prav tako uporabljajo za določitev pravil prednosti na mestu križanja prometnih tokov (Slika 3.2). Za razliko od funkcije *Priority Rules* je funkcija *Conflict Area* priporočljiva za uporabo v veliki večini obravnavanih primerov. S svojo funkcionalnostjo in enostavnostjo (in delno avtomatizacijo) olajša delo ter kar je najbolj pomembno, tudi minimizira možnost inženirskih napak pri določitvi pravil prednosti in s tem povezane izbire potrebnih parametrov.



Slika 3.2: Prikaz postavitve Conflict Area za potrebe modeliranja sprejemljivih časovnih vrzeli v programskem orodju VISSIM 6.0

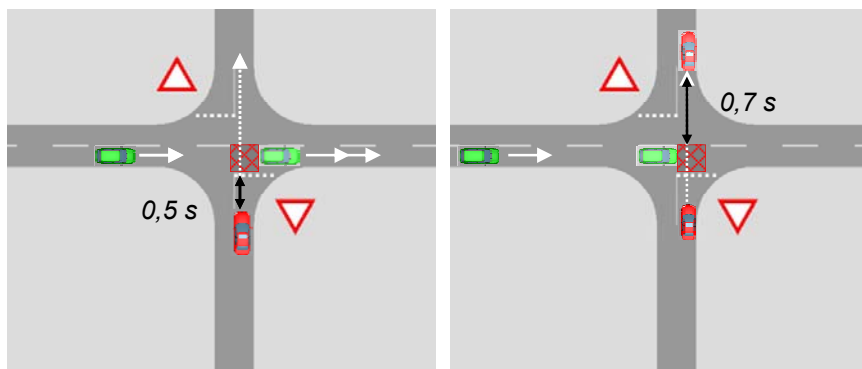
Voznik, ki se približa iz SPS na območje konflikta, si "izdela" načrt prečkanja konfliktnega območja. Pri tem opazuje vozila na GPS in se na podlagi svojega dojemanja (percepcije), svojih sposobnosti in tudi na podlagi karakteristik svojega vozila (dolžina, sposobnost pospeševanja ...), razmer na cesti (dež, sneg ...) odloči, katero časovno vrzel bo pri tem manevru vključevanja sprejel. Na podlagi analize in odločitve ima voznik tudi izdelan načrt pospeševanja, ki mu bo omogočil, da se vključi v prometni tok (ne da bi pri tem povzročil, da se vozilo na GPS naletno trči vanj). Pri tem voznik upošteva tudi razmere na voznem pasu, na katerega se bo vključil (ali bo imel prosto pot za ustrezno pospeševanje do zelene hitrosti ...). Če voznik ugotovi, da bo moral upočasniti ali celo ustaviti zaradi drugih vozil, potem

"preračuna" oziroma se odloči za večjo časovno vrzel ali pa se odloči, da opusti manever vključevanja (do nadaljnjega).

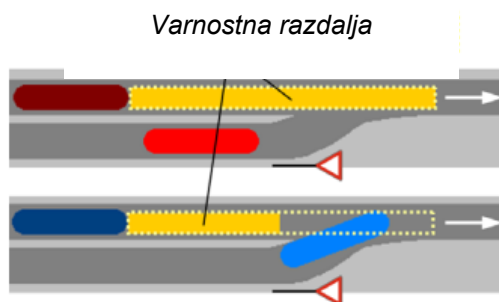
Vozniki na GPS prav tako reagirajo na konfliktna območja. V kolikor vozilo iz SPS ne uspe v popolnosti realizirati manever vključevanja (preveč optimistična napoved voznika iz SPS), potem voznik na GPS prične z manevrom zaviranja in se po potrebi tudi ustavi. V kolikor se na območju konflikta ustvari kolona vozil na GPS, potem prihajajoča vozila upoštevajo možnost vključevanja iz SPS in se ne ustavljajo na območju konflikta, da ne povzročijo "blokade" priključka.

Funkcijo *Conflict Area* se tako uporablja za: križanje, združevanje in prepletanje prometnih smeri. Z uvedbo funkcije *Conflict Area* se je ponudila možnost direktne nastavitve preglednosti (*ang.: Visibility*), ki omogoča modeliranje ovir v polju preglednosti iz SPS.

Poleg parametra vidljivosti je možno nastaviti še dva parametra, in sicer parametra "sprednja verzel" (*ang.: Front Gap*) in "zadnja verzel" (*ang.: Rear Gap*), kot prikazuje Slika 3.3. Parametra se uporabljata le pri simulaciji križanja prometnih tokov. Parameter "varnostna razdalja" (*ang.: Safety Distance*) se uporablja le v primeru združevanja prometnih tokov. Parameter "varnostna razdalja" pri združevanju prometnih tokov množi s tem parametrom, kot prikazuje Slika 3.4. Za vsak tip vozila se lahko določi pripadajočo vrednost parametra.



Slika 3.3: Prikaz *Front Gap* (levo) in *Rear Gap* (desno) parametrov.



Slika 3.4: Prikaz "Safety Distance Factor"; zgoraj vrednost 1.0, spodaj 0.5. Modro vozilo se lahko vključi, rdeče pa ne. (PTV, 2013).

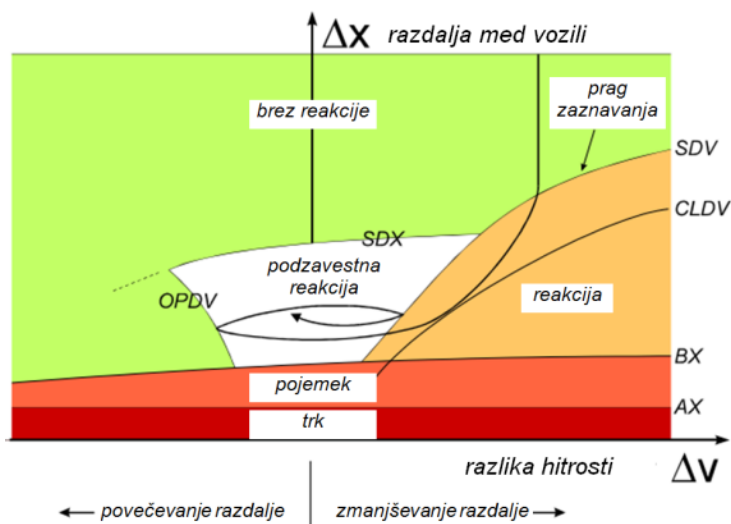
Parameter "dodatna zaustavitvena razdalja" (*ang.: Additional Stop Distance*) se uporablja z namenom, da se na SPS lahko določi "namišljeno" črto zaustavljanja, kjer se vozilo ustavi, v kolikor niso izpolnjeni pogoji za vključevanje v GPS. V kolikor je izbrana možnost "upoštevaj sosednji vozni pas" (*ang.: Observe Adjacent Lanes*) vozniki na SPS opazujejo tudi vozila na GPS, ki bodo zamenjali "vozni pas na vozni pas", kjer se nahaja konfliktno območje. Parameter "predvidevanje poti" (*ang.: Anticipate Routes*) je v območju [0,1]; s tem parametrom določimo odstotek vozil na SPS, ki predvidevajo, da bodo vozila, ki se nahajajo na GPS, zavila preden dosežejo konfliktno območje.

Parameter "izogibanja blokiranja" (*ang.: Avoid Blocking*) je v območju [0, 1] in se uporablja samo za križanja prometnih tokov, in sicer s tem parametrom opišemo odstotek vozil na GPS, ki ne bodo vstopila na območje konfliktnega križanja, dokler ne bodo zaznala, da ga lahko nemudoma tudi sprostijo. S tem, ko vozila na GPS čakajo na ustrezen prostor, da prečkajo konfliktno območje, vozila na SPS lahko zapeljejo v križišče in prečkajo konfliktno območje. Pred-nastavljena (*ang.: Default*) je vrednost dolžine, ki jo pričakuje vozilo na GPS, da lahko prečka konfliktno območje (dolžina vozila + 0.5 m). Prav tako se upošteva pred-nastavljena (*ang.: Default*) vrednost hitrosti vozila na GPS. V kolikor je nižja od 5 km/h in nižja od 75 % njegove želene hitrosti ali če je ovira za prečkanje oziroma doseganje hitrosti rdeči signal na semaforju, vozilo ne bo zapeljalo na konfliktno območje, da s tem manevrom ne bi blokiralo križanja prometnih tokov vozil.

Kot lahko razberemo iz predhodno zapisanega, so z uvedbo funkcije *Conflict Area* v letu 2008 razvijalci programske opreme VISSIM poenostavili delo s konflikti, pa vendar dosegli bistveno večje približevanje realnemu stanju vožnje vozil v območju konfliktov.

3.2 MODEL SLEDENJA VOZILA (ANG.: CAR FOLLOWING MODEL)

Leta 1963 je Michaelis ugotovil (Michaelis, 1963), da voznik na podlagi percepcije velikosti vozila, ki se spreminja s hitrostjo oziroma oddaljenostjo, zazna spremembe hitrosti vozila, ki vozi pred njim (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010). Natančnost mikrosimulacijskega modela je v veliki meri odvisna od kvalitete modeliranja vozil oziroma od metode premikanja vozil v omrežju. Za razliko od ostalih mikrosimulacijskih orodij, ki uporabljajo manj zapletene metode (konstantna hitrost vozil in deterministični pristop sledenju vozil, tudi t. i. celični model), VISSIM uporablja psiho-fizični matematični model, prvotno razvit s strani nemškega strokovnjaka Wiedemanna (PTV AG, 2013). Osnovni princip modela temelji na "posnemanju" dejanskih reakcij in odločitev, ki jih sprejema voznik, ko vozi za vozilom pred seboj. Voznik hitrejšega vozila, ki dohiti vozilo pred seboj, prične z zaviranjem, ko doseže svoj individualni prag zaznavanja počasnejšega vozila pred seboj. Ker natančne hitrosti vozila pred seboj ni možno zaznati, bo njegova prilagojena hitrost nižja od hitrosti vozila pred njim. Nato prične vozilo ponovno pospeševati, dokler ne doseže naslednjega praga zaznavanja (percepcije). Proces se iterativno nadaljuje z izmenjavo pospeševanja in zaviranja (Slika 3.5).



Slika 3.5: Prikaz psiho-fizičnega matematičnega modela sledenja vozil po Wiedemannu. (PTV AG, 2013).

Mejne vrednosti modela so razložene s spodnjimi matematičnimi izrazi in opisom (Wiedemann & Reiter, 1992), (Fellendorf M. & Vortisch P., 2010).

AX: želeno (varna) razdalja med dvema voziloma v čakalni vrsti (koloni), pri čemer predstavlja $rnd1$ z normalno porazdelitvijo $N(0.5, 0.15)$:

$$AX := VehL + MinGap + rnd1 \cdot axmult \quad (3.1)$$

pri čemer so:

$VehL$ – dolžina vozila

$MinGpa$ – minimalna verzel med voziloma

ABX: želeno minimalna razdalja sledenja vozila, ki je odvisno od vrednosti AX, vrednosti BX, ki predstavlja varnostno razdaljo in hitrosti vožnje v :

$$ABX := AX + BX \cdot v \quad (3.2)$$

SDV: reakcija, kjer se voznik zaveda, da se približuje vozilu pred njim. Vrednost SDV narašča z zmanjševanjem razlike hitrosti Δv . V izvirnem delu Wiedemanna iz leta 1974 je dodano še eno mejno stanje CLDV (približevalna razlika v hitrosti), ki jo je uporabil za modeliranje dodatnega zaviranja (pojemanja), z večjim zavornim učinkom kot pri SDV.

OPDV: reakcija, kjer voznik zazna, da postaja (bistveno) počasnejši, kot je vozilo pred njim in zato prične ponovno pospeševati. Razlika v vrednosti reakcije OPDV je večja v primerjavi z vrednostjo CLDV.

SDX: mejno predvidevanje/zaznavanje (percepcija) za modeliranje razdalje med voziloma, ki znaša od (1.5÷2.5) vrednosti ABX.

Voznik, ki sledi vozilu spredaj, prične z reakcijo na določeni razdalji, ponavadi na 150 m. Minimalna stopnja pospeševanja in pojemanja znaša 0.2 m/s^2 . Maksimalne stopnje pospeševanja so odvisne tudi od tehničnih lastnosti vozil. Ponavadi so te vrednosti manjše (npr. za tovorna vozila), kot bi si to želel voznik. Model vsebuje tudi pravilo možnosti preseganja maksimalne stopnje pospeška v nujnih primeru. To se zgodi, če vrednost ABX narašča. V tem primeru so mejne vrednosti odvisne od trenutne hitrosti vozila (v), kot prikazuje Slika 3.5.

Slika 3.5 prikazuje tudi vplive različnih mejnih vrednosti. Vozniki, ki bolj tvegajo, vozijo bližje mejnim vrednostim, medtem ko bolj umirjeni voznik in manj pozorni vozniki vozijo bolj odmaknjeno od mejnih vrednosti. Pozornost (zbranost) voznikov se meri z vrednostjo SDV , varnostna razdalja pa z BX (Wiedemann & Reiter, 1992).

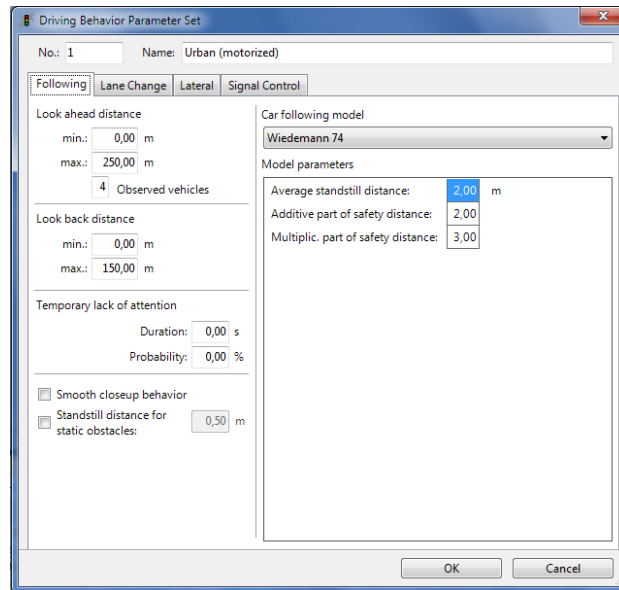
Primer: Glede na osnovni diagram (Slika 3.5), bo kapaciteta štiri pasovne avtoceste npr. 1950 voz/h/vpas, v primeru, ko bi vsi vozniki vozili defenzivno (umirjeno, manj tvegano). Kapaciteta ceste pa se poveča na 2250 voz/h/vpas v primeru, ko opredelimo voznike kot tiste, ki več tvegajo (vozijo na meji diagrama - Slika 3.5). Jasno je, da različne predpisane mejne vrednosti zelo vplivajo na kapaciteto ceste.

Osnovna ideja Wiedemannovega matematičnega modela temelji na predvidevanju, da je voznik lahko v enem od naslednjih štirih situacij:

- (i) **vožnja v prostem prometnem toku:** voznik vozi brez vplivov ostalih vozil. Voznik stremi k temu, da doseže predpisano potovalno hitrost in jo vzdržuje v procesu vožnje;
- (ii) **približevanje:** voznik prilagaja hitrost vožnje počasnejšemu vozilu pred njim (z zaviranjem) z namenom, da doseže razliko v hitrosti nič v trenutku, ko doseže (njemu) ustrezno varnostno razdaljo;
- (iii) **sledenje:** voznik sledi vozilu pred njim, vendar zaradi premalo natančnega dodajanja in odzemanja plina prihaja do blagih oscilacij razlike hitrosti, ki se giblje okoli vrednosti nič;
- (iv) **zaviranje:** se dogaja v procesu srednjih ali večjih pojekov, v kolikor varnostna razdalja med vozili pade pod mejno vrednost. Drugo možnost predstavlja nenadno zaviranje vozila pred vozilom, ki vozi za njim in/ali v kolikor se vozilo iz sosednjega voznega pasu "preplete" (menja vozni pas) pred opazovanega voznika.

Za vsako izmed naštetih stanj je pospeševanje opisano kot rezultat trenutne hitrosti, razlike hitrosti, razdalje med vozili kakor tudi individualnih lastnosti voznika in vozila. Voznik prehaja med posameznimi stanji: takoj, ko doseže določeno mejno vrednost, ki jo izrazimo kot kombinacijo razlike hitrosti in varnostne razdalje. Sposobnosti voznikov, da zaznajo razliko v hitrosti in ugotovijo razdaljo do vozila pred seboj, se spreminjajo glede na posamezne

značilnosti starostnih skupin voznikov. V nadaljevanju so opisani nekateri osnovni parametri (Slika 3.6), ki jih je možno nastaviti v procesu umerjanja (kalibracije) simulacijskega modela.



Slika 3.6: Prikaz parametrov za cesto v naselju po Wiedemannu 74. (PTV AG, 2013).

Osnovni parametri, ki jih mora predpisati (nastaviti) uporabnik, so:

- (i) **opazovanje prometa (varnostne razdalje) pred seboj** (ang.: *Look Ahead Distance*): z minimalno oziroma maksimalno razdaljo določimo dejansko možnost zaznavanja (percepcije) voznika, ki pri tem zaznava ostala vozila pred njim (ali ob njemu) na istem pasu;
- (ii) **opazovana vozila** (ang.: *Observed Vehicles*): število opazovanih vozil vpliva na predvidevanja premikov ostalih vozil in temu ustrezno voznik prilagaja svojo vožnjo;
- (iii) **opazovanje prometa za seboj** (ang.: *Look Back Distance*): določa razdaljo na kateri voznik lahko opazuje dogajanje za njim in reagira glede na to dogajanje;
- (iv) **začasno pomanjkanje (preusmeritev) pozornosti** (ang.: *Temporary Lack of Attention*): vozniki ne bodo reagirali na vozila pred njimi (razen v primeru nenadnega močnega zaviranja) v določenem času. Lahko določimo čas (angl. *Duration*) trajanja pomanjkanja pozornosti in verjetnost (angl. *Probability*), s katero definiramo, kako pogosto se ta preusmeritev pozornosti dogaja. Višji kot sta ti vrednosti, nižja bo kapacitetna zmogljivost ceste;
- (v) **natančno definiranje obnašanja voznika** ob zaznavanju stoječega (mirujočega) vozila se upošteva, v kolikor je izbrana možnost "*Smooth closeup behavior*". V kolikor ta možnost ni izbrana, se vozniki obnašajo po principu "sledenja" in se bodo ustavili šele takrat, ko vozilo pred njimi ustavi (hitrost <1 m/s).
- (vi) **razdalja do fiksnih objektov** (ang.: *Standstill Distance For Static Obstacles*): v kolikor je izbrana ta možnost, bo uporabljena standardna razdalja ($a_x = 0.5$ m) do stoječega objekta, namesto pred-nastavljene (ang.: *default*) vrednosti [0.5, 0.15].

Pri izvajanju mikrosimulacij lahko izbiramo med naslednjimi možnostmi modela sledenja vozil (ang.: *Car Following Model*), in sicer:

- a) **Wiedemann 74**: primeren za ceste v naselju,
- b) **Wiedemann 99**: primeren za ceste izven naselja, avtoceste; razen za območja prepletanja in vključevanja,
- c) **brez modela**: primerna izbira za preproste simulacije (npr. pešcev).

3.2.1 MATEMATIČNI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 74"

V simulacijskem programu VISSIM se uporablja izpopolnjena verzija osnovnega Wiedemannovega matematičnega modela iz leta 1974. Na voljo so nastavitve naslednjih parametrov:

- **povprečna razdalja med mirujočimi vozili** (ang.: *Average Standstill Distance*) (ax) - s tem parametrom določimo povprečno želeno razdaljo med ustavljenimi (mirujočimi) vozili.
- **dodatni delež želene varnostne razdalje** (ang.: *Additive part of desired safety distance*) (bx_{add}) in dodatni faktor želene varnostne razdalje (ang.: *Multiplicative part of desired safety distance*) (bx_{mult}) ima vpliv na izračun varnostne razdalje. Razdalja d med dvema voziloma se izračunana po enačbi (3.3), bx pa po enačbi (3.4):

$$d = ax + bx \quad (3.3)$$

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

kjer je:

vhitrost vozil,

zvrednost med 0 in 1 (običajno izberemo 0.5 s standardno deviacijo 0.15).

3.2.2 MATEMATIČNI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 99"

Podane so temeljne osnove modeliranja modela Wiedemann 99 (W 99), ki temelji na Wiedemannovem modelu prometnega toka iz leta 1999 (PTV AG, 2013). Parametri, ki jih potrebujemo pri tem modelu, so zajeti v enačbi (3.5).

$CC0$ je predpisana želena razdalja med ustavljenima voziloma in nima variacij.

$CC1$ je čas gibanja, pri čemer je v hitrost v [m/s]; varnostno razdaljo dx_{safe} ugotavljamo na naslednji način:

$$dx_{safe} = CC0 + CC1 \cdot v \quad [m] \quad (3.5)$$

Varnostna razdalja dx_{safe} je minimalna razdalja med dvema voziloma in je dejansko individualen podatek ter je odvisna predvsem od voznika. Varnostna razdalja bistveno vpliva na kapaciteto prometnega toka in seveda na samo varnost.

CC2 je spremenljiva razdalja sledenja. Ta razdalja je enaka dx_{safe} in se lahko zviša npr. (odvisno od voznika) na $dx_{safe} + 10\text{ m}$.

CC3 je parameter, ki nadzira zaviranje, ko vozilo preide v sledenje, voznik zazna, da je vozilo pred njim počasnejše. Definiramo ga lahko, kdaj časovno pred varnostno razdaljo začnemo z zaviranjem (za voznika je to varnostna razdalja).

CC4 in CC5 sta varnostna parametra sledenja, ki ju lahko nastavimo na neki mejni vrednosti, za kateri menimi, da v primeru če ju presežemo se bo "nekaj zgodilo".

CC6 predstavlja hitrostno odvisnost oscilacije pri sledenju, če znaša parameter 0, potem ni vpliva oscilacije hitrosti. In posledično višji parametri predstavljajo večji vpliv oscilacije.

CC7 predstavlja oscilacijo pospeška.

CC8 predstavlja pospešek pri startu vozila iz stanja mirovanja.

CC9 je pospešek vozila pri hitrosti vozila 80 km/h. Omejen je s krivuljami pospeškov.

The screenshot shows the 'Driving Behavior Parameter Set' window for 'Urban (motorized)' with 'No.: 1'. The 'Following' tab is active, showing 'Look ahead distance' (min: 0,00 m, max: 250,00 m) and 'Look back distance' (min: 0,00 m, max: 150,00 m). The 'Car following model' is set to 'Wiedemann 99'. The 'Model parameters' table is as follows:

Parameter	Value	Unit
CC0 (Standstill Distance):	1,50	m
CC1 (Headway Time):	0,90	s
CC2 ('Following' Variation):	4,00	m
CC3 (Threshold for Entering 'Following'):	-8,00	
CC4 (Negative 'Following' Threshold):	-0,35	
CC5 (Positive 'Following' Threshold):	0,35	
CC6 (Speed dependency of Oscillation):	11,44	
CC7 (Oscillation Acceleration):	0,25	m/s ²
CC8 (Standstill Acceleration):	3,50	m/s ²
CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h):	1,50	m/s ²

Slika 3.7: Primer programskega okna za vnos psiho-fizičnih parametrov Wiedemann 99.

Sprememba voznega pasu je v splošnem možna na naslednja dva načina, in sicer: potrebna menjava, prosta menjava pasu.

Pri spremembi voznega pasu modul W 99 spremlja hitrost vozila, ki spreminja prometni pas in vozila za njim. Modul W 99 omogoča spremembo prometnega pasu levo in desno.

3.3 MODEL MENJAVE PASOV (ANG.: LANE CHANGE)

Pri simulacijah prometnih tokov poznamo v splošnem dve "potrebi" (nuji) za določitev menjave pasov (Slika 3.8), in sicer (i) *potrebna menjava pasu* (da vozilo "pripeljemo" na želeno cesto) in (ii) *prosta menjava pasu* (zaradi doseganja višje hitrosti na manj zasedenem voznem pasu).

V primeru "*potrebne menjave pasu*" so v vedenjskih parametrih voznikov vključeni maksimalno sprejemljivi pojemki vozila. Ti podatki so zapisani tudi za vozilo, ki je za njim na sosednjem voznem pasu, odvisno od razdalje do takojšnje (hipne) ustavitvene lokacije na naslednjem "konektorju" cestne povezave.

V primeru "*proste menjave voznega pasu*" simulacijski program "preveri" varnostno razdaljo vozila (na sosednjem pasu) za voznikom, ki menja pas. Ta varnostna razdalja je odvisna od hitrosti opazovanega vozila in hitrosti vozila, ki želi zamenjati vozni pas. V aktualni verziji VISSIM 6.0 ni možnosti za nastavitve "agresivnosti" voznika, ki želi zamenjati vozni pas, je pa možno z nastavitvami parametrov (ki so uporabljeni v modelu sledenja vozil) vplivati tudi na prosto menjavo voznega pasu.

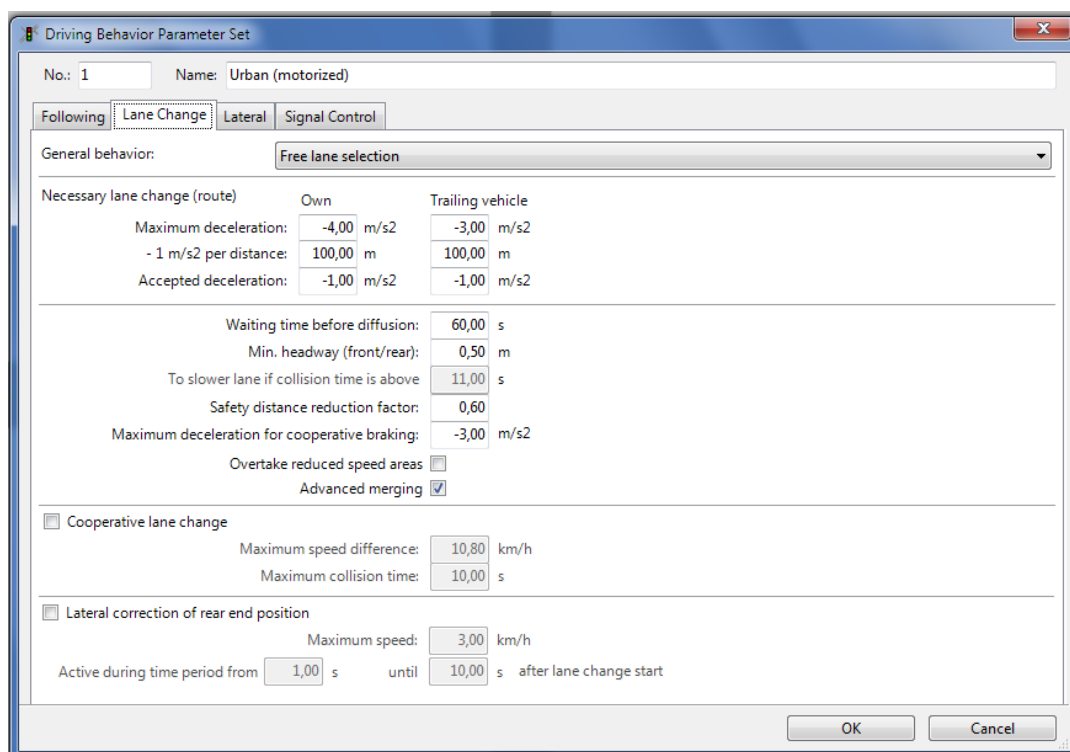
V obeh primerih, ko voznik želi zamenjati vozni pas, se v prvem koraku iteracije preveri ustrezna "*časovna praznina*" (ang.: *Headway*) na ciljnem voznem pasu. Časovna praznina je odvisna od hitrosti vozila, ki menja pas, in vozila, ki prihaja "od zadaj" na ciljnem voznem pasu. Potrebna menjava voznega pasu vozila je odvisna tudi od velikosti pojemkov oz. "agresivnosti" voznikov obravnavanega vozila, ki se nastavijo v vnosnem oknu. Določijo se maksimalni pojemki vozila, ki menja pas (ang.: *Own*) in vozila, ki je na ciljnem voznem pasu (ang.: *Trailing*). Razpon teh parametrov je določen z "*maksimalnim pojemkom*" (ang.: *Max. Decelerations*) in *sprejemljivim pojemkom* (ang.: *Accepted Decelerations*). Dodatno je možno nastaviti še t. i. "*redukcijski faktor*" (ang.: $-1m/s^2$ per distance), ki zmanjša maksimalno vrednost pojemka s povečevanjem razdalje do takojšnje zaustavitve.

Funkcija "*čas čakanja predno se vozilo izloči iz simulacije*" (ang.: *Waiting Time Before Diffusion*) določa, koliko časa bo vozilo ob "polni črti" čakalo na spremembo voznega pasu (iskanje ustrezne vrzeli), dokler vozila simulacija avtomatsko ne izloči iz procesa. To je zelo koristna funkcija v primeru, ki se lahko zgodi, da se zaradi "neaktivnosti" enega vozila "zablokira" celotna simulacija. V takšnem primeru se na koncu simulacije pojavi sporočilo "*Error Message*".

Možno je nastaviti tudi "minimalno razdaljo spredaj" (ang.: *Min. Headway*) do mirujočega vozila na sosednjem pasu in "faktor redukcije varnostne razdalje" (ang.: *Safety Distance Reduction Factor*). Npr. vrednost faktorja 0.6 zmanjša varnostno razdaljo za 40 %. Ko vozilo zamenja vozni pas, se varnostna razdalja za to vozilo ponovno ponastavi na prednastavljeno (ang.: *Default*) vrednost.

Vrednost parametra "maksimalnega pojemka za kooperativno zaviranje" (ang.: *Maximum Deceleration for Cooperative Braking*) ponazarja še sprejemljiv pojemek vozila na sosednjem voznem pasu, da "spusti" pred sebe vozilo, ki menja vozni pas. V kolikor želimo modelirati omejitve hitrosti na ciljnim voznem pasu oziroma preprečiti, da vozila, ki menjajo vozni pas izvedejo to na območju, kjer to ne želimo, izberemo funkcijo "izogibanja območjem omejene hitrosti" (ang.: *Overtake Reduced Speed Areas*).

Funkcijo "naprednega združevanja" (ang.: *Advanced Merging*) predstavlja novejšo možnost, ki je predhodne verzije programa niso omogočale. Ta funkcija predstavlja manj nerealnih čakanj za potrebe menjave voznega pasu oziroma se vozila za menjavo voznih pasov "odločajo" prej. S tem se kapacitetna zmogljivost ceste poveča in še dodatno približa realnemu stanju. "Kooperativna menjava voznega pasu" (ang.: *Cooperative Lane Change*) ponazarja primer praznjenja voznega pasu na avtocesti, ko se vozila vključujejo preko pospeševalnega pasu. V kolikor izberemo to možnost, potem je potrebno nastaviti še dva parametra, in sicer "maksimalno razliko hitrosti" (ang.: *Max. Speed Difference*) med voziloma in "maksimalni čas kolizije" (ang.: *Max. Collision Time*).



Slika 3.8: Prikaz parametrov za nastavitve modela menjave pasov VISSIM.

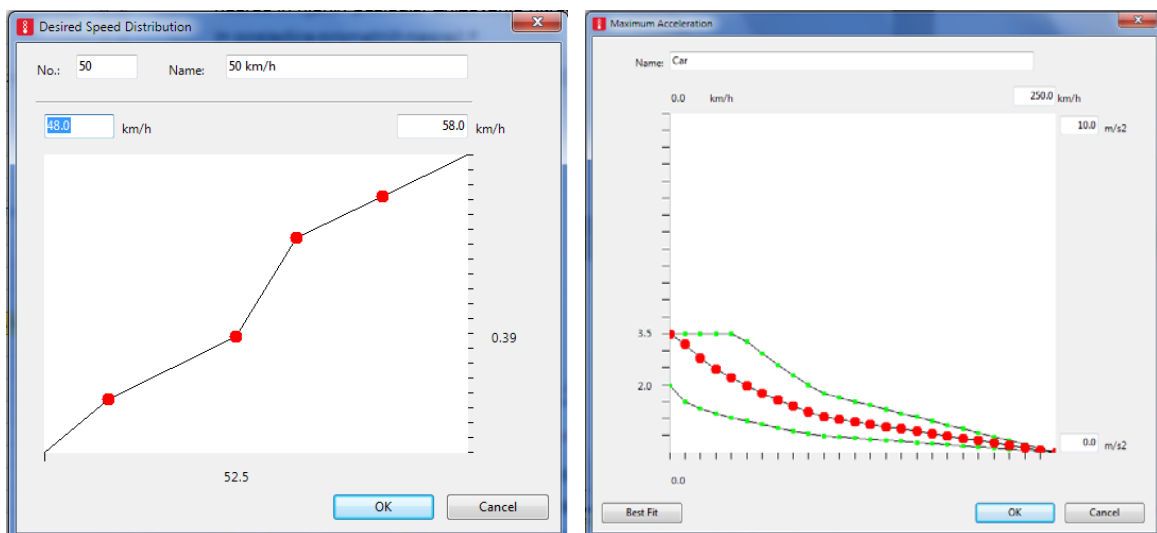
V mikrosimulacijskem modelu je možno simulirati tudi prehitevanje vozil, ki se nahajajo na istem voznem pasu (npr. prehitevanje kolesarjev, ki se vozijo po desnem voznem pasu). Parametri so nastavljivi znotraj nastavitvenega zavihka "*Lateral*" znotraj parametrov "*Driving Behavior Parameter Set*".

Običajno se vse našteje nastavitve validirajo z grafom odvisnosti hitrosti od prometnega toka, kjer se na določenih lokacijah modelirani podatki primerjajo z dejanskimi.

3.3.1 OSTALI NASTAVLJIVI PARAMETRI MIKROSIMULACIJSKEGA MODELA

Poleg opisanih vedenjskih lastnosti voznikov je še veliko ostalih pomembnih spremenljivk (veličin), ki jih lahko uporabljamo v mikrosimulacijskih modelih. V nadaljevanju poglavja so opisani samo najpomembnejši dodatni parametri za izvajanje mikrosimulacij, s katerimi se srečamo pri izdelavi simulacijskega modela. Prikazane so nastavitve znotraj programa VISSIM.

Hitrost: *želena hitrost*, *povprečna hitrost* in *dejanska hitrost* so zelo pomembne veličine, ki se nanašajo na simulacijo. VISSIM omogoča, da lahko *terenske (realne) meritve hitrosti* vstavimo v model *dejanske porazdelitve (distribucije) hitrosti* (Slika 3.9). Za simulacijske modele, ki so namenjeni testiranju prometne varnosti, je natančnost meritev in vnosa porazdelitve hitrosti v simulacijski model zelo pomembna. Povečevanje povprečne hitrosti vozil zvišuje stopnjo resnosti prometnih nesreč in njihovih posledic. Zniževanje hitrosti pa posledično zmanjša stopnjo tveganja in posledice prometnih nesreč.

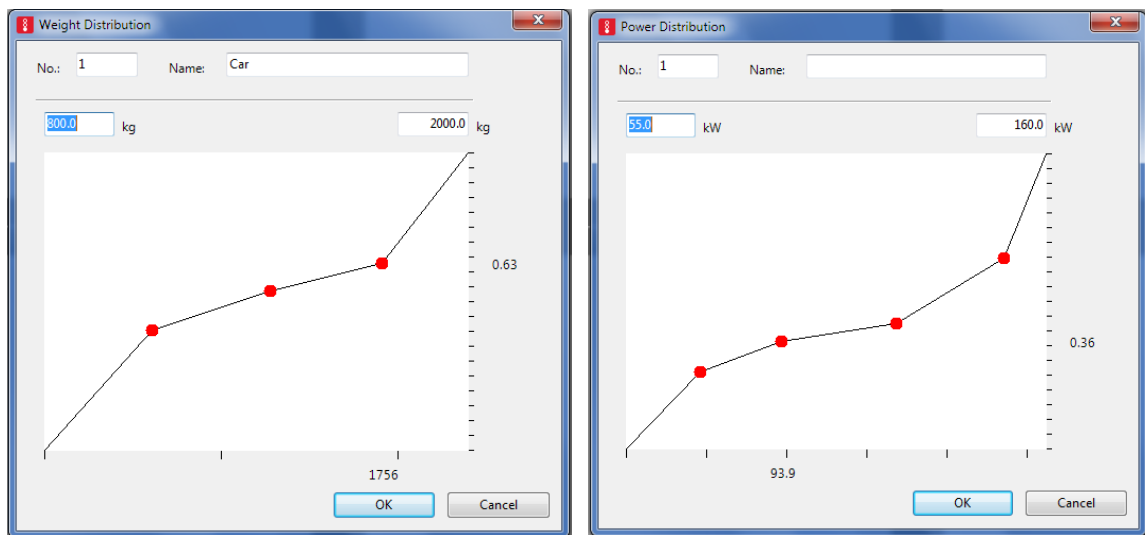


Slika 3.9: Prikaz porazdelitve hitrosti (a) in maksimalnega pospeška (b) za osebna vozila

Karakteristike vozil: veliko je posameznih lastnosti vozil, ki vplivajo na prometno varnost in na posledice nastalih prometnih nesreč. Med najbolj pomembnimi sta prav gotovo "*maks. pospešek*" in "*maks. pojemek*". Mikrosimulacijski program VISSIM ne uporablja zgolj ene vrednosti za omenjeni veličini, temveč funkcijsko odvisnot pospeška in pojemka za vsak tip vozila posebej. Pred-nastavljene (*ang.: Default*) vrednosti v VISSIM-u so plod dolgoletnih

raziskav in umerjanj (kalibracij) ter validacij simulacijskih modelov. Kljub vsemu ima uporabnik možnost, da sam nastavi (želene) parametre. Stohastično "naravo" pospeška in pojemka prikazuje Slika 3.9, kjer je posamezna funkcija stavljena iz treh krivulj (min., max. in povprečna vrednost).

Za motorna vozila je zelo priporočljivo, če lahko vnesemo dejanske podatke *razmerja moči motorja* in *teže vozila*, kar je v VISSIM-u zelo preprosto nastavljivo. Prav tako lahko uporabimo pred-nastavljene (*ang.: Default*) vrednosti (Slika 3.10). Tovarna vozila ne uporabljajo naključno izbranih vrednosti (*teža, moč motorja*), temveč razmerje moči in mase ("*kilovati na tono*": kW/t), ki običajno znaša od 7 kW/t do 30 kW/t (povprečna vrednost je torej 18,5 kW/t). Poleg obravnavanih lastnosti je pomembno še, da uporabimo pravilna *razmerja dolžine* in *širine* vozila znotraj posamezne kategorije. Seveda je možna poljubna določitev vozil (*heterogenost prometnega toka motornih vozil*) znotraj simulacijskega modela.



Slika 3.10: Prikaz razmerja mase in moči motorja za osebna vozila.

3.4 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA SIMULACIJSKEGA MODELA

Zagotovo se vsak, ki se ukvarja s simulacijami (prometnega toka) vpraša, s kakšno verjetnostjo in če sploh verjeti dobljenim rezultatom oziroma, kako se dobljeni rezultati ujemajo z realnostjo, še posebej, če simulacije uporabljamo kot orodje za napovedovanje prometnih tokov v prihodnosti ("*kaj če analize*" oz. *ang.: What if Analysis*). V ta namen je potrebno simulacijski model umeriti (*kalibrirati*) in tudi ovrednotiti (*validirati*).

Kalibracija simulacijskega modela se praviloma nanaša na končno ("*fino*") nastavitvev parametrov s ciljem, da bi se čimbolj približali dejanskemu (realnemu) stanju prometnega toka (na "*terenu*") v mejah (statističnih) dovoljenih odstopanj toleranc. Najpogosteje se proces kalibracije simulacijskega modela nanaša na: urejanje prometa, značilnosti prometnega toka in vedenjske lastnosti voznikov.

Validacija se nanaša na kontrolo natančnosti vrednosti prometnih parametrov, ki so rezultat simulacije in parametrov, merjenih na terenu. Običajno so vrednosti simulacije znotraj 5 % odstopanja od terenskih meritev. Za primerjavo opazovanih in simuliranih vrednosti lahko uporabimo širok spekter statističnih metod (npr. t-test, Chi-2 test ...) ali pa uporabimo posebne modele (kot je tudi v Sloveniji že "nepisano" pravilo). Mikrosimulacijske modele najpogosteje vrednotimo z izrazom v enačbi (3.6); GEH statistično metodo (po avtorju Geoffrey E. Havers), ki je v Veliki Britaniji (DMRB 12, 1997) standard za primerjavo prometnih tokov.

$$GEH = \sqrt{\frac{(F_{sim} - F_{obs})^2}{(F_{sim} + F_{obs})/2}} \quad (3.6)$$

kjer je:

F_{sim}.....simulirani prometni tok,

F_{obs}....opazovani ("terenski") prometni tok.

Priporočene vrednosti so: vsaj 85 % posameznih prometnih tokov, vrednost ima vrednost **GEH<5**, na "kontrolnih prerezih" pa mora biti vrednost manjša od 4.

Zelo pomembno je tudi, da uporabimo večje število simulacij posameznega primera, ker se pri stohastičnih simulacijskih modelih (kot je to v slučaju VISSIM-a) naključno generirajo različni parametri za različno distribucijo prometnih tokov. Da se izognemo temu problemu, lahko znotraj programa nastavimo število ponovitev simulacije s funkcijo "*Multi run*", ker se tudi določi število ponovitev simulacije (pred-nastavljena vrednost je 10).

Diskusija:

Obsežen uporabniški priročnik (660 strani) za potrebe programa VISSIM 6.0 (PTV AG, 2013) tudi izkušenega uporabnika usmerja v samostojno delo in od njega zahteva, da se pogloblja le v specifična poglavja, ki so značilna za program VISSIM 6.0. Vsekakor pa je potrebno poglobljeno prebiranje priročnika, ko se srečujemo s številnimi funkcijami in parametri ter prednastavljenimi vrednostmi, ki od uporabnika zahtevajo veliko znanja in izkušenj s področja prometnega inženirstva in teorije prometnega toka.

Praktični primeri, ki jih obravnavamo v nadaljevanju (4. PRAKTIČNI PRIMERI) so le usmeritev uporabnikom (študentom) za lažje razumevanje in prve korake k osvajanju področja mikrosimulacij ter dodatek k praktičnim primerom, ki se izvajajo znotraj vaj pripadajočega študijskega predmeta. Primeri so opisani na način, da jih lahko razume uporabnik, ki se prvič sreča z mikrosimulacijo, vendar ga hkrati spodbujajo k prebiranju literature in uporabniškega priročnika. Zaželeno je prisotnost na vajah, kjer se skupaj z

asistentom pogloblja tudi v detajle, ki niso našli prostora v teh primerih. Avtorja učbenika sva se želela izogniti praktičnim primerom, ki bi uporabnika vodili "korak za korakom", prav tako sva želela skrajšati čas priprave osnovnih praktičnih primerov in tako še bolj motivirati uporabnike.

S primeri, ki sledijo, sva želela spodbuditi uporabnike (študente), da izhajajoč iz teoretičnega dela, predstavljenega v prvem delu učbenika, skozi primere spoznajo praktično uporabo mikrosimulacij v prometu. Najprej so opisani osnovni koraki: priprava podatkov, geometrija modela, prometne obremenitve, kalibracija itn. Nato je opisana osnovna zgradba uporabniškega vmesnika z razlago osnovnih pojmov v VISSIM-u 6.0. Nadaljujemo s prvim primerom, ki sva ga poimenovala kar "Prva mikrosimulacija", kjer se na enostavnem praktičnem primeru uporabnik (prvič) sreča s simulacijo in tudi animacijo prometa. Nato smiselno sledijo vedno bolj zahtevni primeri, ki pa so še vedno dovolj enostavni in razumljivi, da lahko približajo tudi začetnikom na dovolj jasen način osnovno idejo mikrosimulacij v prometu.

Vsi praktični primeri temeljijo na dejanskih prometnih problemih, s katerimi se prometni inženirji dnevno srečujemo. Primeri so postavljeni v realno okolje, na lokacijo severo - vzhodne Slovenije. Marsikdo, ki bo prebiral ta učbenik, se je že npr. ničkolikokrat peljal skozi obravnavano krožno križišče. Kljub vsemu smo se odločili, da prometne obremenitve priredimo za potrebe učbenike, vendar smatramo, da še vedno ohranjamo stik z realnostjo.


Ker so učni procesi tudi časovno omejeni, so praktični primeri zasnovani tako, da uporabnika vodijo skozi nove funkcije, medtem ko se že osvojeno znanje (npr. na predhodnih primerih) uporabi tako, da se že izdelani primeri odprejo, preimenujejo in nato nadgrajujejo. S tem se izognemo nepotrebemu in včasih zamudnemu delu priprave vhodnih podatkov. Kot pomoč sva avtorja pripravila vse vhodne datoteke *.inpx, ki so priloga temu učbeniku (seveda v digitalni obliki) in uporabniku lahko služijo tudi kot kontrola njegovemu delu.

Kot zapisano, priporočava uporabo priročnika "PTV VISSIM 6, User Manual", dosegljivega v PDF formatu na "\\Doc\Eng" direktoriju, kjer je nameščena aplikacija VISSIM 6.0. Znotraj programa je uporabniku na voljo tudi pomoč, ki se nahaja v glavnem meniju "*Help/Online Help*". Priporočava tudi študij dodatne literature, navedene na koncu poglavja *Literatura*.


Z željo, da uporabniku čimbolj približamo in poenostavimo prve korake skozi praktične primere, smo pripravili enotno tipografijo: *Klik* ali *levi klik* pomeni kratko pritisnjena leva tipka na miški, analogno pomeni desni klik. V primeru, ko je potrebno narediti več veznih korakov si le-ti kronološko sledijo npr. "*Network Objekts/Links*", z levo tipko kliknete želeni link in nato "CTRL + držite desno tipko in povlecite na mesto".

Na koncu vsakega praktičnega primera so dodani karakteristični slikovni izseki iz delovnega okolja VISSIM, z dodatnimi tekstualnimi opisi funkcij in parametrov. Le-ti so namenjeni kot

pomoč študentu pri samostojni izdelavi posameznih korakov in se praviloma ne navezujejo na predhodno besedilo opisano v predmetnem primeru, poskušajo pa si slediti v logičnem zaporedju kot poteka delovni proces izdelave praktičnega primera.


Vse potrebne datoteke za izvajanje posameznih primerov so priloga aktualnemu dokumentu učbenika. Potrebno je odpreti priloge (kliknite ikono "ATTACHMENTS ", ki se nahaja levo spodaj v tem dokumentu), oziroma shraniti ustrezne datoteke na svoj računalnik.

Za poenotenje oznak znotraj praktičnih primerov so uporabljene naslednje grafične oznake.


 Grafična oznaka novega praktičnega primera

 Grafična oznaka opisa novega primera

✓ Grafična oznaka opisa pričakovanih rezultatov

 Grafična oznaka opisa korakov izdelave primera

 Grafična oznaka opisa namigov za hitrejše in učinkovitejše delo

 Grafična oznaka namenjena poglobljenemu in dodatnemu delu na primeru

4 PRAKTIČNI PRIMERI

4.1 PRIPRAVA PODATKOV

Neodvisno od izbranega mikrosimulacijskega modela bomo potrebovali naslednje podatke za potrebe izdelave modela:

- **geometrijo ceste** (širina voznih pasov, število pasov, dolžine zavijalnih pasov, polmer krožne krivine);
- **urejanje prometa** (semaforji, prometni znaki);
- **prometne obremenitve** (konične obremenitve, izvenkonične obremenitve, število vozil po strukturi in smeri, O-D matriko¹);
- **kalibracijo modela** (štetje prometa in pridobivanje ostalih parametrov: hitrost vozil, dejanske zaježitvene dolžine itn.).

Poleg naštetih podatkov potrebujemo za potrebe izdelave mikrosimulacijskega modela še *podatke o lastnostih vozil* (dolžina in širina vozil, maksimalni pospešek/pojemek, itd.) in *voznikov* (agresivnost voznika, poznavanje okolja, itd.). Slednje (podatke) lahko zajamemo tudi na terenu, vendar je potrebno poudariti, da je nekatere od njih zelo težko izmeriti; predvsem lastnosti voznikov (npr. poznavanje okolja). V programskem orodju VISSIM imamo na voljo prednastavljene parametre za vozila in voznike, ki za metode primerjave posameznih variant urejanja omrežja zadoščajo.

4.1.1 GEOMETRIJA MODELA

Za potrebe izdelave mikrosimulacijskega modela je potrebno pridobiti osnovne geometrijske podatke, kot so: število voznih pasov, dolžina zavijalnih pasov, horizontalni in vertikalni potek (v primeru večjih vzdolžnih sklonov, ki lahko vplivajo na kapaciteto), administrativna omejitev hitrosti. Večino teh podatkov pridobimo na osnovi terenskega ogleda in/ali izdelanih načrtov ter ortofoto posnetkov manjše in večje ločljivosti. Ortofoto posnetki manjše ločljivosti so praviloma javno dostopni (npr. *Bing*, *Google Maps*), vendar v večini primerov zadoščajo za izdelavo geometrije modela obstoječega stanja. Za območje Slovenije so na voljo tudi ortofoto posnetki višje ločljivosti (M 1:5000, 1:1000), ki so dostopni na *Geodetski upravi RS* (www.gu.gov.si) ali pri potencialnih naročnikih (DARS, *Občine*, ...), ki za svoje potrebe naročajo in arhivirajo podatke tudi v višji ločljivosti. Zelo uporabni so tudi podatki iz geografskih informacijskih sistemov (npr. www.iobcina.si, www.prostor3.gov.si).

V kolikor želimo izdelati model "*predvidene ureditve*", potem potrebujemo podatke v enem izmed grafičnih formatov (*.jpg, *.tif, ...) ² ali v enem izmed vektorskih formatov (*.dwg, *.dxf).

¹ Samo v primeru dinamičnega obremenjevanja.

² Potrebno geopozicionirati.

4.1.2 NAČIN UREJANJA PROMETA

Pojem "način urejanja prometa" se navezuje na priključke in križišča, kjer je potrebno v modelu opredeliti pravila prednosti prometa, ki so opredeljena z vertikalno in horizontalno signalizacijo. Svetlobno signalne naprave (semaforizacija) predstavlja enega izmed načinov urejanja prometa. V kolikor je na terenu izvedena obstoječa semaforizacija, potrebujemo za potrebe izdelave modela tudi krmilne diagrame, ki so praviloma izdelani za različna časovna obdobja (prometne konice, izven konično obdobje, nočni čas). Krmilne diagrame pridobimo s strani upravljavca ali vzdrževalca semaforizacije (npr. *Center za nadzor prometa*). V kolikor je semaforizacija predvidena potem se izdela krmilni diagram v procesu optimizacije in izbora optimalne variante s strani (prometnega) inženirja.

V primeru nesemaforiziranih križišč in priključkov je potrebno s terenskim ogledom ugotoviti točno lokacijo in način urejanja prometa (z odstopom prednosti ali z *znakom "ustavi!"*).

4.1.3 PROMETNE OBREMENTITVE

Za izdelavo modela potrebujemo *dejanske* in *predvidene* prometne obremenitve po strukturi in smeri potovanja. Analiza se izdela običajno za čas jutranje in popoldanske prometne konice, ki se določi, najpogosteje, na osnovi ročnega, 16 urnega štetja (med 5:00 in 21:00 uro v merodajnem dnevu). V kolikor je na osnovi zanesljivih podatkov (bližina avtomatskih števecv prometa; www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/promet/) možno določiti čas jutranje in popoldanske konice, zadošča štetje v intervalu dveh ur zjutraj in dveh ur popoldan, in sicer tako, da zajamemo interval urnih konic.

V primeru kapacitetne analize predvidenega križišča/priključka se generirane prometne tokove (npr. nova pozidava v prostoru) oceni na podlagi faktorjev generacije prometa (npr. *Trip Generation Factors*; www.pubsindex.trb.org/view.aspx?id=540317) oziroma se izvrednotijo npr. iz makroskopskega prometnega modela *Občine*.

Predvidene prometne obremenitve obstoječega križišča/priključka izračunamo s pomočjo faktorjev rasti prometa (analiza rasti prometa bližnjih avtomatskih števecv ali iz prometnega modela *Občine, Države*).

V kolikor je predmet analize omrežje z več križišči/priključki, je zaradi konsistence potrebno podatke zajeti v istem dnevu. Prav tako je potrebno biti zelo pazljiv, da se v primeru kapacitetno preobremenjenih križišč prešteje vozila, ki želijo prevoziti križišče, in ne samo tista, ki v konični uri križišče dejansko prevozijo (kapaciteta).

V primeru, ko želimo izdelati model dinamičnega obremenjevanja (izbira poti vozil v odvisnosti od prepustnosti omrežja), uporabimo izvorno-ciljne matrike (O-D matrike), ki jih

lahko izračunamo sami, na osnovi opravljenega štetja (sledenje registrskih tablic) in/ali na podlagi obstoječega občinskega oziroma državnega prometnega modela.

Struktura vozil predstavlja enega izmed ključnih parametrov, ki ga je potrebno upoštevati v fazi vnosa prometnih obremenitev. V VISSIM-u je prednastavljena struktura vozil (*Traffic/Vehicle Composition*), ki jo je potrebno nadomestiti z dejansko strukturo vozil (štetje prometa) za vsak krak križišča posebej.

4.1.4 KALIBRACIJA MODELA

Praviloma se podatki za potrebe kalibracije modela zajamejo v času štetja prometa. Parametri, ki jih je potrebno zajeti za potrebe kalibracije, so: potovalni čas, zaježitvene dolžine, zamude vozil in dejanska hitrost vozil na preseku. Za potrebe kalibracije je potrebno tudi primerjati krmilni diagram semaforizacije z dejanskim delovanjem na terenu.

4.1.4.1 TERENSKI OGLED

Zelo koristno je, če promet (v času prometnih konic), ki ga bomo simulirali, opazujemo tudi na terenu. Z zelo enostavnim opazovanjem lahko, npr. določimo lastnosti voznikov, ki jih skozi proces štetja prometa ne moremo zajeti. Lahko si pomagamo tudi z video posnetki, ki lahko v celotnem procesu kalibracije bistveno poenostavijo delo (zaježitvene dolžine, hitrost vozil ...). Na podlagi terenskega ogleda lahko ugotovimo tudi ostala odstopanja, npr. geometrijska (ortofoto posnetki niso nujno aktulani, ažurni).

4.1.4.2 POTOVALNI ČAS

Za določitev potovalnega časa se praviloma uporablja meritev v vozilu, ki prevozi pot od točke A do točke B v času prometnih konic in v izven koničnem času. Meritev se lahko izvede v več vozilih in ponovi večkrat. Za določitev potovalnega časa v izven koničnem obdobju priporočamo vsaj tri meritve, v času prometnih konic pa vsaj deset meritev.

4.1.4.3 DEJANSKA HITROST

Za določitev dejanske hitrosti vozil lahko uporabimo tudi podatke iz avtomatskih števec prometa ali podatke iz indukcijskih zank obstoječih semaforiziranih prometno odvisnih križišč. V kolikor ti podatki niso na voljo, se lahko izvede terenska meritev hitrosti (npr. z laserskim merilcem hitrosti ali pa z avtomatskimi števci: *Metrocount*, *Numetrics* itn.). Tudi poenostavljena metoda meritev dejanskih hitrosti (v prostem prometnem toku), s pomočjo metode zasledovalne vožnje je sprejemljiva.

4.1.5 KAPACITETA IN TOK NASIČENJA

Kapaciteta se lahko zelo preprosto izmeri s štejetjem vozil, ki prečkajo točko za mestom, kjer nastaja zastoj. Idealna meritev se izvede, v kolikor imamo enourni zastoj.

Tok zasičenja je definiran kot število vozil na uro, ki prevozijo križišče s predpostavko, da je zeleni signal na voljo ves čas in da pri vožnji ne nastanejo nikakršni zastoji. Tok zasičenja je podan s številom vozil na prometni (vozni) pas na uro. Prometni tok zasičenja se lahko izmeri (HCM, 2010) za vsa semaforizirana križišča, ki delujejo z obremenitvijo večjo od nazivne kapacitete. Običajno te meritve presegajo nivo naloge kapacitetne analize, zato se uporabljajo privzete vrednosti po HCM-u.

4.1.5.1 ZAMUDE IN PODATKI IZ ZAJEZITVE VOZIL

Zamude se lahko izračunajo iz voženj vozil, ki so opravljene za potrebe meritev dejanskih potovalnih časov. V primeru, ko imamo več križišč, tudi izven nivojskih (npr. priključne rampe) takšne meritve ponavadi presegajo stroške same izdelave kapacitetne analize. Primerljive rezultate dosežemo s štejetjem vozil, ki se v križišču ustavijo (glej HCM, 2010). Število ustavljenih vozil se zabeleži vsakih 30 sekund. Število ustavljenih vozil se pomnoži z intervalom štetja (30 sekund) in s tem dobimo skupni ustavljeni čas oziroma zamudo. Povprečno vrednost ustavljenega časa dobimo, če delimo skupni ustavljeni čas s številom vozil, ki prečkajo prečno črto, kjer je predvideno ustavljanje (ločena meritev). Zamuda ustavljenega vozila se lahko pretvori v zamudo vozila zaradi urejanja prometa (določitev pravil prednosti) po metodologiji HCM 2010.

4.1.6 PRAKTIČNI PRIMER POTEKA PRIDOBIVANJA PODATKOV

Izračunati (določiti) je potrebo npr. morebitno dolžino zavijalnega pasu na državni cesti, zaradi potrebe priključevanja trgovskega centra, preko novega kraka križišča.

Grafično podlogo v formatu *.dwg pridobimo s strani projektanta (osnovo predstavlja geodetski načrt obstoječega stanja), ki je določil način urejanja prometnih tokov z nesemaforiziranim križiščem zaradi nizkih prometnih obremenitev na GPS.

Preverimo bazo podatkov avtomatskih števcov, ki jih upravlja *Direkcija RS za ceste (DRSC)*. Ugotovimo, da v neposredni bližini ni na voljo avtomatskega števca, zato opravimo ročno strukturno štetje prometa na lokaciji, kjer je predviden novi priključek. Štetje prometa opravimo od 5:00 do 21:00 ure, v torek, ob sončnem vremenu. Določimo jutranjo, popoldansko in merodajno urno konico.

Na podlagi podatkov predvidenega trgovskega centra (predvideno število parkirišč, pričakovano število obiskovalcev, bruto etažne površine, predvidene dejavnosti itn.) določimo

generacijo in atrakcijo potovanj v urnih konicah, ki se pokrivajo z urnimi konicami na državni cesti in še za urno merodajno konico trgovskega centra (običajno sobota zjutraj ali petek popoldan).

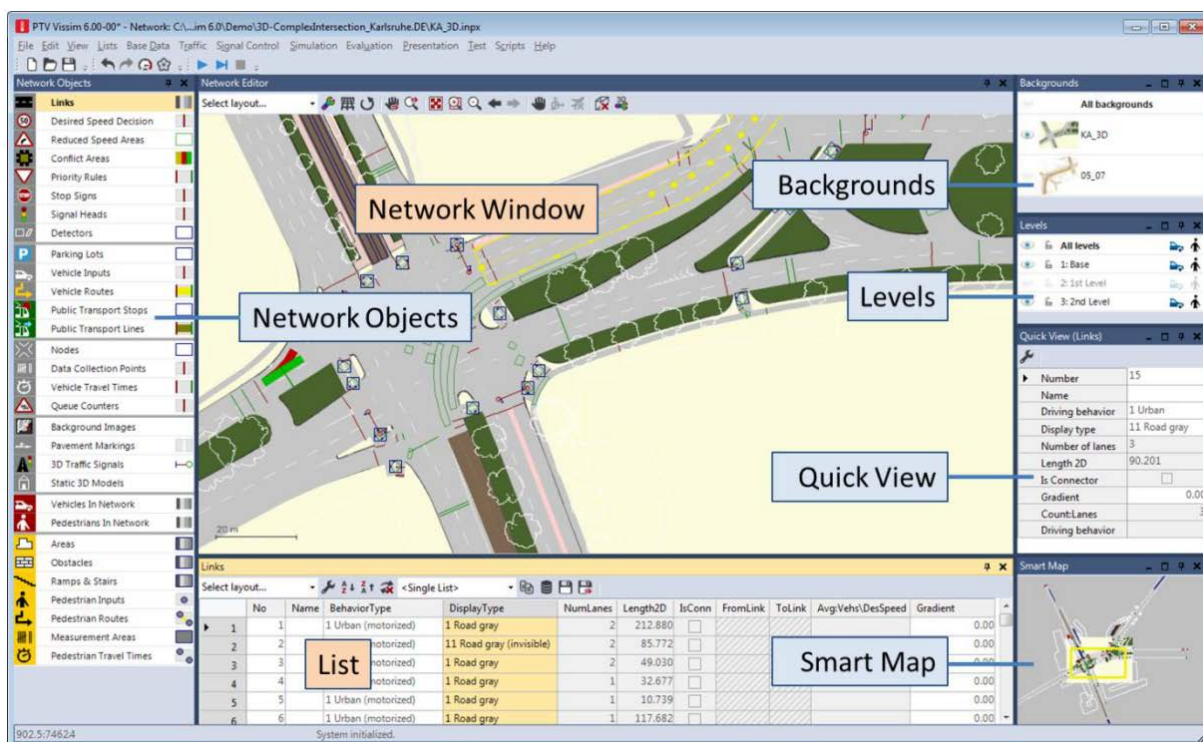
V času štetja opravimo še meritve dejanskih hitrosti (vožnja v prostem prometnem toku) in opazovanje prometa (npr. morebitni vpliv sosednjih križišč).

Na *Občini* in pri upravljavcu državne ceste preverimo morebitne nove pozidave, ki bi v času planske dobe (20 let, glede na *Pravilnik o projektiranju cest*) lahko dodatno obremenile cestni presek na mestu priključevanja. Če *Občina* ne razpolaga s prometnim modelom, izračunamo predvideno rast prometa na osnovi trenda rasti (min. opazovanje 5 let) bližnjih avtomatskih števec, ločeno za osebni in tovorni promet. Na osnovi določenih faktorjev rasti prometa izračunamo prometne obremenitve v jutranji, popoldanski in merodajni konici, za plansko dobo 20 let.

Logično preverimo predvsem šteвне in izračunane prometne obremenitve, primerjamo jih s poznavanjem lokalnih razmer (npr. usmerjenost prometnih tokov v jutranji konici proti "delovnim mestom"). Izračunane generacije in atrakcije primerjamo z že zgrajenimi podobnimi trgovskimi centri. Preverimo možnost peš dostopa (v splošnem pešci zmanjšujejo kapaciteto križišč) in po potrebi v analizo vključimo še prometni tok pešcev. S tako pripravljenimi podatki lahko pričnemo z izdelovanjem mikrosimulacijskega modela.

4.2 UPORABNIŠKI VMESNIK VISSIM 6.0 IN RAZLAGA OSNOVNIH POJMOV

Uporabniški vmesnik VISSIM je sestavljen iz več oken (Slika 4.31), ki jih lahko poljubno premikamo znotraj ekrana. Večina funkcij je prikazanih v levem stranskem meniju z imenom "Network Objects". Večina parametrov, ki jih nastavljamo, kakor tudi rezultati simulacij, se izpisujejo v tabelarni obliki, na spodnjem delu ekrana z imenom "List".

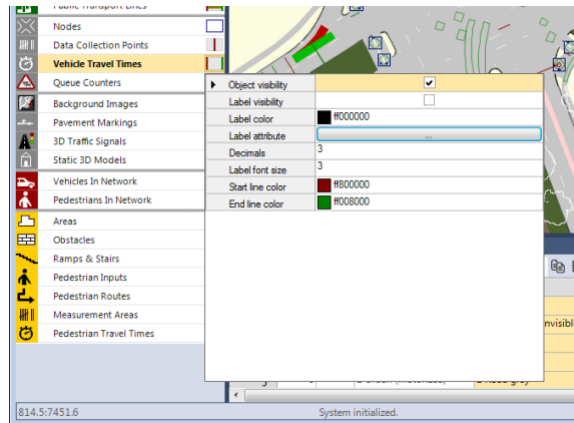


Slika 4.1: Uporabniški vmesnik VISSIM 6.0.

V stranskem meniju "Network Objects" lahko nastavljamo aktivne elemente z levim klikom. Posamezne elemente lahko tudi zaklenemo (levi klik na ključavnico ob imenu) in s tem zavarujemo nenamerno spreminjanje. Ob desnem robu se nahajajo še možnosti grafičnega prikaza posameznega elementa in imena elementa, ki ga spremenimo s preprostim, levim klikom (Slika 4.3).

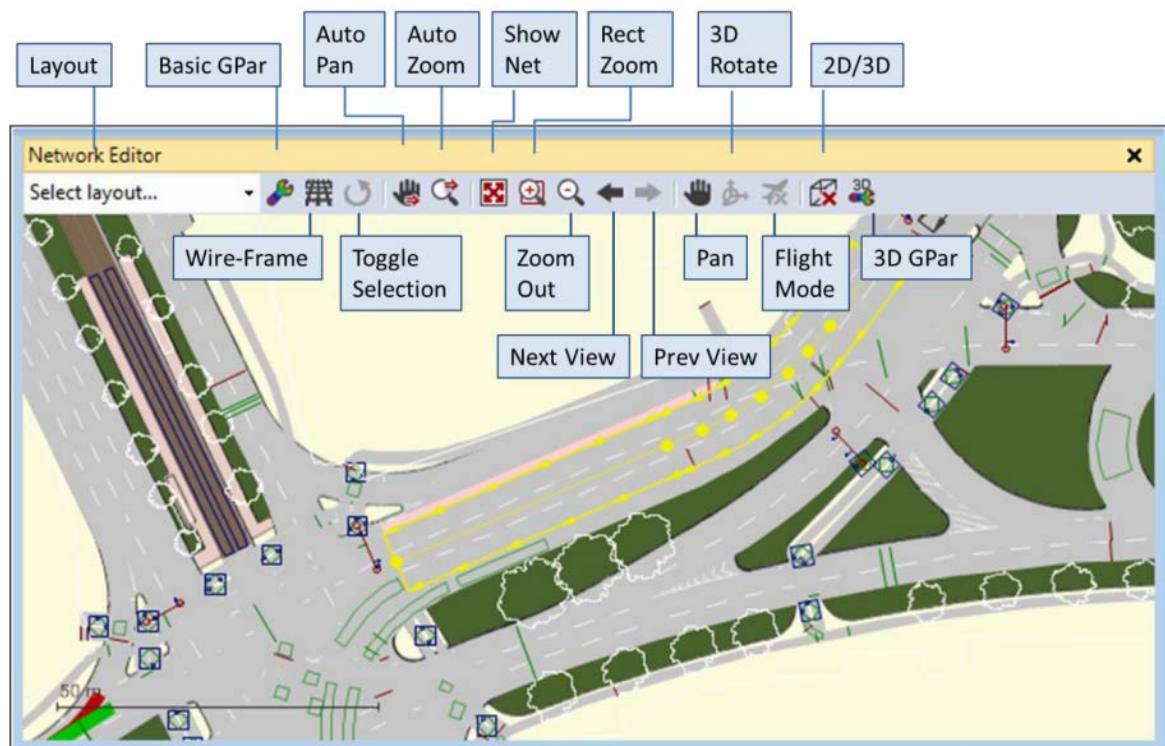


Slika 4.2: Stranski meni – elementi omrežja.



Slika 4.3: Stranski meni – elementi omrežja: možnost nastavljanja grafičnega prikaza.

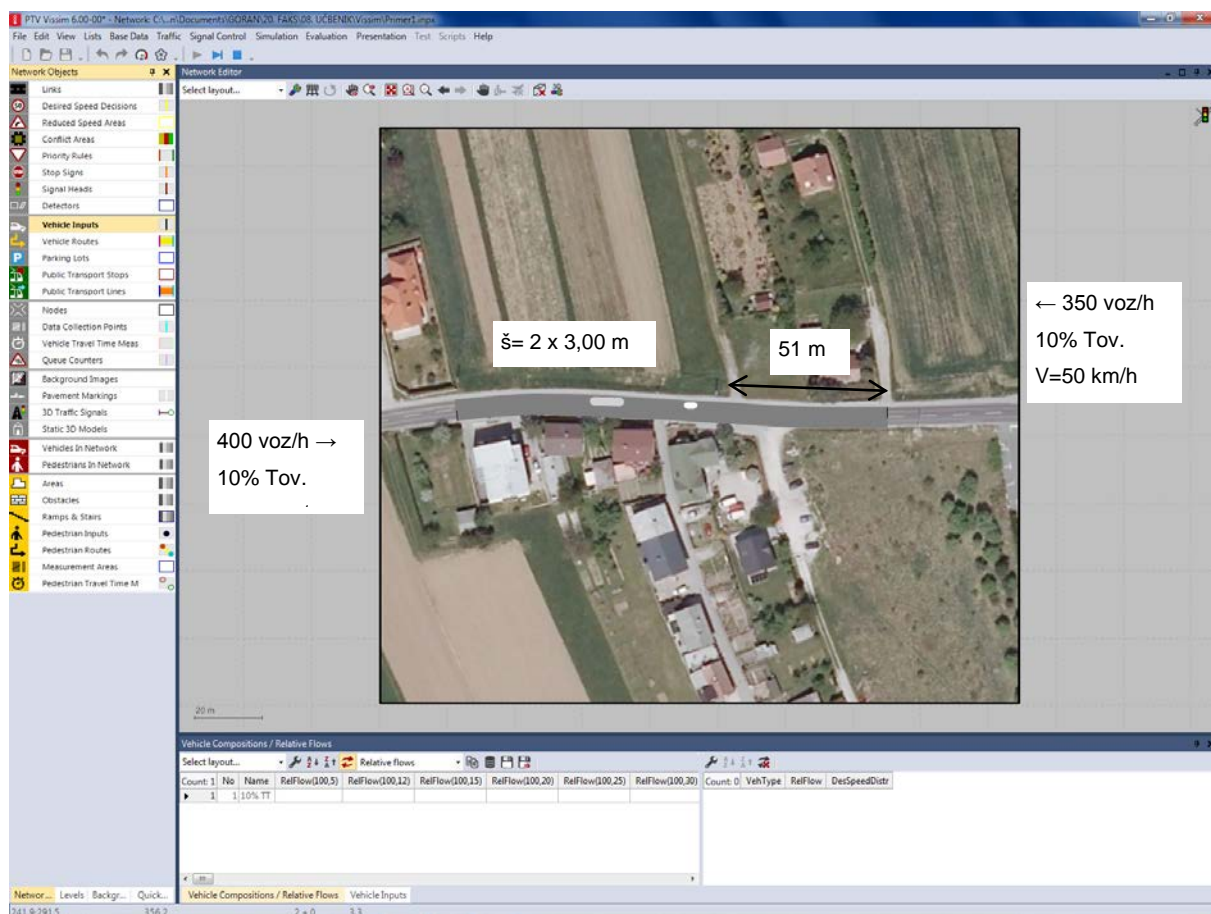
V VISSIM-u lahko prikažemo enega ali več oken za urejanje omrežja (ang.: *Network Editor*) – Slika 4.4. Na zgornji vrstici okna za urejanje omrežja se nahajajo nastavitve grafičnega prikaza omrežja (ang.: *Basic GPar*) in ukazi za premikanje (ang.: *Pan*) in povečevanje/zmanjševanje slike (ang.: *Zoom*).



Slika 4.4: Network editor

Vse nastavitve uporabniškega vmesnika se shranijo skupaj z omrežjem in se ob naslednjem odpiranju postavijo na zadnje stanje pred shranjevanjem. V primeru, da želimo povrniti tovarniške nastavitve izgleda uporabniškega vmesnika, sledimo ukazu iz glavnega menija *Edit/User Preferences/ GUI/General/ Reset Dialog Positions*.

4.3 PRIMER 1: "PRVA MIKROSIMULACIJA"



Slika 4.5: Primer 1 – potek državne ceste.



Spoznavanje osnovnih funkcij in delovnega okolja VISSIM. Študent samostojno uvozi grafično podlogo z namenom izdelave odprtega odseka ceste v dolžini 500 m. Modelira se potek ceste glede na njen dejanski potek. Spoznavanje uporabnika z vnosom dejanskih prometnih obremenitev, strukturo vozil po smeri vožnje in hitrosti. Spoznavanje dela z okni, ikonami, miško.



Rezultat predstavlja prvo samostojno delujočo mikrosimulacijo prometa.




File/Save as in shranite Primer1.inpx.


Večino funkcij prikličete z desnim klikom na element omrežja ali delovnega okolja, odprejo se vam nove funkcije. Če na element dvakrat kliknete, se vam odprejo lastnosti elementa.

Včitajte podlogo z imenom Primer1.jpg (*Network Objects/Background image/Add new Background image*). Potrebno je določiti merilo včitane podloge (*Set scale*). Pomagajte si z dejansko izmerjeno razdaljo sosednjih priključkov (51 m). Pritisnite tipko »CTRL + desni klik«.

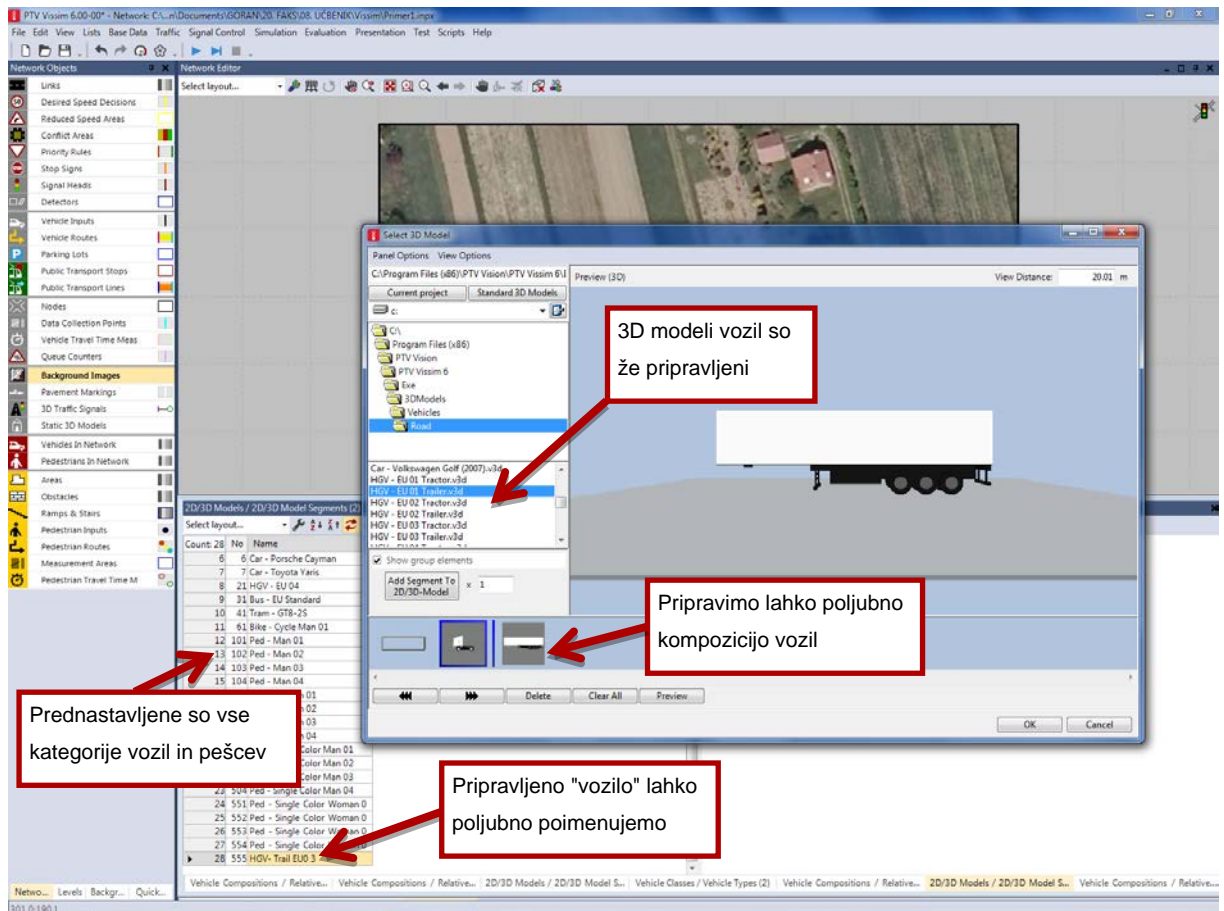
Izdelajte najprej eno smerno vozišče z ukazom *Network Objects/Links* in sicer tako, da pritisnete tipko "CTRL + desni klik". Za določitev realnega poteka ceste držite »CTRL + desni klik« in vmesne točke dodajate z levim klikom (»CTRL + desni klik + levi klik«). Vozišče naj sledi poteku ceste, kar se da natančno. Vmesne točke lahko dodajate tudi kasneje z ukazom *Add points* ali »CTRL + desni klik«. Vnesite dejansko širino voznega pasu. Nasprotni smerni pas izdelate avtomatično (*Generatte Opposite Direction*). Vnesite dejanske prometne obremenitve (*Network Objects/Vehicle input*) tako, da izberete vsak smerni pas posebej. Delež tovornih vozil lahko določite za vsako smer posebej, prav tako hitrost vozil (*Traffic/Vehicle Composition/Relative flows*) - Slika 4.7.

Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

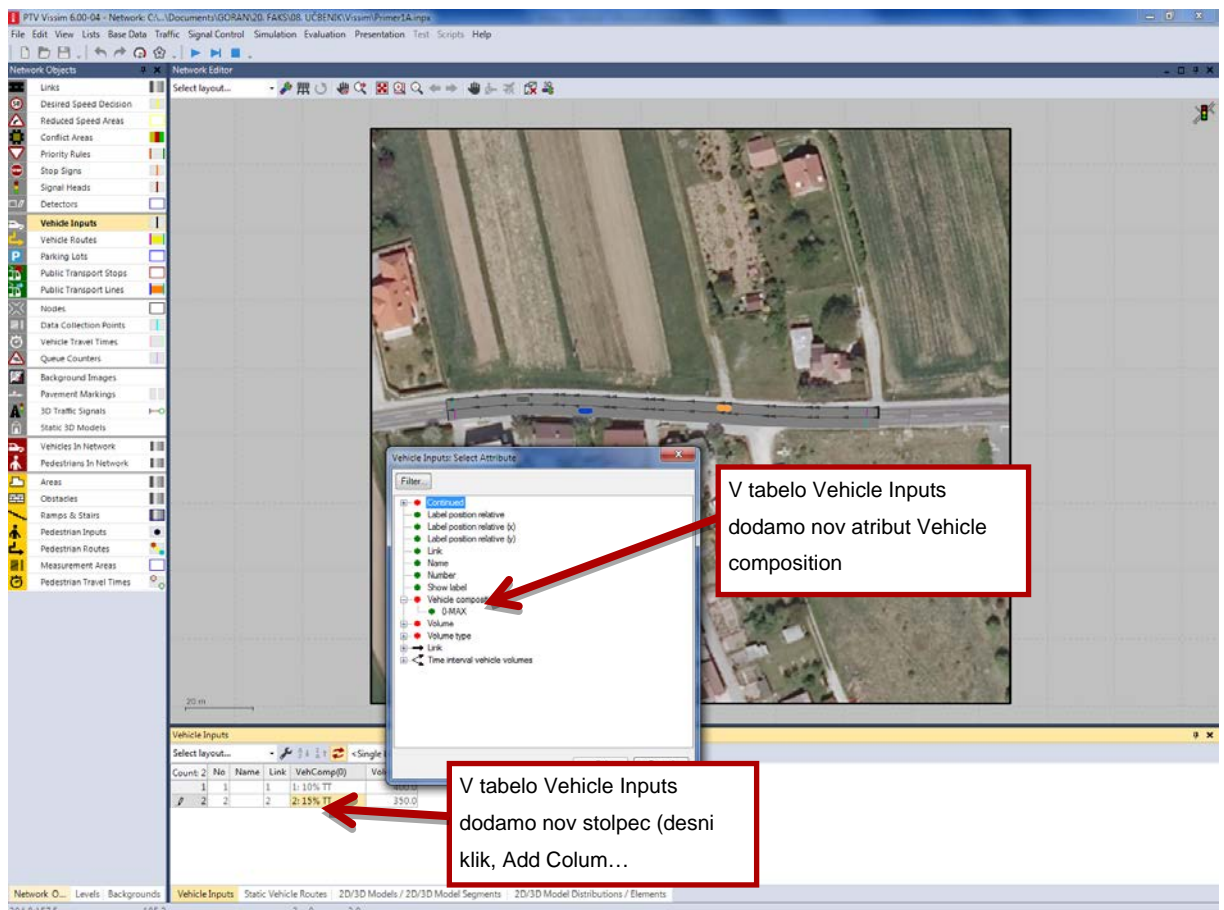


- ✓ Večino ukazov lahko razveljavite s funkcijo "razveljavi", ki se nahaja pod glavnim menijem .
- ✓ CTRL+A vklopi "črtni" potek povezav.
- ✓ CTRL+D vklopi "3D" pogled, tudi med simulacijo.
- ✓ Hitrost prikaza simulacije kontrolirate s tipko "+" in "-" na tipkovnici.
- ✓ V stranskem meniju *Network Objects* lahko za vsak element nastavite način (velikost črk, barvo itd.) grafičnega prikaza z ukazom *Edit graphic parameters*.

V oknu *2D/3D models (Base Data/2D/3D Models)* kliknete desno tipko + *Add*, nato sestavite poljubno tovorno vozilo tako, da najprej izberete vlačilca (npr. *3DModels/Vehicle/RoadHGV - EU01 Tractor.v3d* in nato še prikolico *HGV - EU01 Trailer.v3d*). Več o kreiranju 3D objektov si preberite v priročniku VISSIM 6.0, v poglavju **5.3.1 Defining 2D/3D models**.



Slika 4.6: Kreiranje poljubne kompozicije vozil.



Slika 4.7: Sprememba kompozicije na vhodnem linku (Lists/Private Transport/Vehicle Composition).

**File/Save as in shranite Primer1a.inpx.**

Spremenite delež tovornih vozil iz smeri vzhoda na 15 %. Določite kompozicijo deleža tovornih vozil (*Base Data/2D/3D models*) in sicer tako, da je v strukturi tovornih vozil 20 % vlačilcev (*Base Data/Distributions/2D/3D models*).

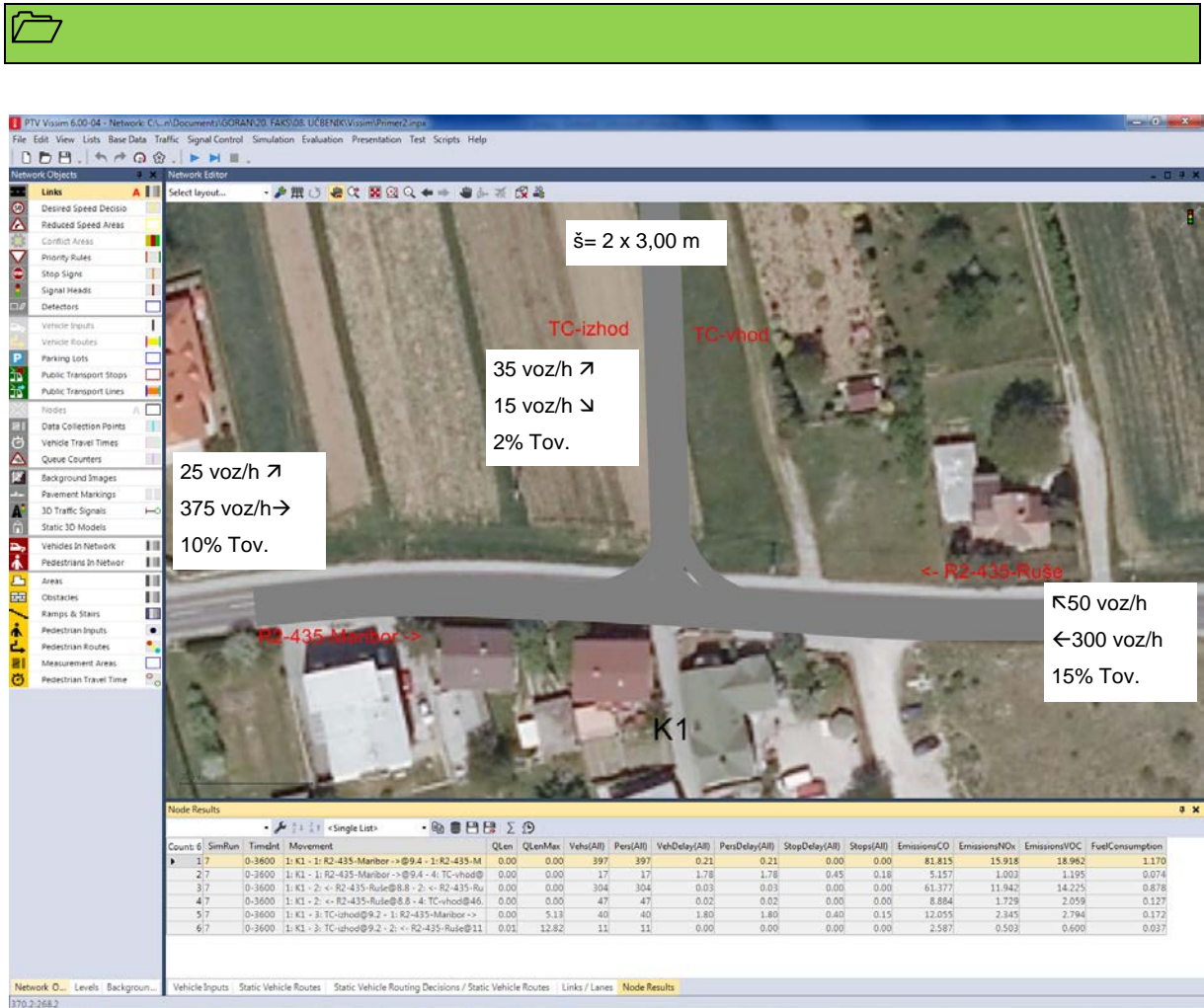
Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije.

File/Save as in shranite kot Primer1b.inpx.

Povečajte število vozil iz smeri vzhoda za 100 %.

Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije.

4.4 PRIMER 2: "T" KRIŽIŠČE



Slika 4.8: Geometrija in prometne obremenitve "T" križišča.



Določanje pravil prednosti vozil in osnove analize rezultatov. Študent si pomaga z rezultati predhodne vaje - Primer 1 (podloga, potek GPS je že izdelan). Modelira se novi krak, ki je namenjen dovozu do trgovskega centra (TC). Spoznavanje uporabnika z medsebojno povezavo različnih linkov, določanje smeri vožnje in prikaz prvih rezultatov kapacitetne analize.



Rezultat predstavlja kapacitetno analizo trikrakega nesemaforiziranega križišča.




File/Open Primer1A.inpx.

File/Save as in preimenujete v Primer2.inpx.

Večino podatkov lahko prikažemo v tabelah. V glavnem meniju izberite Lists in nato kliknete želeno.

Odprite predhodno izdelani primer Primer 1A, shranite v Primer 2. Dodajte severni krak (najprej *Links*) in ga povežite z vsemi prometnimi smermi s konektorji (*Connector*).

1. **Konektor** izdelate tako, da kliknete *Network Objekts/Links*, z levo tipko kliknete zeleni link in nato "CTRL + držite desno tipko" in povlecite na mesto, kjer želite, da se konektor zaključi. Ko spustite desno tipko, se vam odpre pogovorno okno *Connector*. Poiščite polje *Spline* (ukrivljenost konektorja) in vtipkajte ustrezno vrednost (vrednost 2 pomeni, da je povezava ravna, večja številka pomeni večjo ukrivljenost). Ponovite postopek za vse smeri (skupaj potrebujemo 4 konektorje) - Slika 4.9.
2. **Pravila prednosti** lahko določimo z *Network Objects/Conflict Areas* (avtomatsko se generira za vse potencialne konflikte med linki in konektroji). Z levo tipko kliknemo na vsako izmed konfliktno točko in spremenimo dejanski potek prednosti (desna tipka ⇒ *Change status of Conflict Area*). Uprabimo prednastavljene attribute. Za nastavitve atributov si preberite poglavje **6.12.2.6 Attributes of conflict areas** v priročniku VISSIM 6.0. Pravila prednosti lahko določimo tudi z uporabo funkcije *Priority rules* (za bolj kompleksne primere analize), kot prikazuje Slika 4.10.
3. Ko imamo na voljo več **smeri vožnje** (npr. naravnost in levo) je potrebno za vsako smer nastaviti "lokacijo odločitve" in "cilj" potovanja ter delež ali število vozil, ki nadaljuje vožnjo v tej smeri. Z ukazom *Network Objects/Vehicle Routes* določimo možne smeri vožnje in pripadajoče prometne obremenitve, kot prikazuje Slika 4.11.
4. Vnesite prometne obremenitve, kot prikazuje Slika 4.8.


Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

Analizo rezultatov lahko prikažemo na več načinov. Najbolj pogosto se rezultati ovrednotijo za celotno omrežje (več križišč v omrežju) in/ali za posamezno križišče (detajlna analiza). Za potrebe analize je predhodno potrebno določiti območja posameznega križišča.

1. **Območje križišča** izdelate tako, da kliknete *Network Objekts/Nodes* in nato "CTRL + desno tipko" na mesto, kjer želite, da prikaže prvo vozlišče območja križišča. Z

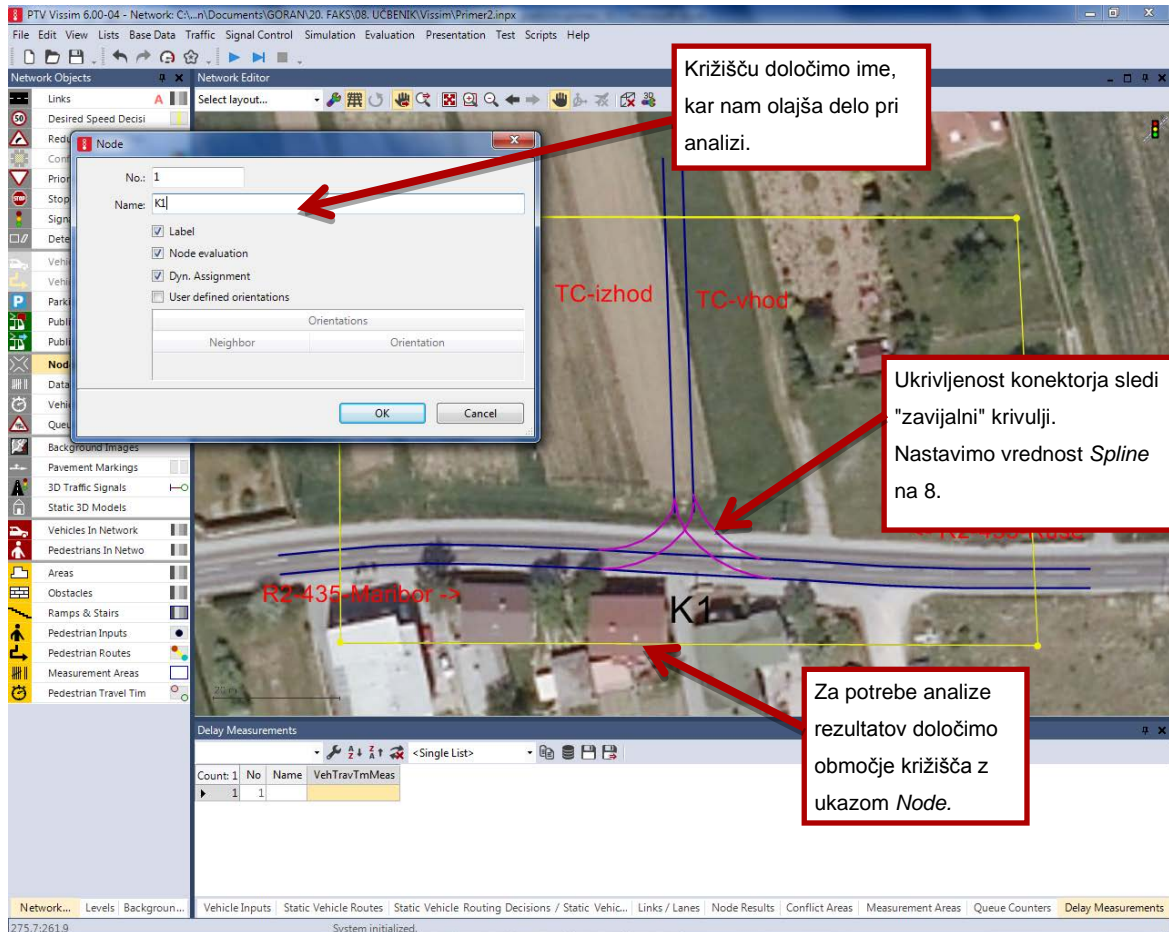
desnim klikom vnesete poljubno število vozlišč. Ko končate z zadnjim vnosom vozlišča poligona, dvakrat kliknete in s tem končate ukaz. V oknu *Node* lahko določite tudi ime, K1.

2. **Analiza rezultatov za križišče** se nastavi v glavnem meniju *Evaluation/Configuration...*, izberemo možnost *Nodes/Collect data* in nastavimo časovni interval analize (npr. $1 h = 3600 \text{ sek.}$). Analiza se lahko izdelava tudi za posamezne vrste vozil *Vehicle Classes*, kjer izberemo vrste vozil. Rezultati se nam izpisujejo med simulacijo v oknu *Lists (Evaluation/Results Lists/Nodes)*, kot prikazuje Slika 4.13.

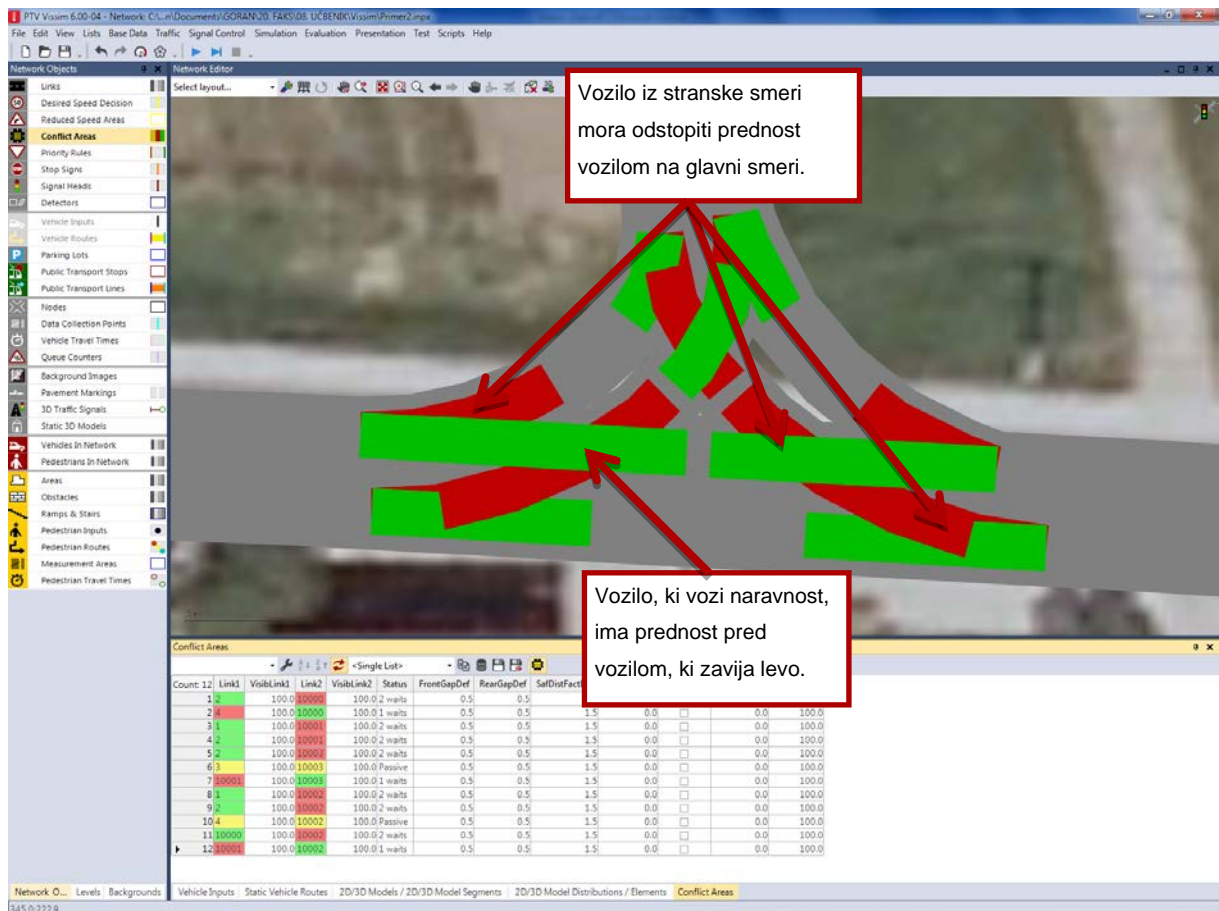
Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* najdaljšo zajezitveno dolžino (QLenMax) in povprečno zamudo vseh vozil (VehDelay(All)).



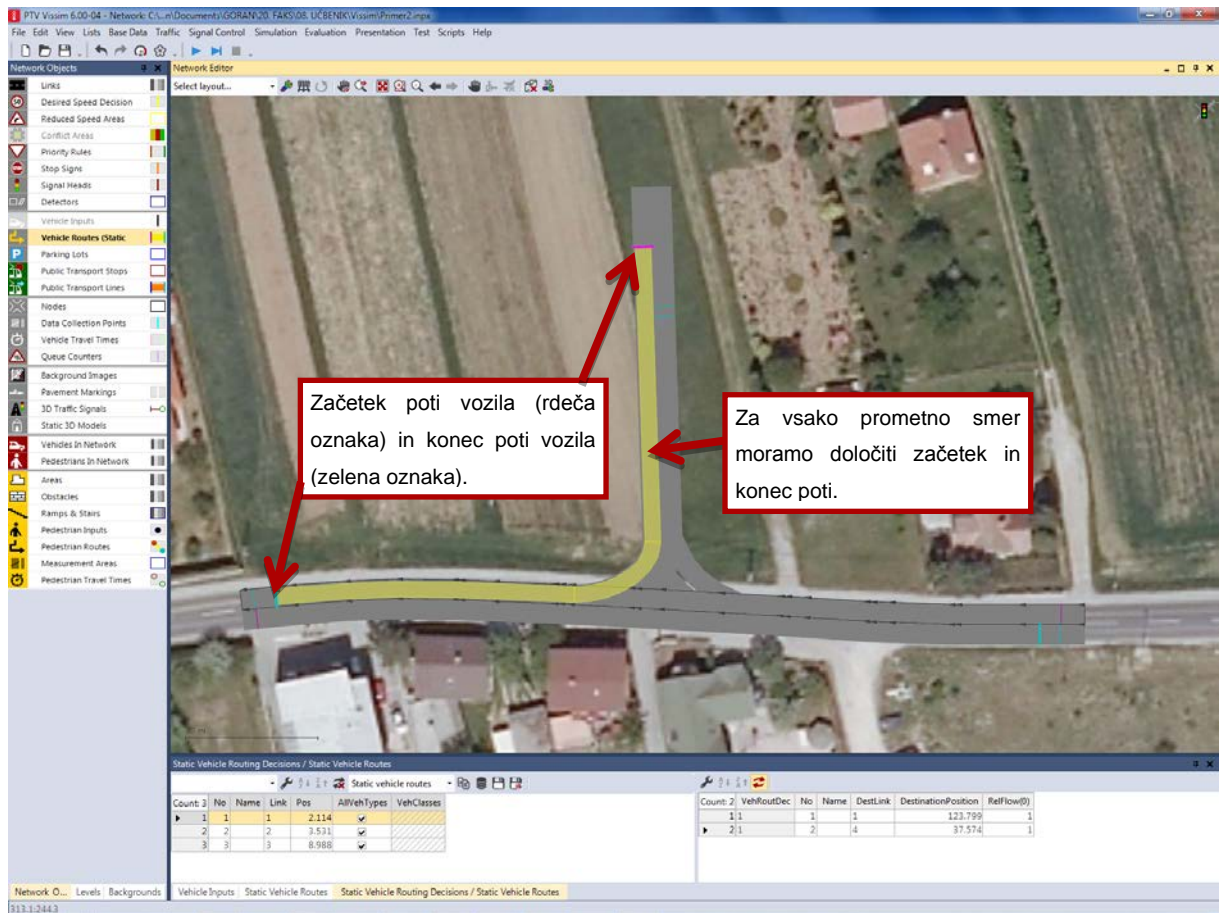
- ✓ S tipko "preslednica" na tipkovnici lahko ustavite simulacijo v poljubnem času, s tipko "Enter" razveljavite ukaz in simulacija se nadaljuje.
- ✓ Če dvakrat kliknete na *Link*, lahko urejate njegove attribute. V polje *Name* vnesite ime kraka, ki se lahko izpiše na sliko ali pa nam je zgolj v pomoč pri analizi rezultatov.



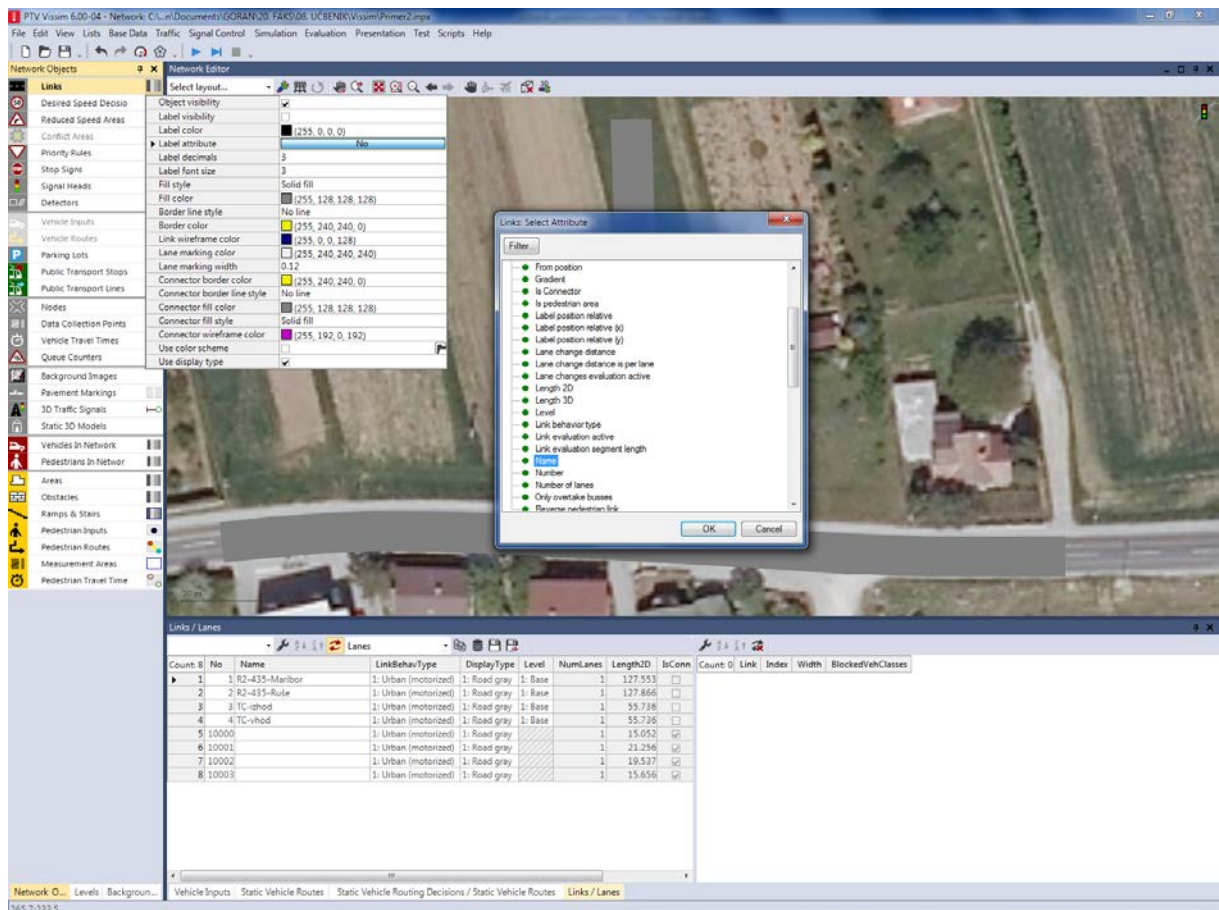
Slika 4.9: Prikaz poteka konektorjev (preklopite v črtni način s "CTRL +A").



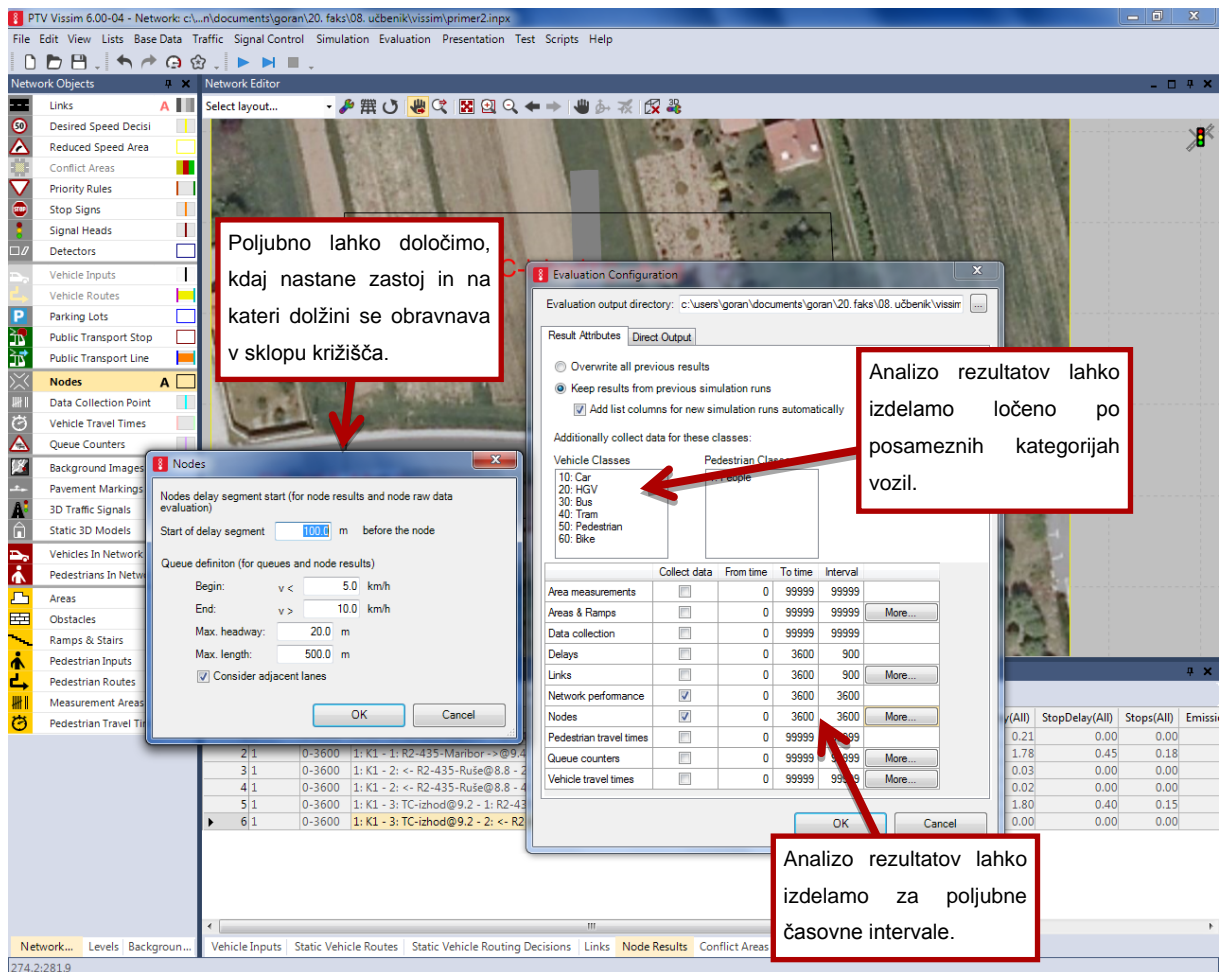
Slika 4.10: Prikaz nastavitve pravil prednosti (Conflict area).



Slika 4.11: Prikaz nastavitve smeri vožnje (Vehicle Routes).



Slika 4.12: Prikaz nastavitve grafičnega prikaza za cestne povezave (Network Objects/Links).



Slika 4.13: Prikaz nastavitve za potrebe analize rezultatov.



File/Save as in shranite kot Primer2A.inpx.

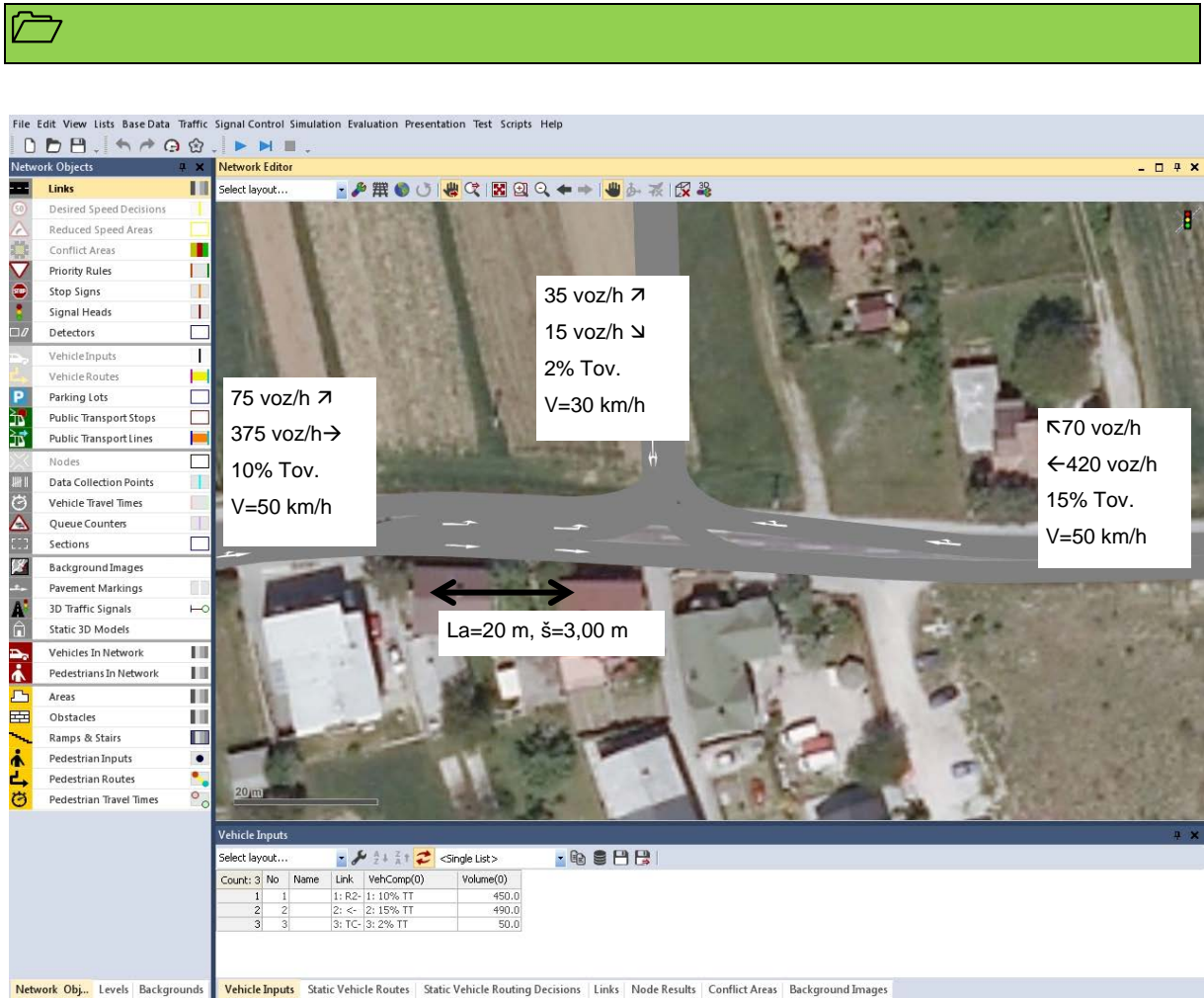
Pri predhodni analizi je bila upoštevana popoldanska konica na delovni dan. Za potrebe analize obratovanja TC je potrebno izdelati še analizo merodajne konice (petek, med 18:00 in 19:00). Za ta namen so bile ugotovljene naslednje prometne obremenitve: povečajte število vozil iz smeri vzhoda za 40 % in število levih zavijalcev iz smeri zahoda na 75 voz/h. Ostale prometne obremenitve privzamete kot v Primer2.inpx.

Zaženite simulacijo (prepišite predhodne rezultate simulacije) in opazujte promet. Odčitajte vrednost najdaljše zaježitvene dolžine (**QLenMax=_____**) in povprečno zamudo vseh vozil na zahodnem kraku, smer levo (**VehDelay(All)=_____**).

File/Save as in shranite kot Primer2B.inpx.

Na podlagi analize bližnjih avtomatskih števec je bila evidentirana rast prometa s stopnjo 1,5 %/leto (za osebna in tovorna vozila). Izračunajte faktor rasti za 20 letno plansko dobo in to upoštevajte v prometnih obremenitvah. Pozor: trgovski center obratuje s 100 % kapaciteto že v prvem letu. Zaženite simulacijo in opazujte promet. Kaj opazite oziroma kakšni so rezultati?

4.5 PRIMER 3: "T" KRIŽIŠČE Z LEVO ZAVIJALNIM PASOM



Slika 4.14: Geometrija in prometne obremenitve »T« križišča z levo zavijalnim pasom.

Prikazane je sprememba križišča z uvedbo levo zavijalnega pasu. Študent si pomaga z že izdelano geometrijo in prometnimi obremenitvami iz Primera2A. Modelira se novi pas za levo zavijanje iz smeri zahoda, ki je namenjen dovozu do trgovskega centra (TC). Namen: spoznavanje uporabnika z modeliranjem hitrosti vozil skozi radije manjših velikosti in rezultatov kapacitetne analize.



Rezultat predstavlja kapacitetno analizo trikrakega nesemaforiziranega križišča z levo zavijalnim pasom na GPS.

Rezultat predstavlja prvo samostojno delujočo mikrosimulacijo prometa.




File/Open Primer2A.inpx.

File/Save as in preimenujte v Primer3.inpx.

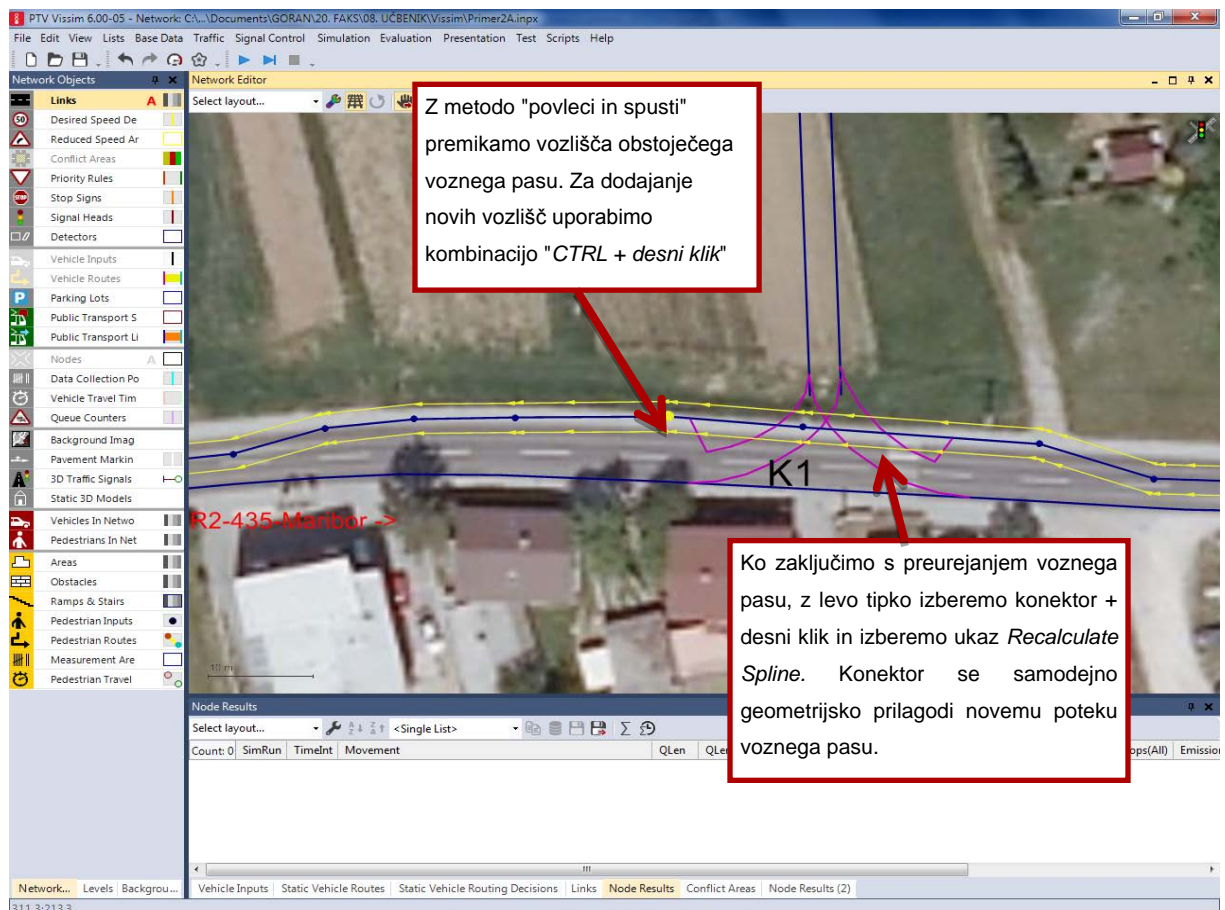
Odprite predhodno izdelani primer Primer2A. Dodajte levo zavijalni pas na glavni prometni smeri (GPS) po naslednjem postopku:

1. Za potrebe umestitve levo zavijalnega pasu moramo naprej **pripraviti prostor** ustrezne širine (š=3,00 m). V konkretnem primeru bomo vozišče širili enostransko in sicer proti severu (južna stran je omejena z obcestno pozidavo). V meniju *Network Objects* izberemo *Links* in nato kliknemo severni vozni pas na GPS ter premikamo vozlišča na način, da zagotovimo prostor za izvedbo zavijalnega pasu. Pazimo, da potek sledi projektantovi podlogi, v kolikor je nimamo na voljo, sami izdelamo potek kot na zgornji sliki (Slika 4.14); pazimo, da nimamo ostrih prehodov. Obstoječe konektorje popravimo tako, da jih izberemo z levim klikom in nato kliknemo desno tipko ter ukaz *Recalculate Spline*, ki avtomatsko popravi potek konektorjev, kot prikazuje Slika 4.15.
2. **Dodajanje levo zavijalnega pasu** se naredi tako, da izdelamo novi pas, ki je vzporeden s pasom za naravnost in ga povežemo s konektorjem, kot prikazuje Slika 4.16.
3. Ko smo spremenili potek GPS (dodajanje novega pasu), se nam je "porušil" tudi vnaprej izdelan **potek levih zavijalcev**, ki se lahko avtomatsko generira (opozori nas program pred zagonom simulacije) ali pa ga ročno popravimo/dodamo z ukazom *Network Objects/Vehicle Routes Static*.
4. Preverimo še, kako je s konfliktnimi območji *Conflict Areas*.
5. Za boljšo "berljivost" izdelanega omrežja lahko vozne pasove označimo še s smernimi puščicami, in sicer z ukazom *Network Objects/Pavement Markings + CTRL + desni klik* na lokacijo, kjer želimo označbo. Označbo izberemo med naborom možnih označb (*Arrow + smer*), kot prikazuje Slika 4.17.
6. Simulacijski model ne simulira bočnih pospeškov in s tem posledično ne prilagaja **hitrosti vožnje vozil skozi horizontalne krivine**. Za potrebe realnega odvijanja simulacije v križiščih si zato pomagamo z umestitvijo "omejitev hitrosti" na območja manjših horizontalnih krivin (zavijalni radiji). Omejitev hitrosti izdelamo z ukazom *Network Objects/Reduced Speed + CTRL + desni klik* na lokacijo, kjer želimo omejiti hitrosti. Dolžino območja lahko poljubno nastavimo. Za potrebe zavijalnih radijev

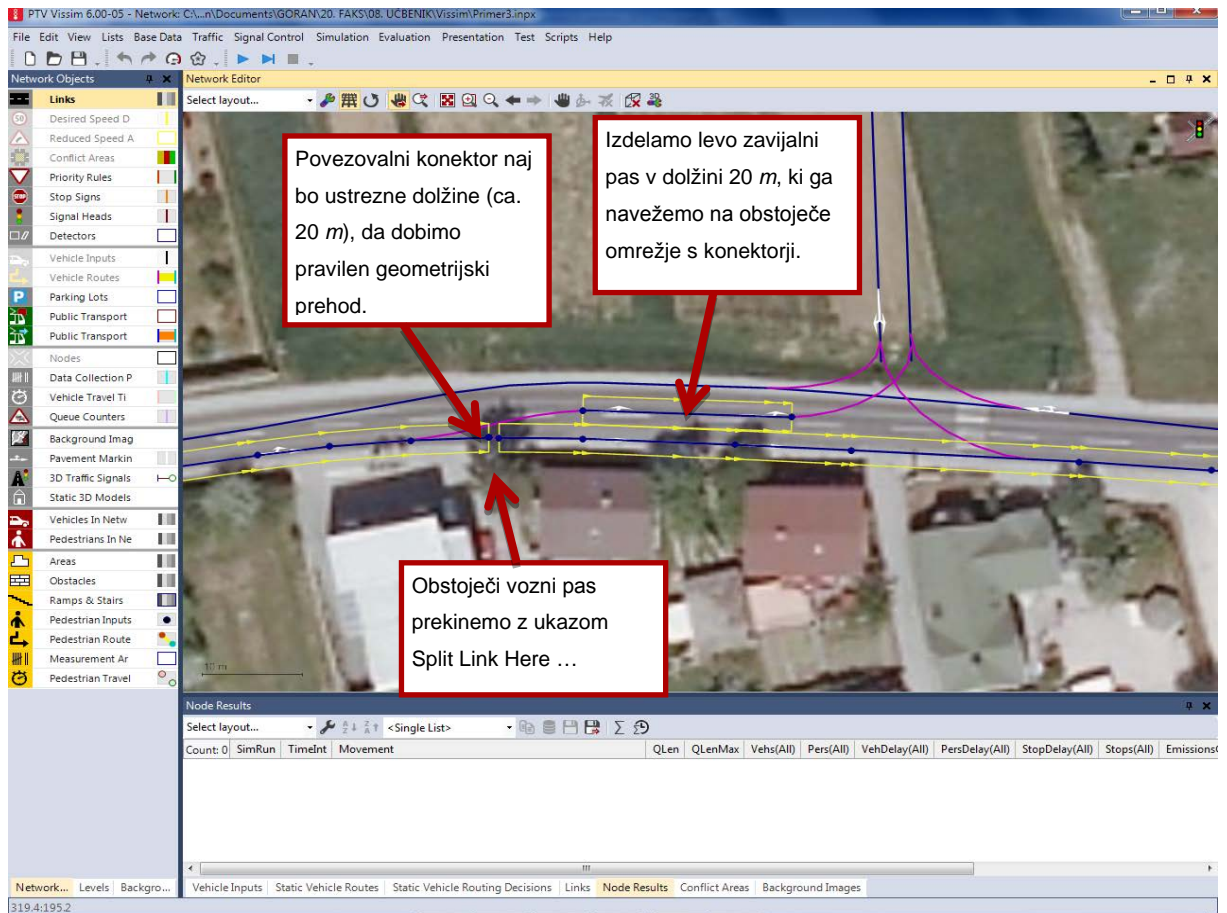
zadošča že manjša dolžina (npr. 2 m), saj vozila v simulaciji to območje pravočasno zaznajo in prilagodijo hitrost že pred samim območjem omejene hitrosti. Ko vozila zapustijo "lokacijo" omejene hitrosti, pričnejo pospeševati do nastavljene administrativne omejitve hitrosti - Slika 4.18.

Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

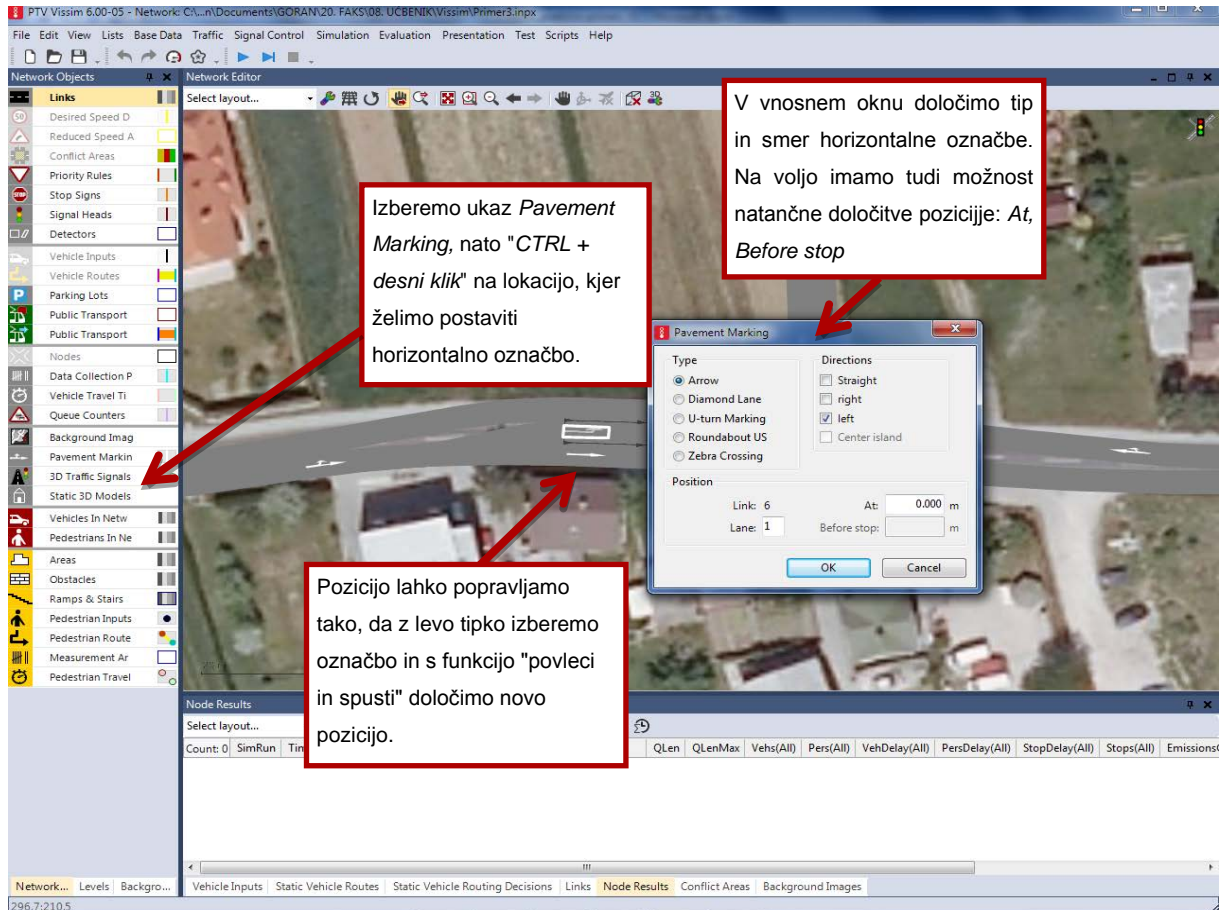
Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* najdaljšo zajezivno dolžino *QLenMax* in povprečno zamudo vseh vozil *VehDelay(All)*.



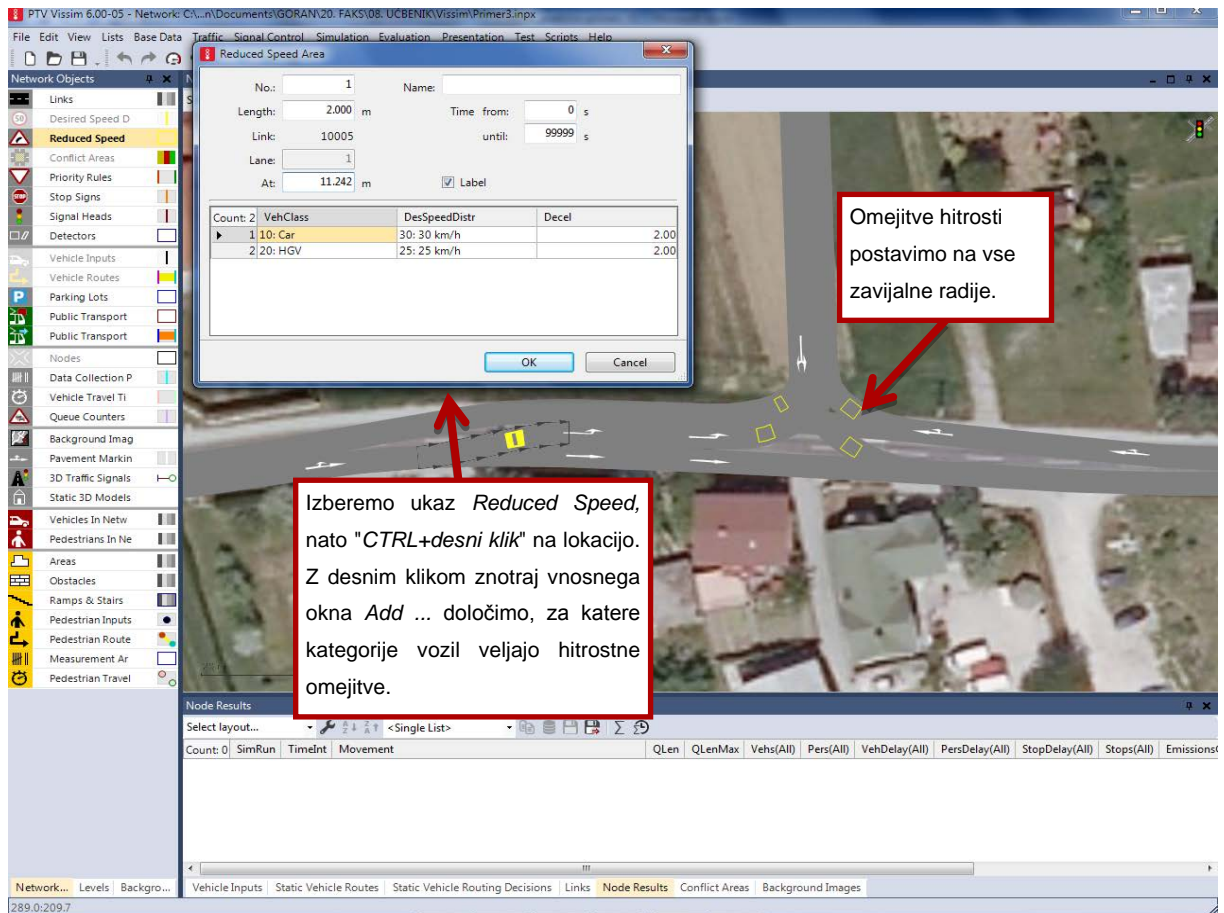
Slika 4.15: Sprememba geometrije za umestitev zavijalnega pasu.



Slika 4.16: Postopek izdelave levo zavijalnega pasu.



Slika 4.17: Izdelava horizontalnih označb.



Slika 4.18: Izdelava omejitev hitrostih na zavijalnih krivinah.

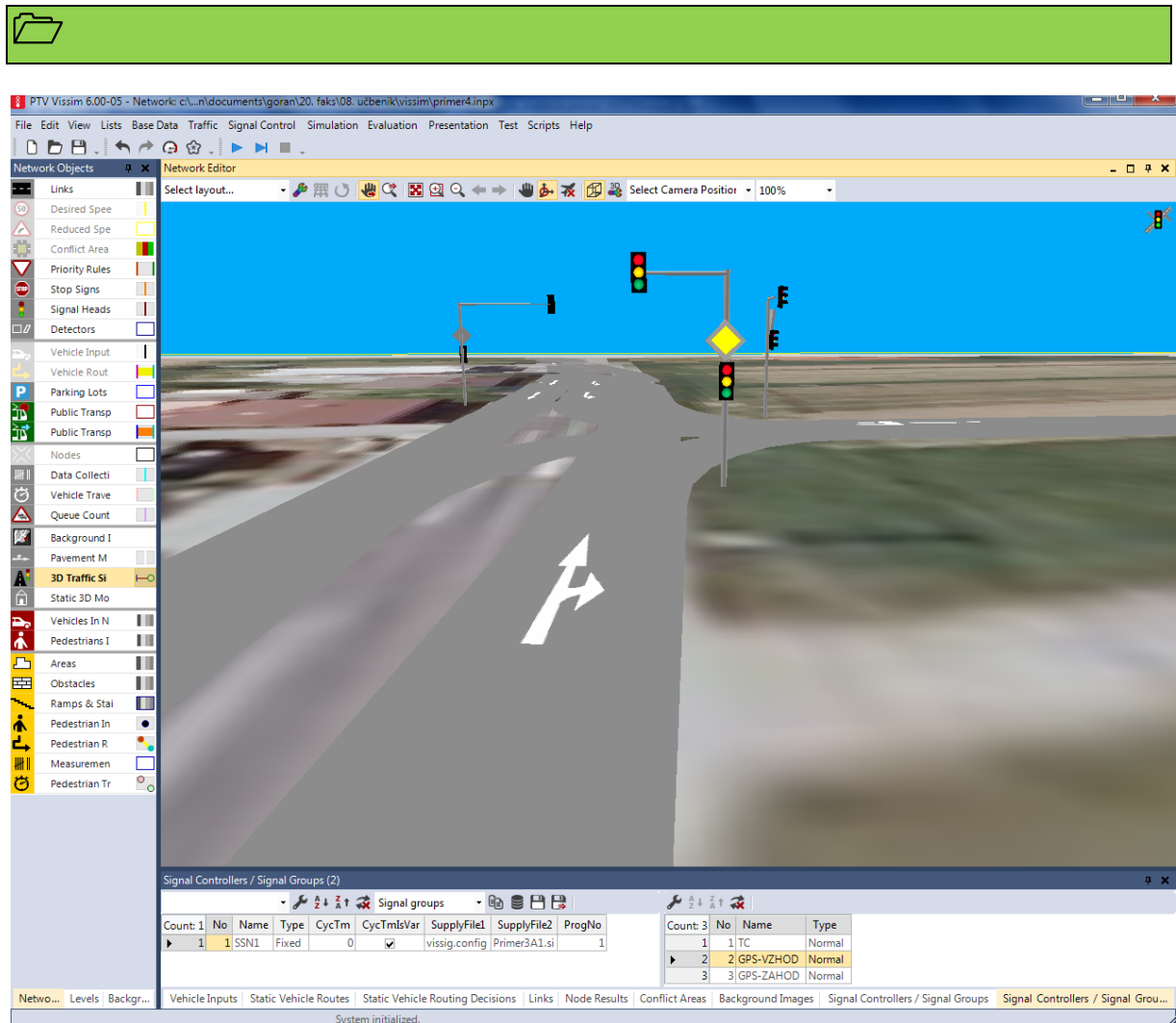


File/Save as in shranite kot Primer3A.inpx.

Pri predhodni analizi je bila upoštevana merodajna konica (petek med 18:00 in 19:00). Preverimo še delovanje križišča med 19:00 in 20:00, ko večina vozil zapušča trgovski center. Prometne obremenitve iz smeri vzhoda proti zahodu se povečajo na 720 vozil/h. Na izhodu iz TC imamo 210 voz/h, ki zavijajo levo in 90 voz/h, ki zavijajo desno. Ostale prometne obremenitve se ne spremenijo.

Zaženite simulacijo (prepišite predhodne rezultate simulacije) in opazujte promet. Odčitajte vrednost najdaljše zaježitvene dolžine (**QLenMax=_____**) in povprečno zamudo vseh vozil na kraku TC (**VehDelay(All)=_____**).

4.6 PRIMER 4: SEMAFORIZIRANO "T" KRIŽIŠČE



Slika 4.19: Prikaz semaforiziranega "T" križišča.



Spoznavanje osnov delovanja modula za semaforizacijo. Študent si pomaga z že izdelano geometrijo in prometnimi obremenitvami iz primera Primer 3 ("T" križišče z levo zavijalnim pasom). Modelira se dvofazni krmilni program, ki je namenjen kontroliranemu in varnemu vključevanju vozil iz stranske smeri. Spoznavanje uporabnika z modeliranjem semaforske opreme v 3D tehniki.



Rezultat naloge je dvofazno krmiljenje "T" križišča.




File/Open Primer3A.inpx.

File/Save as in preimenujte v Primer4.inpx.

Odprite predhodno izdelani primer Primer3A in ga shranite kot Primer4.inpx. Za potrebe semaforizacije križišča lahko dodamo signalni krmilnik (*Signal Controller*), določimo signalne glave (*Signal Heads*) in skupine signalov (*Signal Groups*, npr. za stransko prometno smer). Na voljo imamo več možnosti krmiljenja (vnaprej določeno, prometno odvisno, SCATS, SCOOTs). V nadaljevanju bomo obravnavali vnaprej določeno *Fixed time control* krmiljenje. Več o tem si preberite v priročniku VISSIM 6.0, poglavje 6.13.

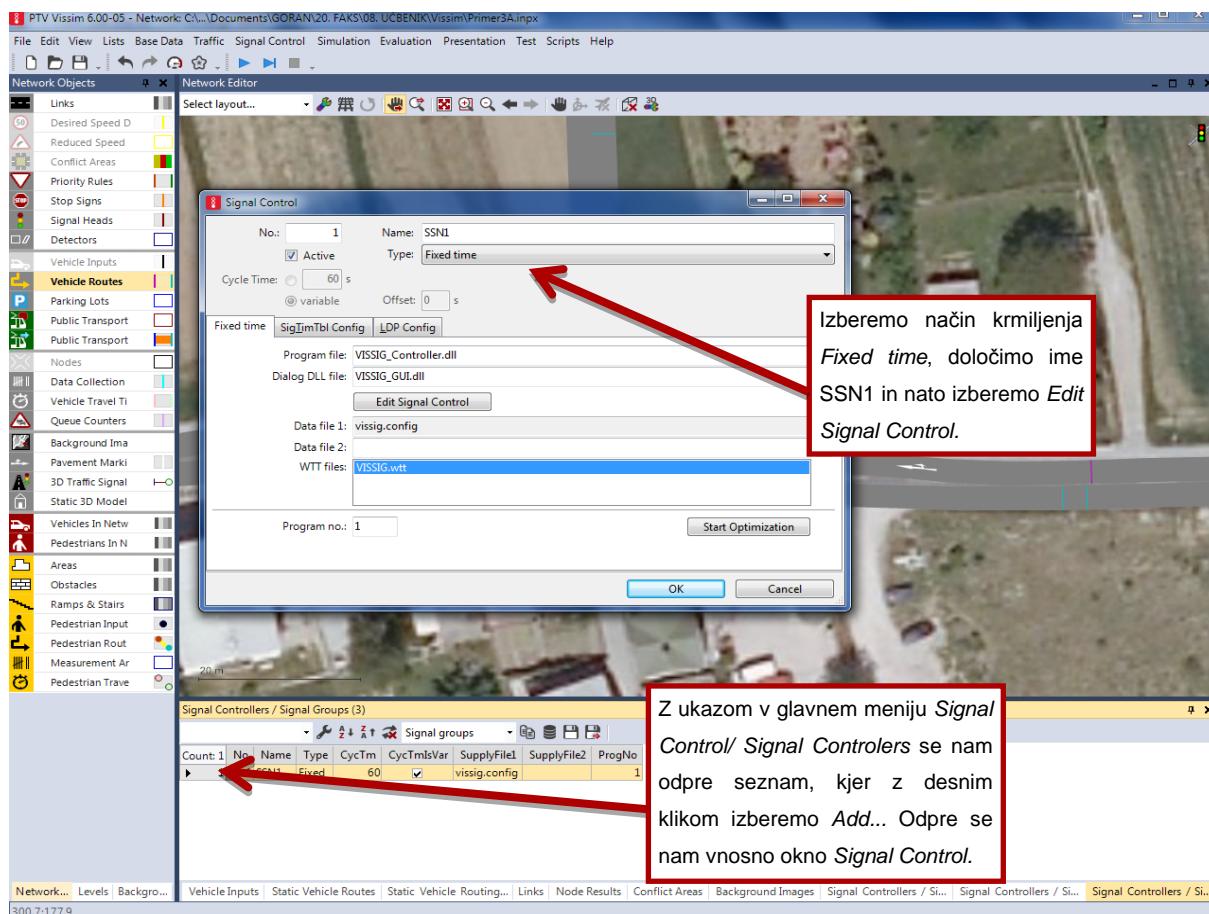
1. Za potrebe določitve **načina krmiljenja** v glavnem meniju izberemo *Signal Control/Signal Controllers*. Odpre se seznam, kjer z desno tipko odpremo nov ukaz *Add*. Izberemo *Type: Fixed time* in nato *Edit Signal Control*, kot prikazuje Slika 4.20.
2. **Določitev skupin signalov** se naredi tako, da izberemo na levi strani *Signal groups* in kreiramo tri signalne skupine: za krak SPS –TC, za vzhodni krak GPS in zahodni krak GPS. Eni signalni skupini lahko določimo več signalnih glav, kot prikazuje Slika 4.21.
3. Določiti je potrebno še **signalne glave** in njihovo lokacijo, in sicer tako, da na stranskem meniju *Network objects* izberemo *Signal Heads*. Držimo tipko "CTRL + desni klik" na zeleno lokacijo signalne glave (običajno tam, kjer je črta zaustavljanja). Odpre se okno za vnos atributov *Signal Heads*. Določiti je potrebno signalni krmilnik SC, signalno skupino *Signal group* in *Type* signalne glave (za 2D prikaz), kjer izberemo opcijo *Circular*. Signalno glavo določite za vsak pas oziroma smer, kot prikazuje Slika 4.23.
4. Potrebno je še določiti merodajni **signalni program**. *Signal Controllers/Signal Groups*, izberemo z desno tipko, nato *Edit ...* (ali dvakrat levi klik) in nato izberemo še *Edit Signal Control*. Izberemo *Signal* program in dodamo nov program z imenom *Merodajna konica* in za začetek izberemo dolžino cikla 60 sek. Z desnim klikom in izborom *Edit* se odpre okno za grafično urejanje faz krmilnega diagrama. Stranski prometni smeri določimo 7 sek. zelenega časa, preostanek pa glavni prometni smeri, shranimo in zapremo vnosno okno, kot prikazuje Slika 4.22.
5. Poskusite sami izdelati še 3D signalne glave. Pomagajte si z ukazom *Network objects/3D Traffic Signal* in priloženimi "namigi" - Slika 4.25.

Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

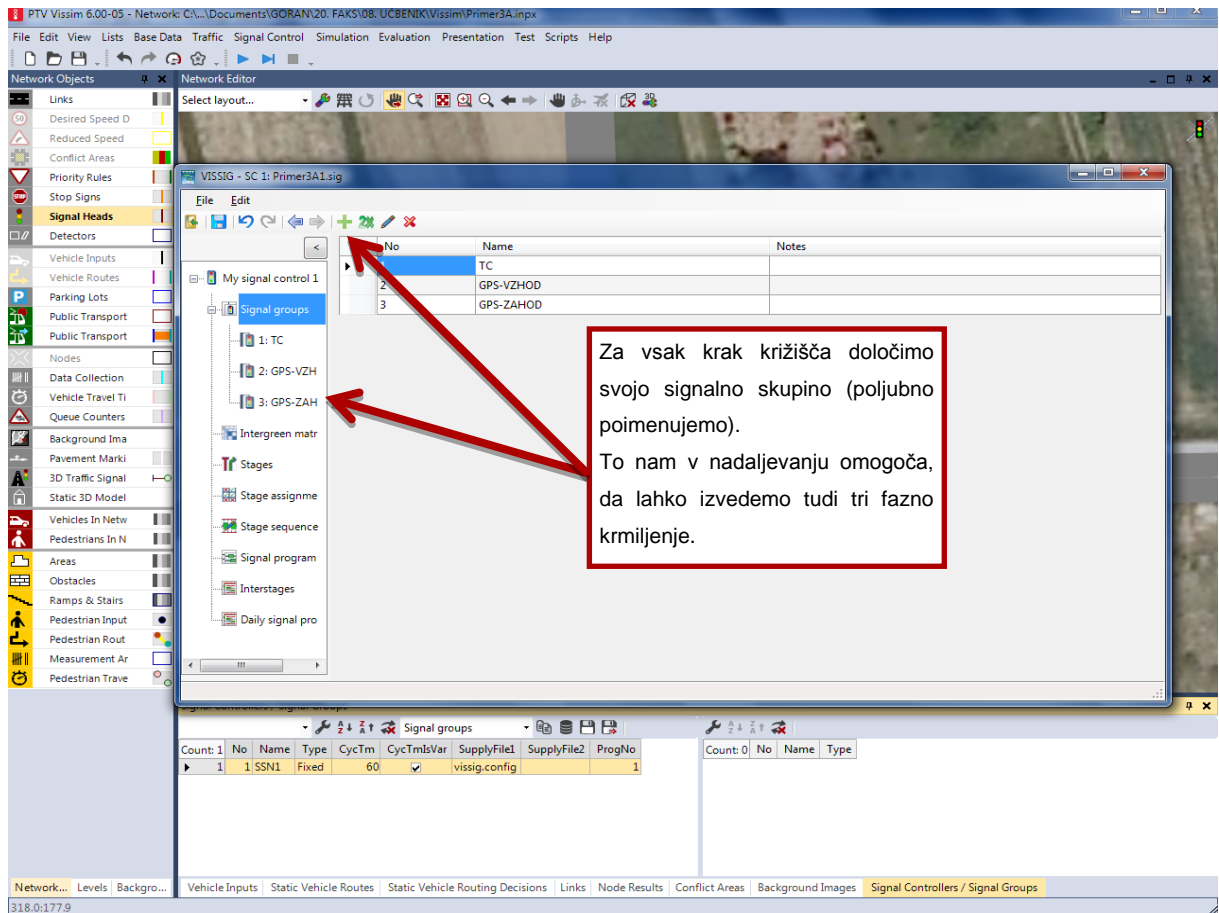
Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* najdaljšo zaježitveno dolžino *QLenMax* in povprečno zamudo vseh vozil *VehDelay(All)*.



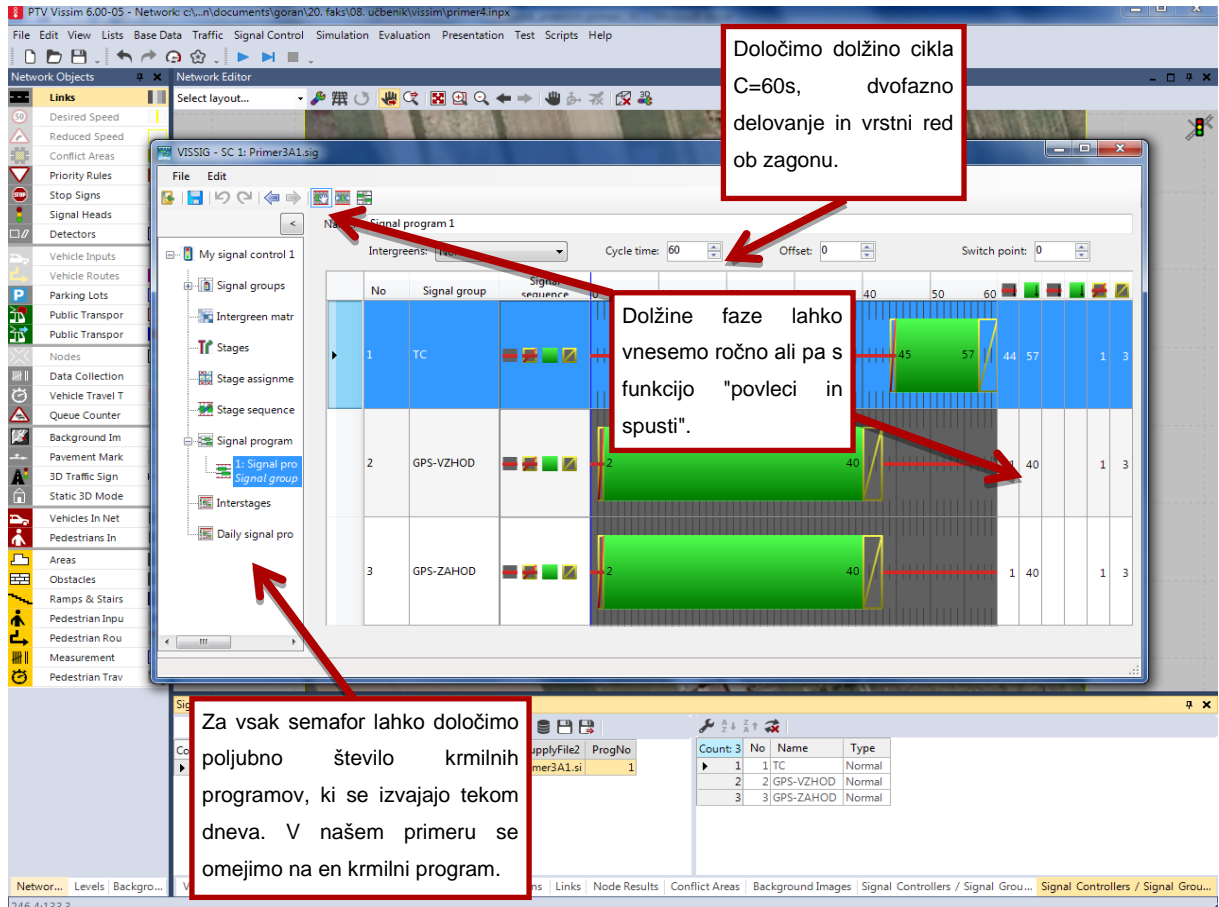
- ✓ Poznamo dva načina delovanja semaforjev, in sicer tako, da se faze menjajo po vnaprej določenem (fiksнем) zaporedju (običajen način krmiljenja v Sloveniji, *Phase based*) ali pa da se faze menjajo po vnaprej določenih scenarijih (običajen način krmiljenja v Nemčiji, *Stage based*).
- ✓ V omrežju lahko postavite signalne glave na vsakem voznem pasu posebej.
- ✓ Vozila se bodo ustavila pred signalom na razdalji od 0,5 m do 2,5 m.
- ✓ Vozila, ki se približujejo v trenutku, ko sveti rumena luč, bodo prevozila križišče, v kolikor se ne morejo varno ustaviti (možno nastaviti s parametri *Driving behavior*).
- ✓ Za vsako signalno glavo lahko določimo, katerim vozilom so namenjene (npr. v kolikor imamo avtobuse na svojem prometnem pasu, je možno v križišču krmiliti signale, namenjene samo avtobusom).
- ✓ Postavitev semaforških naprav še ne določa pravil prednosti vozil. Za vsa vozila, ki lahko peljejo istočasno skozi križišče, je potrebno določiti tudi pravila prednosti.



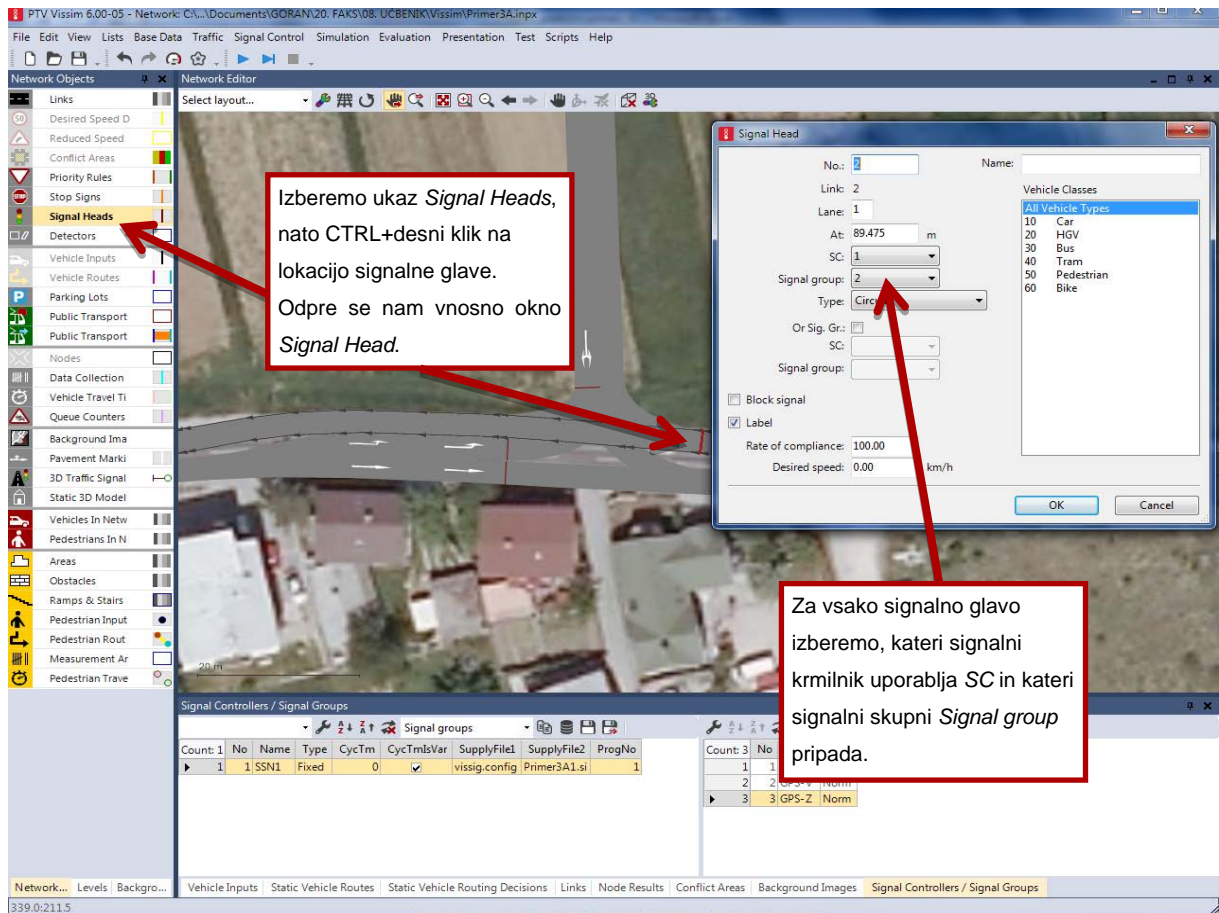
Slika 4.20: Določitev signalnega krmilnika in načina delovanja.



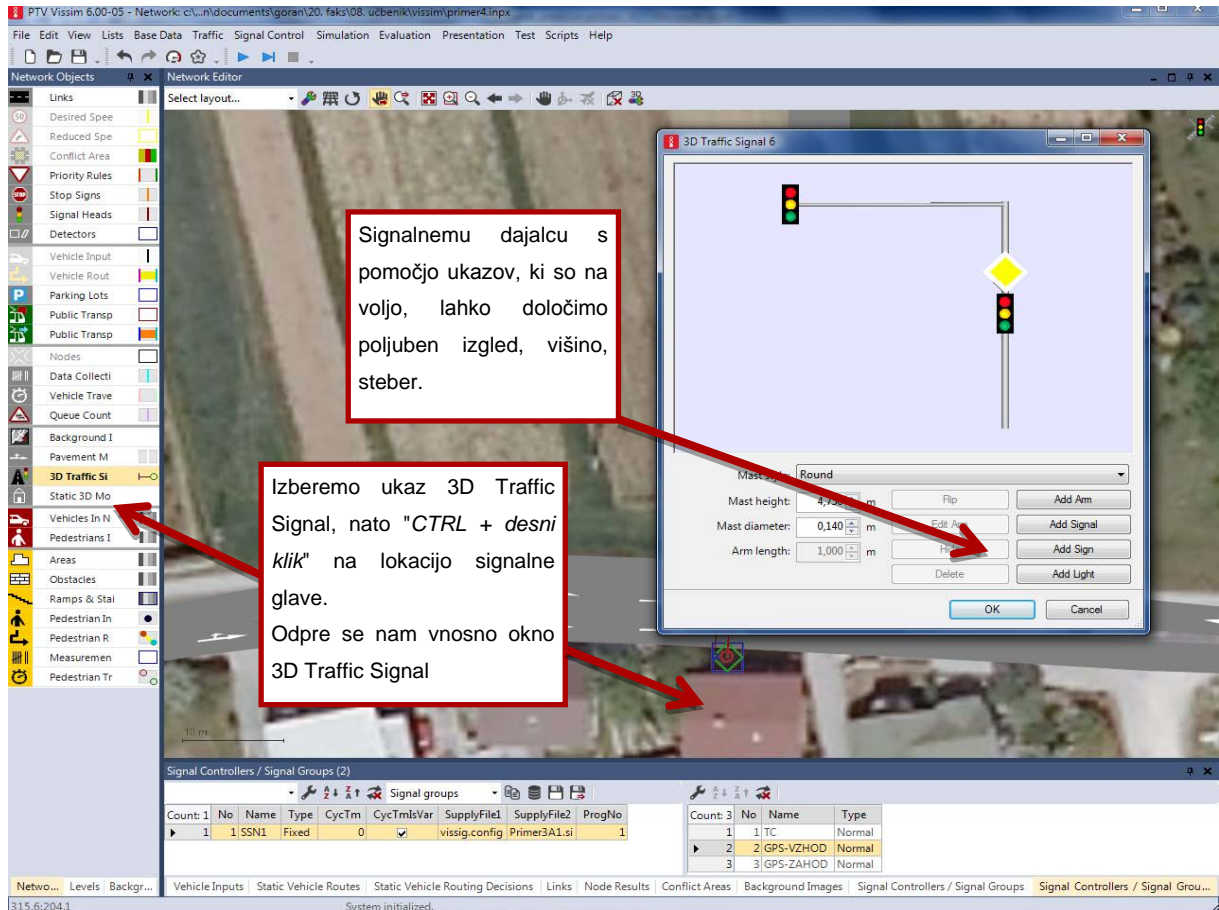
Slika 4.21: Določitev signalnih skupin za potrebe faznosti krmiljenja.



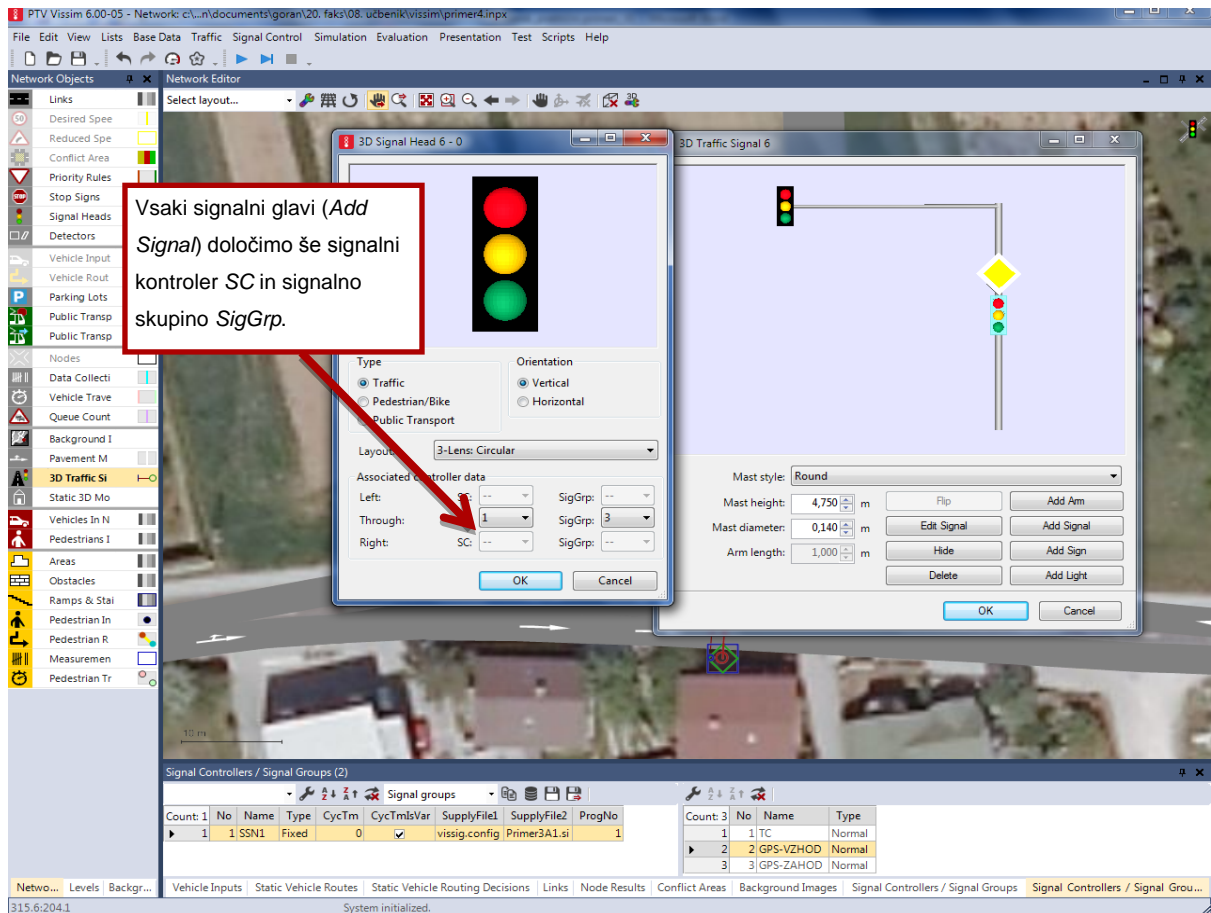
Slika 4.22: Določitev cikla, faz in časov delovanja.



Slika 4.23: Določitev lokacije signalnih glav v križišču.



Slika 4.24: Določitev 3D semaforse opreme.



Slika 4.25: Določitev tipa signalne glave in pripadajoče signalne skupine.

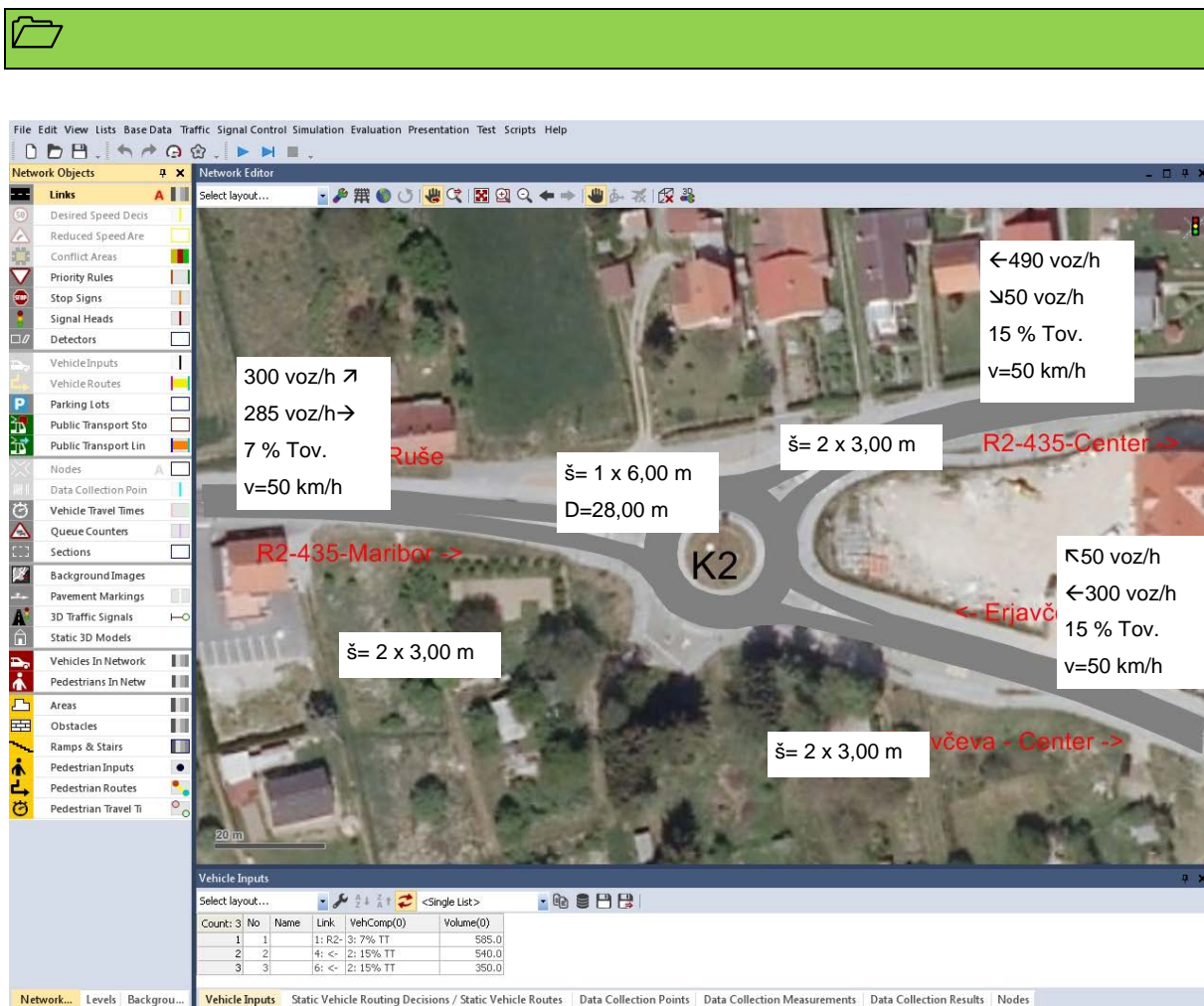


File/Save as in shranite kot Primer4A.inpx.

Pri predhodni analizi je opaziti, da pri dolžini zelenega signala 7 sek. na SPS prihaja občasno do zaježitvenih dolžin na kraku TC, ki povzročajo težave s praznjenjem/polnjenjem internega parkirišča. Za ta namen je potrebno pri isti dolžini ciklusa poiskati optimalno dolžino zelenega signala na SPS.

Zaženite simulacijo s spremenjeno vrednostjo in opazujte promet. Odčitajte vrednost najdaljše zaježitvene dolžine (**QLenMax=_____**) in povprečno zamudo vseh vozil na kraku TC (**VehDelay(All)=_____**). Postopek lahko iterativno ponovite, dokler ne dobite najmanjše zaježitvene dolžine na kraku TC. Pri tem znaša dolžina zelenega signala na **SPS=_____s**.

4.7 PRIMER 5: KROŽNO KRIŽIŠČE



Slika 4.26: Geometrija in obremenitve krožnega križišča.

Spoznavanje osnov modeliranja krožnega križišča. Študent si pomaga z že pripravljeno in geokodirano podlago zapisano v primeru Primer5. Modelira se enopasovno, trikrako krožno križišče. Istočasno se utrdi snov iz predhodnih primerov, in sicer: izdelava linkov in konektorjev, vnos prometnih obremenitev, določitev prednosti vozil, določitev območja križišča za potrebe analize rezultatov, izdelava območij umirjanja prometa, analiza rezultatov.



Rezultat naloge je kapacitetna analiza krožnega križišča.




File/Open Primer5.inpx.

File/Save as in preimenujte v Primer5A.inpx.

Odprite predhodno pripravljen primer Primer5.inpx in ga shranite kot Primer5A.inpx. Za potrebe izdelave trikrakega krožnega križišča uporabite znanje in izkušnje s predhodnih primerov. Slika 4.26 prikazuje geometrijo in prometne obremenitve.

1. Za potrebe kontrole števila vozil in hitrosti na preseku dodajte z ukazom *Network Objects/Data Collection* in nato "CTRL+desni klik" na lokacijo. Lokacijo določite kot prikazuje Slika 4.28.
2. Rezultate *Data Collection* dobite tako, da v glavnem meniju izberete *Evaluation/Configuration*; nato izberete iz seznama *Result Attributes* tudi *Data Collection*. Za prikaz rezultatov je potrebno določiti še, kateri rezultati naj se prikažejo. V glavnem meniju izberite *Evaluation/Measurement Definition/Data Collection Measurement* in nato v seznamu z desno tipko kliknete ter izberete *Generate all (grouped)*.
3. Rezultate meritev lahko opazujete tudi med samim procesom simulacije in sicer tako, da v glavnem meniju izberete *Evaluation/result Lists/Data Collection*.

Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* najdaljšo zaježitveno dolžino $QLenMax=$ _____ in povprečno zamudo vseh vozil $VehDelay(All)=$ _____. Prav tako za vsako merilno mesto odčitajte naslednje rezultate.

Tabela 4.1: Rezultati simulacije.

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

V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepisite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?

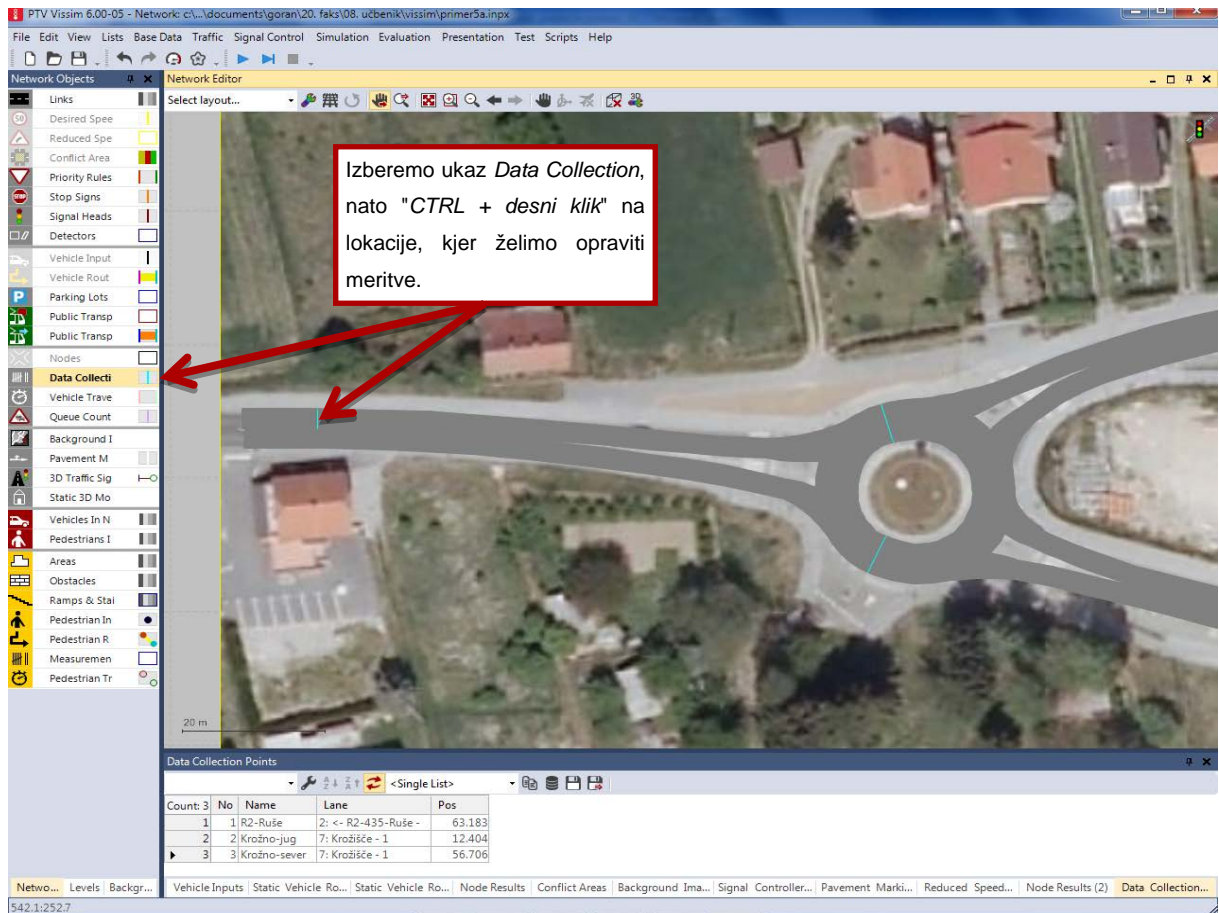


- ✓ Za potrebe dvopasovnih krožnih križišč pri postavljanju pravil prednosti preberite poglavje **6.12.1.3 Examples of priority rules** v priročniku VISSIM 6.0.

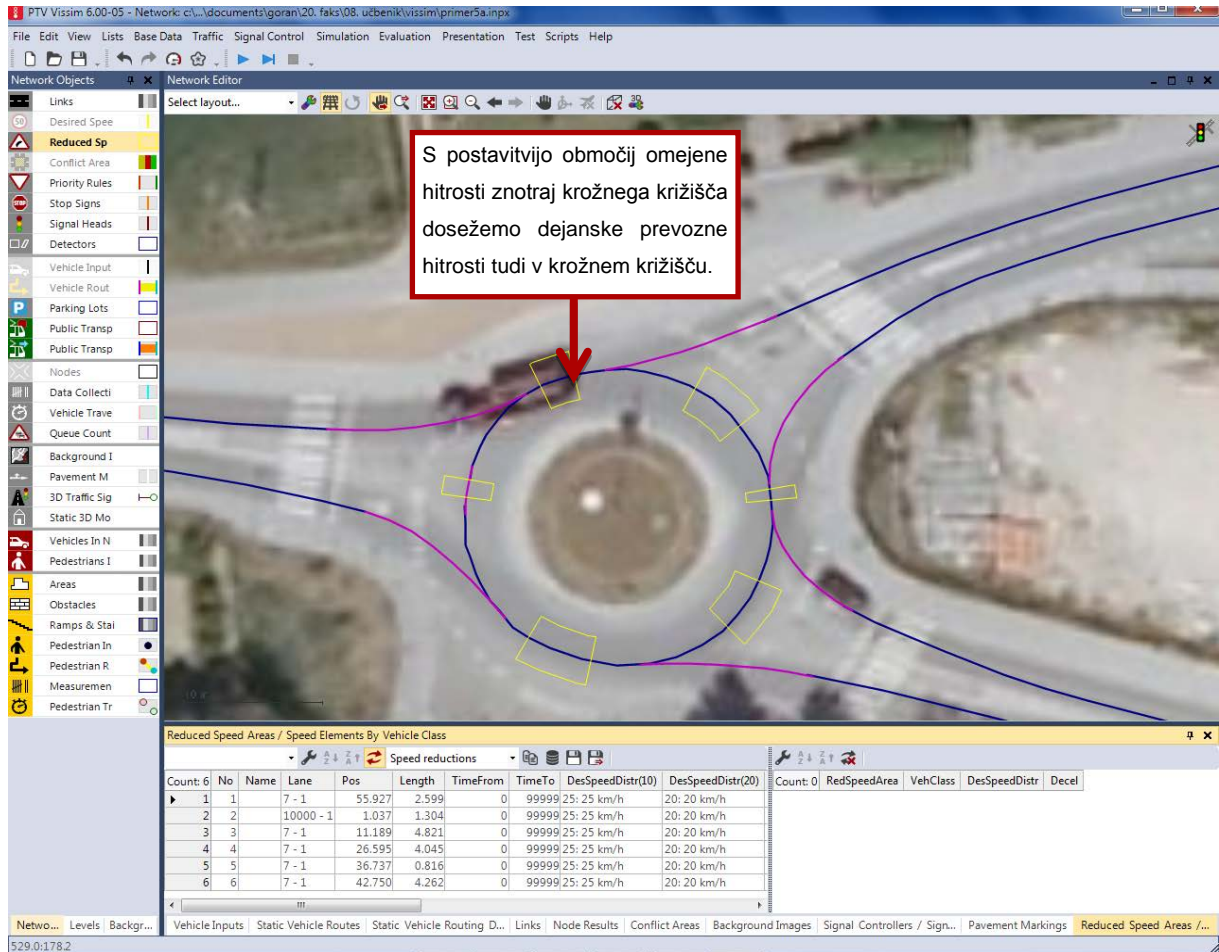
Pravila prednosti se generirajo avtomatsko, vendar je potrebno ročno določiti prednostni potek za vsako konfliktno območje.

Count	Link1	VisibLink1	Link2	VisibLink2	Status	FrontGapDef	RearGapDef	SafDistFactDef	AddStopDist	ObsAdjLns	AnticipRout	AvoidBlock
1	7	100.0	10001	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
2	7	100.0	10002	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
3	7	100.0	10003	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
4	7	100.0	10005	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
5	7	100.0	10006	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
6	7	100.0	10004	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0

Slika 4.27: Določitev pravil prednosti v krožnem križišču.



Slika 4.28: Postavitev merilnih mest za potrebe analize rezultatov.



Slika 4.29: Določitev območij omejene hitrosti znotraj krožnega križišča.



File/Save as in shranite kot Primer5B.inpx.

Pri predhodni analizi je opaziti, da vozila vozijo z enako hitrostjo tudi skozi krožno križišče, kar ne odraža dejanskega stanja. Na terenu so bile opravljene meritve dejanskih hitrosti, ki znašajo za osebna vozila 25 km/h in za tovorna vozila 20 km/h. S postavitvijo območij omejene hitrosti se poskušajte približati dejanskemu stanju, kot prikazuje Slika 4.29.

Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* najdaljšo zaježitveno dolžino $QLenMax=$ _____ in povprečno zamudo vseh vozil $VehDelay(All)=$ _____. Prav tako za vsako merilno mesto odčitajte naslednje rezultate.

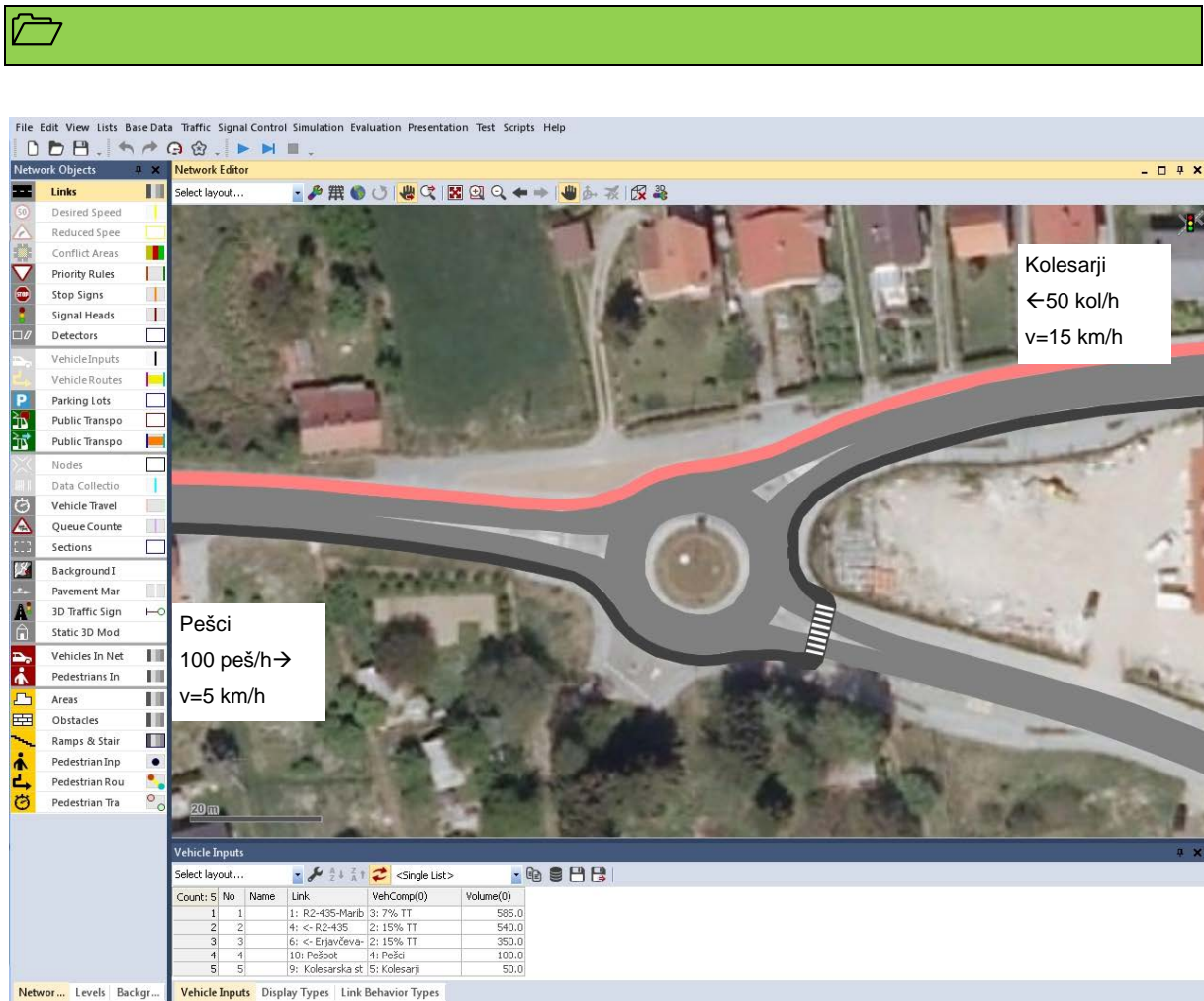
Tabela 4.2: Rezultati simulacije.

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

V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepisite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?

Primerjajte rezultate simulacije Primer5A in Primer5B na način, da rezultate (*Node Results*) izvozite v Excell in pripravite grafični prikaz za vse prometne smeri za

4.8 PRIMER 6: PEŠCI IN KOLESARJI



Slika 4.30: Geometrija in obremenitve pešcev in kolesarjev.

Spoznavanje osnov modeliranja peš in kolesarskega prometa. Študent si pomaga z že pripravljenim primerom Primer5B. Modelira se enosmerno, enostransko kolesarsko stezo in hodnik za pešce s preходом preko vzhodnega kraka krožnega križišča. Istočasno se utrdi snov iz predhodnih primerov, in sicer izdelava linkov in konektorjev, vnos prometnih obremenitev, določitev prednosti vozil, analiza rezultatov.



Rezultat naloge je kapacitetna analiza krožnega križišča, z vplivom pešcev na pretočnost krožnega križišča.




File/Open Primer5B.inpx.

File/Save as in preimenujte v Primer6.inpx.

Odprite predhodno pripravljen primer Primer5B.inpx in ga shranite kot Primer6.inpx. Za potrebe izdelave poteka kolesarske steze in hodnika za pešce uporabite znanje in izkušnje s predhodnih primerov. Slika 4.30 prikazuje geometrijo in prometne obremenitve.

1. Za potrebe bolj razločnega grafičnega prikaza določimo dve novi barvi voznih površin. V glavnem meniju izberemo ukaz *Base Data/Display Types*, nato v seznamu z desnim klikom izberemo *Add..*, dodamo nov tip *Bike path* (barva RGB: 255, 127,127). Prav tako spremenimo barvo *Pedestrian area* iz svetlo sive v temno sivo (barva RGB: 64, 64, 64), kot prikazuje Slika 4.31.
2. Barvo in način obnašanja voznikov spremenite tako, da z levo tipko kliknete kolesarsko stezo in nato izberete *Behavior type: Cycle-Track (free overtaking)*, *Display Type: Bike path*, za pešpot pa *Foothpath (no interaction)* in *Pedastrian area grey* (v prejšnjem koraku smo spremenili barvo v temno sivo), kot prikazuje Slika 4.32.

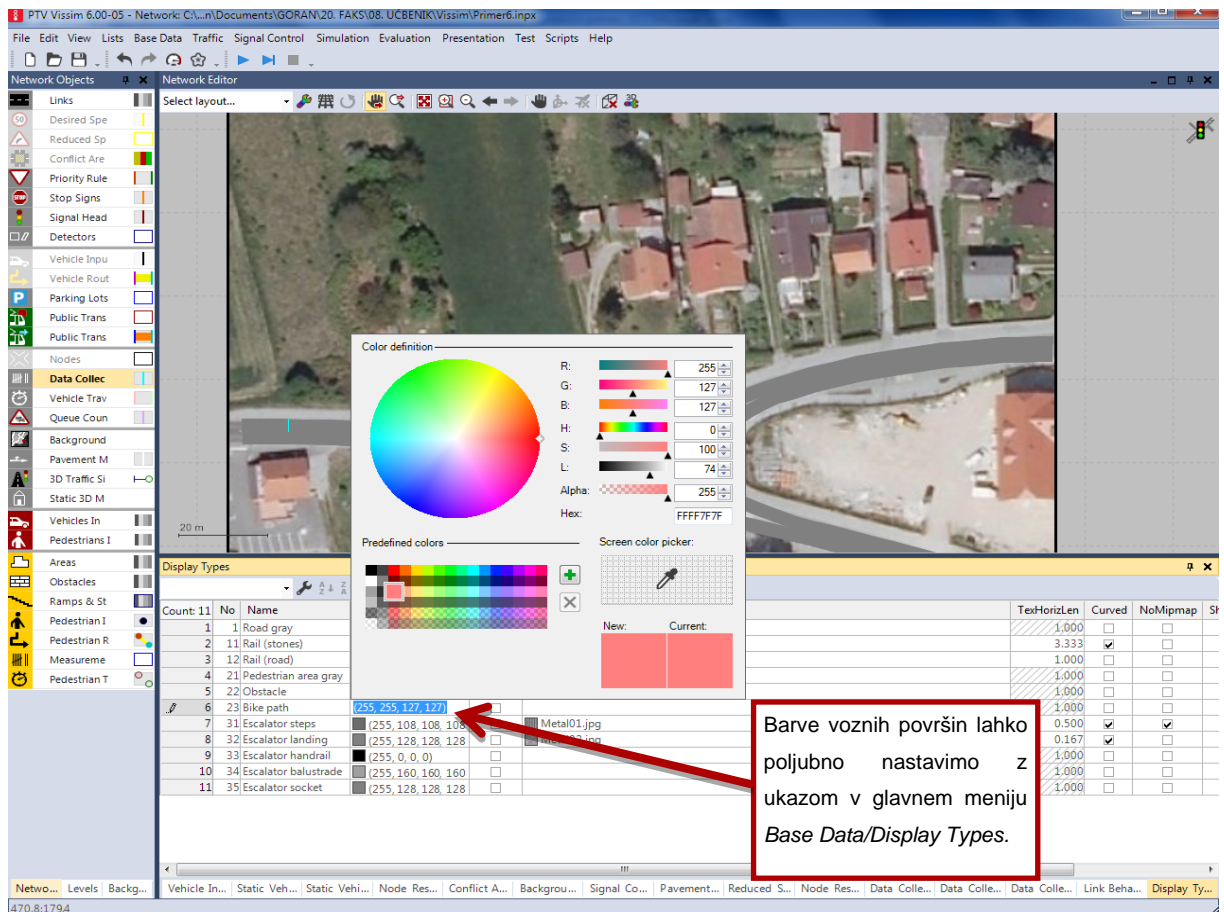
Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* zaježitveno dolžino na Erjavčevi cesti v smeri proti Rušam $QLenMax=$ _____ in povprečno zamudo vseh vozil $VehDelay(All)=$ _____.

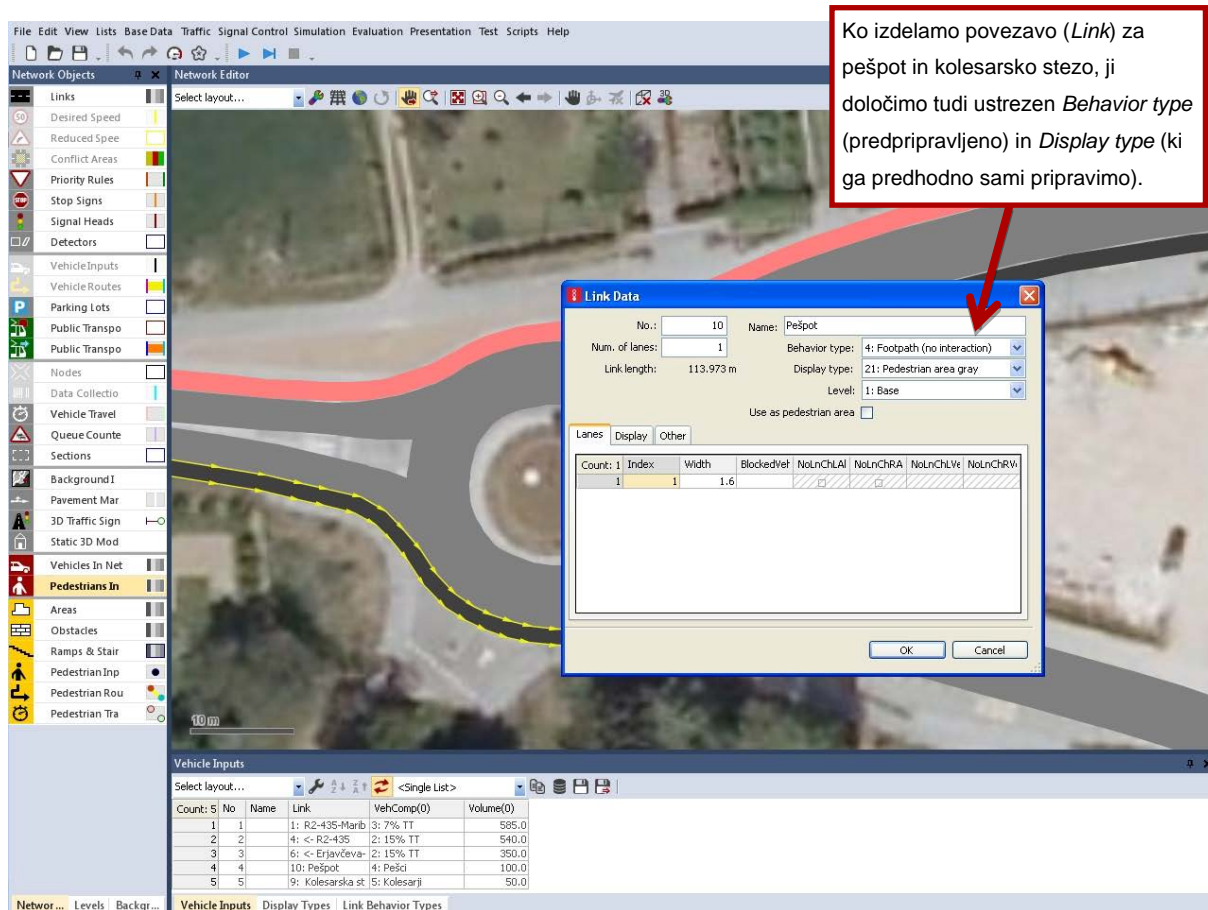
V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepisite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?



- ✓ Za potrebe simulacije pešcev imamo na voljo simulacijo po principu Wiedemannovega modela in kot dodatni modul Viswalk, ki temelji na Social Force Model (Helbing and Molnár, 1995). Več o tem si lahko preberete v poglavju **8. Pedestrian simulation** v priročniku VISSIM 6.0.
- ✓ Na prehodu za pešce je prav tako potrebno določiti pravila prednosti z ukazom *Conflict area*.



Slika 4.31: Določitev barve za kolesarske steze in hodnike za pešce.



Slika 4.32: Določitev tipa in barve prikaza hodnika za pešce.



File/Save as in shranite kot Primer6A.inpx.

Po teoriji prometnega toka naj bi pešci zmanjševali pretočnost krožnega križišča. Povečajte število pešcev na 200 in na 300 (Primer6B.inpx) ter primerjajte rezultate s predhodno simulacijo.

Po končani simulaciji odčitajte v tabeli *Node Results* zaježitveno dolžino na Erjavčevi cesti v smeri proti Rušam *QLenMax* in povprečno zamudo vseh vozil *VehDelay(All)*.

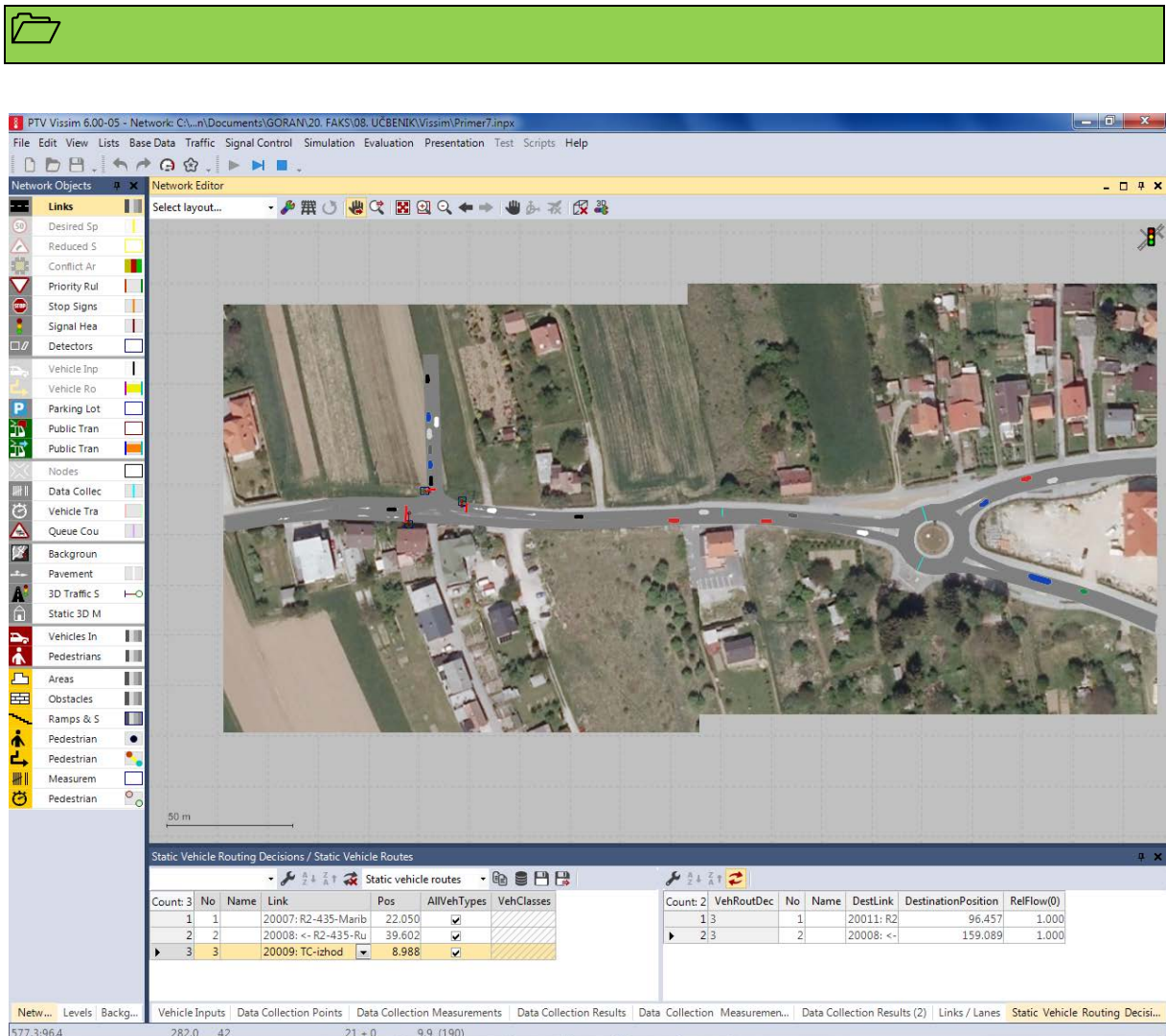
Tabela 4.3: Rezultati simulacije za krak Erjavčeve ceste v smeri Ruše.

Število pešcev (št/h)	<i>QLenMax</i>	<i>VehDelay</i>
100		
200		
300		

V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepišite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?

Primerjajte rezultate simualcije Primer6 in Primer6B na način, da rezultate (*Node Results*) izvozite v Excell in pripravite grafični prikaz za vse prometne smeri za naslednje parametre: *QLen*, *QLenMax*, *VehDelay (All)*, *StopDelay(All)*, *Stops(All)*. Glavne ugotovitve zapišite tukaj:

4.9 PRIMER 7: MEDSEBOJNI VPLIV KRIŽIŠČ



Slika 4.33: Medsebojni vpliv križišč (Primer4 in Primer5A).



Spoznavanje osnov modeliranja medsebojnega vpliva križišč (združevanje dveh že izdelanih primerov). Študent si pomaga z že pripravljenima primeroma Primer4 in Primer5A. Po združitvi dveh primerov je potrebno preveriti osnovne parametre: prometne obremenitve, strukturo vozil, smer potovanja, hitrost.



Rezultat naloge je kapacitetna analiza dveh sosednjih križišč.




File/Open Primer4.inpx.

File/Save as in preimenujte v Primer7.inpx.

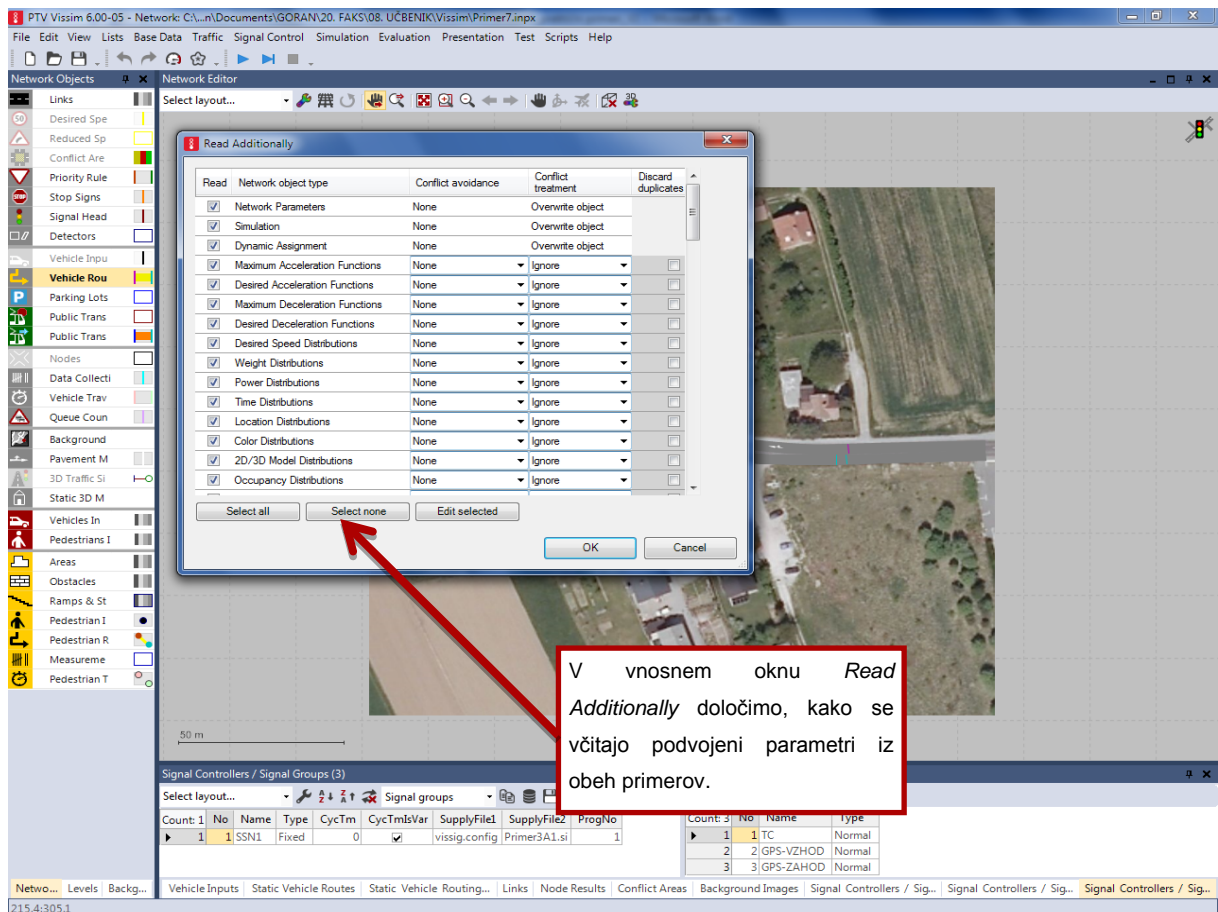
Odprite predhodno pripravljen primer Primer4.inpx in ga shranite kot Primer7.inpx. Sosednje križišče na zahodni strani smo obdelali v Primer5A, ki ga boste dodali na način kot sledi:

1. Za potrebe združitve dveh omrežij imamo na voljo funkcijo *File/Read Additionally/Network...* Odpre se vnosno okno, kjer lahko izberemo, kaj želimo včitati iz "novega" primera, kot prikazuje Slika 4.34.
2. V izogib podvajanju "števil" se odločimo, da se v primeru podvajanja *Vehicle Composition, Links, Vehicle inputs, Static Vehicle Routing*, dodana števila preimenujejo (*Conflict Avoidance: New key at conflict, Conflict treatment: offset: XXX*).
3. Sedaj je potrebno ročno združiti omrežje na mestu stika. Vstavimo novi konektor, kot prikazuje Slika 4.35.
4. Pregledamo novo nastalo omrežje in smo pozorni na morebitne napake pri združevanju: prometne obremenitve, smeri, delež tovornih vozil ... Pomagamo si z "originalnimi" vrednostmi.

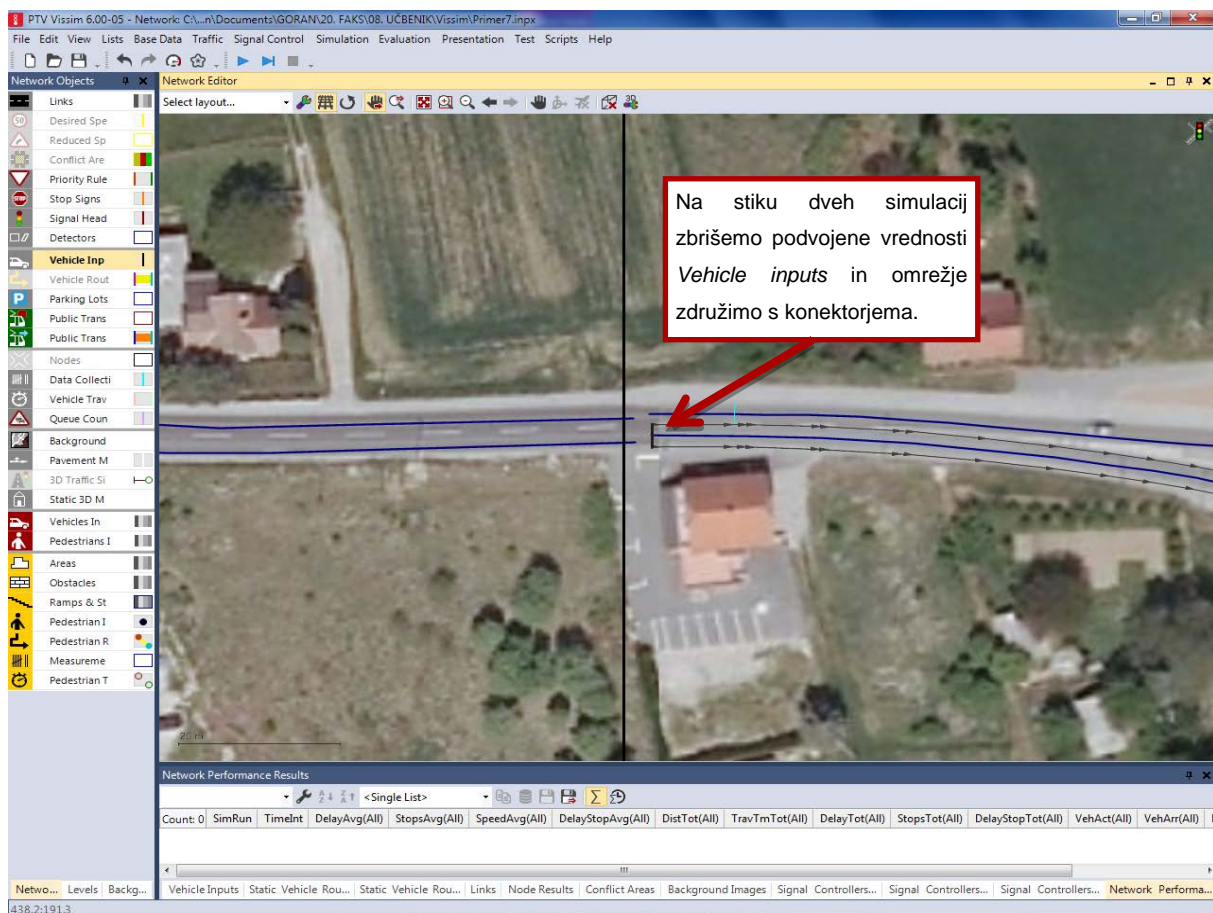
Ne pozabite shraniti in zagnati simulacije z ukazom *Simulation/Continuous* ali ikono , ki se nahaja pod glavnim menijem. Pozorno opazujte simulacijo in poskušajte odkriti morebitne nepravilnosti.

Po končani simulaciji odčitajte vrednosti *Network Performance*.

V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepisite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?



Slika 4.34: Določitev parametrov pri združevanju dveh primerov.



Slika 4.35: Združevanje dveh omrežij s konektorjem.



File/Save as in shranite kot **Primer7A.inpx**.

Povečajte cikel semaforja v križišču K1 iz 60 sek na 75 sek, in sicer 5 sek na račun zelenega časa iz kraka TC ter preostanek časa na račun podaljšanja zelenega signala na GPS.

Po končani simulaciji odčitajte rezultate v tabeli **Network Performance**.

File/Save as in shranite kot **Primer7B.inpx**.

Izdelajte še sami eno optimizacijo (na podlagi opazovanja in numeričnih rezultatov!). Tabela 4.4 je namenjena vnosu rezultatov.

Po končani simulaciji odčitajte rezultate v tabeli **Network Performance**.

Tabela 4.4: Rezultati simulacije za celotno omrežje

Primer	QLenMax	VehDelay
Primer7		
Primer7A		
Primer7B		

V kolikor se vam na koncu simulacije generira *Error* datoteka, jo odprite in prepišite vsebino. Kaj ste opazili pri vizualnem opazovanju odvijanja simulacije in kako lahko to povežete z rezultati (kratko opišite)?

Primerjajte rezultate simulacije Primer7, Primer7A in Primer7B na način, da rezultate za vsako križišče posebej (*Node Results*) izvozite v Excel in pripravite grafični prikaz za vse prometne smeri za naslednje parametre: *QLen*, *QLenMax*, *VehDelay (All)*, *StopDelay(All)*, *Stops(All)*. Glavne ugotovitve zapišite tukaj:

5 LITERATURA

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

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: [Fundamentals of Traffic Simulation](#), [International Series in Operations Research & Management Science](#), 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 Karlsruhe 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 Automatics and Informatics. Torino. 1992.

Viri (dodatna, s strani avtorjev priporočena 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., Kawamura A. Car-following models: An experimental based benchmarking. *Jour. of the Eastern Asia Soc. 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: [10.1016/j.eswa.2013.05.003](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.05.003).

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](https://doi.org/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_Sraml.pdf](http://en.svjme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/SV_JME_54(2008)05_334_346_Sraml.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](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. <http://dkum.uni-mb.si/Dokument.php?id=22498>.

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 Vehicle-following 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.