

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij gradbeništva,
Prometna smer

Kandidat:

Andrej Puljak

Napovedovanje ravni prometne varnosti s pomočjo simulacijskih programov

Diplomska naloga št.: 3112

Mentor:
doc. dr. Tomaž Maher

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ANDREJ PULJAK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»NAPOVEDOVANJE RAVNI PROMETNE VARNOSTI S POMOČJO
SIMULACIJSKIH PROGRAMOV«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, _____2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji prometnotehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42: 656.1.08 (043.2)
Avtor:	Andrej Puljak
Mentor:	prof. dr. Tomaž Maher
Naslov:	Napovedovanje ravni prometne varnosti s pomočjo simulacijskih programov
Obseg in oprema:	105 str., 53 pregl., 45 sl.
Ključne besede:	prometna varnost, SSAM, krožno križišče, Tollazzi, TTC, PET

Izvleček

V diplomski nalogi sta predstavljeni dve metodologiji napovedovanja ravni prometne varnosti. Prva predstavlja programsko orodje SSAM, ki deluje na podlagi simulacijskih modelov, druga metodologija (Tollazzi) pa izhaja iz seštevka vseh možnih konfliktnih situacij, pri čemer dobimo teoretično največje možno število prometno nevarnih situacij (PNS). Obe metodologiji sta bili testirani na konkretnem primeru, in sicer na krožnem križišču v Novem mestu. Poleg dejanskega krožišča je bila narejena še primerjava za izboljšano krožišče in za T- križišče na istih prometnih obremenitvah. Te so bile določene s štetjem prometa na terenu v urnih konicah (jutranja in popoldanska). Za vsak model posebej (3 modeli) je bila narejena analiza prometne varnosti, tako v SSAM-u, kot tudi po metodologiji Tollazzia. Na koncu pa je bila narejena še primerjava med modeli in izbor najboljše variante. Poleg štetja prometa na terenu je bilo opravljeno še snemanje prometnega toka. Iz teh video posnetkov so bile nato opravljene meritve za dva parametra: TTC- čas do trka in PET- priključni čas. Dobljeni vrednosti sta bili vstavljeni v program SSAM, s katerim smo ponovno analizirali dejansko krožišče. Tako smo dobili rezultate še za modificirano dejansko krožno križišče, ki smo ga primerjali z dejanskim krožiščem. Primerjave med posamezni modeli simulacije v SSAM-u so potekale s pomočjo T-testa.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDC: 004.42: 656.1.08 (043.2)
Author: Andrej Puljak
Supervisor: prof. dr. Tomaž Maher
Title: Anticipating the level of road safety
through simulation programmes
Notes: 105 p., 53 tab., 45 fig.
Key words: road safety, SSAM, roundabout

Abstract

The graduation thesis presents two methods to anticipate the level of road safety. The first method used is the SSAM software employing simulation models, while the other method (Tollazzi) is the sum of all possible conflict situations resulting in the theoretically highest number of hazardous situations in traffic (PNS). Both methods were tested on a real-life example, i.e. a roundabout in Novo mesto. The comparison of the modified crossing and T-crossing at the same peak times was conducted in addition to the analysis of the actual roundabout. The values were identified by traffic counting in the field at hourly peaks (morning and afternoon). The road safety analysis was elaborated for each model separately (3 models), both in SSAM as well as in line with Tollazzi's method. Finally, both models were compared and the best variation was selected. In addition to traffic counting in the field, traffic flow was recorded as well. The video recordings formed the basis for measurements of two parameters: TTC- Time-To-Collision and PET-Post-Encroachment Time. The numbers were then inserted in the SSAM programme in order to reanalyse the actual roundabout. The results for the actual modified roundabout were thus obtained and compared with the actual roundabout. The comparisons between both SSAM simulation models were performed on the basis of the T-test.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju, prof. dr. Maher Tomažu, in mag. Marsetič Roku.

Zahvaljujem se tudi Plavan Dejanu, Plut Davidu in Šalinger Suzani za uspešno in potrpežljivo opravljeno štetje prometa, Kobe Heleni pa za pomoč pri urejanju statističnih podatkov, Mlačak Romani za pristno in strokovno lektoriranje.

Zahvala gre tudi staršem in sestri za pomoč in spodbujanje skozi vsa študijska leta.

KAZALO VSEBINE:

1.0 UVOD	1
1.1 Napovedovanje prometne varnosti	3
1.2 Statistični izziv	3
1.3 Nadomestni varnostni ukrepi	5
1.4 Prometni konflikti	6
1.5 SSAM (Surrogate Safety Assessment Model)	6
2.0 DELOVANJE PROGRAMA SSAM	8
2.1 SSAM – delovno okno	8
2.2 Identifikacija konflikta (algoritem)	13
2.3 Prepoznavanje konfliktov	19
2.3.1 Konfliktna točka	19
2.3.2 Konfliktna linija	21
2.3.3 Konfliktna linija trka spredaj – zadaj	23
3.0 NADOMESTNE MERITVE V SSAM	25
4.0 TEORETIČNO OZADJE	32
4.1 Metodologija	32
4.1.1 Vgradnja alternativnih modelov križišč	32
4.1.2 Meritve diskriminacije med modeli	33
4.1.3 Podatki iz ene simulacije	33
4.1.4 Statistični rezultati za več ponovitev	35
4.1.5 Primerjava alternativnih modelov (t-test)	35
4.1.6 Primerjava z napovedano frekvenco nesreč	38
4.2 T - KRIŽIŠČE	40

4.3 KROŽNO KRIŽIŠČE	41
4.4 Primerjava ranga križišč po konfliktih in frekvencah nesreč	43
4.5 Uskladitev enot	44
4.6 Prekrivajoča se vozila v .trj podatkih	45
5.0 NAPOVEDOVANJE NESREČ	47
5.1 Namen in primerjava	47
5.2 Občutljivost na simulacijske programe	48
6.0 IZRAČUN RAVNI PROMETNE VARNOSTI KRIŽIŠČ (Tollazzi)	49
6.1 Konfliktne točke	52
7.0 NAPOVEDOVANJE PROMETNE VARNOSTI NA KONKRETNEM PRIMERU	56
7.1 Opis izbranega krožnega križišča	56
7.2 Prometne obremenitve	57
7.3 SIDRA Intersection	61
7.4 Analiza obstoječega stanja	64
7.4.1 PTV Vision – VISSIM	64
7.4.2 Napovedovanje ravni prometne varnosti	66
7.4.2.1 SSAM	66
7.4.2.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)	71
7.5 Primerjalna analiza – izboljšava krožnega križišča	73
7.5.1 PTV Vision – VISSIM	75
7.5.2 Napovedovanje ravni prometne varnosti	75
7.5.2.1 SSAM	75
7.5.2.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)	79
7.6 Primerjalna analiza – T- križišče, semaforizirano	82

7.6.1 SIDRA Intersection	83
7.6.2 PTV Vision – VISSIM	86
7.6.3 Napovedovanje ravni prometne varnosti	87
7.6.3.1 SSAM	87
7.6.3.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)	90
7.7 Medsebojna primerjava v ravni prometne varnosti: dejansko krožišče, izboljšano krožišče in T- križišče	92
7.7.1 SSAM	93
7.7.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)	99
8.0 MERITVE, OPRAVLJENE S POMOČJO KAMERE	101
9.0 ZAKLJUČEK	109

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Število prometnih nesreč	2
Preglednica 2: Število prometnih nesreč glede na dejavnik	2
Preglednica 3: Podatki konfliktnih dogodkov za vsako ponovitev	34
Preglednica 4: Glavne varnostne meritve za vsak konfliktni tip	35
Preglednica 5: Primer rezultatov T-testa za število konfliktnih dogodkov	37
Preglednica 6: Primer rezultatov T-testa za povprečno vrednost TTC	38
Preglednica 7: Primer rangiranih podatkov	43
Preglednica 8: Število konfliktnih točk v odvisnosti od tipa križišč in vrste konfliktna situacije	53
Preglednica 9: Jutranja in popoldanska konica prometne obremenitve	59
Preglednica 10: Jutranja konica	61
Preglednica 11: Popoldanska konica	62
Preglednica 12: Obstoječe stanje – jutranja konica	64
Preglednica 13: Obstoječe stanje – popoldanska konica	64
Preglednica 14: Rezultati meritev SSAM	66
Preglednica 15: Število konfliktov	67
Preglednica 16: Rezultati meritev SSAM	68
Preglednica 17: Število konfliktov	68
Preglednica 18: Prikaz števila konfliktnih situacij glede na prometni tok	70
Preglednica 19: Izboljšano stanje – jutranja konica	72
Preglednica 20: Izboljšano stanje – popoldanska konica	72
Preglednica 21: Rezultati meritev SSAM	73
Preglednica 22: Število konfliktov	

Preglednica 23: Rezultati meritev SSAM	74
Preglednica 24: Število konfliktov	75
Preglednica 25: Prikaz števila konfliktnih situacij glede na prometni tok	75
Preglednica 26: Jutranja konica	77
Preglednica 27: Popoldanska konica	80
Preglednica 28: T-križišče – jutranja konica	81
Preglednica 29: T-križišče –popoldanska konica	82
Preglednica 30: Rezultati meritev SSAM	83
Preglednica 31: Število konfliktov	84
Preglednica 32: Rezultati meritev SSAM	84
Preglednica 33: Število konfliktov	85
Preglednica 34: Varianta križišč	85
Preglednica 35: Jutranja konica	87
Preglednica 36: Popoldanska konica	87
Preglednica 37: T-test parametri	88
Preglednica 38: Dejansko krožišče – Izboljšano krožišče	89
Preglednica 39: Dejansko krožišče – T-križišče	89
Preglednica 40: Izboljšano krožišče - T-križišče	90
Preglednica 41: Dejansko krožišče – Izboljšano krožišče	90
Preglednica 42: Dejansko krožišče – Izboljšano krožišče	91
Preglednica 43: Izboljšano krožišče – T-križišče	91
Preglednica 44: Primerjava variant glede na število konfliktov	91
Preglednica 45: Primerjava variant glede na število konfliktov	92
Preglednica 46: Varianta križišč - PNS	92

Preglednica 47: Primerjava posameznih rešitev glede na PNS	94
Preglednica 48: Merjene vrednosti TTC in PET	94
Preglednica 49: Modificirano dejansko krožišče – dejansko krožišče	97
Preglednica 50: Modificirano dejansko krožišče – dejansko krožišče	99
Preglednica 51: Primerjava variant glede na število konfliktov	99
Preglednica 52: Primerjava variant glede na število konfliktov	100
Preglednica 53: Primerjava vrednosti TTC in PET	100
	101

KAZALO SLIK:

Slika 1: Shematičen prikaz normalne porazdelitve	4
Slika 2: Pretok informacij pri uporabi SSAM	8
Slika 3: Delovni prostor v SSAM	9
Slika 4: Konfliktni detajli (Conflicts)	10
Slika 5: Povzetek (Summary)	11
Slika 6: Filter screen	12
Slika 7: Preglednica Excel	13
Slika 8: Mreža	14
Slika 9: Časovna odvisnost poti vozila A	15
Slika 10: Prikaz odnosa vozila A – vozila B	16
Slika 11: Konflikt vozila A – vozilo B	17
Slika 12: Konflikt pri $TTC = 1.3$	19
Slika 13: Nadomestne meritve konflikte točke	20
Slika 14: Nadomestne meritve konflikte linije	22
Slika 15: Nadomestna identifikacija trka spredaj - zadaj	24
Slika 16: Konfliktne točke v nivojskem semaforiziranem 4-krakem križišču	50
Slika 17: Konfliktne točke za T – križišče in krožišče	52
Slika 18: Tip konfliktov	52
Slika 19: Konfliktne točke v krožnih križiščih	54
Slika 20: Tloris krožnega križišča Novo mesto	55
Slika 21: Prometni tokovi	56
Slika 22: Prometni tokovi, štetje prometa	57

Slika 23: Oznaka krakov krožišča	58
Slika 24: Analizirano krožišče	60
Slika 25: Izsek iz simulacije krožišča - Novo mesto	63
Slika 26: Konfliktne točke za 1 iteracijo- SSAM	65
Slika 27: Filtrirano območje	66
Slika 28: Konfliktne točke za 1 iteracijo - SSAM	67
Slika 29: Teoretične konfliktne točke krožišča – dejansko	69
Slika 30: Izboljšava krožnega križišča	71
Slika 31: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM	73
Slika 32: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM	74
Slika 33: Teoretične konfliktne točke krožišča - izboljšano	76
Slika 34: Semaforizirano T-križišče	78
Slika 35: Fazni diagram T-križišča	79
Slika 36: Izsek iz simulacije T-križišča - Novo mesto	82
Slika 37: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM	83
Slika 38: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM	85
Slika 39: T-križišče, SSN – tri faze	86
Slika 40: Shematski prikaz konfliktov iz SSAM-a	93
Slika 41: Shematski prikaz konfliktov iz SSAM-a	93
Slika 42: Zorni kot kamere	95
Slika 43: Pogled skozi kamero	95
Slika 44: Diagram v odvisnosti časa od razdalje do konfliktne točke	96
Slika 45: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM	98

1.0 UVOD

Znanost in tehnologija s področja prometa se razvijata v smeri zmanjševanja negativnih vplivov na okolje, zmanjševanja stroškov uporabnikov in upravljavcev cestne infrastrukture, predvsem pa v smeri zagotavljanja boljše prometne varnosti.

Nesreče motornih vozil so najpogostejši vzrok smrti v starosti od 3 do 33 let. Pri tem gre za kompleksni dogodek, ki je pogosto posledica več dejavnikov. Bistveni dejavniki (NHTSA, 2002), ki prispevajo k nesrečam so: človeško vedenje (cca. 94%), ceste (cca. 34%) in napake na vozilih (cca. 12%). Transportna združenja, ki se zavedajo pomembnosti varnosti na cestah, v glavnem uporabljajo statistične analize na podlagi zgodovinskih potekov nesreč. Ta analiza se uporablja kot merilo za merjenje varnosti križišč, vozlišč in ostalih prometnih območij. Kadar se ugotovi, da ima določena lokacija nenavadno visoko frekvenco nesreč, je le-ta predmet preiskave in možne sanacije. Žal ta proces sanacije cest predstavlja velik odmik od dejanske realizacije reševanja nesreč. Tako je nastala potreba po učinkovitejšem upravljanju in ocenitvi varnosti prometnih vozlišč.

Spodnji dve preglednici (preglednici 1, 2) prikazujeta statistične podatke za prometne nesreče v Sloveniji. Podatki so zbrani za obdobje 5 let. Tabela 1 prikazuje prometne nesreče glede na vrsto nesreče (smrt, telesna poškodba, materialna škoda) in leto dogodka. Iz same tabele je razviden padec števila prometnih nesreč z leti. Razlogov za to je več (ostrejši nadzori policije, odpravljanje »črnih točk« na cestah, boljši pristopi k projektiranju, ki jih omogočajo sodobni programi in s tem zmanjšujejo projektantske napake itd.). Vsi ti razlogi stremijo k enemu cilju, t.j. povečanje prometne varnosti. V Pravilniku o projektiranju cest (Ur.l. RS, št. 91/05) je že v 1. členu opredeljeno, da se prometna varnost zagotavlja z upoštevanjem tehničnih zahtev, pogojev in normativov, ki jih ta pravilnik določa.

Eden od dejavnikov, ki vpliva na prometne nesreče, je tudi neupoštevanje pravil o prednosti. Ta se nanaša na nesreče v križiščih. Tudi tukaj lahko ugotovimo, da število nesreč z leti upada (preglednica 2). Kljub temu lahko traja leta, da na eni specifični lokaciji z manjšo frekvenco nesreč (ki se izidejo z lažjimi oz. težjimi poškodbami) odkrijejo potrebo po sanaciji ceste ali spremenijo strategijo prometne ureditve.

- Prometne nesreče za Slovenijo v obdobju 5 let:

	Število prometnih nesreč	Število prometnih nesreč s smrtnim izidom	Število prometnih nesreč s telesno poškodbo	Število prometnih nesreč z materialno škodo
2005	31.669	229	10.343	21.097
2006	32.130	233	11.407	20.490
2007	31.001	264	11.435	19.302
2008	23.310	200	8.982	14.128
2009	20.833	154	8.593	12.086
rast/padec glede na 2009 (%)	-29	-33	-18	-36

Preglednica 1: Število prometnih nesreč

(Vir: <http://www.policija.si/index.php/statistika/prometna-varnost>)

- Dejavnik prometnih nesreč:

Neupoštevanje pravil o prednosti	Mrtvi	Hudo telesno poškodovani	Lahko telesno poškodovani
2005	36	251	2884
2006	39	245	3461
2007	39	235	3381
2008	36	220	2809
2009	22	219	2908
rast/padec glede na 2009 (%)	-41	-8	-7

Preglednica 2: Število prometnih nesreč glede na dejavnik

(Vir: <http://www.policija.si/index.php/statistika/prometna-varnost>)

1.1 Napovedovanje prometne varnosti

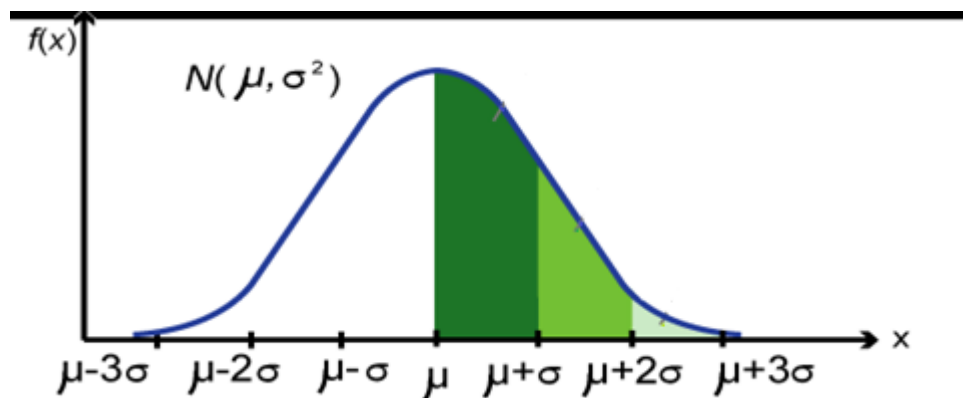
Model napovedovanja prometne varnosti se najpogosteje uporablja za oceno pričakovanega števila nesreč na leto za dano prometno situacijo. Ta je odvisen od več prometnih dejavnikov (PLDP, geometrije križišča in prometne ureditve). Točnost reprezentativnih napovedovalnih crash-modelov, še posebej v križiščih, je lahko dokaj variabilna. Vogt (A. Vogt and J.G. Bared, 1998) je v svoji študiji (205 rural California and Michigan intersections of various types) ugotovil, da lahko korelacijo med napovedano nesrečo in dejansko stopnjo nesreče izrazimo s koeficientom R^2 . Ta se giblje v mejah med 0,31 in 0,50, odvisen pa je predvsem od tipa križišča in v povprečju znaša 0,41. Tako ostaja precej nepojasnjenih razlik v napovedovanju »normalnih« stopenj nesreč v danem križišču.

Kljub temu pa točnost ocenjene stopnje »normalnih« nesreč ne predstavlja največjega izziva. Narava pojava prometnih nesreč motornih vozil je precej kompleksna, saj kaže tako na spremenljivo kot tudi redko pojavljanje, zato lahko traja zbiranje podatkov o prometnih nesrečah več let. Šele te podatke je potem možno razumno analizirati in določiti osnovno stopnjo varnosti lokacije.

1.2 Statistični izziv

Statistični izziv narave prometnih nesreč se lahko oceni z upoštevanjem nekaterih naslednjih opisanih primerov:

Letno štetje nesreč (podobno kot urno štetje prometa) je mogoče precej dobro približati z normalno porazdelitvijo (Ivan Vidav, 1975). Matematično upanje (σ, μ) – normalno porazdeljene slučajne spremenljivke - je μ , medtem ko je njena disperzija enaka σ^2 . Svoj maksimum zavzame v točki $t = \mu$ in ima prevoja v točkah $t = \mu \pm \sigma$. Če narišemo diagram gostote verjetnosti porazdelitve P , potem karakteristična vrednost P_k običajno predstavlja 95% fraktilo predpostavljene statistične porazdelitve. To pomeni, da obstaja npr. 95-odstotna verjetnost, da v določenem časovnem obdobju vrednost P ne bo preseгла karakteristične vrednosti P_k .



Slika 1: Shematičen prikaz normalne porazdelitve

(Vir: <http://www.etfos.hr/~akolundzic/slika-normalna-razdioba-ses.gif>)

Npr. za križišča s povprečnim številom nesreč (100) v določenem časovnem obdobju bi lahko rekli, da bo za večino teh križišč (okoli 95% od njih) odstopanje 5% (80-120 nesreč).

Kriterij prometne varnosti se praviloma oceni kot letna stopnja. Križišča imajo na splošno veliko manj kot 100 nesreč letno. V zgoraj omenjeni študiji Vogt (A. Vogt and J.G. Bared, 1998) obdela 49 križišč, za katere se izkaže, da znaša povprečna stopnja nesreč približno 20 na leto. Da bi se zgodilo 100 nesreč, bi tako za vsako izmed teh križišč potrebovali približno 5 let. Ne glede na to pa Vogtova študija zajema 3-letno obdobje prometnih nesreč. Podatki so tako zbrani za vsako križišče (49), kar v povprečju znese 60 nesreč. Ta predpostavka temelji na tem, da imamo v povprečju 20 nesreč letno (v obdobju 3 let to znese med 45 – 75; tj. 25% odstopanja od srednje vrednosti). Vogt je prav tako preučeval 84 nesignaliziranih križišč, kjer so se v povprečju zgodile 4 nesreče letno. V tem primeru bi potrebovali 25 let, da se zgodi dovolj nesreč (100). Večina križišč (čeprav z enako stopnjo varnosti) bi se razlikovala za manj kot 20% od srednje vrednosti. S samo 3-letnim opazovanjem, v katerem se zgodi v povprečju 12 nesreč letno, bi lahko prišli do zaključka (ob predpostavki, da imajo vsa križišča enako stopnjo nesreč, tj. 4 letno), da se na večini križišč zgodi med 5 do 19 nesreč (58% od povprečja). Tako redka in spremenljiva narava nesreč predstavlja pomemben izziv pri natančnem določanju osnovne stopnje nesreč. Problem je veliko težji pri področjih z zelo majhnim številom nesreč (majhna frekvenca), kot so npr. podeželska križišča.

25-letno zbiranje podatkov o prometnih nesrečah je seveda nepraktično, pri čemer je malo verjetno, da bodo osnovne prometne razmere ostale nespremenjene. Zaradi pomanjkanja podatkov za natančno in hitro analizo se sanirajo samo križišča z največjim številom nesreč.

1.3 Nadomestni varnostni ukrepi

Pojem nadomestni varnostni ukrepi – ostale meritve - razen frekvence dejanskih nesreč – je zanimiv pri obravnavi naslednjih potreb:

- Obstaja potreba po zmožnosti ocenitve varnosti cestnega omrežja brez čakanja na statistično »nenormalno« ali »povečano« število prometnih nesreč.
- Obstaja potreba po zmožnosti ocenitve varnosti eksperimentalno projektiranih cest in/ali uporabnih strategij preden so te dejansko zgrajene na določenem območju.

Več nadomestnih varnostnih meritev je bilo predlaganih v literaturi in pregledanih s strani Gettmana in Heada (FHWA-RD-03-050 – nadomestne varnostne meritve iz prometnih simulacij). Te so:

- zamuda in čas potovanja
- hitrost približevanja
- odstotek ustavljanja
- dolžina kolon
- prihodi na stop črto
- kršitve rdeče luči
- odstotek levih zavijalcev
- distribucija hitrosti
- distribucija pojemka

Najbolj razširjena literatura v nadomestnih meritvah je povezava s tehnikami prometnih nesreč, ki je osredotočena na opazovanje same nesreče.

1.4 Prometni konflikti

Konflikt je opredeljen kot opazovano stanje, v katerem se dva ali več udeležencev v cestnem prometu približujeta drug drugemu. To se dogaja v takšnem času in prostoru, da obstaja nevarnost trčenja, če njihovo gibanje ostane nespremenjeno.

Opazovalec na terenu identificira konflikte v križišču z opazovanjem močnih zaviranj kot tudi spretnih manevrov. Metoda ima dolgo zgodovino razvoja. Uradno se je začela razvijati v poznih 60-ih letih prejšnjega stoletja v raziskovalnih laboratorijih General Motorsa (GM). Metoda je pokazala nekatere povezave s prometnimi nesrečami. Še vedno pa ostaja dilema v povezavi z meritvami nesreč in njihovim napovedovanjem. Glavna kritika te metode je subjektivno opazovanje na terenu, ki povzroča dodatno negotovost v zbirki točnih podatkov o nesrečah.

Kljub temu se študije konfliktov še vedno uporabljajo za določanje stopnje varnosti lokacije in temu ustrezne potrebe po sanaciji le-teh. Obstaja splošni konsenz, da višja stopnja prometnih nesreč lahko kaže na nižjo stopnjo varnosti za določen del. Poleg uporabe vseh štetij konfliktov je konfliktni dogodek lahko kategoriziran tudi glede na tip voznega manevriranja (prehod, trk spredaj - zadaj in sprememba voznega pasu) in meritve resnosti dogodka.

V tej študiji je bilo ugotovljeno, da je razmerje med prometnimi konflikti in dejanskimi nesrečami približno 20.000 proti 1. Tako se prometni konflikti pojavljajo z določeno frekvenco, da premostijo statistične izzive, ki temeljijo na redkih nesrečah. Glede na dejstvo, da se lahko podatki o ustreznih konfliktih zberejo v relativnem kratkem času, analize konfliktov niso problematične za spreminjanje osnovnih pogojev (npr. prometni volumen in cestni pogoji), ki vplivajo na dolgi rok zapisov konfliktov.

1.5 SSAM (nadomestni varnostni model – Surrogate Safety Assessment Model)

Pri analizi novih in inovativnih modelov prometnih objektov se mikroskopske simulacije prometa pogosto uporabljajo za napovedovanje učinka preden so postavljeni v realnem svetu.

Simulacijska orodja so zelo pomembna pri ocenjevanju relativne uspešnosti enega modela v primerjavi z drugim. Z vidika varnostnih ukrepov pa obstoječe simulacije ne zagotavljajo potrebnih smernic analitikom.

Uporaba nadomestnih metod za oceno varnosti je predstavljena v razpravi o metodologiji in priporočilu (FHWA-RD-03-050). Študija priporoča kombinacijo prometne simulacije in prometne analize konfliktov za izdelavo programske opreme, ki naj bi bila realizirana v projektu SSAM. Razvoj programske opreme vključuje naslednje naloge:

- Določiti zahtevane podatke in razviti »univerzalni« zapis - trajektorij podatka – ki bi ga zlahka podpirali vsi glavni simulacijski programi in ki bi se tudi lahko uporabljal za podatkovne nize v realnem svetu.
- Razviti algoritemski pristop, ki bo sočasno opredelil zahtevane podatke za učinkovito prepoznavanje in razvrščanje konfliktov in izračunal vrsto zelenega nadomestnega varnostnega ukrepa za takšen dogodek.
- Zagotoviti osnovno vizualizacijo in statistične nize za izdelavo analiz in poročil.
- Dodati podporo SSAM simulacijam preko podprtega .trj formata.

SSAM je združljiv z naslednjimi simulacijskimi programi:

- AIMSUN
- Paramics
- TEXAS
- VISSIM

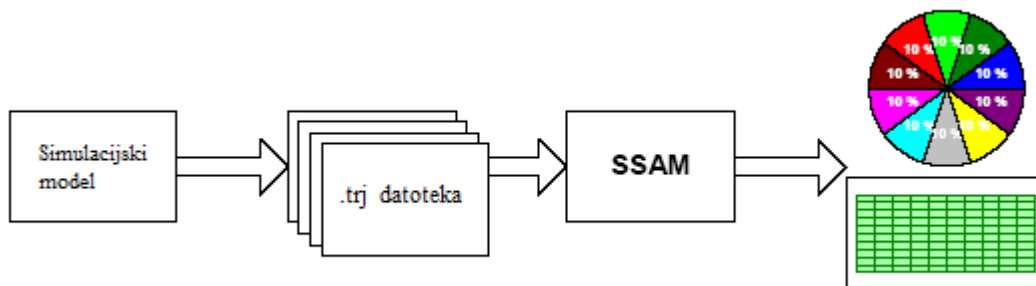
2.0 DELOVANJE PROGRAMA SSAM

Programska oprema SSAM je oblikovana tako, da procesira ugotovljene konflikte in izračuna nadomestne varnostne ukrepe.

2.1 SSAM – delovno okno

Pri delovnem oknu SSAM gre za pregled uporabe programske opreme SSAM od sledenja pretoka informacij preko različnih vhodnih podatkov, nalog oz. operacij do rezultatov izhodnih podatkov.

SSAM deluje tako, da obdeluje podatke, ki opisujejo trajektorije vozil, ki vozijo skozi križišča, in identificira konflikte. Trajektorije vozil vhodnih podatkov za SSAM so ustvarjene s simulacijsko programsko opremo v obliki zapisa .trj datoteke (posebej izdelano za SSAM). SSAM izračuna nadomestne varnostne ukrepe, ki ustrezajo vsaki interakciji med dvema voziloma. Tako določa, ali vsaka od teh interakcij izpolnjuje merila, da se lahko uradno šteje kot konflikt. Preglednice vseh ugotovljenih konfliktov in ustreznih nadomestnih varnostnih ukrepov so nato predstavljene uporabniku. Slika 2 prikazuje potek dela za uporabo SSAM.

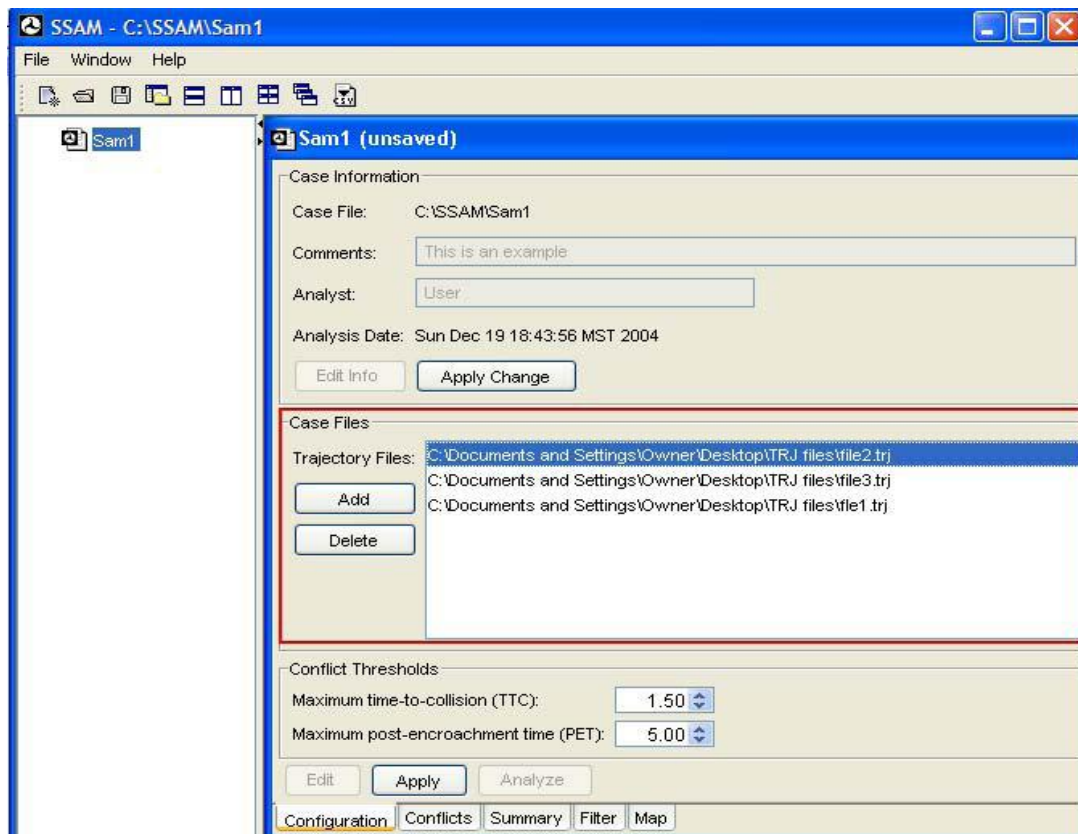


Slika 2: Pretok informacij pri uporabi SSAM

(Vir: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/06.cfm>)

Uporabnik najprej naredi simulacijski model v zgoraj naštetih primernih programih. V simulacijskem programu nato izvozi podatke kot .trj datoteko (trajektorije) in zažene samostojno aplikacijo SSAM. Uporabnik definira nov primer za analizo z uporabo orodne vrstice (File – New) ali pa odpre obstoječi zapis. Uporabniški vmesnik v levem podoknu omogoča drevesni pregled vseh obstoječih dokumentov (glej sliko 3). Eden ali več

dokumentov je lahko prikazan v delovnem prostoru v desnem podoknu (glej sliko 3). Slika 3 prikazuje primer dokumenta, kjer so različni pogledi ustreznih vhodnih in izhodnih podatkov organizirani v večtabelni obliki. Zavitek Configuration (konfiguracija), ki je prikazan na sliki 3, uporabniku še posebej omogoča brskanje po datotečnem sistemu. Tam lahko izbere več .trj datotek za obdelavo v obravnavanem primeru.



Slika 3: Delovni prostor v SSAM

Programska oprema uporablja dve mejni vrednosti za varnostne meritve, ki interakcijo med dvema voziloma uvrsti kot konflikt. Ti dve vrednosti se prikazeta kot:

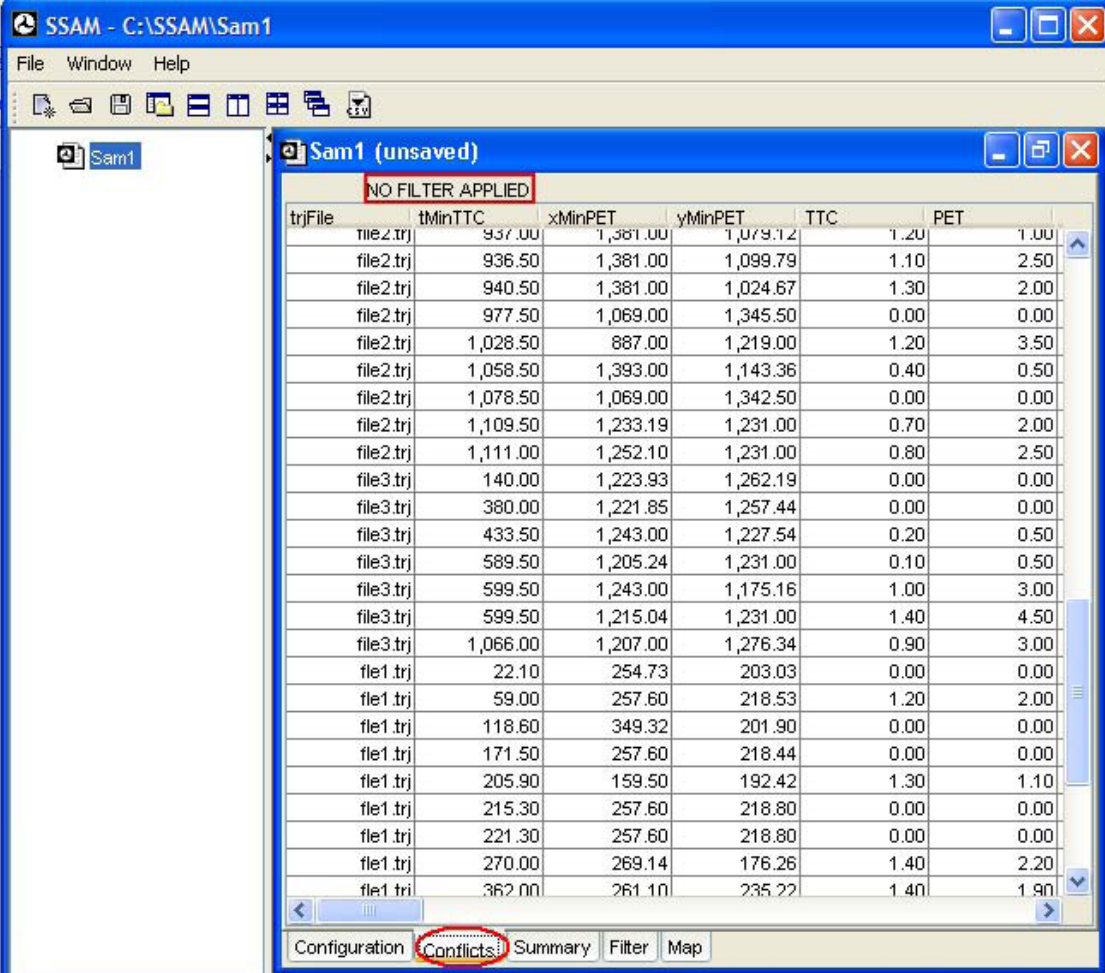
- Čas do trka (Time - to - collision oz. TTC)
- Priključni čas (Post - encroachment time oz. PET)

Programska oprema ima privzete mejne vrednosti za te ukrepe, ki pa jih lahko uporabnik tudi sam namesti. Programska oprema npr. uporablja privzeto vrednost TTC 1,5 sekunde (kot je to

predlagano v prejšnjih raziskavah). Mejna vrednost PET pa je privzeta po Hydenovi raziskavi (Hyden, C., 1987).

Ko so mejne vrednosti identifikacije spora določene, uporabnik pritisne gumb »analiziraj«. S tem se simulacijski podatki (trajektorije) obdelajo.

Vsak konflikt, ugotovljen med analizo (vključno s podatki iz trajektorijev vseh ustreznih ponovitev simulacije), je naveden v tabeli (konfliktni detajli – conflicts) slika 4.



trjFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET
file2.trj	937.00	1,381.00	1,079.12	1.20	1.00
file2.trj	936.50	1,381.00	1,099.79	1.10	2.50
file2.trj	940.50	1,381.00	1,024.67	1.30	2.00
file2.trj	977.50	1,069.00	1,345.50	0.00	0.00
file2.trj	1,028.50	887.00	1,219.00	1.20	3.50
file2.trj	1,058.50	1,393.00	1,143.36	0.40	0.50
file2.trj	1,078.50	1,069.00	1,342.50	0.00	0.00
file2.trj	1,109.50	1,233.19	1,231.00	0.70	2.00
file2.trj	1,111.00	1,252.10	1,231.00	0.80	2.50
file3.trj	140.00	1,223.93	1,262.19	0.00	0.00
file3.trj	380.00	1,221.85	1,257.44	0.00	0.00
file3.trj	433.50	1,243.00	1,227.54	0.20	0.50
file3.trj	589.50	1,205.24	1,231.00	0.10	0.50
file3.trj	599.50	1,243.00	1,175.16	1.00	3.00
file3.trj	599.50	1,215.04	1,231.00	1.40	4.50
file3.trj	1,066.00	1,207.00	1,276.34	0.90	3.00
file1.trj	22.10	254.73	203.03	0.00	0.00
file1.trj	59.00	257.60	218.53	1.20	2.00
file1.trj	118.60	349.32	201.90	0.00	0.00
file1.trj	171.50	257.60	218.44	0.00	0.00
file1.trj	205.90	159.50	192.42	1.30	1.10
file1.trj	215.30	257.60	218.80	0.00	0.00
file1.trj	221.30	257.60	218.80	0.00	0.00
file1.trj	270.00	269.14	176.26	1.40	2.20
file1.trj	362.00	261.10	235.22	1.40	1.90

Slika 4: Konfliktni detajli (Conflicts)

Tabela konfliktov prikazuje vse podrobnosti, vključno s časom, lokacijo in vsemi nadomestnimi varnostnimi ukrepi za posamezen konflikt.

SSAM nudi tudi statistični povzetek podatkov (povzetek - summary), slika 5. Ta vključuje število različnih vrst konfliktov za vsako simulacijo posebej (skupne vrednosti kot tudi povprečje). Poleg tega so predstavljene povprečne vrednosti vsakega predlaganega nadomestnega ukrepa.

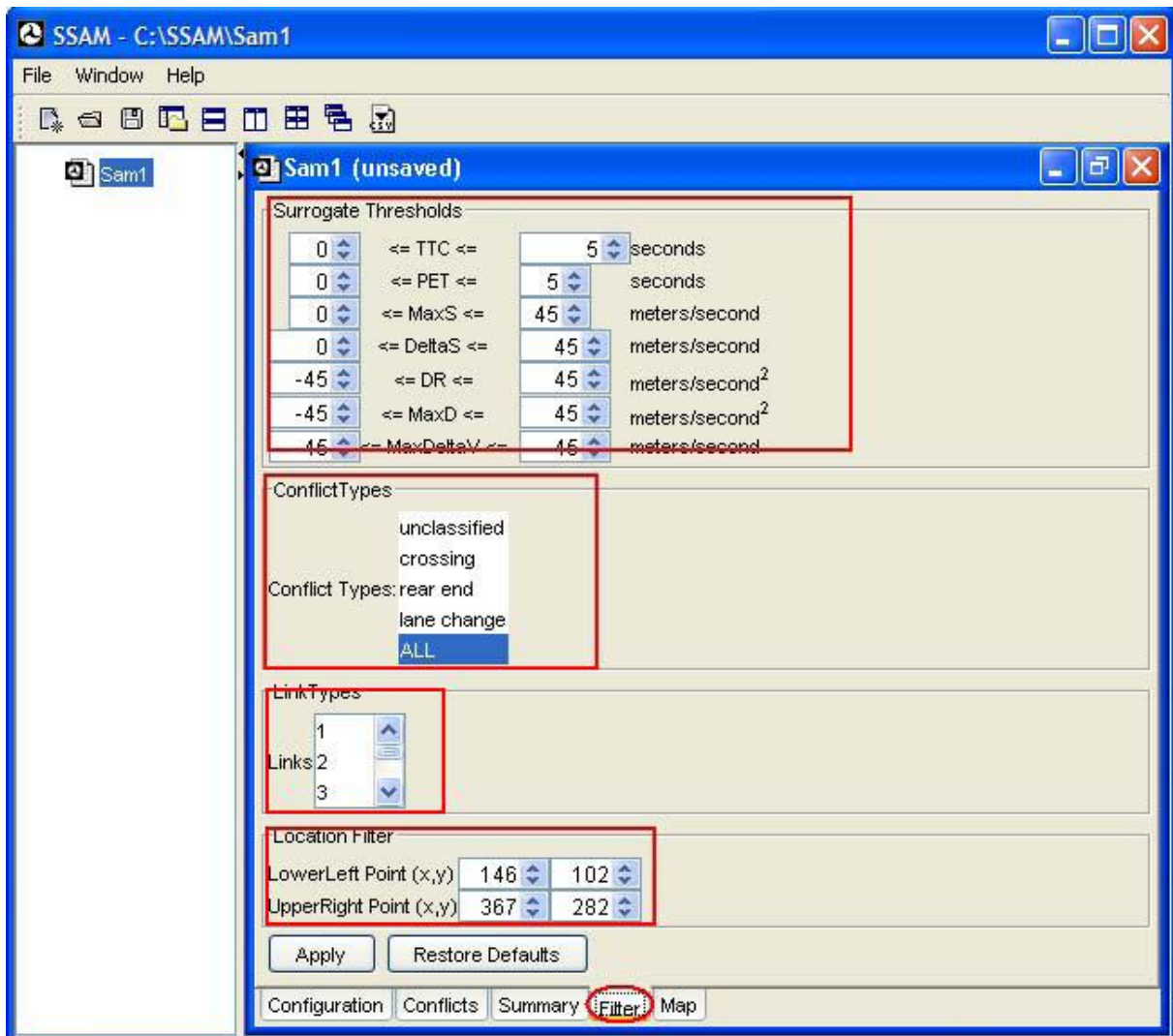
NO FILTER APPLIED

Sum...	SSA...	Min	Max	Mean	Vari...	Sum...	Total	Uncla...	Cros...	RearE...	Lane...
Sum...	SSA...	Min	Max	Mean	Vari...	Unfilt...	78	0	9	45	24
Unfilt...	TTC	0.00	1.50	0.74	0.35	Unfilt...	52	0	2	30	20
Unfilt...	PET	0.00	4.50	1.63	1.93	Unfilt...	7	0	5	2	0
Unfilt...	MaxS	3.08	44.30	16.59	121.01	Unfilt...	19	0	2	13	4
Unfilt...	DeltaS	0.19	40.34	12.07	99.21						
Unfilt...	DR	-22.50	3.51	-5.00	31.37						
Unfilt...	MaxD	-28.15	3.51	-7.93	46.80						
Unfilt...	Max...	0.11	45.64	8.13	77.83						
Sum...	SSA...	Min	Max	Mean	Vari...						
Unfilt...	TTC	0.00	1.50	0.75	0.35						
Unfilt...	PET	0.00	4.50	1.74	1.93						
Unfilt...	MaxS	3.08	40.96	18.25	122.28						
Unfilt...	DeltaS	0.19	40.34	13.67	113.69						
Unfilt...	DR	-19.94	3.51	-5.06	28.34						
Unfilt...	MaxD	-19.94	3.51	-8.77	33.85						
Unfilt...	Max...	0.11	25.45	7.41	59.60						
Sum...	SSA...	Min	Max	Mean	Vari...						
Unfilt...	TTC	0.00	1.40	0.51	0.33						
Unfilt...	PET	0.00	4.50	1.64	3.31						
Unfilt...	MaxS	15.13	44.30	27.75	87.88						
Unfilt...	DeltaS	5.68	31.61	18.00	76.25						
Unfilt...	DR	-22.50	1.03	-10.80	85.67						
Unfilt...	MaxD	-28.15	1.03	-15.49	137.48						

Configuration Conflicts Summary Filter Map

Slika 5: Povzetek (Summary)

SSAM vključuje tudi orodje za filter (slika 6). S konfiguracijo parametrov filtra ima uporabnik bolj nazoren pregled nad podatki (npr. z ukazom »prikaži mi vse trke od spredaj, kjer je bila hitrost višja od 40 km/h in so se pojavili v pasu 3 avtoceste A1« se v povzetku statistike nato pojavijo samo podatki, ki so bili zajeti v filtru).



Slika 6: Filter

SSAM podpira tudi možnost prenosa analiz in ustvarjenih poročil v preglednicah v samostojno aplikacijo, kot je npr. Microsoft Excel. Tabele se lahko tudi izvozijo v .csv format (comma separated values) kot univerzalna oblika zapisa podatkov, ki se potem lahko uvažata v druge statistične aplikacije za nadaljnjo obdelavo oz. izdelavo poročil, grafikonov itd. (slika 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	trjFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	Max
2	File2.trj	99.5	964.5	1195	1	3	7.919792	7.919792	-6.58773	-7.39781	5.9
3	File2.trj	119.5	1198.838	1219	1.1	3	15.82899	12.69065	-13.0361	-16.7095	6.3
4	File2.trj	121.5	1177.701	1219	0.4	1.5	6.025633	4.953133	-18.0198	-18.0198	2.8
5	File2.trj	166.5	1527.528	1243	1.4	3.5	40.95955	5.851219	-1.05229	-5.00486	3.2
6	File2.trj	168	1474.936	1243	0.8	3	10.868	9.434204	-19.9445	-19.9445	5.2
7	File2.trj	182.5	1069	1384.864	0	0	12.19132	12.19132	-4.51134	-5.02537	7.1
8	File2.trj	197	1069	1384.864	0	0	17.31583	17.31583	0	0	3.4
9	File2.trj	201	1069	1384.864	0	0	14.63589	14.62201	-4.64002	-9.28001	7.0
10	File2.trj	205	1069	1384.819	1	3	10.72647	10.70993	-2.87853	-5.87853	5.9
11	File2.trj	303	1495.092	1243	0.6	1.5	30.72646	29.65388	-9.0735	-17.0224	15.6
12	File2.trj	411.5	1381	1070.587	0	0	16.88535	11.69654	0.579327	0.579327	5.5
13	File2.trj	439.5	1069	1325.5	0	0	33.77645	33.77645	-3.16165	-3.16165	18.7
14	File2.trj	439	1069	1345.5	0	0	37.23275	37.23275	-7.55451	-7.55451	21
15	File2.trj	448.5	1085.553	1224.194	0	0	39.21186	22.15295	-4.21645	-17.4217	16.4
16	File2.trj	450.5	1263.707	1231	0.4	1.5	13.5407	13.5407	-18.4921	-19.9127	7.1
17	File2.trj	449.5	1306.591	1231	1.5	2.5	30.4952	8.944355	-0.64072	-13.0993	2.4
18	File2.trj	454.5	1303.746	1231	0.4	0.5	14.56857	14.56857	-2.83922	-8.83922	8.4
19	File2.trj	460.5	1069	1366.5	0	0	27.57763	27.57763	-9.14581	-10.4426	13.7
20	File2.trj	458.5	1204.853	1231	1.2	3	17.51966	2.363935	-1.18658	-11.1541	0.3
21	File2.trj	459	1169.838	1231	0.8	2	18.46407	6.382116	-1.80835	-10.8083	1.0
22	File2.trj	465	1369.782	1231	0.1	0.5	32.67172	20.14434	3.205611	3.205611	17.7
23	File2.trj	460.5	1226.78	1231	1.5	2.5	16.73638	2.279682	-2.2264	-8.2264	1.3
24	File2.trj	465.5	1069	1366.5	1.2	2.5	3.078231	3.078231	-9.08226	-9.08226	1.5

Slika 7: Excel preglednica

Program SSAM ima še dva zavitka, in sicer »t-test« in »map«. »Zemljevidni (map)« zavihek omogoča uporabniku, da prikaže zemljevid ali podobo osnovnega cestnega omrežja s prekrivajočo sliko konfliktov na tem zemljevidu. V »map« zavitku lahko izvažamo takšno sliko in s tem olajšamo pripravo poročil. Zavitek »t-test« pa uporabljamo za primerjavo izračunov statističnih podatkov konfliktov.

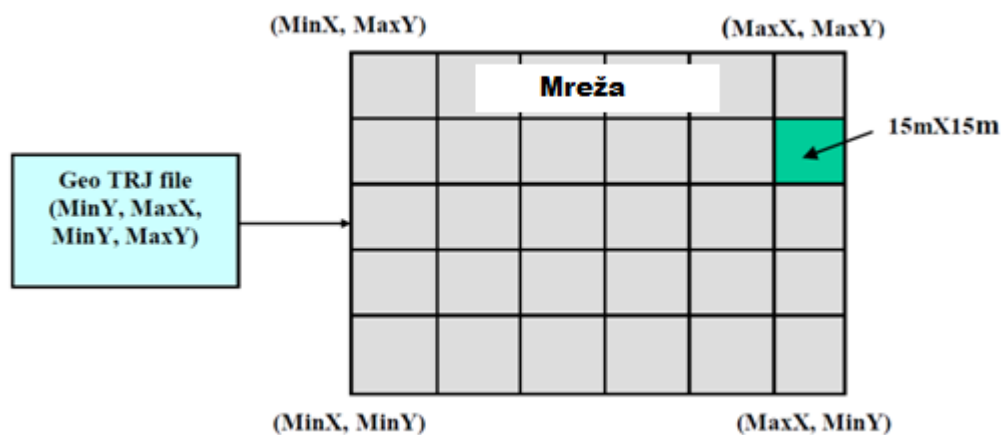
2.2 Identifikacija konflikta (algoritem)

SSAM uporablja različne algoritme za prepoznavanje konfliktov od trajektorijev vozil, ki se obdelujejo. To je lahko računsko intenzivna analiza, kar je odvisno od velikosti .trj datoteke, ta pa je odvisna od števila vozil v omrežju modela in časa simulacije. SSAM lahko porabi več ur za analiziranje podatkov večjih simulacijskih prometnih omrežij z večjimi križišči.

Naslednji koraki prikazujejo povzetek prepoznavanja konfliktov:

- **Korak 1**

Ta določi dimenzijo analiziranega območja, ki temelji na glavi zapisa v .trj datoteki. Te dimenzije definirajo širino in višino pravokotnika – analiziranega območja. SSAM skonstruira mrežo (zone grid), ki pokriva celoten pravokotnik analiziranega območja (slika 8).



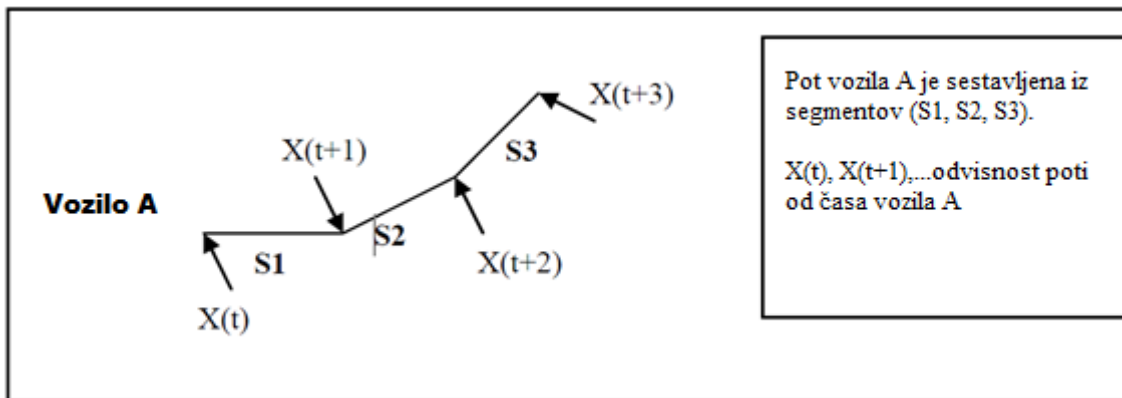
Slika 8: Mreža

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

Posamezno območje kvadrata mreže pokriva 15,25m x 15,25m površine, kar je odvisno od enot, opredeljenih v .trj datoteki. Z razdrobitvijo območja na manjše dele se število primerjav med dvema voziloma, potrebnima za prepoznavanje morebitnih konfliktov, občutno zmanjša.

- **Korak 2**

Ta analizira posamezni časovni korak .trj datoteke. Za vsako vozilo v analiziranem območju SSAM predvideva vozilo na pričakovani lokaciji kot funkcijo trenutne hitrosti, ki še naprej potuje vzdolž svoje (bodoče) poti. Ta traja do konfiguriranja vrednosti TTC (čas do trka). Pot vozila je predvidena kot pogled naprej za 10s od .trj podatkov. Pot, ki je prikazana na sliki 9, je zbirka ravnih linij segmenta (oznaka S), ki povezuje prihod vozil na nižji stopnji lokacije (oznaka X).



Slika 9: Časovna odvisnost poti vozila A

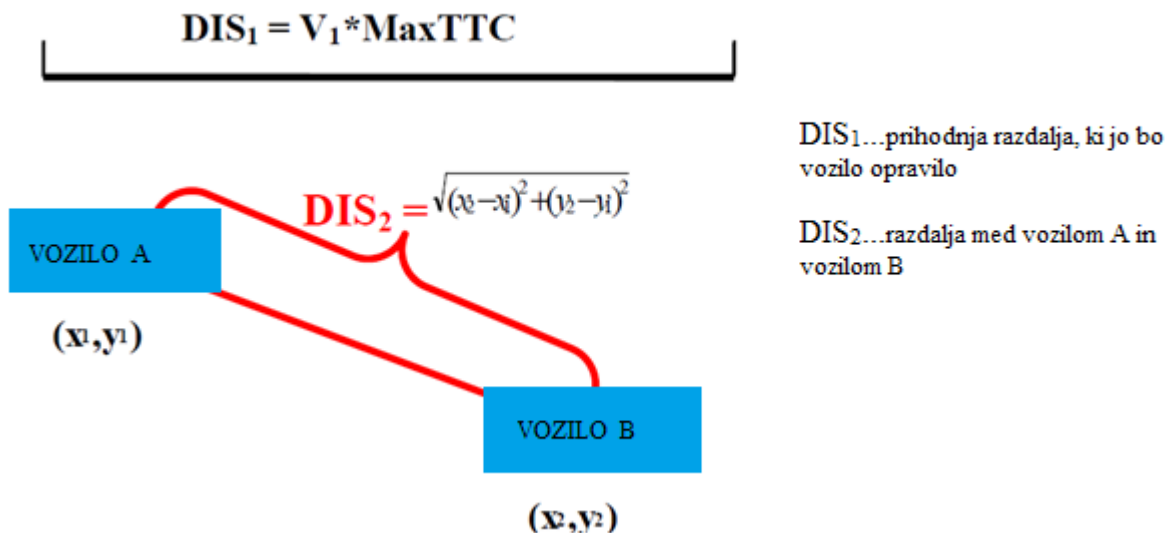
(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

Mejna vrednost TTC je nastavljena s strani uporabnika SSAM, običajno z mejno vrednostjo 1,5 sekunde. Konflikte, pri katerih je vrednost TTC večja od 1,5 sekunde, običajno ne upoštevamo v varnostni analizi.

Postopek načrtovanja razdalje, kjer vozilo lahko napreduje med specifičnim časovnim (look-ahead) intervalom (t_1) in izračunom natančne koordinate položajev vozila, ob upoštevanju, da SSAM analizira konflikte vozila A v času t_1 , se opravi tako, da SSAM najprej izvele vse podatke povezane z vozilom A iz .trj datoteke (lokacija vozila, hitrost, pospešek,...) v času t_1 in nekaj časovnih korakov po t_1 (vsaka lokacija je označena z (x_1, y_1) , (x_2, y_2)), nato pa SSAM načrtuje razdaljo vozila A naprej z .trj postavkami:

1. Vsako vozilo je opredeljeno kot mnogokotnik (pravokotnik) s štirimi točkami (slika 10).
2. Prihodnja razdalja, ki jo bo vozilo opravilo, se izračuna v MaxTTC intervalu, označeno kot $DIS_1 = V_1 * MaxTTC$ (slika 10).
3. Naslednji časovni korak vozila (x_2, y_2) se izračuna na podlagi razdalje od trenutne lokacije do te lokacije, označene kot $DIS_2 = |X(t+1) - X(t)|$ (slika 10).
4. Če je DIS_2 manj kot DIS_1 , potem se DIS_2 odšteje od DIS_1 in prejšnja dva izračuna se ponovita. Posodobljeno $DIS_1 = DIS_1 - DIS_2$ in $DIS_2 = |X(t+2) - X(t+1)|$.

5. Če je DIS_2 več kot DIS_1 , potem se položaj x-y izračuna tako, da poišče projekcije točke v segmentu DIS_2

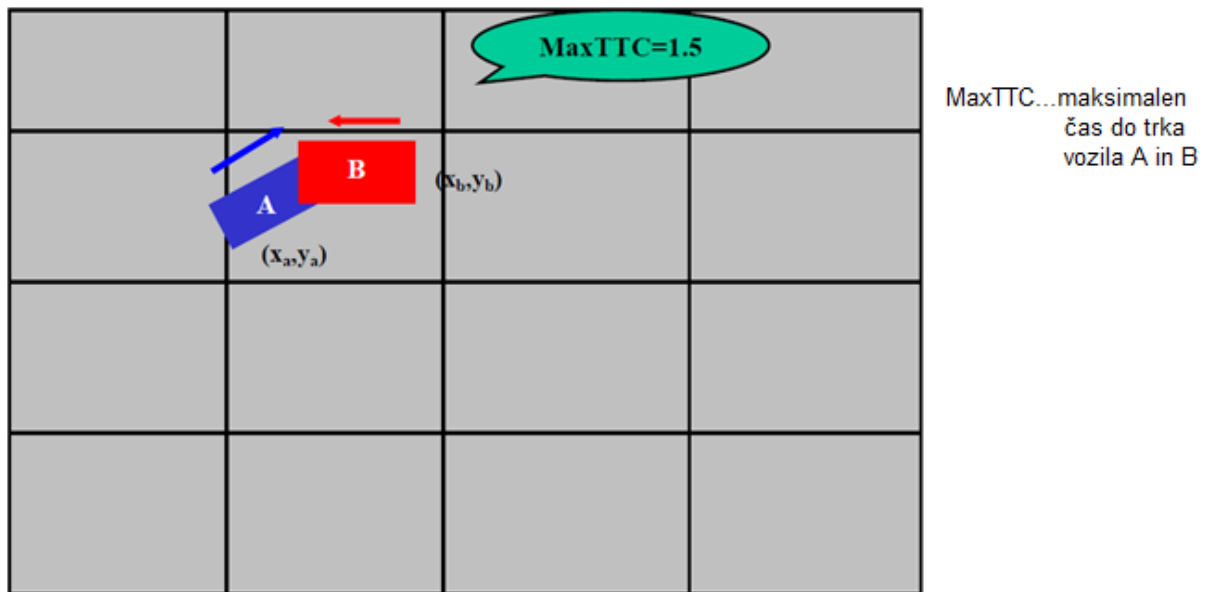


Slika 10: Prikaz odnosa vozila A – vozila B

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

- **Korak 3**

Za vsako vozilo se izračuna pravokotno omrežje, ki razmejuje lokacijo in usmeritev tega vozila na svoji načrtovani bodoči poziciji. Čez pravokotnik na tem območju se izračuna, v kateri coni (pravokotnika) v omrežju bo oz. bo vsebovan vsaj del tega vozila. Za vsako območje cone, ki ga bo vozilo zasedlo, se »doda« vozilo tej coni oz. se doda vozilo v poseben seznam, ki se hrani za vsako skupino. Vsakič, ko je vozilo dodano v cono, ki trenutno vsebuje eno ali več drugih vozil, se tam preverja prekrivanje novega vozila (pravokotnika) z vsakim drugim vozilom (pravokotnikom) na tem območju. Možno je, da dve vozili zasedeta isto cono, ne da bi se prekrivala. Toda dva prekrivajoča se pravokotnika kažeta na prihajajoče trčenje. Tako nastavljen algoritem definira konflikt (slika 11). SSAM vsebuje seznam vseh konfliktnih dogodkov (vozilo – vozilo) za trenutni časovni okvir. Če se trenutno vozilo, ki je dodano na consko omrežje, prekriva z drugim vozilom, se ta par doda seznamu konfliktov za trenutni časovni okvir.



Slika 11: Konflikt vozila A – vozilo B

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

- **Korak 4**

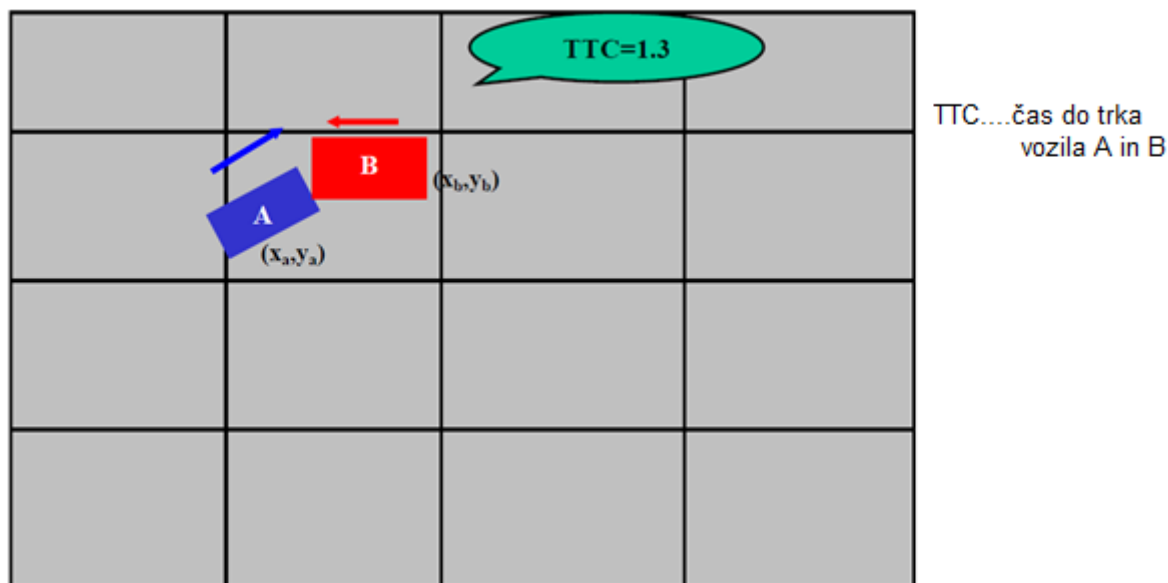
Nadaljuje se tako, da SSAM lahko predstavi bolj podrobno analizo za vsak konfliktni par vozil iz seznama za trenutni časovni okvir, in sicer:

1. Najprej posodablja TTC med dvema voziloma. To se naredi s ponavljajočim skrajševanjem prihodov načrtovanega časa za desetinko in načrtovanjem obeh vozil tako kot prej - prek zaporednih kratkih razdalj, dokler se vozili več ne prekrivata na njihuni načrtovani lokaciji. Na ta način je za ta časovni okvir določena bolj natančna vrednost TTC. To je prikazano na sliki 13, kjer se vrednost TTC skrajša iz maxTTC 1,5 sekunde na vrednost TTC 1,3 sekunde. Namesto velikih prekrivanj, kot je prikazano na sliki 11, je vozilo na sliki 12 komaj prišlo v stik. Če se načrtovani čas skrajša na 0 sekund in se vozila še vedno prekrivajo, pomeni, da gre za trčenje.
2. Na tej točki se različni nadomestni varnostni ukrepi, kot je minTTC (zavzema minimum sedanje vrednosti TTC, in sicer od prejšnjega časovnega okvirja),

preračunajo in posodobijo. Tudi sedanjo (dejansko) pozicijo obeh vozil evidentira za priključno (post-encroachment) analizo.

3. Če se ugotovi, da se vozili ne prekrivata v katerem koli projekcijskem trenutku med 0 in $\max\text{TTC}$, potem sta ti vozili na seznamu konfliktov že s tem, da sta na seznamu prejšnjega časovnega okvirja. V tem primeru dogodek ostane na seznamu, čakajoč da prvo vozilo (zadnje vozilo) eventualno zasede (ali poseže) v pozicijo, ki ga je prej zavzemalo drugo vozilo (vodilno vozilo). Časovna razlika med tem, ko vodilno vozilo zasede to pozicijo in prispe zadnje vozilo, se imenuje priključni (post-encroachment) čas (PET). Če je PET opazovan, potem je $\min\text{PET}$ posodobljen; ta konfliktni dogodek pa ostane na seznamu, saj bi se PET potencialno lahko skrajšal, ko trajektorije vozil napredujejo čez čas.

4. Če vozil v seznamu konfliktov ni več na neizbežni poti konflikta in je jasno, da PET s kakršne koli predhodne pozicije ni mogel še naprej skrajševati $\min\text{PET}$, ali pa je največji $\max\text{PET}$ pretekel, potem sta vozili identificirani za izbris iz seznama konfliktnih dogodkov. Pred odstranitvijo se vsi končni nadomestni ukrepi izračunajo, vključno z začetnim in končnim konfliktom, konfliktnim kotom in ΔV (sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku). V tem trenutku je konflikt razvrščen v eno izmed naslednjih kategorij: konflikt prečkanja, trk od zadaj ali konflikt spremembe voznega pasu. V naslednjem koraku se definirajo vsi nadomestni ukrepi in predvideva razvrstitev vseh vrst konfliktnih situacij. Če se je ta konfliktni dogodek končal, se nato konflikt in vsi nadomestni ukrepi dodajo v tabelo konfliktov, dogodek pa je odstranjen iz seznama sledenja.



Slika 12: Konflikt pri $TTC = 1.3$

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

2.3 Prepoznavanje konfliktov

2.3.1 Konfliktna točka

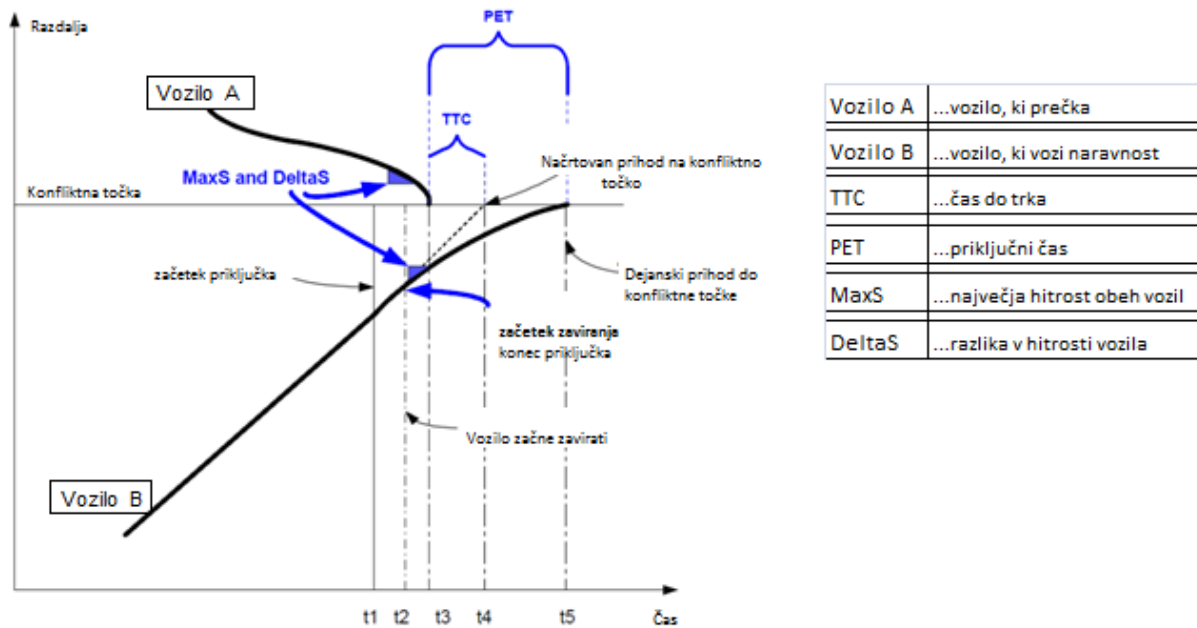
(Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models: Final Report, 2003.) Konfliktna točka predstavlja fiksno lokacijo v prostoru, kjer se sekata dva tokova – prečni in vodoravni. Časovna linija konfliktne točke je prikazana na sliki 13. Zgornja krivulja predstavlja časovno – prostorsko odvisno trajektorijo vozila, ki prečka (vozilo A), spodnja pa časovno – prostorsko odvisno krivuljo vozila, ki vozi naravnost (vozilo B).

Čas do trka

Čas do trka (TTC) je definiran kot konfliktna točka med t_3 in t_4 . Gre za razliko med časom, ko vozilo A (ki prečka), prispe do konca priključka, in pričakovanim časom prihoda vozila B (ki vozi na naravnost) na konfliktno točko, če bi vozilo B pot nadaljevalo z isto začetno hitrostjo.

Priključni čas

Priključni čas (PET) je definiran kot konfliktna točka med t_3 in t_5 . To je čas med odhodom vozila A (ki prečka) od konfliktna točka in prihodom vozila B (ki vozi naravnost) na konfliktno točko.



Slika 13: Nadomestne meritve konflikte točke

(Vir: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/index.cfm>)

- t1 vozilo, ki prečka (crossing), pride v priključno (encroachment) območje (npr. začne zavijati levo)
- t2 vozilo, ki vozi naravnost, se zaveda, da lahko pride do trčenja in začne zavirati
- t3 vogal zadnjega odbijača (desni ali levi zadnji vogal, odvisno od potovalne smeri) od vozila, ki prečka, zapusti obravnavano območje
- t4 vozilo, ki vozi naravnost, načrtovano prispe na konfliktno točko, če vozi naprej z enako hitrostjo, preden začne zavirati
- t5 vozilo, ki vozi naprej, dejansko prispe na konfliktno točko

2.3.2 Konfliktna linija

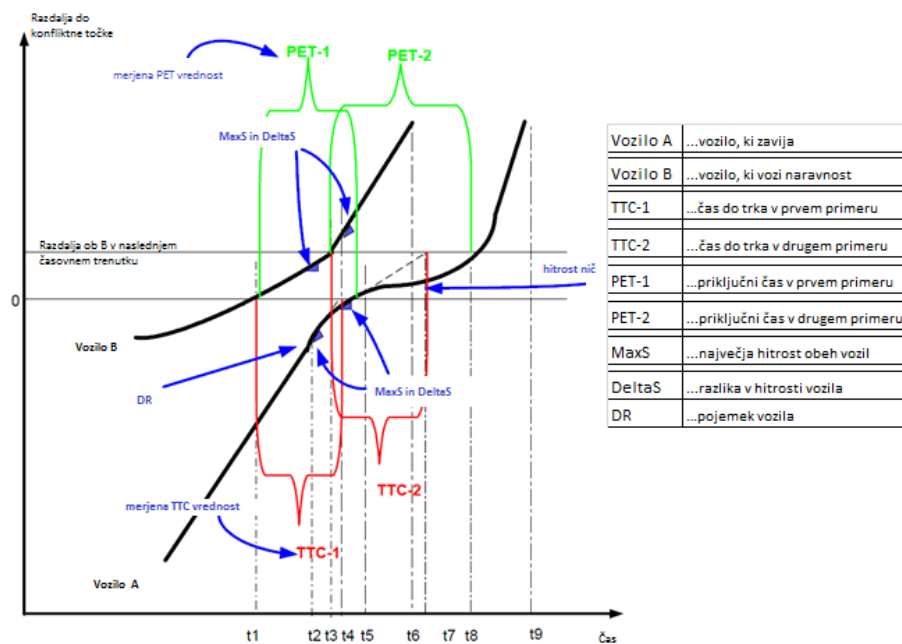
Konfliktna linija predstavlja prostor, kjer vozilo trči v vozilo, ki vozi pred njim na istem pasu. To velja za: vozila, ki vstopajo iz križajoče se ceste pred vozilo, ki vozi naravnost; vozila, ki vozijo v isto smer, ko nenadoma vozilo pred njim zavije na levo oz. desno; vozilo, ki spreminja vozni pas, kar povzroči zaviranje vozila za njim (zaradi zadržanja varnostne razdalje).

Čas do trka

Kot je prikazano na sliki 14, je čas do trka (TTC) definiran kot časovni korak na konfliktni liniji dogodkov. Ta čas začne teči, ko vozilo A začne zavirati, da bi se izognilo trčenju. V vsakem časovnem koraku se izračuna potreben čas, da bi vozilo A prispelo na lokacijo vozila B, če bi njegova hitrost ostala nespremenjena. Kot konfliktne linije dogodkov TTC se zabeleži minimum vrednosti TTC. Če vrednost TTC začne rasti po prvem izračunu vrednosti TTC, bo minimum prva izračunana vrednost. Če TTC vrednost začne padati, se morajo vrednosti izračunavati, dokler ne začno spet rasti.

Priključni čas

Podobno kot TTC se tudi priključni čas (PET) zabeleži kot minimalni PET na konfliktni liniji. Dve vrednosti PET sta prikazani na sliki 14. V vsakem časovnem koraku se mora zabeležiti lokacija vodilnega vozila, in sicer vse dokler vozili nista več na konfliktni liniji (vozilo B se ustavi) ali dokler ni dosežena maksimalna konfliktna razdalja ali dokler vodilno vozilo ne spremeni pasu. Za vsako zabeleženo lokacijo vodilnega vozila se PET izračuna kot časovna razlika med prihodom vodilnega vozila na to lokacijo in prihodom zasledujočega vozila na to lokacijo. Minimalni PET se nato izbere med že izračunanimi vrednostmi za vsako lokacijo kot zabeleženi PET za to konfliktno linijo dogodkov. Na sliki 14 bi bil minimalni zabeleženi PET PET-1.



Slika 14: Nadomestne meritve konflikte linije

(Vir: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/index.cfm>)

- t1 vodilno vozilo pride v priključno (encroachment) območje (npr. začne zavijati levo na istem pasu kot vozila, ki vozijo naravnost)
- t2 zasledujoče vozilo se zaveda, da lahko pride do trčenja in začne zavirati
- t3 dosežena je naslednja faza simulacije in spremenljivke za vsako vozilo so posodobljene
- t4 vodilno vozilo, ki vozi, preneha pospeševati in doseže svojo nameravano potovalno hitrost
- t5 zasledujoče vozilo načrtovano prispe na prvo obravnavano območje, če nadaljuje z isto hitrostjo, preden je začelo zavirati
- t6 vodilno vozilo prispe na maksimalno določeno vrednost konfliktno razdalje, ki je nižja od izhodišča
- t7 zasledujoče vozilo načrtovano prispe na drugo obravnavano točko, če nadaljuje z enako hitrostjo
- t8 zasledujoče vozilo prispe na prvo obravnavano točko konfliktno točke
- t9 zasledujoče vozilo doseže maksimalno konfliktno razdaljo

2.3.3 Konfliktna linija trka spredaj – zadaj

Konflikti spredaj – zadaj so nekoliko drugačni konflikti. To pa zato, ker se lahko oba, tako vodilno kot tudi zasledujoče vozilo na obravnavanem območju, znajdeta v varianti skorajšnjega trka (odgovorno je tako lahko prednje ali pa zadnje vozilo):

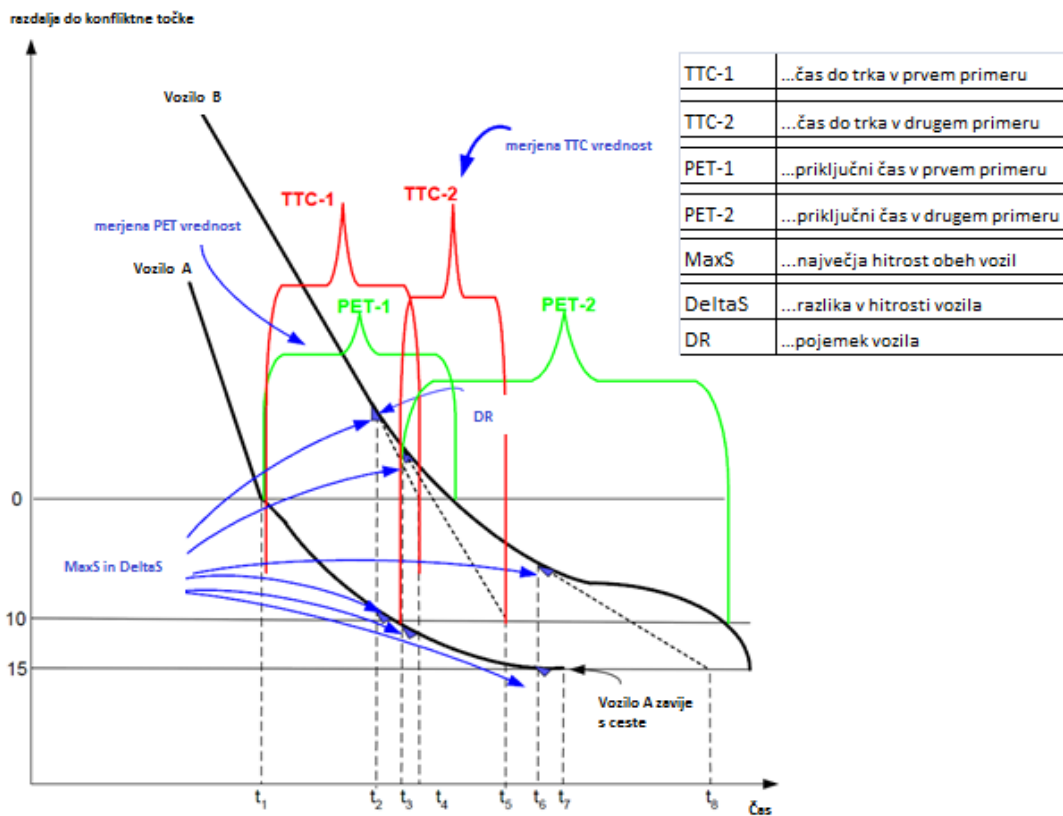
- prednje vozilo lahko nenadno zavira ali nenadno spremeni smer pasu, medtem ko se zasledujoče vozilo prvotno nahaja na primerni varnostni razdalji
- zasledujoče vozilo pa ima lahko premajhno varnostno razdaljo za reakcijo na prednje vozilo

Čas do trka

Kot prikazano na sliki 15, je čas do trka (TTC) definiran kot časovni korak na konfliktni liniji dogodkov. Ta čas začne teči, ko vozilo A začne zavirati, da bi se izognilo trčenju. V vsakem časovnem koraku se izračuna potreben čas, da bi vozilo A prispelo na lokacijo vozila B, če bi njegova hitrost ostala nespremenjena. Kot konfliktne linije dogodkov TTC se zabeleži minimum vrednosti TTC. Če vrednost TTC začne rasti po prvem izračunu vrednosti TTC, bo minimum prva izračunana vrednost. Če vrednost TTC začne padati, se morajo vrednosti izračunavati, dokler ne začno spet rasti.

Priključni čas

Podobno kot TTC se tudi priključni čas (PET) zabeleži kot minimalni PET na konfliktni liniji. Dve vrednosti PET sta prikazani na sliki 15. V vsakem časovnem koraku se mora zabeležiti lokacija vodilnega vozila, vse dokler vozili nista več na konfliktni liniji (vozilo B se ustavi) ali dokler ni dosežena maksimalna konfliktna razdalja ali dokler vodilno vozilo ne spremeni pasu. Za vsako zabeleženo lokacijo vodilnega vozila se PET izračuna kot časovna razlika med prihodom vodilnega vozila na to lokacijo in prihodom zasledujočega vozila na to lokacijo. Minimalni PET se nato izbere med že izračunanimi vrednostmi za vsako lokacijo kot zabeleženi PET za to konfliktno linijo dogodkov. Na sliki 15 bi bil minimalni zabeleženi PET PET-1.



Slika 15: Nadomestna identifikacija trka spredaj - zadaj

(Vir: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/index.cfm>)

- t1 vodilno vozilo začne zavirati, da zavije z glavne ceste
- t2 zasledujoče vozilo se zaveda, da lahko pride do trčenja in začne zavirati
- t3 dosežena je naslednja faza simulacije in spremenljivke za vsako vozilo so posodobljene
- t4 vozilo, ki vozi naravnost, načrtovano prispe na prvo obravnavano območje, če nadaljuje z isto hitrostjo, preden je začelo zavirati
- t5 zasledujoče vozilo načrtovano prispe na naslednjo določeno konfliktno vrednost v konfliktni liniji, če nadaljuje z enako hitrostjo
- t6 dosežena je naslednja faza simulacije in spremenljivke za vsako vozilo so posodobljene
- t7 vodilno vozilo zapusti glavno cesto
- t8 zasledujoče vozilo načrtovano doseže točko, kjer je bilo vodilno vozilo v času

3.0 NADOMESTNE MERITVE V SSAM

SSAM izračuna in evidentira naslednje podatke in ukrepe za vsak konflikt identificiran v .trj vhodnih podatkih. Te informacije so navedene v tabeli konfliktov. Možno je filtriranje več konfliktov na podlagi določenih rangov vrednosti z uporabo orodja Filter. Ti podatki se lahko izvozijo za uporabo in obdelavo v drugih programskih opre mah, kot je npr. Microsoft Excel.

- tMinTTC** simulacijski čas, ko je bil opažen minTTC (čas do trka)
- xMinPET** koordinata x približne lokacije konflikta v času, ko je bil opažen minPET. Ta lokacija ustreza centru (prvega) vozila, kjer na isto lokacijo naknadno pride drugo vozilo in ima najkrajši opaženi prihod.
- yMinPET** koordinata y približne lokacije konflikta v času, ko je bil opažen minPET. Ta lokacija ustreza centru (prvega) vozila, kjer na isto lokacijo naknadno pride drugo vozilo in ima najkrajši opaženi prihod.
- TTC** minimalna vrednost časa do trka, opažena med konfliktom. Ta ocena temelji na trenutni lokaciji, hitrosti in prihodnji poti dveh vozil v določenem trenutku. Vrednost TTC je opredeljena za vsak časovni okvir v času konflikta. Konfliktni dogodek je sklenjen potem, ko se TTC dvigne nad kritično vrednostjo praga. Ta se zabeleži v sekundah.

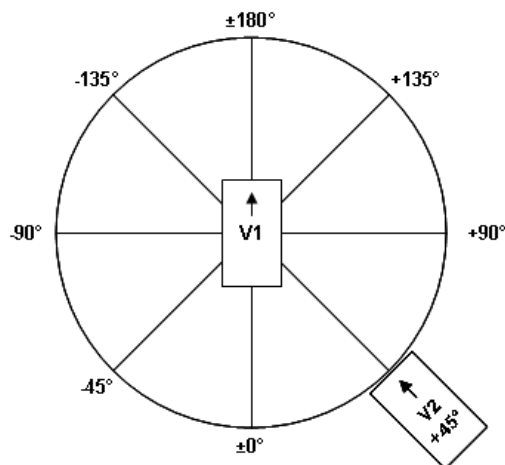
Čas do trka in njegova verjetnost	čas do trka (s)	verjetnost trka
1	1.5 - 2.0	majhna
2	1.0 - 1.5	srednja
3	0.0 - 1.0	velika

- PET** minimalni priključni (post-encroachment) čas, opažen med konfliktom. Priključni čas je čas med prvim vozilom, ki zadnje zasede pozicijo, in časom, ko drugo vozilo naknadno prispe na isti položaj. Vrednost nič označuje trčenje. Priključni čas je povezan z vsakim časovnim okvirjem med konfliktom. Konfliktni dogodek se zaključi, ko je končna vrednost PET zabeležena na zadnjem mestu, kjer je bil čas do trčenja še vedno pod kritičnim pragom vrednosti. Ta vrednost se zabeleži v sekundah.
- MaxS** največja hitrost obeh vozil v celotnem konfliktu (to je takrat, ko je TTC nižji od določene mejne vrednosti). Ta vrednost je izražena v metrih na sekundo.
- DeltaS** razlika v hitrosti vozila, opažena pri tMinTTC. Ta matematična vrednost je opredeljena kot vrednost razlik v hitrosti vozila (ali trajektorij). Če sta v_1 in v_2 vektorja prvega in drugega vozila, potem je $\Delta S = ||v_1 - v_2||$. Primer: če obe vozili potujeta z enako hitrostjo (v) v isti smeri, potem je $\Delta S = 0$; če pravokotno prečkata pot, $\Delta S = (\sqrt{2})v$; če pa se približujeta drug drugemu s čelom pa ($\Delta S = 2v$).
- DR** začetna stopnja pojemka drugega vozila, prikazana kot trenutni pospešek. Če vozilo zavira (tj. reagira), je to prva negativna vrednost pospeška, opažena v konfliktu. Če pa vozilo ne zavira, je to najnižja vrednost pospeška, opažena v konfliktu. Ta vrednost je izražena v metrih na sekundo.
- MaxD** največji pojemek drugega vozila, prikazan kot minimalen trenutni pospešek, opažen med konfliktom. Negativna vrednost pomeni pojemek (zaviranje ali sproščanje pedala plina). Pozitivna vrednost pa pomeni, da vozilo ni zaviralo med konfliktom. Ta vrednost je izražena

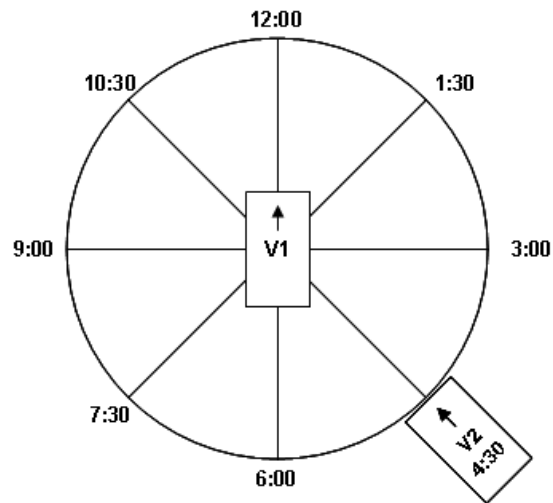
v metrih na sekundo.

MaxDeltaV največja vrednost DeltaV obeh vozil v konfliktu (za več informacij glej FirstDeltaV ali SecondDeltaV).

ConflictAngle je približen kot (hipotetično trčenje med trčenimi vozili), ki temelji na ocenjeni smeri vsakega vozila (glej obrazložitev FirstHeading). Kot je prikazan v perspektivi za prvo vozilo, ki prispe na konfliktno točko. Izraža smer, iz katere se drugo vozilo približuje prvemu. Giblje se od -180° do $+180^\circ$ in kaže negativen pristop z leve in pozitiven pristop z desne strani. Kot 180° (ali -180°) označuje neposredni čelni pristop in kot 0° (ali -0°) označuje neposreden pristop od zadaj, kot je prikazano na sliki 1.



ClockAngle alternativni izraz za konfliktni kot (urni položaj). Kot je prikazan v perspektivi za prvo vozilo s kazalci. Izraža smer iz katere se drugo vozilo približuje prvemu. Pozicija 12:00 je neposredno pred prvim vozilom, 3:00 je na desni, 6:00 je neposredno v od zadaj, in 9:00 je na levi, kot je prikazano na sliki 2.



ConflictType

opisuje, ali je konflikt posledica trka od zadaj, spremembe voznega pasu ali prehod gibanja smeri. Če informacije o voznem pasu in smeri niso podane za vozila, je vrsta dogodka razvrščena na temelju absolutne vrednosti kota ConflictAngle. Tip razvrščanja je podan kot trk od zadaj, če je $||\text{ConflictAngle}|| < 30^\circ$ in prehod gibanja smeri, če je $||\text{ConflictAngle}|| > 85^\circ$ ter ostalo kot sprememba voznega pasu. Simulacijski modeli, ki proizvajajo informacijo o trajektorijah obeh vozil, nam posredujejo podatke o njihovi trasi in smeri. Na splošno se lahko kodiranje teh vrednosti bistveno razlikuje od ene simulacije prodajalca do naslednje. Če so informacije o voznem pasu in smeri na voljo, se ti podatki uporabijo za uvrstitev v primeru, da sta obe vozili na istem voznem pasu (iste smeri), bodisi na začetku ali koncu konfliktnega dogodka. Če vozili tako zasedata isti vozni pas od začetka do konca dogodka, potem gre za trk od zadaj. Če vozilo konča konfliktni dogodek na različnem pasu, kot je začelo (ob tem ni spremenilo smeri), potem se dogodek uvršča kot sprememba voznega pasu. Če katero od vozil spremeni smer v času dogodka, jo »conflict angel« definira kot konflikt in se razvrsti, kot je že opisano. Za dve vozili, ki začneta konfliktni dogodek na istem voznem pasu, vendar spremenita smer v času dogodka, se dogodek klasificira samo kot trk

od zadaj ali sprememba voznega pasu - odvisno od konfliktnega kota (uporaba predhodno omenjenih mejnih vrednosti). Pri tem je potrebno poudariti, da vozne manevre, kot so spreminjanje voznega pasu ali vstopanje v križiščno območje, lahko smatramo kot spremembo pasu - odvisno od osnovnega modela simulacije. V nekaterih primerih so vozila, za katera se zdi, da vozijo na istem pasu, obravnavana drugače. Simulacijski model jih lahko dejansko obravnava kot vozila, ki vozijo v različnih smereh, ki se slučajno prekrivajo.

- PostCrashV** ocena hitrosti po trku obeh vozil. Ta ocena predpostavlja, da vozilo trči na predvidenem ConflictAngle, pri hitrostih, opaženih pri tMinTTC. Predvideva se tudi neelastično trčenje centra mase obeh vozil, ki se nato odbijeta v isti smeri pri isti hitrosti.
- PostCrashHeading** ocenjena smer obeh vozil po hipotetičnem trku (obravnavano v PostCrashV). Ta smer se izraža v kotu, ki se meri nasprotno od x-osi (predpostavlja točko na desni), tako da je: 0 ° desno, 90 ° gor, 180 ° levo in 270 ° navzdol. Kot se giblje od 0 ° do 360 °.
- FirstVID**
(SecondVID) identifikacijska številka prvega (drugega) vozila. Prvo vozilo je vozilo, ki prispe prvo do konfliktno točke. Drugo vozilo pa vozilo, ki pride pozneje na isto lokacijo. V redkih primerih (dejansko v trčenjih) prispeta obe vozili na lokacijo hkrati. V tem primeru se vez med prvim in drugim vozilom samovoljno prekine.
- FirstLink**
(SecondLink) številka, ki označuje povezavo prvega (drugega) vozila na potovanju pri tMinTTC.
- FirstLane**
(SecondLane) številka, ki prikazuje v katerem pasu se nahaja prvo (drugo) vozilo pri tMinTTC.

FirstLength (SecondLength)	dolžina prvega (drugega) vozila v čevljih ali metrih.
FirstWidth (SecondWidth)	širina prvega (drugega) vozila v metrih.
FirstHeading (SecondHeading)	smer prvega (drugega) vozila med konfliktom. Ta smer je približna s spremembo položaja od začetka do konca konflikta. V večini konfliktov, kjer ne gre za konflikt spredaj – zadaj, vsaj eno vozilo zavija v celotnem konfliktu. Njegova dejanska smer je posledično spremenljiva skozi celoten konflikt. Če se vozilo ne premika med trkom, potem se smer, v kateri je soočen, vzame kot prvotna. Ta postavka se izraža v kotu, ki meri nasprotno od x-osi, kot 0° desno, 90° gor, 180° levo in 270° dol. Kot se giblje od 0° do 360° .
FirstVMinTTC (SecondVMinTTC)	hitrost prvega (drugega) vozila pri <u>tMinTTC</u> .
FirstDeltaV (SecondDeltaV)	sprememba med konfliktno hitrostjo (FirstVMinTTC hitrost in smer FirstHeading) in hitrostjo po trku (PostCrashV hitrost in smer PostCrashHeading). To je nadomestek za resnost konflikta, izračunano ob hipotetični predpostavki trčenja dveh vozil.
xFirstCSP (xSecondCSP)	koordinata x prvega (drugega) vozila s konfliktnim izhodiščem (CSP). CSP je lokacijo vozila pri <u>tMinTTC</u> .
yFirstCSP (ySecondCSP)	koordinata y prvega (drugega) vozila s konfliktnim izhodiščem (CSP). CSP je lokacijo vozila pri <u>tMinTTC</u> .

- xFirstCEP** koordinata x prvega (drugega) vozila na konfliktni končni točki (CEP).
- (xSecondCEP)** CEP je lokacija vozila bodisi v zadnjem časovnem okvirju, kjer je vrednost TTC pod določenim pragom, bodisi tam, kjer je bila zadnja opažena vrednost po posegu, pri čemer vzamemo tistega, ki se zgodi pozneje v konfliktnem časovnem intervalu.
-
- yFirstCEP** koordinata y prvega (drugega) vozila na konfliktni končni točki (CEP).
- (ySecondCEP)** CEP je lokacija vozila bodisi v zadnjem časovnem okvirju, kjer je vrednost TTC pod določenim pragom, bodisi tam, kjer je bila zadnja opažena vrednost po posegu, pri čemer vzamemo tistega, ki se zgodi pozneje v konfliktnem časovnem intervalu.

4.0 TEORETIČNO OZADJE

Glavni namen teoretičnega ozadja SSAM je ustanoviti, ali se nadomestni ukrepi, izračunani s pomočjo SSAM, lahko razlikujejo med križiščnimi modeli v simulacijah. Sekundarni namen teoretičnega pristopa je identifikacija korelacije med nadomestnimi ukrepi, ki jih poda SSAM, ter obstoječimi modeli za napovedovanje konfliktov iz literature.

4.1 Metodologija

Hipoteza za uporabo nadomestnih varnostnih ukrepov sloni na dejstvu, da bodo ti ukrepi razlikovali med več možnostmi, ki so vgrajeni v simulaciji, kar zajema naslednje korake:

- Oblikovanje več modelov križišč v sistemu simulacije prometa.
- Zagon simulacije za različne scenarije prometnih poti in zbiranje podatkov.
- Procesiranje .trj podatkov s SSAM za identifikacijo konfliktnega dogodka.
- Statistična primerjava rezultate iz vsakega posameznega modela zaradi ugotavljanja pomembnih statističnih razlik.

Poleg tega vključuje tudi naslednje analize:

- Oprelitev občutljivosti nadomestnih ukrepov za simulacijo vhodnih vrednosti (npr. volumen).
- Oprelitev občutljivosti rezultatov zaradi pomembnosti pragov za TTC.

4.1.1 Vgradnja alternativnih modelov križišč

Kot je navedeno v uvodnem delu, je posledična porazdelitev pogostosti in resnosti konfliktnih dogodkov, ki se pojavljajo v simulaciji, temelječa na hipotezi, ki predstavlja nadomestne varnostne ukrepe za določen model križišča. Za oceno upravičenosti uporabe teh ukrepov za ocenjevanje varnosti so bili izvedeni alternativni modeli križišč v mikroskopski simulaciji in ustreznih izhodnih nadomestnih varnostnih ukrepov za vsak konfliktni dogodek ali združeni konfliktni dogodki med alternativnimi modeli, ki so bili nato medsebojno primerjani.

Študije modelov križišč vključujejo številne vrste križišč, ki se uporabljajo v realnem svetu. Za vsak sklop (ali par) alternativnih modelov so bile prometne razmere (npr. volumen za vsak prihod, razred vozila, omejitve hitrosti, voznikov agresivni pristop itd.) enako nastavljene zaradi primerjave alternativ. Tam, kjer so bili raziskani alternativni scenariji prometnih tokov, z rangom volumna in/ali zavijalno verjetnostjo, so bili upoštevani enaki pogoji za oba modela križišč (zaradi ohranitve ustrezne osnove za primerjavo). Da bi zagotovili statistične reprezentativne ukrepe za primerjavo, je bila vsaka situacija desetkrat ponovljena, in sicer za vsak model posebej.

4.1.2 Meritve diskriminacije med modeli

Po zagonu simulacije za vsak model so bili s pomočjo SSAM zbrani ustrezni nadomestni ukrepi in statistične distribucije so bili primerjane z naslednjimi parametri:

- S skupnim številom konfliktnih dogodkov
- S številom konfliktov za posamezen tip
- S srednjo vrednostjo in varianco nadomestnih varnostnih ukrepov (TTC, PET itd.)

Opravljen je bil analiza alternativnih možnosti modelov, in sicer na primerjalni način, saj bistvene informacije bolj verjetno najdemo v razlikah med rezultati za dva scenarija kot med dokončnimi rezultati za določen scenarij.

4.1.3 Podatki iz ene simulacije

Po vsakem zagonu simulacije so bili podatki .trj obdelani s SSAM zaradi izračuna nadomestnih ukrepov. Za vsak konfliktni dogodek, identificiran s SSAM, je bilo zabeleženo naslednje:

- Vrsta konflikta
- Začetna in končna točka
- Vrednost nadomestnih varnostnih meritev

Primer zbranih podatkov je prikazan v preglednici 3. Več podatkov se zbira na vsakem dogodku, kot je prikazano v spodnji tabeli.

SSAM razvrsti vsak konfliktni dogodek kot eno od treh vrst konflikta: prečkanje (crossing), sprememba voznega pasu (lane – change) ali trk spredaj- zadaj (rear – end). Konfliktni tip razvrstitve temelji na konfliktnem kotu. Med teoretično študijo je bilo opredeljeno kot: konflikt spredaj – zadaj || konfliktni kot || $< 2^\circ$, prečkanje, če || konfliktni kot || $> 45^\circ$ ali menjava voznega pasu $2^\circ \leq || \text{konfliktni kot} || \leq 45^\circ$. Obstaja še vedno t. i. »sivo območje« (npr. vozila, ki vstopajo v krožišče trkajo z vozilom v krožišču), kjer je razvrstitev dogodka lahko križanje, menjava voznega pasu ali trk od zadaj – subjektivna sodba. Pravzaprav je mogoče trditi, da so nekateri spori hkrati dveh ali treh vrst (npr. sprememba voznega pasu in trk od zadaj).

	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	Max D	MaxDeltaV	Konfliktni tip:		
								I	II	III
1	0.2	0.5	29	9.3	1	1	7.6	✓		
2	0.1	0.5	44	31.6	-0.6	-1.45	20.5		✓	
3	1.4	4.5	27	5.7	-21.2	-21.2	25			✓
...	0.9	3	15.1	15.1	-11.2	-16.3	13		✓	
SKUPAJ	Skupno število konfliktov: 177							55	65	57

Preglednica 3: Podatki konfliktnih dogodkov za vsako ponovitev

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

Konfliktni tip:

- I - prečkanje (crossing)
- II - sprememba voznega pasu (lane – change)
- III - trk spredaj - zadaj (rear – end)

- TTC ...čas do trka
- PET ...priključni čas
- MaxS ...največja hitrost obeh vozil
- DeltaS ...razlika v hitrosti vozila
- DR ...pojemek vozila
- MaxD ...največji pojemek drugega vozila
- MaxDeltaV ...največja vrednost DeltaV (sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku obeh vozil) v konfliktu

Preglednica 3 je primer razpoložljivih podatkov za vsak konfliktni dogodek. Zbrani so bili tudi zbirni podatki ali povzetki ukrepov, kot je npr. skupno število konfliktov z vrednostjo TTC na različnih nivojih (npr. $0 < TTC \leq 0,5$, $0 < TTC \leq 1,0$). Ta selekcija podatkov se opravi z uporabo funkcije Filter za SSAM. Primer združevanja konfliktnih tipov je prikazan v preglednici 4.

Konfliktni tip	Število konfliktov	\overline{TTC}	\overline{PET}	\overline{DR}	\overline{MaxS}	\overline{DeltaS}
I	55	1.2	1.1	-4.5	20.5	17.3
II	65	1.5	1.3	-1.68	19.5	16
III	57	1.33	1.12	-5.73	22.6	21.3

Preglednica 4: Glavne varnostne meritve za vsak konfliktni tip

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

4.1.4 Statistični rezultati za več ponovitev

Vsak model križišča je simuliran z več ponovitvami. Vsak uporablja različno naključno število vrednosti, kot tudi statistične porazdelitve rezultatov, ki se zberejo in analizirajo. Za alternative modelov križišč je bilo uporabljeno vzorčno število desetih ponavljanj.

4.1.5 Primerjava alternativnih modelov (t-test)

Za vsak sklop (par) alternativnih modelov so bili statistično primerjani izhodni podatki meritev zaradi identifikacije pomembnih razlik med modeli. Primer te primerjave je prikazan v tabeli 3. Student's t-test je bil uporabljen za primerjavo vsake vrste nadomestnih varnostnih ukrepov in frekvence konfliktov za alternativne modele. Različna značilnost vzorčne variance se preveri z uporabo F-testa pred t-testom. T-test izračuna verjetnost razlik na dva načina. V prvem poskusu, nulta hipoteza (H_0) kaže, da je razlika med dvema vzorcema 0. Na podlagi razlike ravni dveh varianc sta t-stopnja in stopnja svobode izračunani na različen način. Ko je povprečno število dogodkov v kategoriji konfliktnega tipa in/ali skupnih konfliktov manj kot 0,5 (kar pomeni, da se od desetih ponavljanj dogodek zgodi približno na vsako drugo simulacijo), so podatki označeni kot N/A in noben izhodni test ni zabeležen.

T-test

(I. N. Bronštejn, 1997). S pomočjo t-testa preverjamo domneve o enakosti dveh povprečij. To storimo tako, da izberemo neko (neodvisno) spremenljivko, ki vzorec razdeli na dva dela (dve skupini), nato pa za vsak del izračunamo povprečje izbrane spremenljivke, povprečji pa med seboj primerjamo. Hkrati tudi določimo stopnjo značilnosti (α), na podlagi katere določimo kritično območje.

Analitična formula za t-test:

$$t_{df=(n_1+n_2-2)} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

- pri čemer s_x v imenovalcu pomeni standardno napako ocene aritmetične sredine, ki jo izračunamo po formuli s/\sqrt{n} .
- Znano je, da če so izpolnjeni pogoji (slučajnostni izbor, normalna porazdelitev Y), se ta statistika porazdeljuje v obliki t porazdelitve z $df = (n_1+n_2-2)$ prostostnimi stopnjami.

Na vzorčnih podatkih izračunamo eksperimentalno vrednost statistike, in če le-ta pade v kritično območje, ničelno domnevo zavrnemo in sprejmemo osnovno domnevo ob že prej določeni stopnji značilnosti α , sicer pa rečemo, da vzorčni podatki kažejo na statistično neznačilne razlike med parametrom in vzorčno oceno.

Varianci po obravnavanjih morata biti (v populaciji) enaki. Če nista, očitno ne kontroliramo slučajnih vplivov.

Več možnih testov:

- test $F = \text{večja } s^2 / \text{manjša } s^2$, ki se porazdeljuje F z $df_1=n_v-1$ in n $df_2=n_m-1$ stopinjami prostosti, pri čemer sta n_v in n_m velikosti večjega in manjšega vzorca

- Levenejev test: boljši (ni toliko občutljiv na nenormalnost porazdelitve) in bolj splošen (tudi za več kot 2 skupini)

F-test

(*Marijan Blejec, 1967*) Ker gre pri preizkusu

$$H_0: M_1 = M_2 = \dots = M_k$$

za hkratno vrednotenje razlik med več aritmetičnimi sredinami, ocenimo te razlike z varianco, ki izraža razlike med aritmetičnimi sredinami. Označimo jo s s_k^2 in jo imenujemo ocena variance med skupinami.

Preizkus, ki izhaja iz te ocene, je

$$F = \frac{s_k^2}{s_0^2}$$

Z njim primerjamo oceno variance med skupinami s_k^2 z s_0^2 , ki jo imenujemo ocena variance znotraj skupin. Izračunano vrednost preizkusa - F primerjamo s teoretično vrednostjo F pri stopinjah prostosti

$$m_1 = k - 1 \text{ in } m_2 = n - k$$

Simulacijska modela	sprememba voznega pasu št.	trk od zadaj št.	prečkanje št.	skupno število konfliktov
A	215	199	58	582
B	106	176	24	353
t- vrednost	2.98	1.56	2.06	2.39
značilnost	YES	NO	YES	YES

Preglednica 5. Primer T-test rezultatov za število konfliktnih dogodkov

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

Simulacijska modela	TTC - 1.5s	TTC - 1.0s	TTC - 0.5s	skupni TTC
A	1.2	0.9	0.5	1.0
B	0.8	0.78	0.45	1.25
t- vrednost	2.21	1.35	1.23	1.28
značilnost	YES	NO	NO	NO

Preglednica 6. Primer T-test rezultatov za povprečno vrednost TTC

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

Preglednici 5 in 6 prikazujeta primere statistične analize, ki so bile izvedene v teoretični študiji.

4.1.6 Primerjava z napovedano frekvenco nesreč

Poleg primerjalne analize za vsak sklop (par) alternativnih modelov teoretična študija primerja tudi relativne vrednosti nadomestnih ukrepov varnosti, da predvidi varnost modelov na regresijski bazi napovedovanja varnosti in kalibriranja od drugih.

Regresijski modeli so bili uporabljeni za izračun pričakovane frekvence nesreč za vsak simuliran scenarij. V tej študiji je bil uporabljen lognormalni regresijski model. Posebni modeli se uporabljajo za vsak razred križišč:

- Mestno, 4 –krako, signalizirano / stop - kontrolirano križišče
- Mestno, 3–krako, signalizirano / stop – kontrolirano križišče (T- križišče)
- Diamantno križišče
- Krožno križišče

4.2 T - KRIŽIŠČE

Model za napoved nesreč za urbano T- križišče (signalizirano) sta analizirala (Bared, J.G. in Kaiser, 2001)

1. Enačba. T – križišče, signalizirano – model napovedi nesreče

$$A = (ADT_{main})^{0.3008} (ADT_{cross})^{0.2867} \exp(-4.9666)$$

A	predvideno število vseh nesreč v križišču na leto
ADT	PDP – povprečni dnevni promet (vozilo/dan)
ADT _{main}	vstop ADT na glavno cesto
ADT _{cross}	vstop ADT na stransko cesto

Model za napoved nesreč za urbano T- križišče (nesignalizirano) sta analizirala (Hardwood, D.W. in Council, 2000.)

2. Enačba. T – križišče, nesignalizirano – model napovedi nesreče

$$A = AMF_1 * AMF_2 * AMF_3 * AMF_4 \exp(0.005 SKEW) \exp(-10.9 + 0.79 \ln ADT_1 + 0.49 \ln ADT_2)$$

A	predvideno število vseh nesreč v križišču na leto
AMF ₁	modificiran faktor za nesreče za levi zavijalni pas na prednostni cesti : 0.78 za en tak prednostni pas
AMF ₂	modificiran faktor za nesreče za desni zavijalni pas: 0.95 za desni zavijalni pas na enem prednostnem pasu
AMF ₃	modificiran faktor za nesreče pri omejitvi s prometnimi znaki: 1.05 če je razdalja znaka limitirana na enem kvadrantu križišča 1.10 če je razdalja znaka limitirana na dveh kvadrantih križišča 1.15 če je razdalja znaka limitirana na treh kvadrantih križišča

	1.20 če je razdalja znaka limitirana na štirih kvadrantih križišča
AMF ₄	0.53, modificiran faktor za nesreče za pretvorbo iz stranske ceste do kontrolnega znaka stop
SKEW	križiščni skew kot (v stopinjah), izražen kot absolutna vrednost razlike med 90 ⁰ in dejanskim križiščnim kotom
ADT ₁	volumen ADT (vozilo/dan) na prednostni cesti
ADT ₂	volumen ADT (vozilo/dan) na stranski cesti

4.3 KROŽNO KRIŽIŠČE

Modeli za napovedi nesreč so bili razviti za 4–krako signalizirano križišče v ZDA. Kljub temu pa ne obstaja model za napovedovanje nesreč za ameriška krožna križišča in vedenja voznikov. Glede na razmeroma nedavno uvedbo krožišč v ZDA in voznikovih nepoznavanj teh krožišč so bili uporabljeni modeli za napovedi nesreč iz drugih držav.

Modeli nesreč, ki se nanašajo na frekvenco nesreč v karakteristikah krožišča, so na voljo v Veliki Britaniji. Britanske enačbe za napoved nesreč za vsako posamezno vrsto nesreč so navedene v spodnjem razdelku. Potrebno je upoštevati, da te enačbe veljajo za krožišča s 4 kraki. Ne glede na to je lahko uporaba teh modelov za relativno primerjavo še vedno primerna.

3. Enačba. Vstop v krožni promet v krožišču – model napovedi nesreče

$$A = 0.052Q_e^{0.7}Q_c^{0.4} \exp(-40C_e + 0.14e - 0.007ev - \frac{1}{1 + \exp(4R - 7)} + 0.2P_m - 0.01\theta)$$

A	poškodbe telesa (vključno s smrtnimi) na leto na vstopu v krožišče
Q _e	prometna prepustnost uvoza (1000 vozil/dan)
Q _c	moč prometa na krožnem voznom pasu (1000 vozil/dan)
C _e	vstopna ukrivljenost (C _e = 1/R _e)
R _e	vhodni radij (m)
e	širina uvoza (m)

v	širina pasu pred uvozom (m)
R	razmerje med krožnim premerom in premerom osrednjega otoka
P_m	delež motornih koles (v procentih,%)
θ	vpadni kot (v stopinjah, °)

4. Enačba. Model napovedi nesreč – za približevanje krožečemu prometu v krožišču

$$A = 0.057 Q_e^{1.7} \exp(20C_e - 0.1\theta)$$

A	poškodbe telesa (vključno s smrtnimi) na leto na približevanje oz. na kraku pred krožišče
Q_e	prometna prepustnost uvoza (1000 vozil/dan)
C_e	vstopna ukrivljenost ($C_e = 1/R_e$)
R_e	vhodni radij (m)
e	širina uvoza (m)

5. Enačba. Model napovedi nesreč – za ostala vozila v krožišču

$$A = 0.0026 Q_e^{0.8} Q_c^{0.8} \exp(0.2P_m)$$

A	poškodbe telesa (vključno s smrtnimi) na leto v krožišču ali na kraku
Q_c	moč prometa na krožnem vozem pasu (1000 vozil/dan)
Q_e	prometna prepustnost uvoza (1000 vozil/dan)
P_m	delež motornih koles (v procentih,%)

6. Enačba. Model napovedi nesreč za pešce v krožišču

$$A = 0.029 Q_{ep}^{0.6}$$

A	poškodbe telesa (vključno s smrtnimi) na leto v krožišču ali na kraku
-----	---

Q_{ep}	produkt $(Q_e + Q_{ex})Q_p$
Q_e	prometna prepustnost uvoza (1000 vozil/dan)
Q_{ex}	prometna prepustnost izvoza (1000 vozil/dan)
Q_p	prometna prepustnost pešcev (1000 pešcev/dan)

Ker sedanje metode opredeljujejo zgolj konfliktni dogodek za dve vozili, tipa nesreče 5 in 6 (ostala vozila in pešci) nista bila upoštevana pri uporabi modelov za napovedovanje za krožišča.

4.4 Primerjava ranga križišč po konfliktnih in frekvencah nesreč

Drugi pomembni kazalec za SSAM je korelacija nadomestnih ukrepov s predvidenimi frekvencami nesreč. Taka primerjava je bila opravljena za vsak primerjalni scenarij v teoretični študiji. Najprej je bila izvedena simulacija za vsako križišče z različnim prometnim volumnom (nizek, srednji in visok povprečni letni dnevni promet PLDP ali AADT) in ustreznimi konflikti (skupno število konfliktov in skupno število konfliktov za vsak tip dogodka), ki so bili analizirani. Rezultati so bili nato razvrščeni po rangu od najvišjega do najnižjega.

Za vsak modelni scenarij je bilo predvideno število nesreč z uporabo obstoječih modelov za napoved nesreč tudi izračunano. Ta napoved se ponovi za vsako stopnjo prometnega volumna (tj. PLDP). Rang števila nesreč je bil takrat ugotovljen in primerjan z rangom števila konfliktov za vsak tip. Tabela 5 prikazuje primer podatkov, potrebnih za korelacijski izračun. Tabela 6 prikazuje primer rangiranih podatkov.

Spearmanov rang korelacije koeficientov je bil nato izračunan za določitev ravni sporazuma med vsakim parom v rangu. Definiran je kot:

Enačba. Spearman rang korelacije koeficientov

$$R_s = 1 - 6 \sum \frac{d^2}{N(N^2 - 1)}$$

- d razlika med rangi
 N število parov v rangu

Nato je rezultat korelacijskega koeficienta primerjan s kritično vrednostjo koeficienta z ustrežno velikim vzorcem in primerno stopnjo. Če je absolutna vrednost koeficienta večja kot kritična vrednost, potem je mogoče sklepati, da gre za odnos med temi vzorci oz. primeri. Če je R_s vrednost -1, potem je med dvema sklopoma podatkov popolna negativna korelacija. Če pa je R_s vrednost 1, potem je med obema sklopoma podatkov popolna pozitivna korelacija. Preglednica 7 določa numerični primer tega. V tem primeru bi ugotovili, da ima konfliktni podatek pozitivno, vendar šibko korelacijo s predvideno frekvenco nesreč.

PLDP	prečkanja		trk od zadaj		sprememba voznega pasu		konfliktno število		frekvenca nesreč	
	<i>M</i>	Rang	<i>M</i>	Rang	<i>M</i>	Rang	<i>M</i>	Rang	<i>M</i>	Rang
PLDP 1	5	9	25	5	20	3	50	8	6	8
PLDP 2	7	11	30	7	7	1	44	6	5.5	7
PLDP 3	2	1	5	3	18	2	25	3	3	3
PLDP 4	3	5	2	2	20	3	25	3	4	5
...	5	9	1	1	30	4	36	5	5	6

Preglednica 7. Primer rangiranih podatkov

(Vir: Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008)

- M povprečna vrednost meritev
 PLDP povprečni letni dnevni promet

4.5 Uskladitev enot

V modelih napovedovanja nesreč je prometni volumen podan v enoti ADT (PDP – povprečni dnevni promet), medtem ko je v vseh simulacijah podan kot – vozilo/uro. Za uskladitev teh dveh enot uporabimo K- faktor:

$$ADT = \frac{HV}{K}$$

ADT	=PDP
HV	Urni volumen (vozil /uro)
K	Pretvorbeni faktor

Vrednost K se spreminja glede na vrsto območja. Vrednosti za K so povzete po Highway Capacity Manual (2000).

tip območja	K- faktor
Urbanizirano	0.091
Urbano	0.093
Prehodno/urbano	0.093
Podeželsko - razvito	0.095
Podeželsko - nerazvito	0.100

Kjer so:

- Urbana območja z najmanj 5.000 prebivalcev
- Prehodna območja, ki jih je potrebno vključiti v urbana območja v 20-ih letih

4.6 Prekrivajoča se vozila v .trj podatkih

V vsakem simulacijskem modelu so situacije, katerih rezultat je virtualna nesreča. To so situacije, kjer logika v simulacijskih modelih možnost takega manevra ne prikaže točno in v celoti kot fizično možnost.

To se ne zgodi pogosto glede na skupno število prometnih manevrov, ki se pokažejo v simulaciji. Ker so bili podatki analizirani v izredni »nanoscopic« leščvici, SSAM opredeli te modele kot netočne konflikte $TTC = 0$ (»nesreča«). V nekaterih primerih analize je opaziti, da je tudi virtualni trk v analizi rezultatov prikazan v različnih statističnih določitvah.

5.0 NAPOVEDOVANJE NESREČ

Poglavje se nanaša na neposredno natančnost nadomestnih varnostnih ocen za križišča (SSAM) v korelaciji z dejanskimi frekvencami nesreč. To tudi omogoča primerjavo nadomestnih varnostnih ocen s tradicionalnim modelom ADT za napovedovanje nesreč.

5.1 Namen in primerjava

To prizadevanje je sestavljeno iz niza statističnih testov za presojo povezave med dejanskimi frekvencami nesreč in ustrezno pogostostjo konfliktov, opaženih pri simulaciji modelov.

Izbrano je bilo 83 križišč (štirikraka, signalizirana), ki so bila modelirana v VISSIM-u in ocenjena v SSAM-u. Rezultati analize teh križišč so bili primerjani z zgodovino dejanskih nesreč (na podlagi preteklih zavarovalnih zahtevkov) s petimi statističnimi testi.

Na bazi simulacijskih konfliktnih podatkov križišč, ki jih je SSAM obdelal, so bili ti podatki zelo podobni podatkom, zbranim na terenu. Izjema so bili le konflikti med pasovnimi prehodi – manevri (npr. levi zavijalec trči z nasprotno vozečim vozilom), ki so bili premalo zastopani v simulaciji. Križiščni rang, ki temelji na skupni frekvenci konfliktov, je v korelaciji s križiščnim rangom, ki temelji na skupni frekvenci nesreč s Spearmanovim rang koeficientom 0,463 (podobno velja za trk spredaj – zadaj in spremembo pasu). Razmerje med skupno število konfliktov in skupnim številom nesreč kaže korelacija R^2 – vrednost je 0,41.

$$\frac{\text{Nesreče}}{\text{Leto}} = 0.119 * \left(\frac{\text{Konflikti}}{\text{Uro}} \right)^{1.419}$$

Ta povezava konfliktov za nesreče je v skladu z obsegom povezav, o katerih so poročali v številnih študijah med ADT in nesrečami za urbana signalizirana križišča. Ta rezultat je bil dosežen kljub dopoldanski simulaciji urne konice. Modeli za napoved nesreč, ki temeljijo na letnem povprečju 24-ur ADT volumna predstavljajo korelacijsko vrednost $R^2 = 0,68$ z dejanskimi frekvencami nesreč.

5.2 Občutljivost na simulacijske programe

Analiza občutljivosti je bila narejena za pet križišč (od zgoraj navedenih 83). Izvedena je bila ločeno za vsak mikrosimulacijski model: VISSIM, AIMSUN, Paramics in TEXAS. Nesreče (vozila, ki vozijo vsaka skozi vsako) so bile ugotovljene v vseh simulacijah in SSAM se je izkazal za posebej koristen v razkrivanju vprašljivih simulacijskih vedenj (v nekaterih primerih zaradi uporabniško izvedenih modelov, v drugih pa zaradi simulacijske logike programa).

V nekaterih simulacijskih sistemih so opažena problematična obnašanja vozil, ki niso bila lokalizirana na področju križišča oz. so odmaknjena stran od njega, zlahka filtrirana. Nesreče za vozila, ki vozijo vsaka čez vsako, bi bilo treba odstraniti (ali vsaj omejiti), tako da bi proizvajalci v svoje modele dodali procesno logiko. Prizadevanja za izboljšanje TEXAS-a in VISSIM-a, ki temeljijo na ugotovitvi iz analize SSAM, so že v teku. Vendar v nekaterih primerih tudi uporabnik sam igra pomembno vlogo pri modeliranju simulacije. Zanimivo je, da je tudi SSAM koristen pri ugotavljanju modeliranja netočnosti v vsakem od sistemov. Npr. v VISSIM-u lahko postavitev in usmerjenost priključkov in povezav (links) znatno vpliva na pojav teh virtualnih nesreč. Z uporabo SSAM je mogoče te umestitve virtualnih nesreč odstraniti s filtriranjem.

6.0 IZRAČUN RAVNI PROMETNE VARNOSTI KRIŽIŠČ

(Tollazzi, 2007). Izračun je povzet po primerjalni analizi metodologij za napovedovanje ravni prometne varnosti v nivojskih nesemaforiziranih križiščih.

Metodologija izhaja iz seštevka vseh možnih konfliktnih situacij, pri čemer dobimo teoretično največje možno število prometno nevarnih situacij.

$$PNS = \sum st.K + \sum st.C + \sum st.Z + \sum st.P ,$$

PNS	število prometno nevarnih situacij v časovni enoti (en dan)
st.K	število križanj prometnih tokov
st.C	število cepljenj (odcepljanj) prometnih tokov
st.Z	število priključevanj (združevanj) prometnih tokov
st.P	število prepletanj prometnih tokov

Enačba predstavlja splošen obrazec za določitev največjega možnega števila PNS v kateremkoli tipu nivojskega križišča. Število PNS je odvisno od števila konfliktnih točk in jakosti povprečnega prometnega toka v časovni enoti, npr. v enem dnevu. Na sliki 17 so prikazana nevarna mesta v posameznih tipih nivojskih nesemaforiziranih križiščih ob predpostavki, da vsi vozniki upoštevajo pravila vožnje v posameznih tipih križišč.

V praksi se žal tovrstna pravila vožnje konstantno kršijo, kar pa je tudi eden izmed glavnih vzrokov za prometne nesreče v krožiščih.

Enačbe za tipična nivojska križišča:

1. Enačba. T – križišče

$$PNS_{KT} = \sum_{k=1}^3 P_k + \sum_{z=1}^3 P_z + \sum_{c=1}^3 P_c ,$$

PNS_{KT} število PNS v časovni enoti (en dan)

P_K presek prometnih tokov v točkah križanj prometnih tokov

P_C presek prometnih tokov v točkah cepljenj prometnih tokov

P_Z presek prometnih tokov v točkah priključevanj prometnih tokov

2. Enačba. Štirikrako – križišče

$$PNS_{KS} = \sum_{k=1}^{16} P_k + \sum_{z=1}^8 P_z + \sum_{c=1}^8 P_c ,$$

PNS_{KS} število PNS v časovni enoti (en dan)

P_K presek prometnih tokov v točkah križanj prometnih tokov

P_C presek prometnih tokov v točkah cepljenj prometnih tokov

P_Z presek prometnih tokov v točkah priključevanj prometnih tokov

3. Enačba. Enopasovno krožno križišče

$$PNS_{EK} = \sum_{z=1}^u P_z + \sum_{c=1}^u P_c ,$$

PNS_{EK} število PNS v časovni enoti (en dan)

u število krakov v krožnem križišču (npr. 3 ali 4)

P_C presek prometnih tokov v točkah cepljenj prometnih tokov

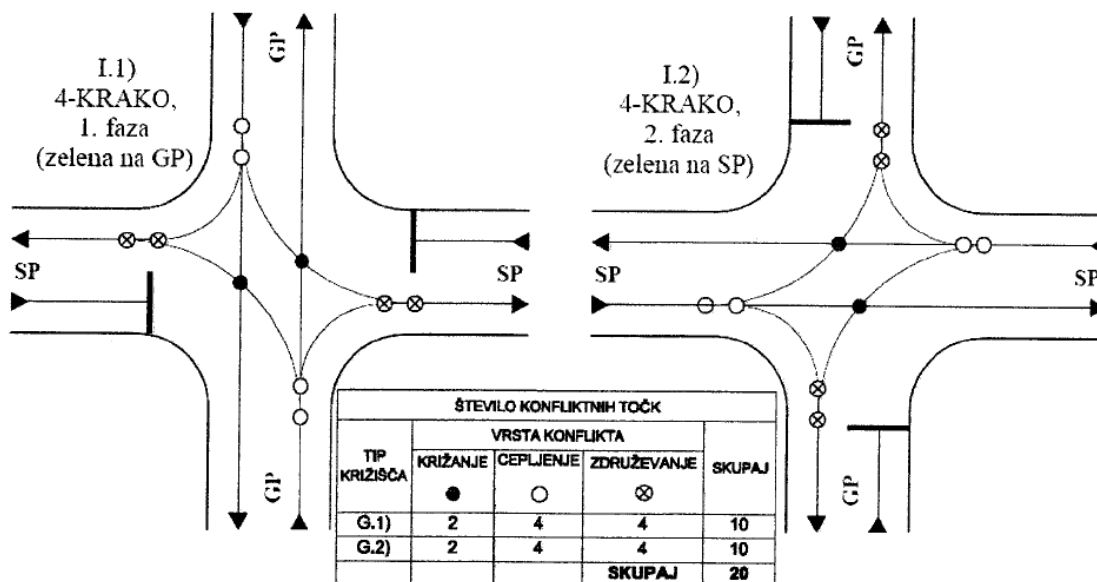
P_Z presek prometnih tokov v točkah priključevanj prometnih tokov

4. Enačba. Dvopasovno krožno križišče

$$PNS_{DK} = \sum_{z=1}^u P_z + \sum_{c=1}^u P_c + \sum_{p=1}^u P_p ,$$

- PNS_{DK} število PNS v časovni enoti (en dan)
- u število krakov v krožnem križišču (npr. 3 ali 4)
- P_C presek prometnih tokov v točkah cepljenj prometnih tokov
- P_Z presek prometnih tokov v točkah priključevanj prometnih tokov
- P_K presek prometnih tokov v točkah prepletanj prometnih tokov

Pri semaforiziranih križiščih število potencialnih konfliktnih točk umetno zreduciramo s pomočjo faznih programov. Običajno so semaforji opremljeni z dvofaznim programom, ki v klasičnem 4-krakem križišču omogoča skupno 10 konfliktov na posamezno fazo, kot je prikazano na sliki 16.



Slika 16: Konfliktné točke v nivojskem semaforiziranem 4-krakem križišču

(Vir: Leben Stanislav, 2009)

Izračun števila PNS je poleg konfliktnih točk in prometne obremenitve odvisen tudi od časovne razporeditve prometnih tokov oz. dolžine cikla in posameznih faz.

5. Enačba. Štirikrako semaforizirano križišče

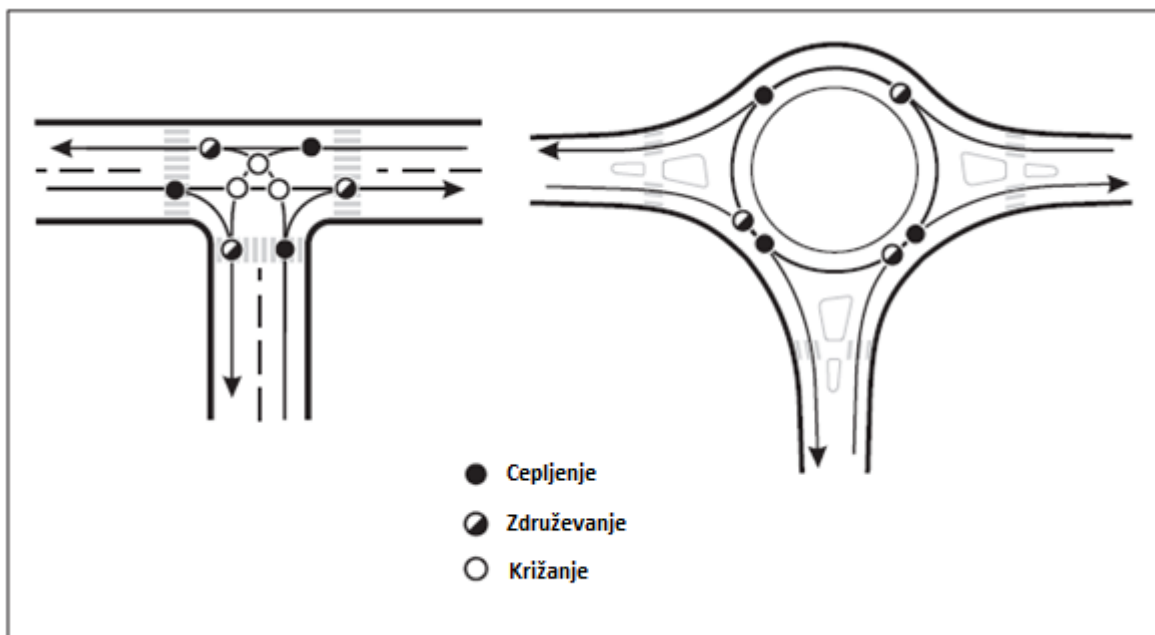
$$PNS_{SK-S} = \sum_{k=1}^2 P_{k,GPS} + \sum_{z=1}^4 P_{z,GPS} + \sum_{c=1}^4 P_{c,GPS} + \sum_{k=1}^2 P_{k,SPS} + \sum_{z=1}^4 P_{z,SPS} + \sum_{c=1}^4 P_{c,SPS}$$

PNS_{SK-S}	število PNS v časovni enoti (en dan)
P_C	preseki prometnih tokov v točkah cepljenj prometnih tokov
P_Z	preseki prometnih tokov v točkah združevanj prometnih tokov
P_K	preseki prometnih tokov v točkah križanj prometnih tokov
GPS	glavna prometna smer (1. faza)
SPS	stranska prometna smer (2. faza)

V izračunu niso upoštevane konfliktna situacije s pešci in kolesarji ter naletna trčenja, ki so v semaforiziranih križiščih običajno bolj pogosta kot na nesemaforiziranih križiščih. Poseben problem predstavljajo tudi vozniki, ki lovijo zeleno luč in v končni fazi pogosto hkrati prevozijo tudi rdečo luč.

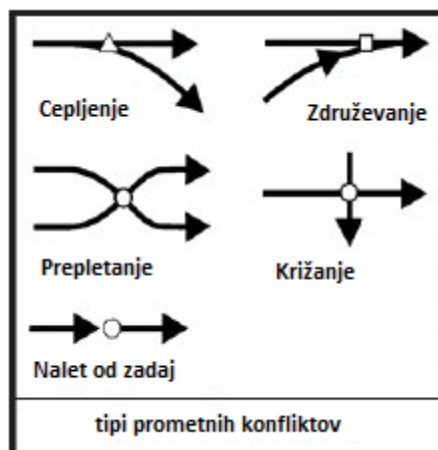
6.1 Konfliktna točka

Krožno križišče lahko izboljša varnost križišč z eliminacijo konfliktnih točk. Tukaj gre predvsem za spremembo hitrosti pred prihodom v krožišče. Ta prisili voznika, da zmanjša hitrost pred vstopom v samo krožišče in v njem.



Slika 17: Konfliktne točke za T – križišče in krožišče

(Vir: <http://www.tfhr.gov/safety/00-0675.pdf>)



Slika 18: Tip konfliktov

(Vir: <http://www.tfhr.gov/safety/00-0675.pdf>)

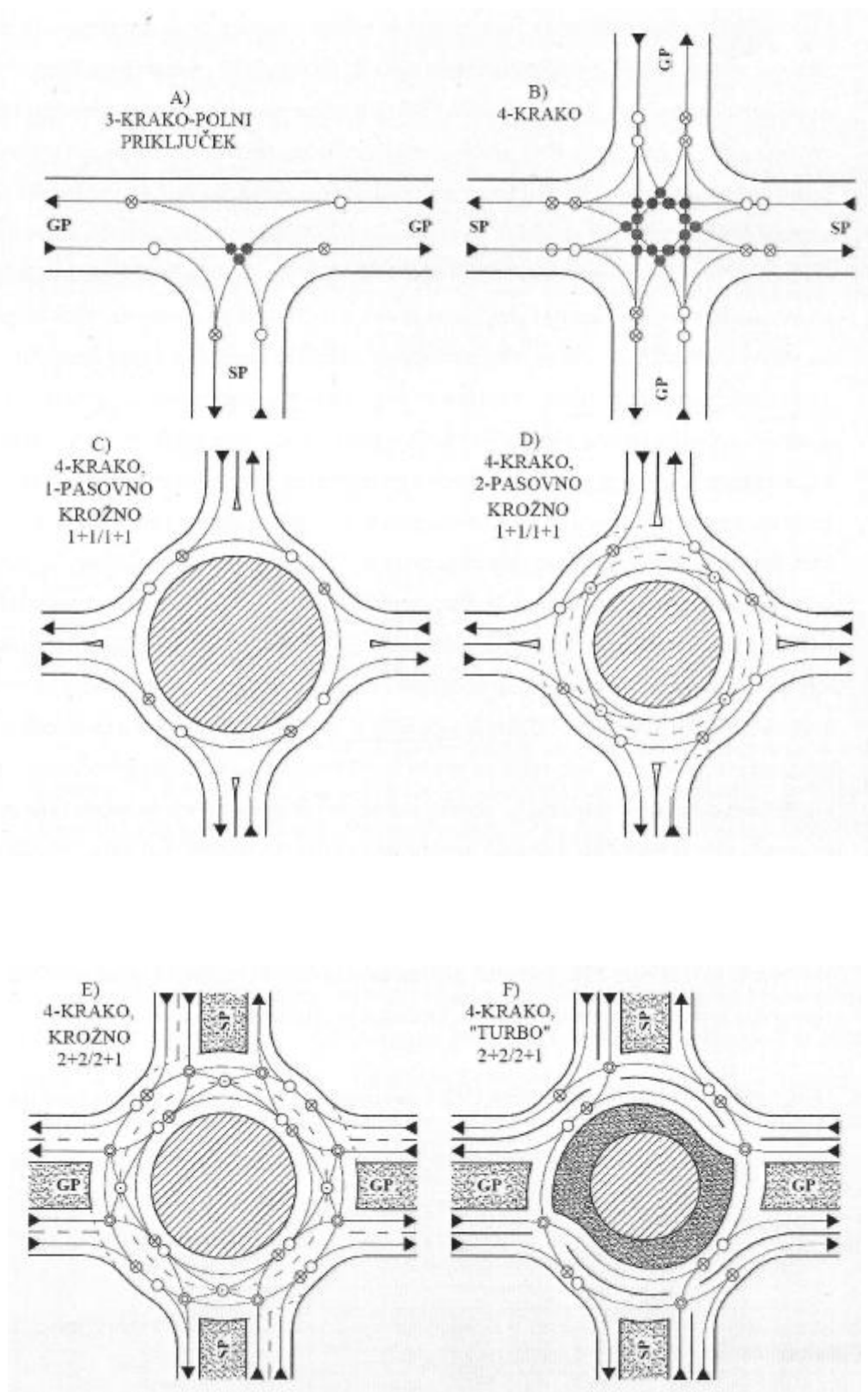
Slika 18. predstavlja diagram konfliktnih točk (vozilo – vozilo) za T- križišče in krožno križišče (en notranji pas). Število konfliktnih točk za krožišče s tremi kraki se tako zmanjša na šest točk. Pri tem je potrebno upoštevati, da diagram ne upošteva sposobnost ločenih konfliktov v prostoru (uporaba ločenih pasov za leve in desne zavijalce) in času (uporaba signalnih naprav ali prometnih znakov). T- križišče pa ima 9 konfliktnih točk.

Pri več-pasovnih krožnih križiščih je število konfliktnih točk težje določljivo, saj je možnost za izvedbo manevra menjave pasov več, večja pa je tudi konfliktna površina. Lahko govorimo kar o konfliktnih odsekih (Leben, 2009).

TIP KRIŽIŠČA	ŠTEVILO KONFLIKTNIH TOČK					Σ
	VRSTA KONFLIKTA					
	KRIŽAJNE ●	CEPLJENJE ○	ZDRUŽEVANJE ⊗	PREPLETANJE ⊙	KRIŽANJE KROŽ. TOKA ⊙	
A)	3	3	3	0	0	9
B)	16	8	8	0	0	32
C)	0	4	4	0	0	8
D)	0	4	4	4	0	12
E)	0	8	8	4	8	28
F)	0	4	6	0	4	14

Preglednica 8: Število konfliktnih točk v odvisnosti od tipa križišč in vrste konfliktna situacije

(Vir: Leben Stanislav, 2009)



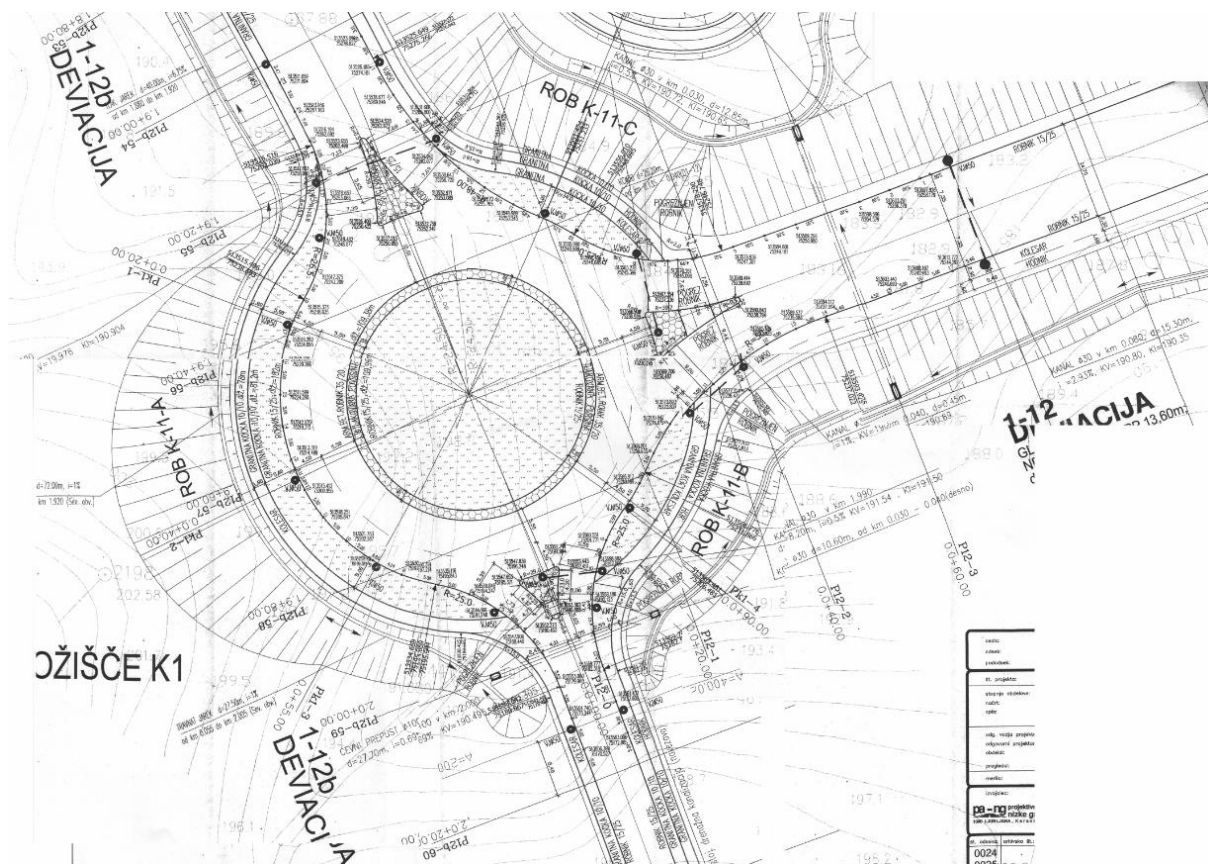
Slika 19: Konfliktne točke v krožnih križiščih

(Vir: Leben Stanislav, 2009)

7.0 NAPOVEDOVANJE PROMETNE VARNOSTI NA KONKRETNEM PRIMERU

7.1 Opis izbranega krožnega križišča

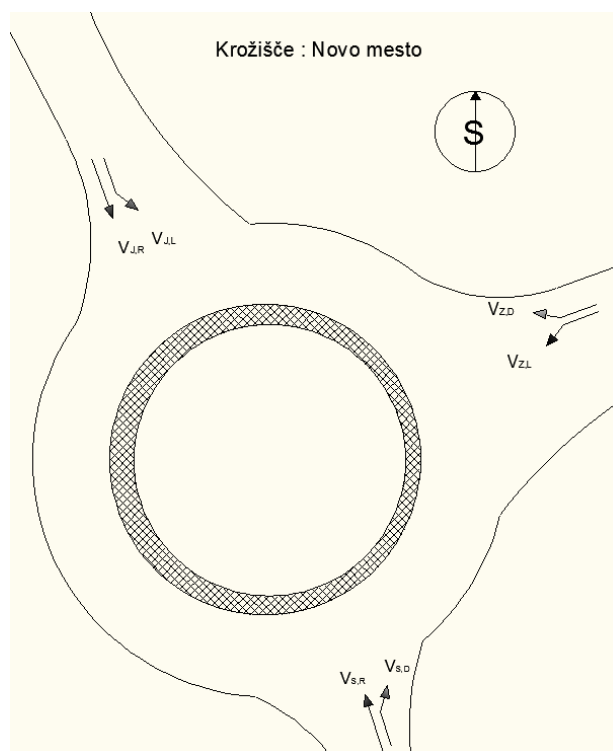
Krožno križišče se nahaja na državni cesti G2 105, odsek 0399 Novo mesto (Bučna vas – Krka) v Novem mestu. Krožišče je novogradnja. Glede na velikost spada med srednja velika krožna križišča (premer: 49m; kriterij: $32 < D < 80m$). Krožišče je dvopasovno, trikrako. Kraki so označeni glede na smer potovanja (slika 24): A – Metlika (jug), B – Ljubljana (zahod), C – BTC (sever). Krak A- enopasovni vhod/izhod, krak B- dvopasovni vhod/izhod in krak C- dvopasovni vhod/ enopasovni izhod v krožno križišče (slika 20).



Slika 20: Tloris krožnega križišča Novo mesto

7.2 Prometne obremenitve

Prometne obremenitve so lahko podane za različne časovne intervale. Za izračun same kapacitete in meril učinkovitosti odvijanja prometa potrebujemo podatke o sedanjih prometnih obremenitvah posameznega križišča za 15-minutne časovne intervale (konične obremenitve).

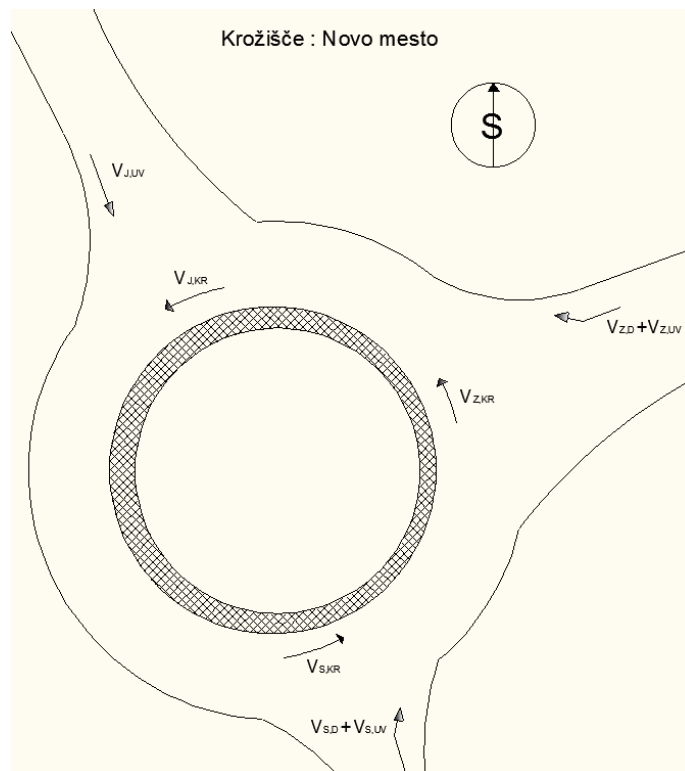


Slika 21: Prometni tokovi

Slika 21 prikazuje trikrako krožišče s šestimi prometnimi tokovi. Na vsakem izmed treh krakov (krak proti jugu, zahodu in severu) se, kot je prikazano, pojavijo dva prometna tokova. Vsak prometni tok ima svojo oznako, in sicer: vozila, ki zavijajo desno (indeks D), vozila, ki peljejo ravno (indeks R), in vozila, ki zavijajo levo (indeks L).

Štetje prometa v krožnih križiščih je mnogo težje kot štetje prometa v klasičnih križiščih predvsem zaradi dejstva, ker je problematično hitro ugotoviti, v katerem izvozu bo določeno

vozilo, ki se približuje po določenem dovozu, zapustilo krožno križišče. Iz tega razloga je bilo štetje prometa izvedeno bolj enostavno, in sicer za krožni prometni tok in uvozni prometni tok, pri čemer je bilo štetje desnih zavijalcev izvedeno posebej (slika 22). Pridobili smo podatke o treh kožnih tokovih, treh uvoznih prometnih tokovih brez desnih zavijalcev (vozila, ki peljejo ravno ali pa zavijejo desno) in podatke o treh prometnih tokovih desnih zavijalcev. Vozila, ki se v krožnem križišču vrnejo na isti krak, iz katerega so prišli, smo zanemarili.



Slika 22: Prometni tokovi, štetje prometa

Iz teh podatkov potem lahko izračunamo vse klasične podatke o prometnih tokovih v križiščih po naslednjih enačbah:

$$V_{S,R} = V_{S,uv}$$

$$V_{Z,L} = V_{J,kr}$$

$$V_{J,R} = V_{J,uv}$$

$$V_{J,L} = V_{S,kr}$$

Prvi indeks v oznakah nam pove smer neba, v katero je usmerjen krak, na katerem opazujemo prometni tok. Drugi indeks pa nam pove, ali gre za krožni prometni tok (kr), uvozni prometni tok (uv) ali za desne zavijalce (D). Problematično je to, da se napake, ki se naredijo pri štetju, seštevajo in odštevajo, posledično lahko tako dobimo tudi rezultate z napakami, ki pa naj ne bi bile večje od dejanskih napak pri štetju. Pomembno je torej, da se šteje natančno in v koordiniranih časovnih intervalih.

Tabela 9 prikazuje konici (jutranjo in popoldansko) prometne obremenitve. Števni podatki so razdeljeni glede na priključek oz. krak (slika 23) ter vrsto vozila. Zaradi večjega deleža tovornih vozil so bila ta obravnavana posebej in posebej vnesena v simulacijski model.

Iz števnih podatkov je razvidno, da je krožišče v jutranji konici zelo obremenjeno na priključku B in A. Delež težkih tovornih vozil je še posebej izrazit v priključku B – levi zavijalci. V popoldanski konici se poveča obremenitev na priključku A in C, medtem ko na priključku B delež težkih tovornih vozil – levi zavijalci – ostaja približno enak. Delež težkih tovornih vozil se poveča tudi na priključku A – desni zavijalci (glej preglednico 9).



Slika 23: Oznaka krakov krožišča (Vir: <http://rkg.gov.si/GERK/autoLogin.jsp>)

Datum štetja: 26.11.2009
 Ura konice: **od 6:30 do 7:30**

	osebna	Phf	lahka t.v.	phf	težka t.v.	phf
Priključek A:	603		21		13	
dovoz:						
Desno	292	0,86	13	0,54	6	0,63
Naravnost	311	0,82	8	0,5	7	0,35
Priključek B:	778		35		29	
dovoz:						
Desno	289	0,72	5	0,63	1	0,25
Levo	489	0,84	30	0,94	28	0,78
Priključek C:	453		32		6	
dovoz:						
Levo	128	0,8	3	0,75	1	0,25
Naravnost	325	0,82	29	0,66	5	0,5

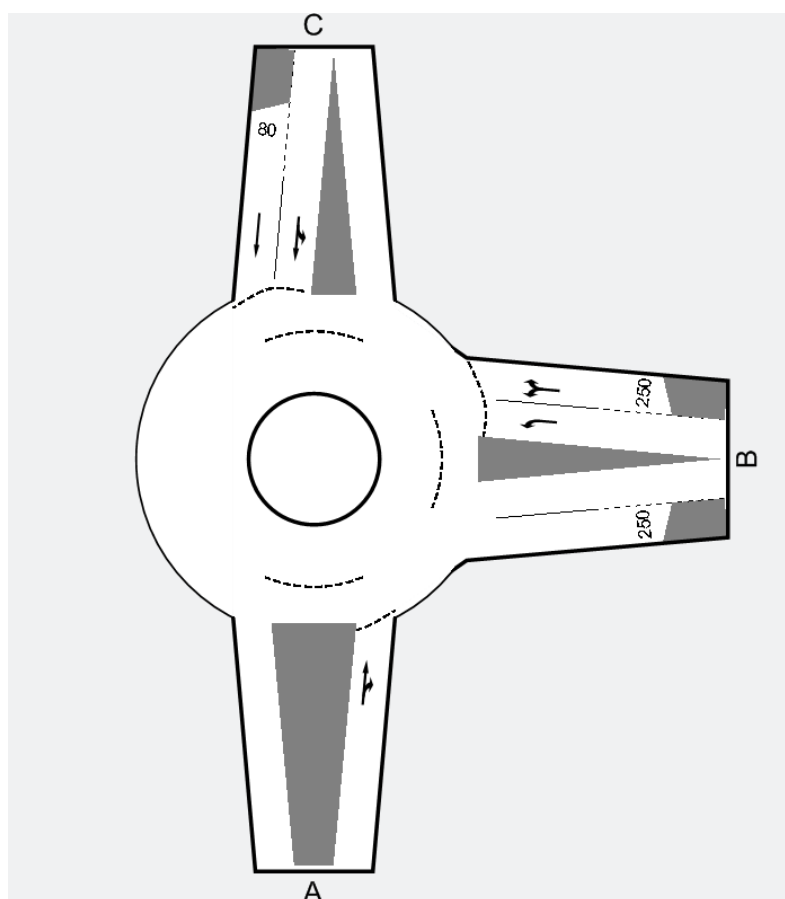
Datum štetja: 26.11.2009
 Ura konice: **od 14:30 do 15:30**

	osebna	Phf	lahka t.v.	phf	težka t.v.	phf
Priključek A:	852		20		37	
dovoz:						
Desno	476	0,88	17	0,85	35	0,8
Naravnost	376	0,84	3	0,75	2	0,5
Priključek B:	520		30		35	
dovoz:						
Desno	169	0,8	10	0,5	6	0,75
Levo	351	0,78	20	0,67	29	0,84
Priključek C:	648		16		19	
dovoz:						
Levo	324	0,77	3	0,75	8	0,5
Naravnost	324	0,87	13	0,81	11	0,55

7.3 SIDRA Intersection

Za vrednotenje uspešnosti delovanja priključkov in krožišča sem uporabil programski paket SIDRA (Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid) intersection. Tukaj gre predvsem za prikaz prometnih obremenitev in analize nivoja uslug (level of service).

Program se uporablja za dimenzioniranje nesemaforiziranih, semaforiziranih in krožnih križišč ter priključkov. Program uporablja podroben analitični prometni model z metodo iteracijskega približevanja za ocenitev statistik posameznih lastnosti priključkov in križišč (nivo uslug, zamude, zajezitvene dolžine, stopnja nasičenja itd.). Osnovni model je zasnovan na metodologiji HCM. Izdelal ga je raziskovalni inštitut Akcelik & Associates iz Melbourne.



Slika 24: Analizirano krožišče

• **Izpis rezultatov – jutranja konica**

Prometne obremenitve (kraki)	Prometne obremenitve (notranjega toka)
Povprečne zamude vozil [s]	Nivo uslug

Preglednica 10: Jutranja konica

• **Izpis rezultatov – popoldanska konica**

Prometne obremenitve (kraki)	Prometne obremenitve (notranjega toka)
Povprečne zamude vozil [s]	Nivo uslug

Preglednica 11: Popoldanska konica

V preglednici 10 in 11 so razvidni rezultati nivoja uslug ter povprečne zamude vozil. Prikazane so tudi prometne obremenitve po krakih v odvisnosti od PHF (peak hour factor). Mejna vrednost za jutranjo konico nivoja uslug je C, ki predstavlja zadovoljivo vrednost. V primeru, da je nivo uslug F, je potrebno izvesti ustrezne ukrepe za povečanje kapacitete priključka (dodatni pasovi itd.). Tovrsten primer se je pokazal v popoldanski konici, in sicer na priključku A. V tej konici je problematičen predvsem velik delež levih zavijalcev na priključku C (preglednica 11 – prometne obremenitve), ki povzročata velike zamude vozil (preglednica 11 – povprečne zamude vozil) na kraku A.

7.4 Analiza obstoječega stanja

7.4.1 PTV Vision – VISSIM

VISSIM (Verkehr In Städten - SIMulationsmodell) je mikroskopski, večnamenski simulacijski program, zasnovan na vedenju voznikov. Z njim je mogoče simulirati mestne ceste, avtoceste ali pa samo kolesarske steze. Poleg izdelave podrobnega prometnega omrežja omogoča tudi t.i. 3D simulacijo v realnem času. Razvila ga je PTV Planung Transport Verkehr AG v Karlsruheju v Nemčiji.



Slika 25: Izsek iz simulacije krožišča - Novo mesto

Model simulacije dejanskega stanja (slika 25) je narejen na podlagi merodajnih prometnih obremenitev (jutranja in popoldanska konica). Za nadaljnjo analizo je bilo potrebno narediti 10 iteracij (.trj datotek). Te iteracije so se nato obdelale v samostojni aplikaciji SSAM.

Preglednici 12 in 13 prikazujeta parametre prometnega modela za jutranjo in popoldansko konico. Vrednosti so vzete na povprečju 10 iteracij (obdelane v Microsoft Excel).

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	1.919
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	38.267
Skupne zamude vozil [h]	7.003
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	12.910

Preglednica 12: Obstoječe stanje – jutranja konica

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	2.126
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	38.272
Skupne zamude vozil [h]	7.841
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	13.042

Preglednica 13: Obstoječe stanje –popoldanska konica

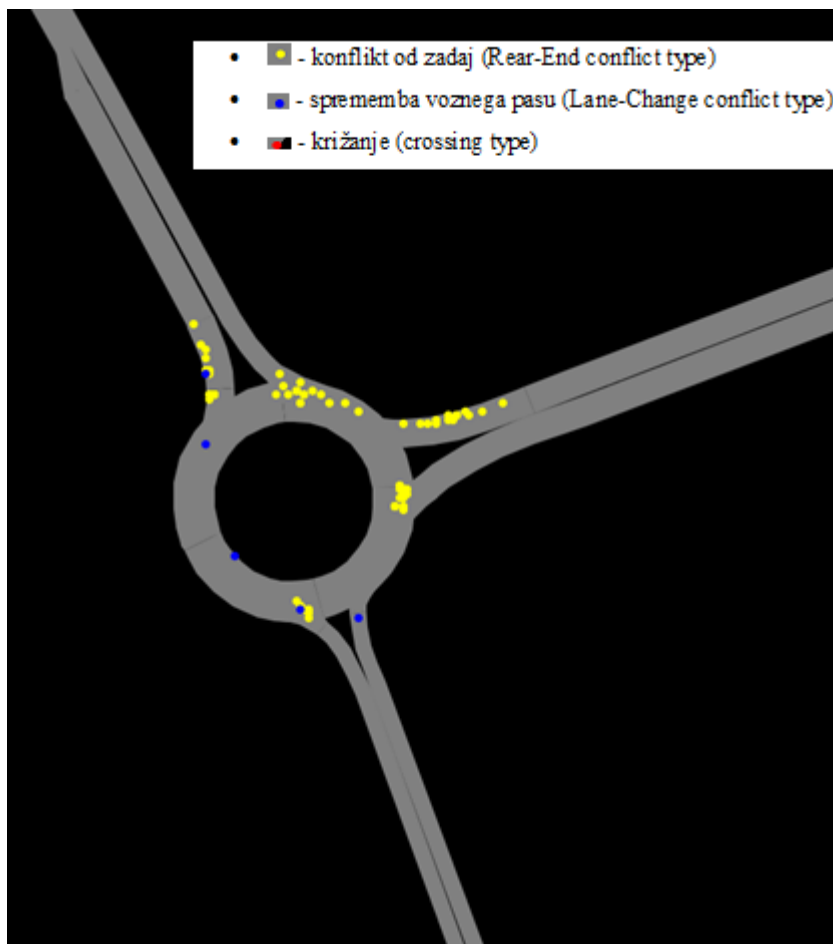
Če tabeli primerjamo med seboj, vidimo, da so povprečne zamude približno enake pri obeh konicah. Odstopanje je vidno le v prometni obremenitvi v omrežju.

7.4.2 Napovedovanje ravni prometne varnosti

7.4.2.1 SSAM

Iteracije, pridobljene s programom VISSIM, so bile nato obdelane v SSAM-u. Ker gre tukaj za obdelavo večje količine podatkov (10 iteracij), je v spodnjih tabelah prikazano le povprečje pridobljenih rezultatov (summary group).

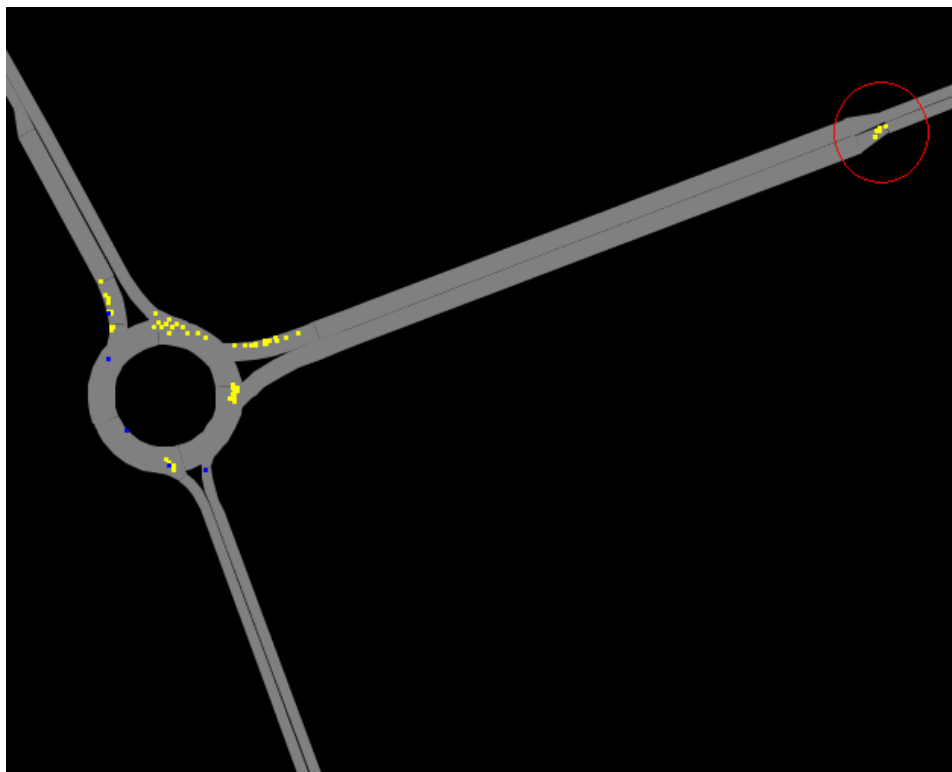
- **Jutranja konica**



Preglednica 26: Konfliktne točke za 1 iteracijo- SSAM

Vsak konflikt je označen z določeno barvo (glej sliko 26). Glede na vrsto konflikta v krožišču je razvidno, da prevladujejo konflikti od zadaj (Rear-End). Ti se največkrat pojavijo na uvozu in izvozu v krožišču.

V nadaljevanju je prikazano območje (slika 27), ki ga je potrebno filtrirati (rdeči krog). Gre za konflikte, ki ne sodijo v nadaljnjo analizo prometne varnosti krožišč.



Slika 27: Filtrirano območje

Povprečje 10 iteracij filtriranega območja je prikazano v preglednici 14. Rezultati meritev SSAM so prikazani v vrednosti minimuma, maksimuma, povprečja in variance odstopanja.

	SSAM	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	0,68	0,48
priključni čas...	PET	0,00	4,80	1,50	2,66
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	1,67	13,66	7,25	4,54
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,06	12,48	4,41	4,57
pojemek vozila....	DR	-7,64	3,35	-1,16	3,01
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-7,80	3,35	-1,76	4,72
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,03	10,02	2,55	1,90

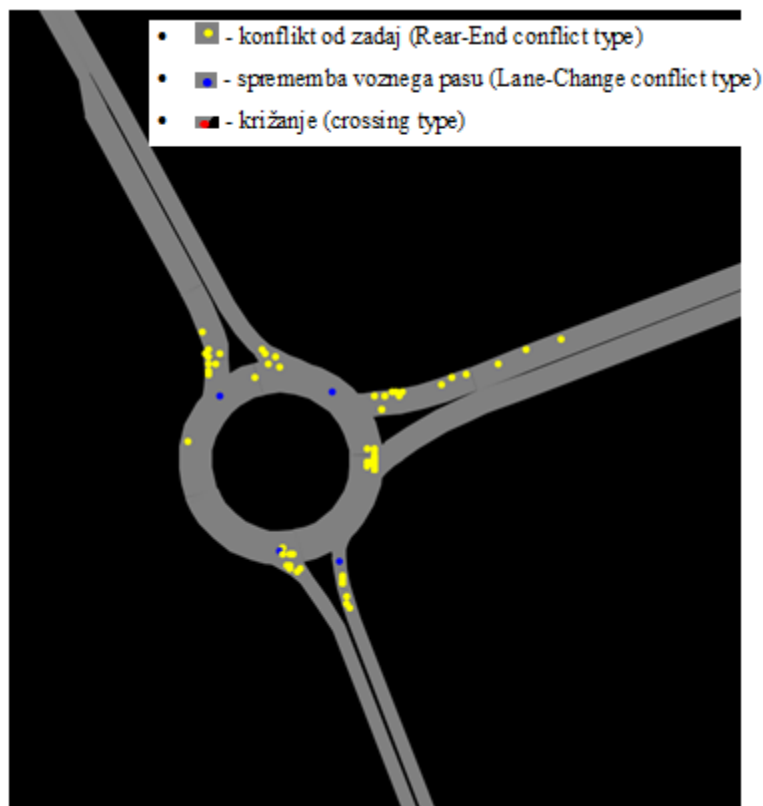
Preglednica 14: Rezultati meritev SSAM

	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	778	0	2	694	82
ap_ik03_real_01.trj	79	0	0	73	6
ap_ik03_real_02.trj	78	0	0	66	12
ap_ik03_real_03.trj	63	0	0	54	9
ap_ik03_real_04.trj	69	0	0	60	9
ap_ik03_real_05.trj	79	0	0	72	7
ap_ik03_real_06.trj	67	0	0	60	7
ap_ik03_real_07.trj	59	0	0	55	4
ap_ik03_real_08.trj	102	0	2	92	8
ap_ik03_real_09.trj	71	0	0	63	8
ap_ik03_real_10.trj	111	0	0	99	12

Preglednica 15: Število konfliktov

Število konfliktov glede na vrsto konflikta za posamezno iteracijo je prikazano v preglednici 15. Prevladujejo konflikti od zadaj, kot je že prikazano na sliki 26.

- **Popoldanska konica**



Slika 28: Konfliktne točke za 1 iteracijo- SSAM

	SSAM Measure	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	0,52	0,43
priključni čas...	PET	0,00	4,80	1,10	2,28
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	0,61	14,07	7,91	5,48
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,18	11,45	4,20	4,46
pojemek vozila....	DR	-7,83	3,22	-1,08	3,89
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-8,00	3,22	-2,07	7,63
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,09	9,71	2,44	1,80

Preglednica 16: Rezultati meritev SSAM

	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	1090	0	0	985	105
\ap_pk03_real_01.trj	103	0	0	97	6
\ap_pk03_real_02.trj	125	0	0	110	15
\ap_pk03_real_03.trj	117	0	0	106	11
\ap_pk03_real_04.trj	83	0	0	75	8
\ap_pk03_real_05.trj	89	0	0	82	7
\ap_pk03_real_06.trj	143	0	0	127	16
\ap_pk03_real_07.trj	69	0	0	65	4
\ap_pk03_real_08.trj	101	0	0	94	7
\ap_pk03_real_09.trj	124	0	0	106	18
\ap_pk03_real_10.trj	136	0	0	123	13

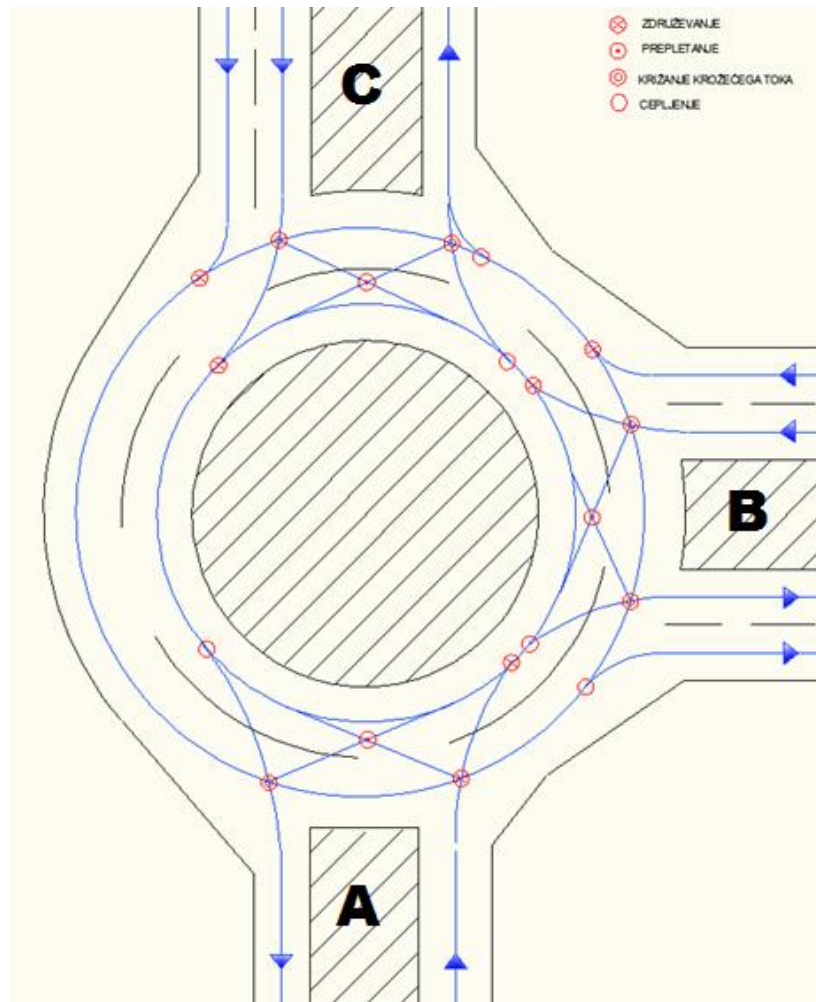
Preglednica 17: Število konfliktov

Če primerjamo obe preglednici (preglednica 14 in preglednica 16), lahko opazimo posamezna odstopanja srednjih vrednosti za posamezno konico. Čas do trka (TTC - srednja vrednost - Mean) je nekoliko manjši v popoldanski konici kot v jutranji konici, vendar je kljub temu več konfliktov v popoldanski nesreči. Temu pogojuje predvsem manjša vrednost priključnega časa (PET) v popoldanski konici.

Tako v popoldanski kot tudi v jutranji konici prevladujejo konflikti od zadaj. Število konfliktov je zaradi TTC-ja in PET-a večje v popoldanski konici (glej preglednici 17 in 15).

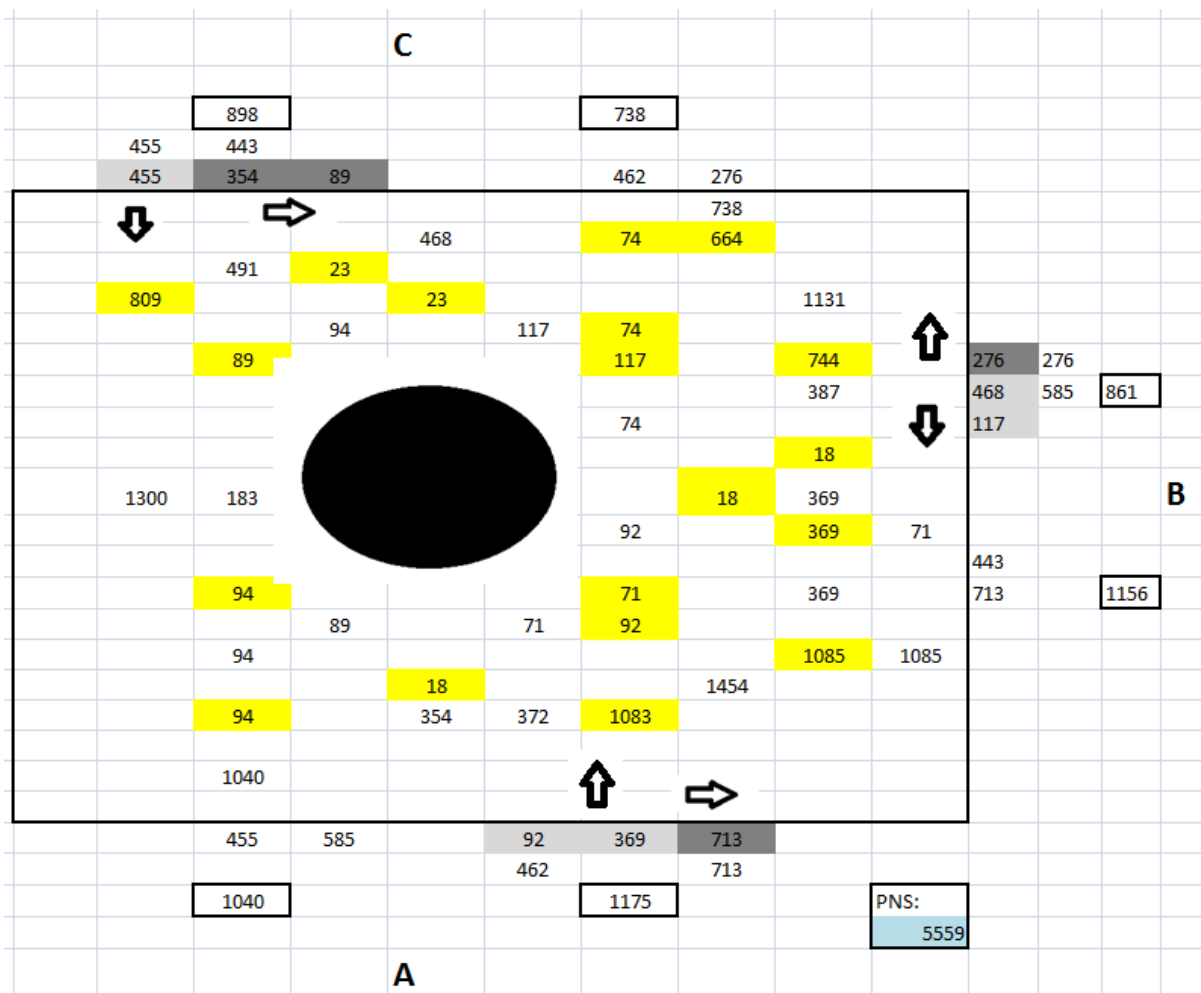
7.4.2.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)

Za določitev skupnega števila PNS potrebujemo podatke o dnevnem prometu. Glede na to da je bilo štetje prometa opravljeno le v prometnih konicah, je bil PNS izračunan na podlagi popoldanske konice (bolj kritična konica). Število prometno nevarnih situacij je bilo v krožišču obravnavano kot: združevanje, cepljenje, prepletanje in križanje prometnih tokov. Izračun maksimalnega števila prometno nevarnih situacij je izvedeno s pomočjo enačbe 4 (glej poglavje - izračun ravni prometno nevarnih situacij).



Slika 29: Teoretične konfliktne točke krožišča – dejansko



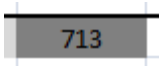
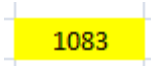
Slika 29 prikazuje dejansko stanje krožišča in njene teoretične konfliktne točke. Z modro črto oz. linijo so prikazani prometni tokovi vozil, medtem ko konfliktne situacije predstavljajo rdeči krogi (odvisni od vrste konflikta).



Preglednica 18: Prikaz števila konfliktnih situacij glede na prometni tok

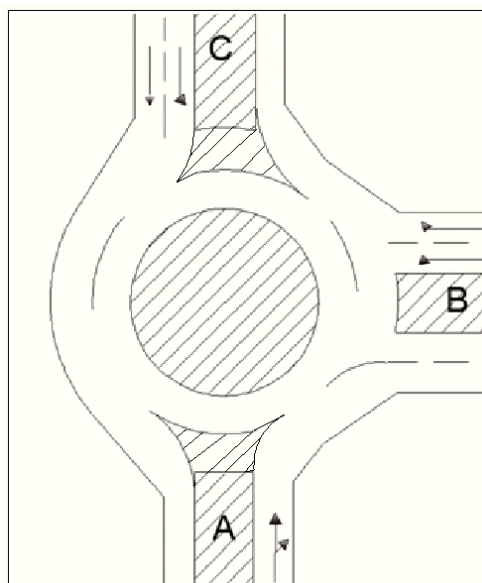
S pomočjo konfliktnih točk v krožnem križišču in enačbe 4 (glej poglavje - izračun ravni prometno nevarnih situacij) je narejena analiza prometno nevarnih situacij v dvopasovnem trikrakem krožišču (preglednica 18). Ker gre tukaj za prikaz in analizo dejanskega poteka prometa, je bilo potrebno oceniti sam potek prometa v krožišču. Ocena je bila narejena na podlagi pridobljenih informacij s pomočjo opazovanja prometnega toka in videoposnetkov v krožišču. Za analizo je bila tako vzeta razporeditev prometnega toka znotraj krožišča v razmerju 80% (zunani pas) proti 20% (notranji pas).

Kratka razlaga vrednosti v preglednici 18:

- Priključki na krožno križišče so označeni z A, B, C
- Obremenitve priključkov (A, B, C) so prikazane zunaj odebeljenega okvirja
-  vrednosti dobljene na podlagi popoldanske konice (štetje prometa)
-  prometni tok naravnost v razmerju 80% (zunANJI pas) proti 20% (notranji pas)
-  prometni tok – levi zavijalci
-  konfliktna točka (združevanje, cepljenje, prepletanje ali križanje prometnih tokov)

7.5 Primerjalna analiza – izboljšava krožnega križišča

Sama izboljšava krožnega križišča gre v smeri usmerjanja oz. kanaliziranja prometnega toka. Usmerjanje poteka že na priključkih v krožišče (slik 30). Tako dvopasovni priključek B kot tudi dvopasovni priključek C imata ločena pasova za vsako smer.



Slika 30: Izboljšava krožnega križišča

7.5.1 PTV Vision – VISSIM

Preglednici 19 in 20 prikazujeta parametre prometnega modela za jutranjo in popoldansko konico izboljšanega stanja. Vrednosti so vzete na povprečju 10 iteracij (obdelano v Microsoft Excel).

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	1.930
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	43.550
Skupne zamude vozil [h]	2.859
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	5.274

Preglednica 19: Izboljšano stanje – jutranja konica

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	2.130
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	40.475
Skupne zamude vozil [h]	6.670
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	11.100

Preglednica 20: Izboljšano stanje – popoldanska konica

Če preglednici primerjamo med seboj vidimo, da je bolj obremenjena popoldanska konica. Število vozil v omrežju je večje, s tem pa je tudi manjša potovalna hitrost, kar pa zelo vpliva na zamude. Zamude v popoldanski konici so skoraj dvakrat večje kot pa zamude v jutranji konici.

7.5.2 Napovedovanje ravni prometne varnosti

7.5.2.1 SSAM

- Jutranja konica



Slika 31: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM

	SSAM Meas...	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	0,50	0,40
priključni čas...	PET	0,00	4,80	0,98	2,03
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	2,88	15,88	10,04	7,33
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,03	10,86	3,71	3,62
pojemek vozila...	DR	-7,57	2,86	-1,67	6,69
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-7,84	2,86	-4,28	10,48
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,01	9,15	2,30	1,95

Preglednica 21: Rezultati meritev SSAM

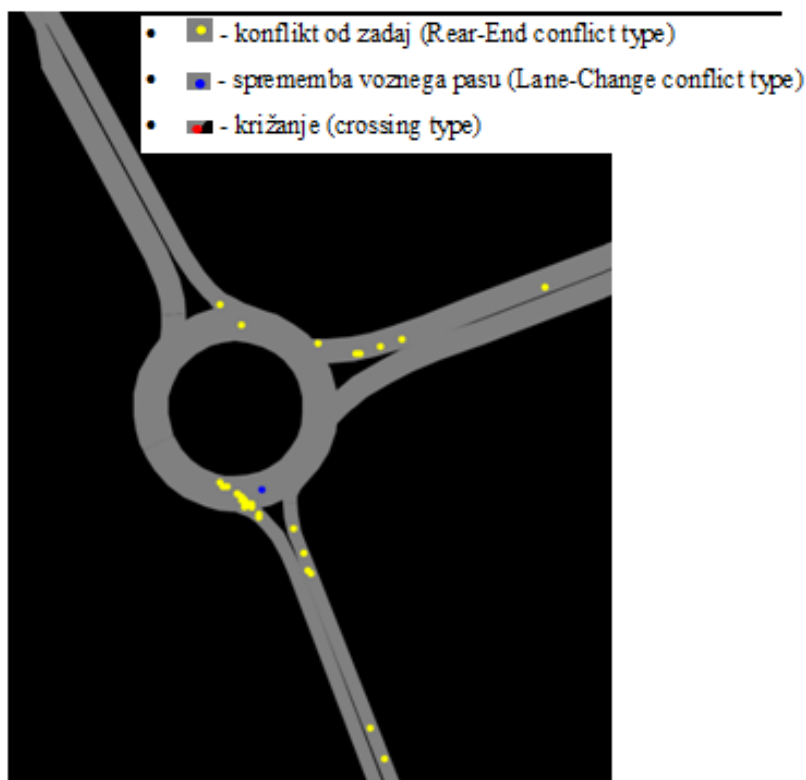
Srednja vrednost tako priključnega časa (PET) kot tudi časa do trka (TTC) je zelo nizka. Posledica tega je manjše število skupnih konfliktnih situacij (glej preglednico 21). V jutranji konici je vidno povečanje konfliktnih situacij (slika 31) na izvozih krožnega križišča. Vzrok temu so prometne obremenitve v konici.

Iz preglednice 22 lahko razberemo, da prevladujejo konflikti od zadaj (RearEnd). Sprememba voznega pasu je prisotna v zelo majhnem številu.

	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	440	0	0	412	28
\vap_jk01_01.trj	38	0	0	36	2
\vap_jk01_02.trj	47	0	0	44	3
\vap_jk01_03.trj	34	0	0	32	2
\vap_jk01_04.trj	50	0	0	44	6
\vap_jk01_05.trj	41	0	0	39	2
\vap_jk01_06.trj	43	0	0	39	4
\vap_jk01_07.trj	44	0	0	42	2
\vap_jk01_08.trj	57	0	0	56	1
\vap_jk01_09.trj	39	0	0	38	1
\vap_jk01_10.trj	47	0	0	42	5

Preglednica 22: Število konfliktov

- **Popoldanska konica**



Slika 32: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM

	SSAM Measure	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	0,62	0,45
priključni čas...	PET	0,00	4,80	1,37	2,57
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	2,43	15,39	9,19	8,83
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,00	14,56	3,95	4,94
pojemek vozila....	DR	-7,88	3,12	-1,81	6,24
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-7,88	3,12	-3,68	9,42
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,00	7,50	2,46	2,40

Preglednica 23: Rezultati meritev SSAM

V popoldanski konici vidimo dvig časa do trka (TTC) in priključnega časa (PET) glede na jutranjo konico (preglednica 23). Ostale vrednosti (MaxS, DeltaS, itd.) so približno enake. Skupno število konfliktov se poveča predvsem na račun PET-a in TTC-ja.

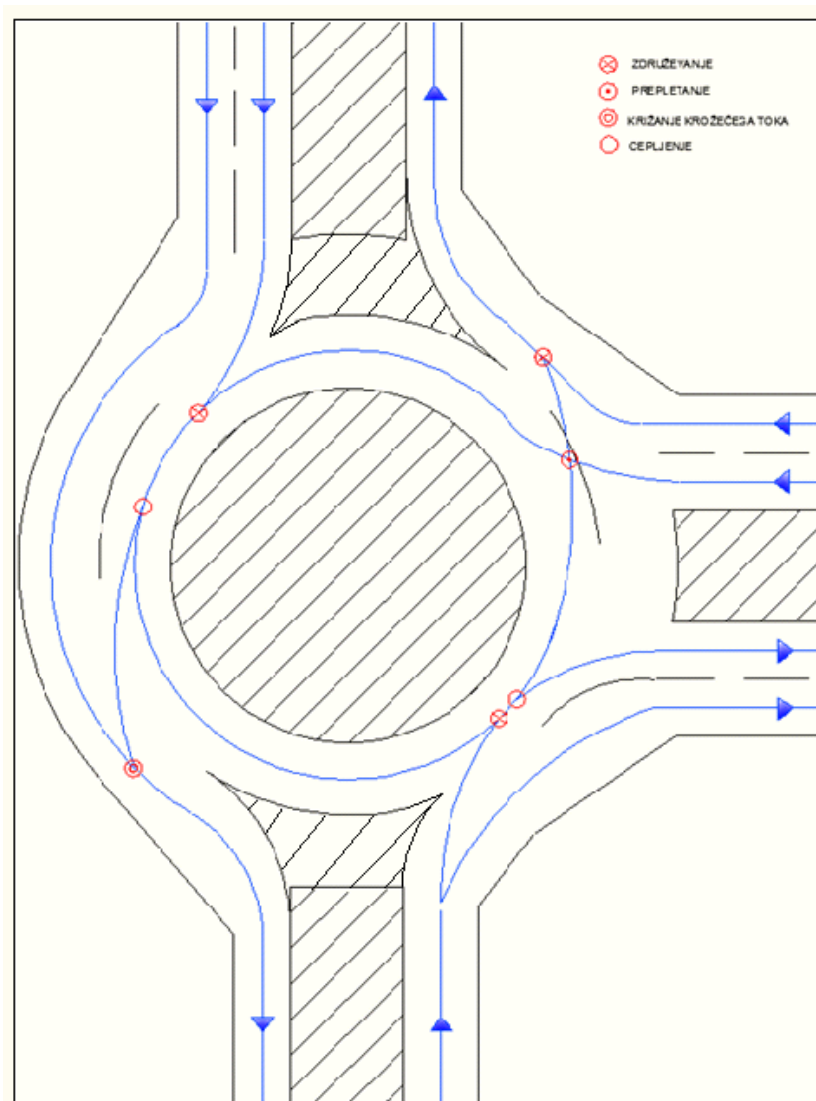
	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	469	0	0	426	43
\lap_pk01_01.trj	38	0	0	37	1
\lap_pk01_02.trj	53	0	0	50	3
\lap_pk01_03.trj	54	0	0	47	7
\lap_pk01_04.trj	34	0	0	31	3
\lap_pk01_05.trj	47	0	0	42	5
\lap_pk01_06.trj	44	0	0	41	3
\lap_pk01_07.trj	50	0	0	44	6
\lap_pk01_08.trj	41	0	0	37	4
\lap_pk01_09.trj	50	0	0	46	4
\lap_pk01_10.trj	58	0	0	51	7

Preglednica 24: Število konfliktov

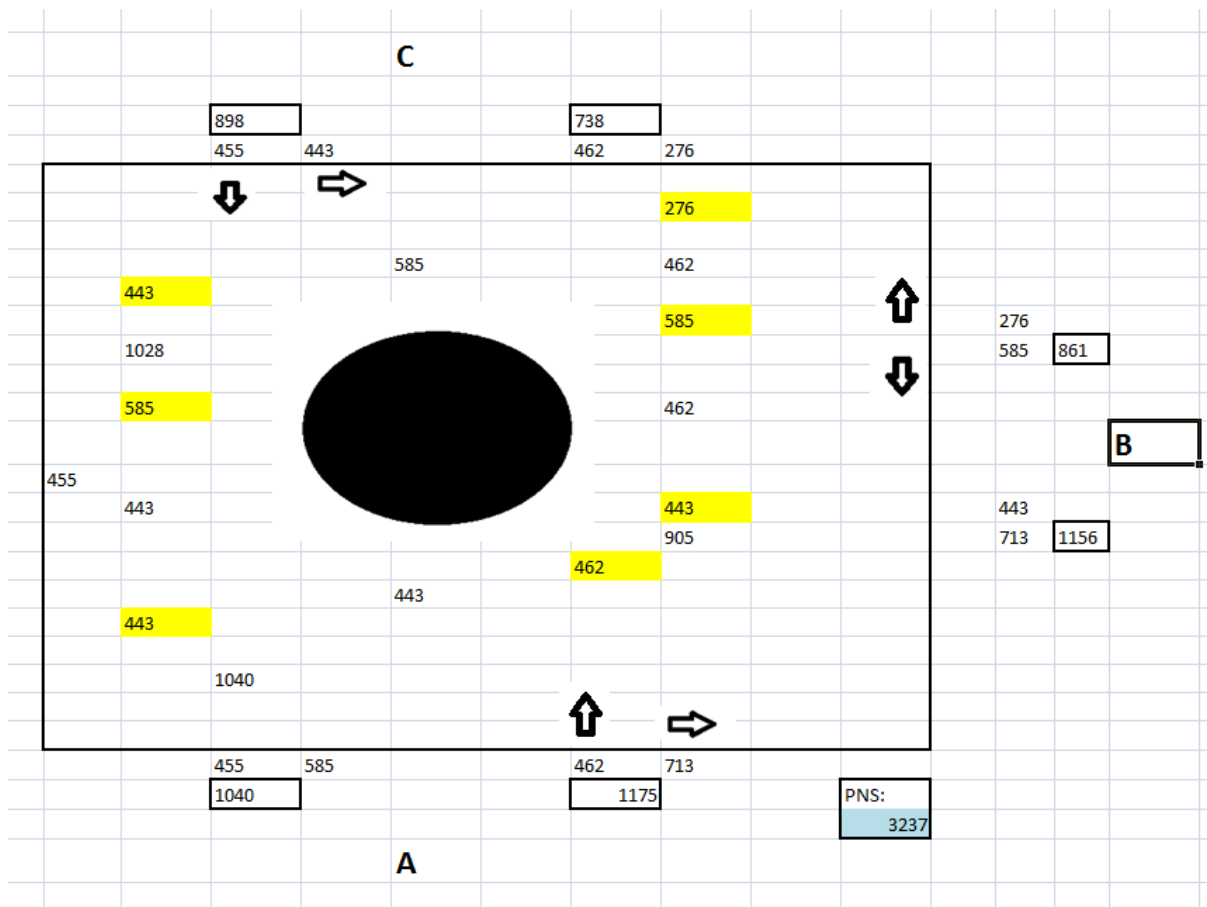
Glede na jutranjo konico pride v popoldanski do povečanja konfliktov- sprememba voznega pasu (preglednica 24). Kljub temu je ta vrednost še vedno zanemarljiva glede na konflikte od zadaj. Problematičen postane predvsem izvoz na priključek A.

7.5.2.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)

Število konfliktnih točk se občutno zmanjša, in sicer iz 19 na 7 (slika 33). PNS je bil ponovno analiziran na podlagi popoldanske konice. Izračun maksimalnega števila prometno nevarnih situacij je izračunan s pomočjo enačbe 4 (glej poglavje - izračun ravni prometno nevarnih situacij). Konfliktno situacije, ki nastopajo so: združevanje, cepljenje, prepletanje in križanje krožečega toka.



Slika 33: Teoretične konfliktno točke krožišča - izboljšano



Preglednica 25: Prikaz števila konfliktnih situacij glede na prometni tok

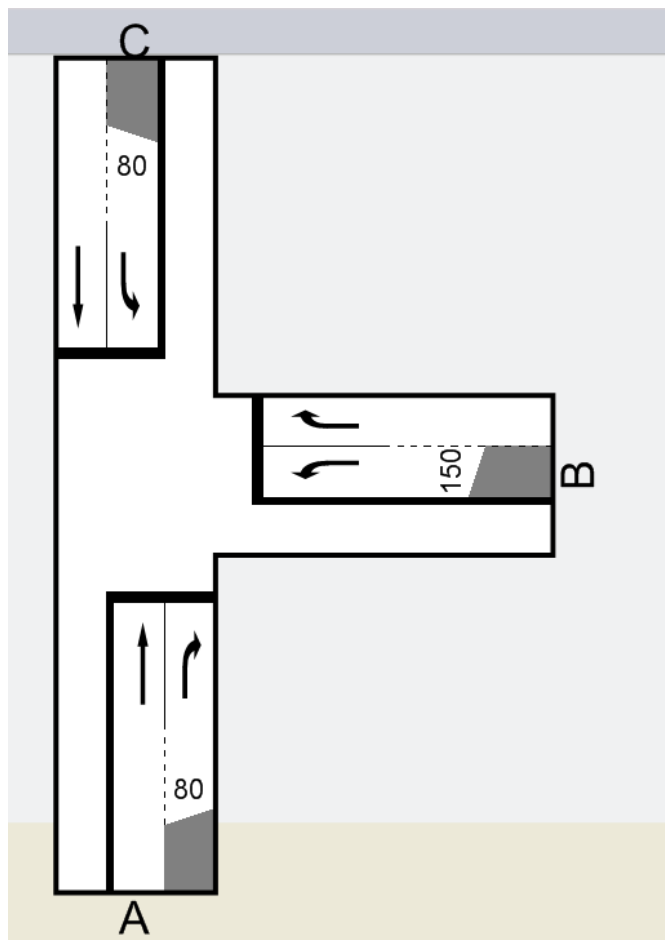
Preglednica 25 prikazuje število konfliktnih situacij izboljšane krožišča. Ker je konfliktnih točk le 7, je tudi vrednost PNS občutno manjša.

Kratka razlaga vrednosti v preglednici 25:

- Priključki na krožno križišče so označeni z A, B, C
- Obremenitve priključkov (A, B, C) so prikazane zunaj odebeljenega okvirja
- 462 713 vrednosti dobljene na podlagi popoldanske konice (štetje prometa)
- 713 prometni tok – levi zavijalci
- 462 konfliktna točka (združevanje, cepljenje, prepletanje ali križanje prometnih tokov)

7.6 Primerjalna analiza – T- križišče, semaforizirano

Za primerjalno analizo je bilo izbrano še semaforizirano T- križišče. Upoštewane so bile enake prometne obremenitve (jutranja in popoldanska konica) na isti lokaciji. Oznake priključkov so ostale enake (A, B, C). Geometrija križišča je bila prilagojena prometnim obremenitvam (slika 34). Vsak priključek ima ločen pas za posamezno smer (levi, desni zavijalci).



Slika 34: Semaforizirano T- križišče

7.6.1 SIDRA Intersection

Na podlagi SIDRA je bil določen fazni sistem križišča glede na prometne obremenitve (slika 35). Izbran je bil cikel 120 sekund. Kot najbolj optimalna rešitev se je pokazal trifazni sistem križišča. Posamezne faze so prikazane na sliki 40, ravno tako njihove časovne dolžine v tabeli (Dolžine faz).

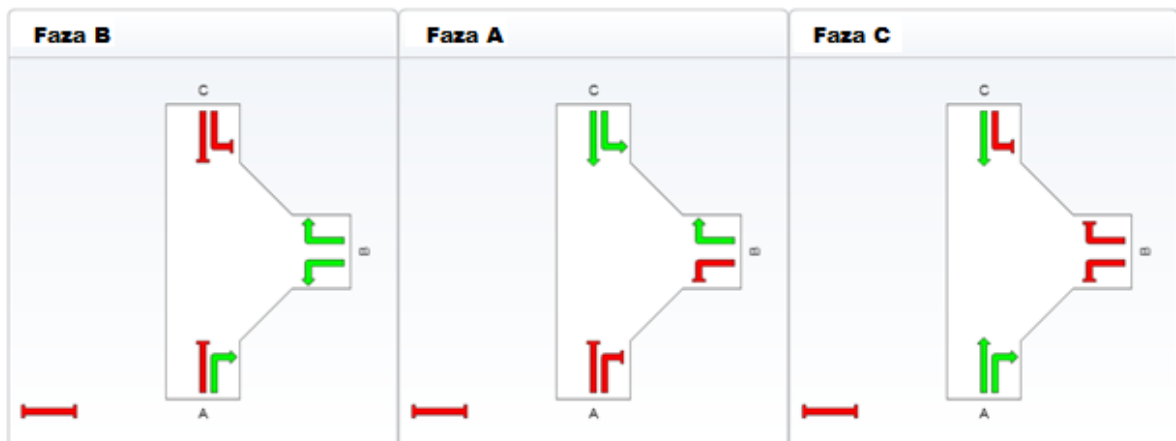
Fazni diagram

sig
Signals - Fixed Time **Dolžina cikla: 120s**

Cycle Time Option: **User-specified Cycle Time**
Phase times determined by the program
Sequence: **Split Phasing**
Input Sequence: **B, A, C**
Output Sequence: **B, A, C**

Dolžine faz (s)

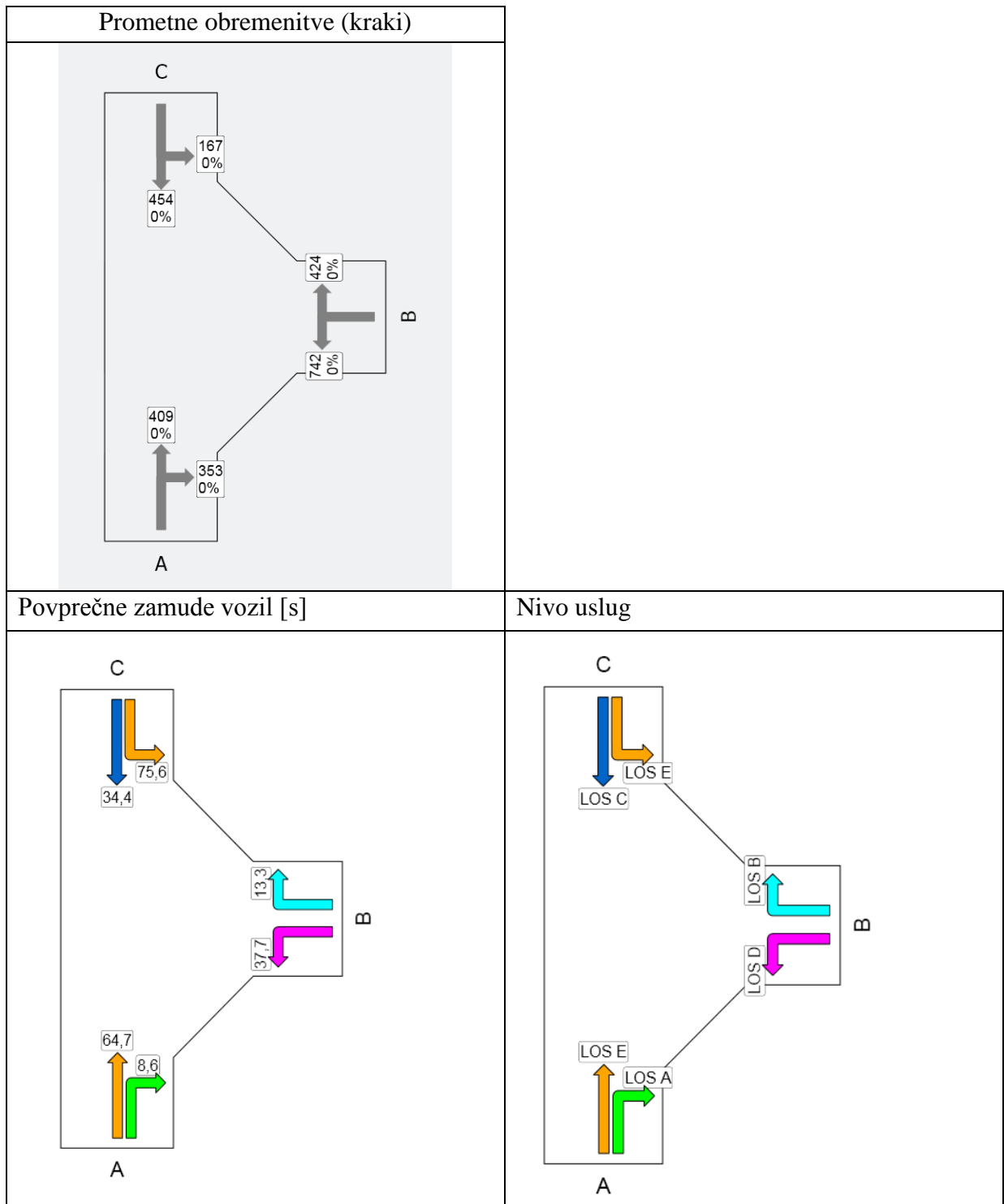
Faza	B	A	C
Zeleni čas (s)	40	33	35
Dolžina faze (s)	44	37	39
Fazna razdelitev (%)	37%	31%	33%



Slika 35: Fazni diagram T- križišča

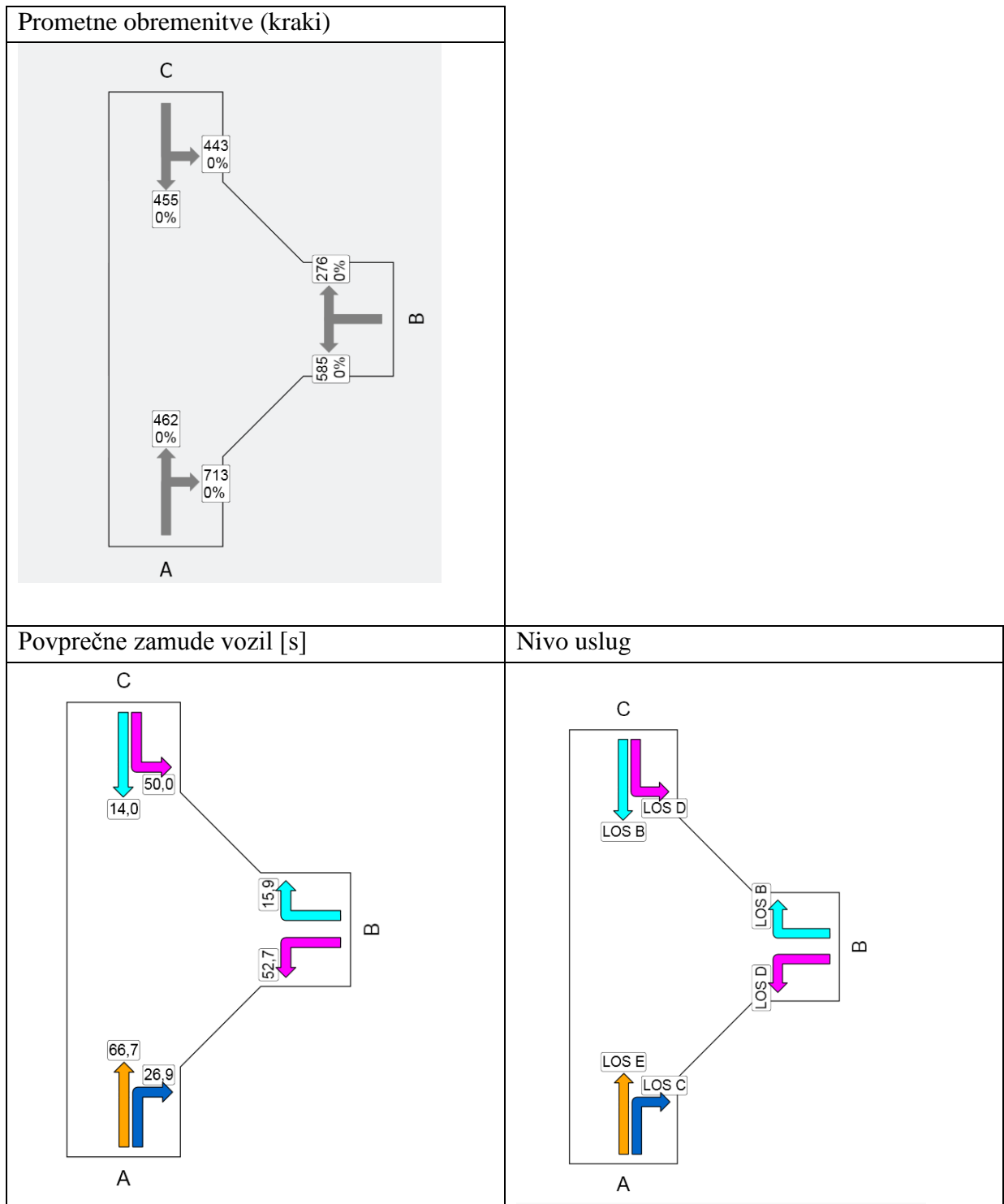
V nadaljevanju so prikazani rezultati za posamezno konico (jutranja in popoldanska).

• **Izpis rezultatov – jutranja konica**



Preglednica 26: Jutranja konica

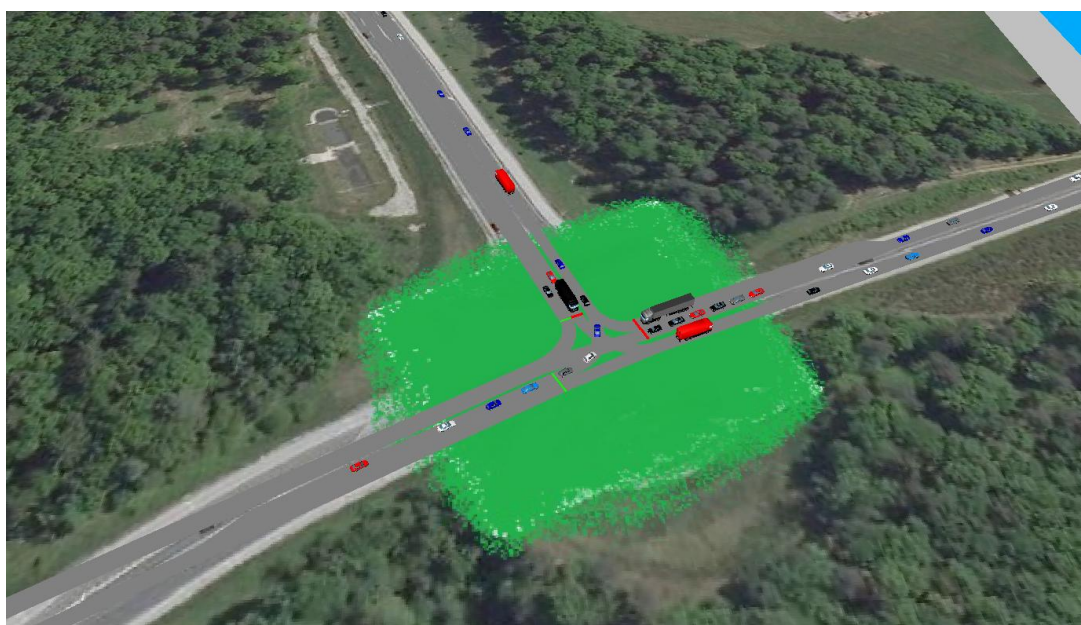
• **Izpis rezultatov – popoldanska konica**



Preglednica 27: Popoldanska konica

V preglednicah 26 in 27 so razvidni rezultati nivoja uslug ter povprečne zamude vozil. V popoldanski konici je križišče zelo obremenjeno z levimi zavijalci. Iz tega razloga je prihajalo do večjih zamud na priključku A.

7.6.2 PTV Vision – VISSIM



Slika 36: Izsek iz simulacije T-križišča - Novo mesto

Model v VISSIM-u je narejen na podlagi iz SIDRA. Za jutranjo in popoldasko konico je bilo narejenih po 10 iteracij, ki so bile nato obdelane v SSAM.

Preglednici 28 in 29 prikazujeta parametre prometnega modela za jutranjo in popoldansko konico. Vrednosti so vzete na povprečju 10 iteracij (obdelano v Microsoft Excel).

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	1.911
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	26.842
Skupne zamude vozil [h]	17.967
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	33.164

Preglednica 28: T-križišče – jutranja konica

Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	2.120
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	26.853
Skupne zamude vozil [h]	19.892
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	33.124

Preglednica 29: T-križišče –popoldanska konica

7.6.3 Napovedovanje ravni prometne varnosti

7.6.3.1 SSAM

- Jutranja konica



Slika 37: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM

Slika 37 prikazuje konfliktne točke T-križišča za 1 iteracijo. Ker je sam fazni sistem semaforiziranega križišča določen tako, da onemogoča križanja prometnih tokov, prevladujejo predvsem konflikti od zadaj (preglednica 31).

	SSAM Measure	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	1,26	0,18
priključni čas...	PET	0,00	4,80	2,91	1,40
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	2,76	16,13	7,18	5,74
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,01	15,94	4,15	6,66
pojemek vozila...	DR	-7,40	2,77	-2,11	1,57
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-7,56	2,77	-2,37	1,52
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,01	12,10	2,27	2,32

Preglednica 30: Rezultati SSAM meritev

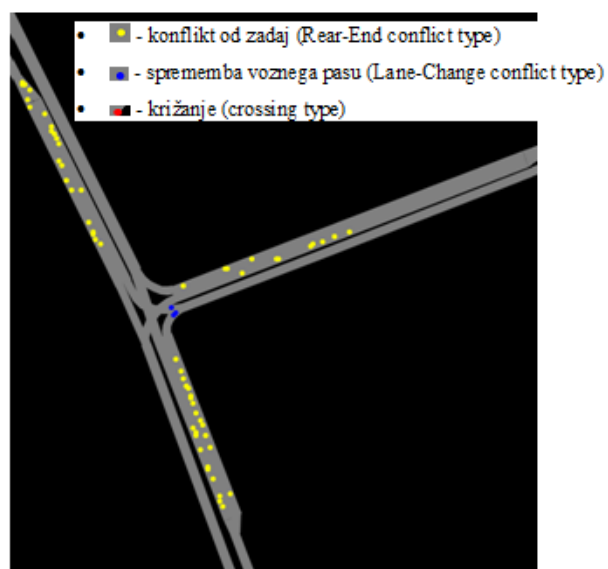
Vrednosti TTC (čas do trka) in PET (priključni čas) zavzemata višje vrednosti (preglednica 30). Iz tega razloga je pričakovati večje število konfliktov. Odstopanje pri TTC-ju je zelo majhno glede na njeno srednjo vrednost.

	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	580	0	3	570	7
ap_SEM_jk01_01.trj	53	0	1	51	1
ap_SEM_jk01_02.trj	52	0	0	51	1
ap_SEM_jk01_03.trj	59	0	0	58	1
ap_SEM_jk01_04.trj	45	0	0	44	1
ap_SEM_jk01_05.trj	68	0	0	68	0
ap_SEM_jk01_06.trj	62	0	0	61	1
ap_SEM_jk01_07.trj	53	0	0	53	0
ap_SEM_jk01_08.trj	66	0	0	64	2
ap_SEM_jk01_09.trj	64	0	2	62	0
ap_SEM_jk01_10.trj	58	0	0	58	0

Preglednica 31: Število konfliktov

- **Popoldanska konica**

Zaradi povečanja prometnih tokov v popoldanski konici prihaja do večjih zastojev na priključkih T-križišča. Posledica tega so povečani konflikti od zadaj (preglednica 33). Pojavita se tudi konflikta spremembe voznega pasu in križanja, ki so tudi posledica povečanja prometnih tokov. V popoldanski konici vidimo dvig časa do trka (TTC) in priključnega časa (PET) glede na jutranjo konico (preglednica 32). Ostale vrednosti (MaxS, DeltaS, itd.) so približno enake.



Slika 38: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM

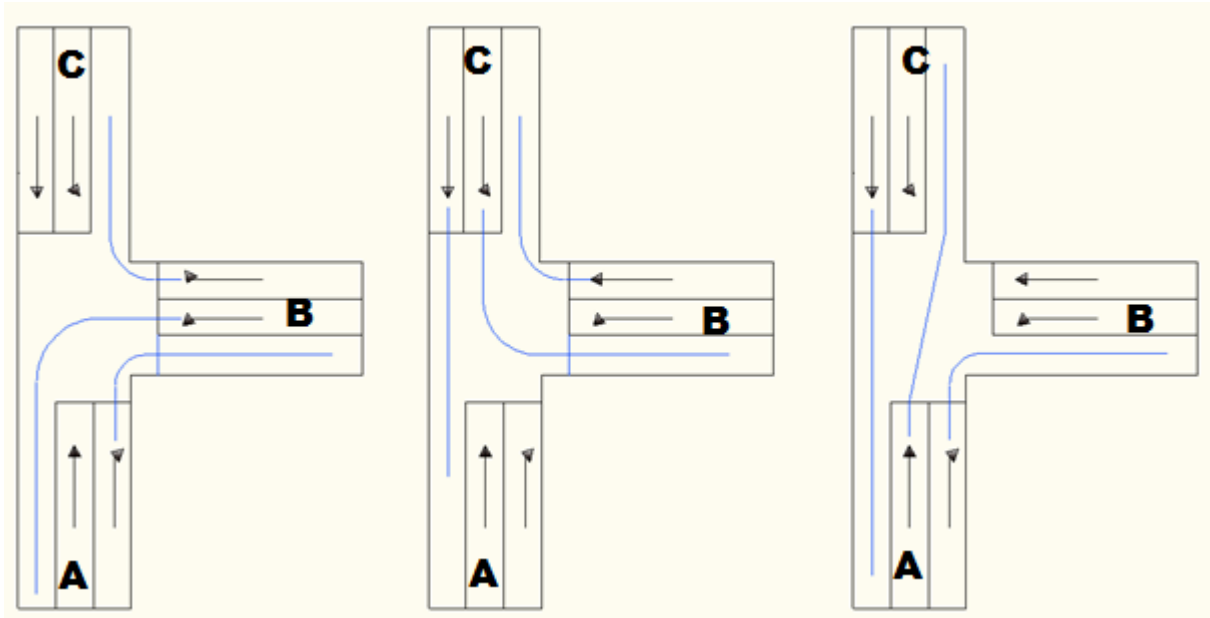
	SSAM Measure	Min	Max	Mean	Variance
čas do trka...	TTC	0,00	1,50	1,13	0,29
priključni čas...	PET	0,00	4,80	2,60	1,96
največja hitrost obeh vozil...	MaxS	2,66	16,02	7,42	5,51
razlika v hitrosti vozila...	DeltaS	0,08	16,02	4,47	6,42
pojemek vozila...	DR	-7,50	2,78	-2,00	1,88
največji pojemek drugega vozila...	MaxD	-7,50	2,78	-2,28	1,91
sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku...	MaxDeltaV	0,04	8,89	2,44	2,27

Preglednica 32: Rezultati SSAM meritev

	skupno št. konfliktov	neuvrščeni	križanje	konflikt od zadaj	sprememba voznega pasu
SKUPAJ	742	0	10	691	41
ap_SEM_pk01_01.trj	72	0	0	69	3
ap_SEM_pk01_02.trj	73	0	0	68	5
ap_SEM_pk01_03.trj	75	0	3	67	5
ap_SEM_pk01_04.trj	56	0	0	52	4
ap_SEM_pk01_05.trj	79	0	1	72	6
ap_SEM_pk01_06.trj	87	0	2	81	4
ap_SEM_pk01_07.trj	83	0	1	76	6
ap_SEM_pk01_08.trj	87	0	0	81	6
ap_SEM_pk01_09.trj	76	0	2	74	0
ap_SEM_pk01_10.trj	54	0	1	51	2

Preglednica 33: Število konfliktov

7.6.3.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)

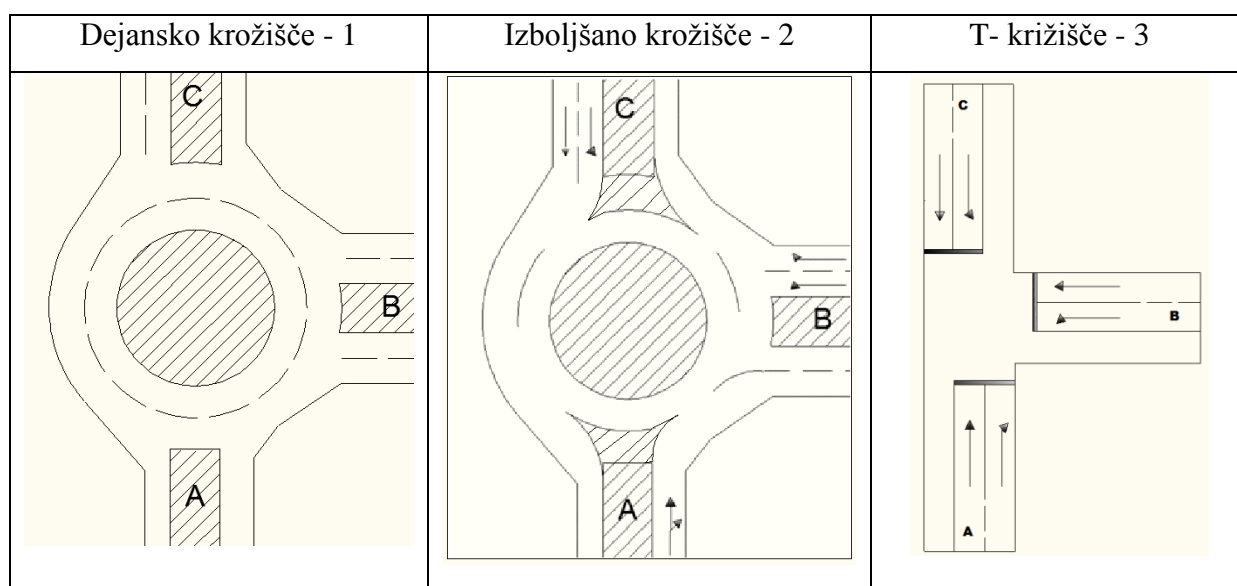


Slika 39: T- križišče, SSN – tri faze

Iz slike 39 je razvidno, da v vseh treh fazah ne prihaja do sekanja prometnih tokov. Teoretično tako križišče nima konfliktnih situacij. Enačba 1 (PNS) je v tem primeru enaka 0 (PNS = 0). Če bi upoštevali, da je T- križišče nesemaforizirano, bi prišlo do sekanja tokov oz. bi se pojavile konfliktna točka. Toda zaradi prevelike obremenitve prometnih tokov v urnih konica bi takšno križišče odpovedalo.

7.7 Medsebojna primerjava v ravni prometne varnosti: dejansko krožišče, izboljšano krožišče in T- križišče

Na podlagi obdelanih podatkov sledi še njihova primerjava. Spodnja tabela (preglednica 34) prikazuje shematski pogled na obravnavana križišča.



Preglednica 34: Varianta križišč

Variante križišča si sledijo po obravnavanem vrstnem redu (dejansko, izboljšano ter T- križišče). Preglednici 35 in 36 prikazujeta pridobljene rezultate (jutranja in popoldanska konica) v VISSIM-u glede na varianto križišča.

Varianta križišča:	1	2	3
Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	1.919	1.930	1.911
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	38.267	43.550	26.842
Skupne zamude vozil [h]	7.003	2.859	17.967
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	12.910	5.274	33.164

Preglednica 35: Jutranja konica

Varianta križišča:	1	2	3
Prometne obremenitve v omrežju (število vozil)	2.126	2.130	2.120
Povprečna potovalna hitrost [km/h]	38.272	40.475	26.853
Skupne zamude vozil [h]	7.841	6.670	19.892
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	13.042	11.100	33.124


Preglednica 36: Popoldanska konica


Povprečne zamude so najmanjše pri varianti 2 (izboljšano krožišče) in največje pri varianti 4 (T-krožišče). Posledica tega so tudi razlike v povprečni potovalni hitrosti.

7.7.1 SSAM

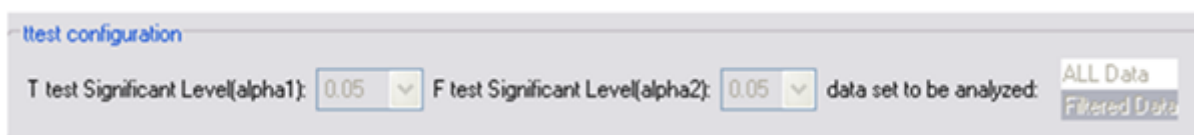
Primerjava variant v SSAM-u je potekala s pomočjo T-testa. Vrednost α T-testa in F-testa sta bila nastavljena na 0,05, kar ustreza 95% točnosti rezultatov (preglednica 37). Vsaka varianta križišča je bila medsebojno primerjana. Pri tem je bila ločena jutranja in popoldanska konica. S pomočjo Sigfinicant (v spodnjih tabelah označeno s črno) – značilnost (YES ali NO) statistično vrednost sprejmemo ali zavrnemo. Drugače povedano, če je Sigfinicant –YES, obstaja razlika v vrednosti in obratno (preglednice od 38 do 43). V jutranji konici se vrednosti (konfliktni tipi) v vseh treh variantah razlikujejo (Sigfinicant –YES), le vrednost križanja (crossing) je enak.

Preglednice od 38 do 43 so direkten prikaz rezultatov iz SSAM-a. Od 39 do 40 so primerjana križišča v jutranji konici, od 41 do 43 pa v popoldanski konici. Oznake v preglednicah:

srednja vrednost primerjave 1... 

srednja vrednost primerjave 2... 

Sigfinicant- značilnost... 



Preglednica 37: T- test parametri

T-test Significant Level (alpha1) ...vrednost α_1 T-testa

F-test Significant Level (alpha2) ...vrednost α_2 F-testa

• Jutranja konica

SSAM Measures	Mean(jutranja_REAL)	Variance...	Replications...	Mean(jutranja)	Variance...	Replications...	t value	t critical	Significant	Mean Difference
TTC	0,675	0,478	778	0,503	0,396	440	4,430	1,660	YES	0,172
PET	1,495	2,655	778	0,962	2,028	440	5,729	1,660	YES	0,513
MaxS	7,249	4,545	778	10,038	7,328	440	-18,597	1,660	YES	-2,789
DeltaS	4,406	4,569	778	3,708	3,625	440	5,879	1,660	YES	0,698
DR	-1,163	3,007	778	-1,674	6,687	440	3,700	1,660	YES	0,511
MaxD	-1,763	4,716	778	-4,263	10,478	440	14,578	1,660	YES	-2,520
MaxDeltaV	2,551	1,897	778	2,304	1,954	440	2,972	1,660	YES	0,246
Conflict Types	Mean(jutranja_REAL)	Variance (s...	Replications (s...	Mean(jutranja)	Variance (s...	Replications (s...	t value	t critical	Significant	Mean Difference
Crossing	0,200	0,400	10	0,000	0,000	10	1,000	1,860	NO	0,200
Rear-end	69,400	231,156	10	41,200	40,844	10	5,407	1,734	YES	28,200
Lane changing	8,200	6,178	10	2,800	2,844	10	5,685	1,734	YES	5,400
Total	77,800	278,178	10	44,000	43,778	10	5,957	1,734	YES	33,800

Preglednica 38: Dejansko krožišče – izboljšano krožišče

Preglednica 38 prikazuje primerjavo med dejanskim in izboljšanim krožiščem v jutranji konici. T-test nam pokaže, da se vrednosti razlikujejo (glej črno oznako- Significant YES). Zelena in modra oznaka prikazujeta srednje vrednosti za posamezen parameter. Pri konfliktnemu tipu (Konflikt Type) opazimo, da so vrednosti pri dejanskem krožišču dosti večje kot pri izboljšanem. Glede na jutranjo konico lahko trdimo (število konfliktov – Total), da je izboljšano krožišče prometno bolj varno kot dejansko.

SSAM Measures	Mean(jutranja_REAL)	Variance...	Replicatio...	Mean(jutranja_T)	Variance...	Replicatio...	t value	t critical	Significan...	Mean Diff...
TTC	0,675	0,478	778	1,259	0,177	580	-19,241	1,660	YES	-0,583
PET	1,495	2,655	778	2,907	1,397	580	-18,496	1,660	YES	-1,411
MaxS	7,249	4,545	778	7,182	5,744	580	0,529	1,660	NO	0,066
DeltaS	4,406	4,569	778	4,147	6,655	580	1,968	1,660	YES	0,259
DR	-1,163	3,007	778	-2,106	1,575	580	11,619	1,660	YES	0,943
MaxD	-1,763	4,716	778	-2,368	1,523	580	6,488	1,660	YES	0,605
MaxDeltaV	2,551	1,897	778	2,265	2,315	580	3,561	1,660	YES	0,286
Conflict Types	Mean(jutranja_REAL)	Variance (ju...	Replicatio...	Mean(jutranja_T)	Variance (ju...	Replications...	t value	t critical	Significant	Mean Differ...
Crossing	0,200	0,400	10	0,300	0,456	10	-0,342	1,734	NO	-0,100
Rear-end	69,400	231,156	10	57,000	52,222	10	2,329	1,734	YES	12,400
Lane changing	8,200	6,178	10	0,700	0,456	10	9,209	1,734	YES	7,500
Total	77,800	278,178	10	58,000	52,444	10	3,443	1,734	YES	19,800

Preglednica 39: Dejansko krožišče – T- križišče

Naslednja primerjava je dejansko krožišče proti T-krožišču (preglednica 39). Vrednosti so ponovno različne (Significant- YES). Dejansko krožišče je ponovno (konfliktni tip- Conflict Type- Total) prometno manj varno kot pa T- križišče.

SSAM Measures	Mean(jutranja)	Variance (j...	Replicatio...	Mean(jutranja_T)	Variance (j...	Replicatio...	t value	t critical	Significan...	Mean Difference
TTC	0,503	0,396	440	1,259	0,177	580	-21,775	1,660	YES	-0,756
PET	0,962	2,028	440	2,907	1,397	580	-22,970	1,660	YES	-1,924
MaxS	10,038	7,328	440	7,182	5,744	580	17,523	1,660	YES	2,856
DeltaS	3,708	3,625	440	4,147	6,655	580	-3,128	1,660	YES	-0,439
DR	-1,674	6,687	440	-2,106	1,575	580	3,225	1,660	YES	0,432
MaxD	-4,263	10,478	440	-2,368	1,523	580	-11,777	1,660	YES	-1,915
MaxDeltaV	2,304	1,954	440	2,265	2,315	580	0,425	1,660	NO	0,039
Conflict Types	Mean(jutranja)	Variance (jut...	Replicatio...	Mean(jutranja_T)	Variance (jut...	Replications...	t value	t critical	Significant	Mean Difference
Crossing	0,000	0,000	10	0,300	0,456	10	-1,406	1,833	NO	-0,300
Rear-end	41,200	40,844	10	57,000	52,222	10	-5,179	1,734	YES	-15,800
Lane changing	2,800	2,844	10	0,700	0,456	10	3,656	1,734	YES	2,100
Total	44,000	43,778	10	58,000	52,444	10	-4,513	1,734	YES	-14,000

Preglednica 40: Izboljšano krožišče – T- križišče

Primerjava med izboljšanim in T-krožiščem prikaže (preglednica 40), da v prvem pride do manj konfliktov (Conflict Type- Total) kot v drugem. Če gledamo samo število konfliktov, lahko opazimo razliko v konfliktnem tipu - sprememba voznega pasu (Lane changing). Ta vrednost je nekoliko manjša pri T- krožišču, vendar je zato vrednost konflikta od zadaj (Rear-End) dosti večja. Tale primerjava dejansko pokaže, da je v jutranji konici najmanj konfliktov v izboljšanem krožišču.

V nadaljevanju je enaka primerjava (T-test) opravljena še na popoldanski konici.

• Popoldanska konica

SSAM Measures	Mean(popoldanska_REAL)	Variance [..]	Replicatio..	Mean(popoldanska)	Variance [..]	Replicatio..	t value	t critical	Significa	Mean Diff..
TTC	0,519	0,426	1090	0,622	0,454	469	-2,797	1,660	YES	-0,103
PET	1,104	2,281	1090	1,375	2,569	469	-3,110	1,660	YES	-0,271
MaxS	7,906	5,482	1090	9,193	8,831	469	-8,330	1,660	YES	-1,287
DeltaS	4,204	4,461	1090	3,954	4,939	469	2,063	1,660	YES	0,249
DR	-1,076	3,887	1090	-1,808	6,238	469	5,640	1,660	YES	0,732
MaxD	-2,074	7,627	1090	-3,681	9,417	469	9,764	1,660	YES	1,607
MaxDeltaV	2,440	1,803	1090	2,456	2,398	469	-0,193	1,660	NO	0,016
Conflict Types	Mean(popoldanska_REAL)	Variance (po..	Replicatio..	Mean(popoldanska)	Variance (po..	Replications..	t value	t critical	Significant	Mean Differ..
Crossing	0,000	0,000	10	0,000	0,000	10	0,000	1,734	NO	0,000
Rear-end	98,500	402,944	10	42,600	39,822	10	8,401	1,734	YES	55,900
Lane changing	10,500	22,944	10	4,300	3,789	10	3,792	1,734	YES	6,200
Total	109,000	578,444	10	46,900	57,656	10	7,786	1,734	YES	62,100

Preglednica 41: Dejansko krožišče – Izboljšano krožišče

SSAM Measures	Mean(popoldanska_REAL)	Variance [..]	Replicatio..	Mean(popoldanska_T)	Variance [..]	Replicatio..	t value	t critical	Significa	Mean Diff..
TTC	0,519	0,426	1090	1,132	0,292	742	-21,894	1,660	YES	-0,613
PET	1,104	2,281	1090	2,597	1,957	742	-21,703	1,660	YES	-1,493
MaxS	7,906	5,482	1090	7,422	5,507	742	4,343	1,660	YES	0,485
DeltaS	4,204	4,461	1090	4,471	6,417	742	-2,368	1,660	YES	-0,267
DR	-1,076	3,887	1090	-2,001	1,880	742	11,849	1,660	YES	0,925
MaxD	-2,074	7,627	1090	-2,280	1,909	742	2,106	1,660	YES	0,206
MaxDeltaV	2,440	1,803	1090	2,442	2,268	742	-0,019	1,660	NO	0,001
Conflict Types	Mean(popoldanska_REAL)	Variance (po..	Replicatio..	Mean(popoldanska_T)	Variance (po..	Replications..	t value	t critical	Significant	Mean Differ..
Crossing	0,000	0,000	10	1,000	1,111	10	-3,000	1,833	YES	-1,000
Rear-end	98,500	402,944	10	69,100	109,878	10	4,105	1,734	YES	29,400
Lane changing	10,500	22,944	10	4,100	3,878	10	3,908	1,734	YES	6,400
Total	109,000	578,444	10	74,200	130,844	10	4,132	1,734	YES	34,800

Preglednica 42: Dejansko krožišče – T- križišče

SSAM Measures	Mean(popoldanska)	Variance [..]	Replicatio..	Mean(popoldanska_T)	Variance [..]	Replicatio..	t value	t critical	Significant	Mean Diff..
TTC	0,622	0,454	469	1,132	0,292	742	-13,828	1,660	YES	-0,510
PET	1,375	2,569	469	2,597	1,957	742	-13,565	1,660	YES	-1,222
MaxS	9,193	8,831	469	7,422	5,507	742	10,932	1,660	YES	1,771
DeltaS	3,954	4,939	469	4,471	6,417	742	-3,732	1,660	YES	-0,517
DR	-1,808	6,238	469	-2,001	1,880	742	1,533	1,660	NO	0,193
MaxD	-3,681	9,417	469	-2,280	1,909	742	-9,307	1,660	YES	1,401
MaxDeltaV	2,456	2,398	469	2,442	2,268	742	0,161	1,660	NO	0,015
Conflict Types	Mean(popoldanska)	Variance (po..	Replicatio..	Mean(popoldanska_T)	Variance (po..	Replications..	t value	t critical	Significant	Mean Differ..
Crossing	0,000	0,000	10	1,000	1,111	10	-3,000	1,833	YES	-1,000
Rear-end	42,600	39,822	10	69,100	109,878	10	-6,849	1,734	YES	-26,500
Lane changing	4,300	3,789	10	4,100	3,878	10	0,228	1,734	NO	0,200
Total	46,900	57,656	10	74,200	130,844	10	-6,288	1,734	YES	-27,300

Preglednica 43: Izboljšano krožišče – T- križišče

Enako kot v jutranji konici je tudi v popoldanski konici končni rezultat števila konfliktov (Conflict Type- Total) ponovno najmanjši v izboljšanem krožnem križišču. Dejansko krožišče pa predstavlja rešitev z največjim številom konfliktov. S stališča zagotavljanja prometne varnosti je dejanska rešitev krožnega križišča med primerjanimi variantami najslabša.

Preglednici 44 in 45 prikazujeta za vsako varianto križišča (jutranja in popoldanska konica) število konfliktov glede na tip. Gre za vrednosti, vzete iz T-testa (glej preglednice od 39 do 43). Tabeli bolj nazorno prikažeta število konfliktov in bolj nazorno so videti razlike med posameznimi variantami. Iz teh podatkov lahko hitro ugotovimo, da je izboljšano krožišče tisto, ki ima najmanj konfliktov, dejansko krožišče pa je tisto z največjim številom konfliktov.

**JUTRANJA
KONICA**

	Total (skupno št. nesreč)	Unclassified (neidentificiranih)	Crossing (križanje)	RearEnd (trk od zadaj)	LaneChange (sprememba voznega pasu)
Dejansko krožišče	77,8	0	0,2	69,4	8,2
Izboljšano krožišče	44	0	0	41,2	2,8
T- križišče	58	0	0,3	57	0,7

Preglednica 44: Primerjava variant glede na število konfliktov

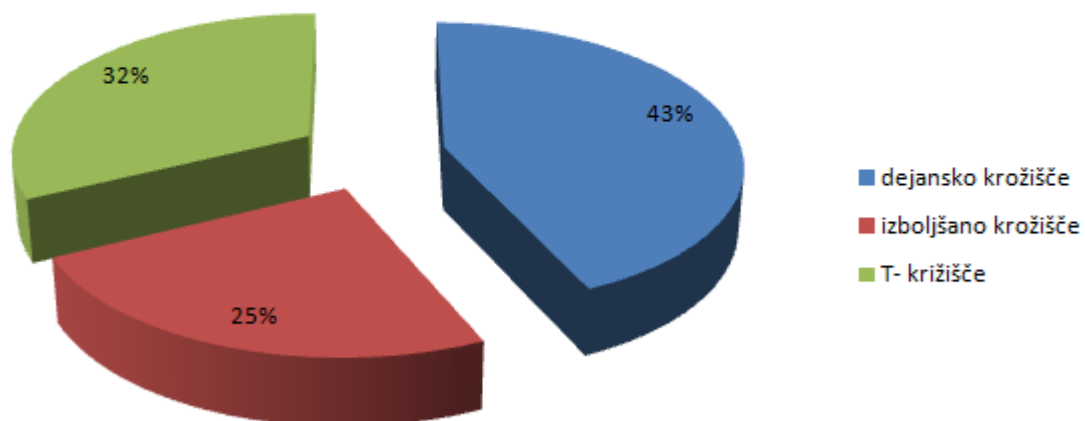
**POPOLDANSKA
KONICA**

	Total (skupno št. nesreč)	Unclassified (neidentificiranih)	Crossing (križanje)	RearEnd (trk od zadaj)	LaneChange (sprememba voznega pasu)
Dejansko krožišče	109	0	0	98,5	10,5
Izboljšano krožišče	46,9	0	0	42,6	4,3
T- križišče	74,2	0	1	69,1	4,1

Preglednica 45: Primerjava variant glede na število konfliktov

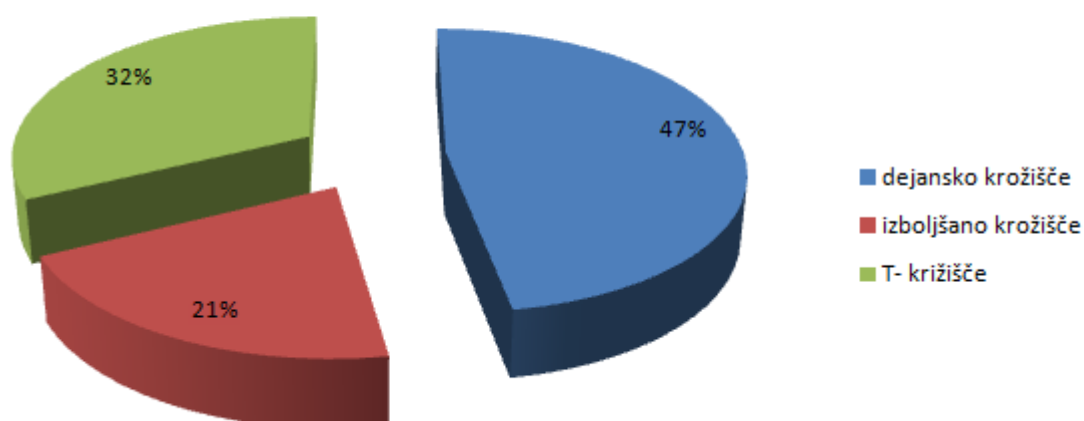
Obe preglednici (44 in 45) sta prikazani tudi v kolaču (slika 41, 42). Kolač prikazuje vsoto vseh nesreč, izraženih v procentih.

Vsota vseh nesreč (Total) - jutranja konica



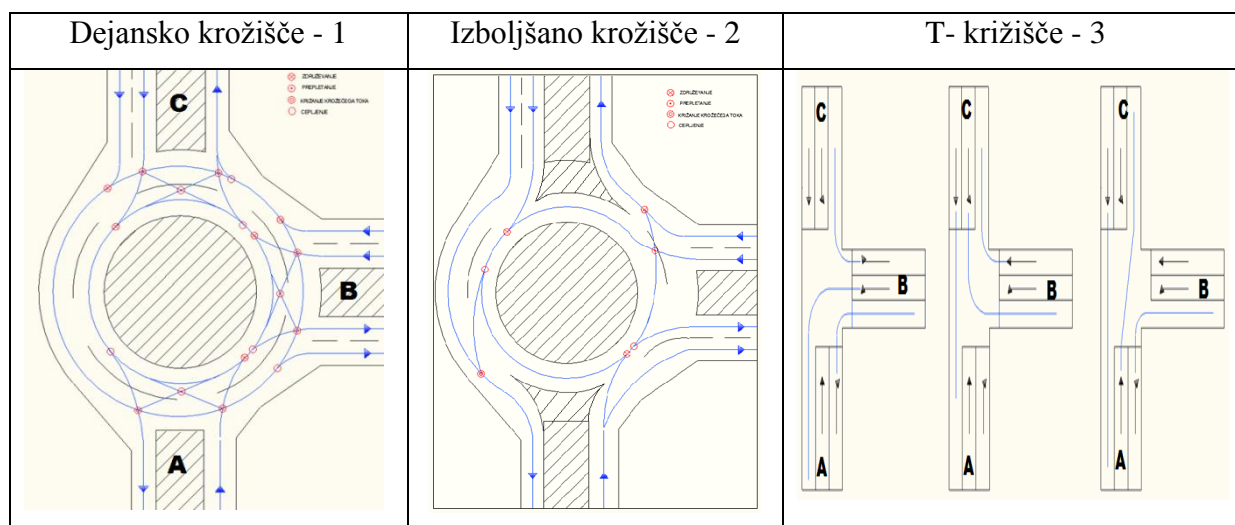
Slika 40: Shematski prikaz konfliktov iz SSAM-a

Vsota vseh nesreč (Total) - popoldanska konica



Slika 41: Shematski prikaz konfliktov iz SSAM-a

7.7.2 PNS (število prometno nevarnih situacij)



Preglednica 46: Varianta križišč - PNS

	Izbira variant	Število konfliktnih točk	Število prometno nevarnih situacij - PNS
1.	Dejavno krožišče	19	5559
2.	Izboljšano krožišče	7	3237
3.	T- križišče	0	0

Preglednica 47: Primerjava posameznih rešitev glede na PNS

Zgornja preglednica 46 prikazuje število konfliktnih situacij, spodnja preglednica 47 pa število prometno nevarnih situacij. Obe tabeli prikazujeta vrednosti glede na varianto križišča. Lahko vidimo, da se z večanjem števila konfliktnih točk veča tudi število prometno nevarnih situacij. Po metodologiji PNS-ja sledi, da je T-križišče prometno bolj varno kot ostali dve varianti. Razlog za to je predvsem fazna ureditev križišča, prometno najslabša varianta pa je dejansko krožišče. Samo določevanje konfliktnih točk je precej oteženo. Vedno obstaja možnost nekontroliranega manevriranja med pasovi, kar povzroči dodatne konfliktno točke in s tem poveča vrednosti PNS-ja. Primer tega je dejansko krožišče, ki s svojo ureditvijo dopušča večji manevrski prostor voznikom.

8.0 MERITVE, OPRAVLJENE S POMOČJO KAMERE

Snemanje je bilo izvedeno konec novembra 2009 z bližnje brežine (slika 42). Za snemanje je bil izbran krak A (slika 43), ki se je tudi dejansko pokazal za najbolj problematičen priključek. Snemanje je potekalo v času jutranje in popoldanske urne konice (med 6:30 in 7:30 ter med 14:30 in 15:30). Digitalni video zapis je bil tako pripravljen za nadaljnjo analizo.



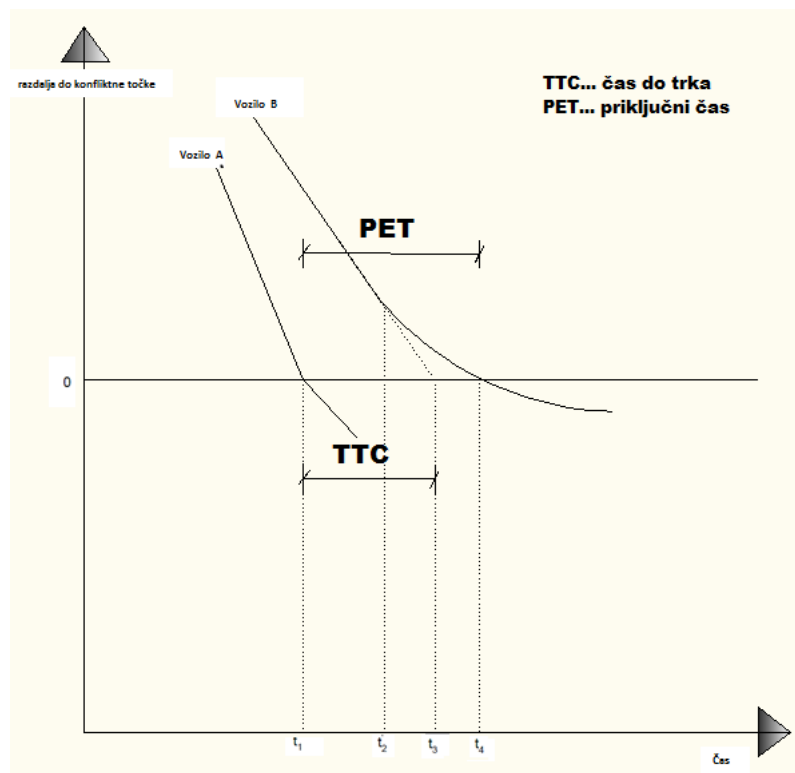
Slika 42: Zorni kot kamere

S pomočjo video zapisa je bilo ocenjeno tudi razmerje razporeditve prometnega toka znotraj krožnega križišča. To razmerje se je nato preneslo v simulacijo kot model dejanskega krožišča.



Slika 43: Pogled skozi kamero

Glavna naloga analize video zapisa je bilo merjenje TTC-ja (čas do trka) in PET-a (priključni čas). Spodnja slika 44 prikazuje diagram odvisnosti razdalje do konfliktne točke od časa. Pri tem vozilo A in vozilo B vozita v isti smeri oz. na istem pasu. Problem nastopi, ko vozilo A začne zavirati in s tem omogoči nalet vozila A. Pri tem dogodku se tako meri TTC in PET (sekunde). Na video zapisu je te časovne vrednosti zelo težko določiti. Predvsem bi potrebovali natančno video detekcijo posameznega vozila (njegov položaj v odvisnosti od časa). S temi podatki bi tako lahko dobili hitrost vozila in reakcije (začetek zaviranja) na ostala vozila v krožišču. S takšnim statističnim vzorcem bi lahko potem dejansko ocenili vrednosti TTC-ja in PET-a.



Slika 44: Diagram v odvisnosti časa od razdalje do konfliktne točke

- t1 vozilo A začne zavirati
- t2 vozilo B se zaveda, da lahko pride do trčenja in začne zavirati
- t3 vozilo B načrtovano prispe na prvo obravnavano območje, če nadaljuje z isto hitrostjo, preden je začelo zavirati
- t4 vozilo B dejansko prispe na konfliktno točko

Preglednica 48 prikazuje merjene vrednosti iz video zapisa. Te vrednosti so zajete na priključku A v urni konici ob zastoju. Opazovano je bilo 15 vozil, na podlagi katerih se je potem izračunala povprečna vrednost. Oba TTC in PET sta manjša od prvotne nastavitve programa (TTC = 1,5s in PET = 5s). Merjene vrednosti so bile nato vstavljene v SSAM za model dejanskega krožišča.

TTC (čas do trka)		PET (priključni čas)	
	trk od zadaj v krožišču (izhod A) [s]		trk od zadaj v krožišču (izhod A) [s]
1	1,31	1	3,91
2	1,53	2	2,32
3	1,07	3	2,71
4	1,06	4	2,56
5	1,65	5	4,21
6	1,05	6	2,76
7	1,94	7	1,94
8	1,05	8	3,78
9	1,26	9	2,64
10	1,15	10	3,87
11	1,21	11	2,66
12	1,01	12	3,33
13	1,64	13	2,64
14	1,27	14	3,77
15	1,57	15	1,84
TTC vrednost (s):	1,32	PET vrednost (s):	3,00

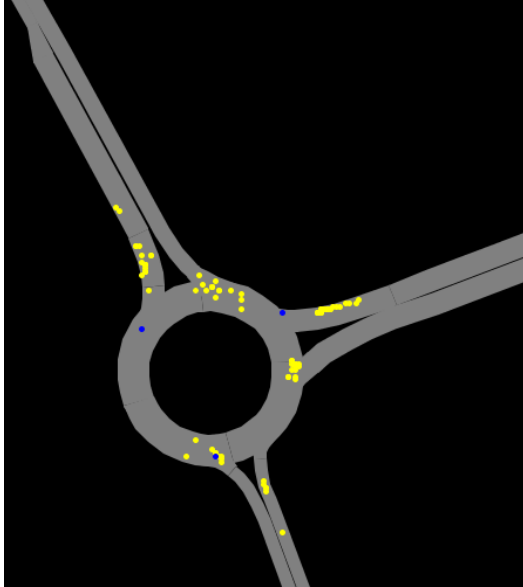
Preglednica 48: Merjene vrednosti TTC in PET

Obdelava podatkov je potekala tako za jutranjo kot tudi za popoldansko konico. Izveden je bil T-test, in sicer med dejanskim krožiščem (privzete vrednosti TTC in PET) in modificiranim dejanskim krožiščem (vrednosti TTC in PET, vzete iz merjenja).

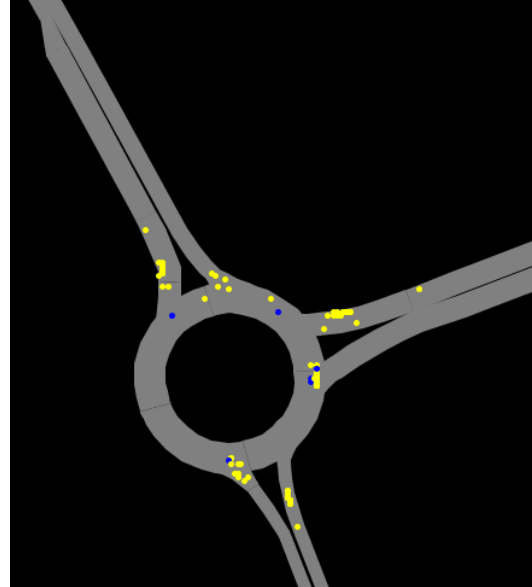
Slika 45 prikazuje grafično primerjavo obeh konic med modificiranim dejanskim krožiščem in dejanskim krožiščem. Kot lahko opazimo, se konflikti v obeh primerih pojavljajo na enakih mestih.

Jutranja konica:

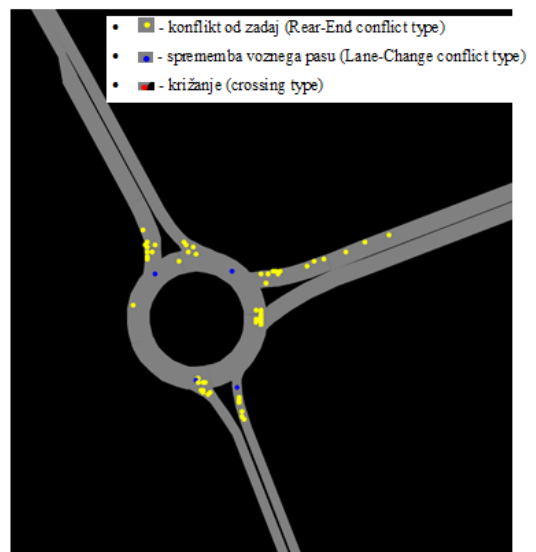
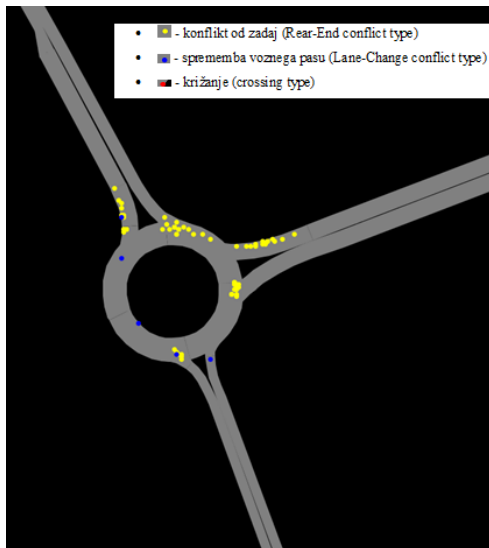
- Modificirano dejansko krožišče



Popoldanska konica:



- Dejansko krožišče



Slika 45: Konfliktne točke za 1 iteracijo – SSAM

T- test modificiranega dejanskega krožišča in dejanskega krožišča (preglednici 47 in 48).

• **Jutranja konica**

SSAM Measures	Mean(jutra...)	Variance (j...)	Replicatio...	Mean(jutra...)	Variance (j...)	Replicatio...	t value	t critical	Significant	Mean Diff...
TTC	0,670	0,287	1026	0,675	0,478	778	-0,185	1,660	NO	-0,006
PET	1,259	1,068	1026	1,495	2,655	778	-3,544	1,660	YES	-0,237
MaxS	8,113	3,282	1026	7,249	4,545	778	9,086	1,660	YES	0,864
DeltaS	3,442	4,136	1026	4,406	4,569	778	-9,692	1,660	YES	-0,965
DR	-1,204	2,597	1026	-1,163	3,007	778	-0,512	1,660	NO	-0,041
MaxD	-2,296	4,770	1026	-1,763	4,716	778	-5,147	1,660	YES	-0,533
MaxDeltaV	1,974	1,756	1026	2,551	1,897	778	-8,960	1,660	YES	-0,577
Conflict Types	Mean(jutran...)	Variance (jutr...)	Replications ...	Mean(jutran...)	Variance (jutr...)	Replications ...	t value	t critical	Significant	Mean Differe...
Crossing	0,200	0,400	10	0,200	0,400	10	0,000	1,734	NO	0,000
Rear-end	93,200	132,844	10	69,400	231,156	10	3,945	1,734	YES	23,800
Lane changing	9,200	8,400	10	8,200	6,178	10	0,828	1,734	NO	1,000
Total	102,600	168,489	10	77,800	278,178	10	3,711	1,734	YES	24,800

Preglednica 49: Modificirano dejansko krožišče – dejansko krožišče

• **Popoldanska konica**

SSAM Measures	Mean(popod...)	Variance (...)	Replicatio...	Mean(popod...)	Variance (...)	Replicatio...	t value	t critical	Significant	Mean Diff...
TTC	0,524	0,289	1299	0,519	0,426	1090	0,190	1,660	NO	0,005
PET	0,954	1,033	1299	1,104	2,281	1090	-2,799	1,660	YES	-0,150
MaxS	8,398	3,837	1299	7,906	5,482	1090	5,505	1,660	YES	0,492
DeltaS	3,609	3,934	1299	4,204	4,461	1090	-7,045	1,660	YES	-0,595
DR	-1,141	3,569	1299	-1,076	3,887	1090	-0,819	1,660	NO	-0,065
MaxD	-2,357	7,069	1299	-2,074	7,627	1090	-2,538	1,660	YES	-0,283
MaxDeltaV	2,064	1,551	1299	2,440	1,803	1090	-7,059	1,660	YES	-0,377
Conflict Types	Mean(popod...)	Variance (po...)	Replications ...	Mean(popod...)	Variance (po...)	Replications ...	t value	t critical	Significant	Mean Differe...
Crossing	0,000	0,000	10	0,000	0,000	10	0,000	1,734	NO	0,000
Rear-end	118,400	636,711	10	98,500	402,944	10	1,952	1,734	YES	19,900
Lane changing	11,500	17,611	10	10,500	22,944	10	0,497	1,734	NO	1,000
Total	129,900	807,211	10	109,000	578,444	10	1,775	1,734	YES	20,900

Preglednica 50: Modificirano dejansko krožišče – dejansko krožišče

V obeh zgornjih tabelah lahko vidimo, da se srednje vrednosti priključnega časa razlikujejo (PET), medtem ko so vrednosti časa do trka (TTC) približno enake. Posledica tega je povečanje števila konfliktov.

V spodnjih dveh tabelah (preglednici 49 in 50) prikazujemo število konfliktov glede na tip pri posamezni konici.

**JUTRANJA
 KONICA**

	Total (skupno št. nesreč)	Unclassified (neidentificiranih)	Crossing (križanje)	RearEnd (trk od zadaj)	LaneChange (sprememba voznega pasu)
Modificirano dejansko krožišče	102,6	0	0,2	93,2	9,2
Dejansko krožišče	77,8	0	0,2	69,4	8,2
Izboljšano krožišče	44	0	0	41,2	2,8
T- križišče	58	0	0,3	57	0,7

Preglednica 51: Primerjava variant glede na število konfliktov

**POPOLDANSKA
 KONICA**

	Total (skupno št. nesreč)	Unclassified (neidentificiranih)	Crossing (križanje)	RearEnd (trk od zadaj)	LaneChange (sprememba voznega pasu)
Modificirano dejansko krožišče	129,9	0	0	118,4	11,5
Dejansko krožišče	109	0	0	98,5	10,5
Izboljšano krožišče	46,9	0	0	42,6	4,3
T- križišče	74,2	0	1	69,1	4,1

Preglednica 52: Primerjava variant glede na število konfliktov

V obeh konicah se je število konfliktov pri modificiranem dejanskem krožišču močno povečalo. Temu gre predvsem pripisati spremembi priključnega časa (PET) iz 5s na 3s. S tem smo dejansko povečali možnost trka. Kot sem omenil že v uvodu tega poglavja, je glavni problem takšnega grobega merjenja natančnost opazovanja oz. merjenja, kar je vsekakor zelo težavno z analognim merjenjem na podlagi video posnetkov.

V preglednici 51 je prikazana primerjava vrednosti TTC-ja in PET-a, če se le-ti spreminjata na istem modelu. Z odebeljeno pisavo je prikazana privzeta vrednost v SSAM-u. Z zmanjševanjem vrednosti TTC-ja se zmanjšuje tudi število skupnih konfliktov. Predvsem se zmanjšuje trk od zadaj, medtem ko se povečuje število sprememb voznega pasu. Obe vrednosti se ustalita pri določeni meji ne glede na nadaljnjo spremembo vrednosti TTC-ja. Vrednost PET pa ima maksimalno kritično mejo (odvisna od TTC-ja in modela simulacije) glede na katero se potem vrednosti zmanjšujejo v obe smeri.

Primerjava vrednosti TTC in PET

	TTC (čas do trka) [s]	PET (priključni čas) [s]	Skupno št. konfliktov	RearEnd (trk od zadaj)	LaneChange (sprememba voznega pasu)
1	1,70	5,00	157	147	10
2	1,50	5,00	102	96	6
3	1,30	5,00	71	64	7
4	1,00	5,00	66	54	12
5	1,50	6,00	91	85	6
6	1,50	5,00	102	96	6
7	1,50	4,00	194	187	7
8	1,50	3,00	141	134	7
9	1,30	3,00	106	99	7
10	1,00	4,00	69	57	12

Preglednica 53: Primerjava vrednosti TTC in PET

9.0 ZAKLJUČEK

Napoved ravni prometne varnosti je bila izvedena na konkretnem primeru in je temeljila na dveh metodologijah. Eno predstavlja SSAM, drugo pa predlaga Tollazzi T. (2006). Slednja temelji na številu konfliktnih točk in jakosti posameznih smernih prometnih tokov. Število prometno nevarnih situacij (PNS) predstavlja seštevek vseh presekov smernih tokov za posamezne tipe nevarnih situacij. Problem se pojavi že v samem določevanju teh konfliktnih točk. Pri enostavnih (klasičnih) križiščih so sheme približno enake. S povečanjem pasov v krožišču in na uvozih pa so lahko izračuni različni.

Glede na dobljene rezultate po PNS-ju je semaforizirano T-križišče prometno bolj varno od ostalih dveh variant. Po SSAM-u pa predstavlja izboljšano krožno križišče večjo raven varnosti. Temu gre predpisati predvsem upoštevanju trkov od zadaj (RearEnd conflict), ki jih Tollazzi v svoji metodologiji ne upošteva. V obeh primerih pa predstavlja dejansko stanje najslabšo raven prometne varnosti.

SSAM uporablja privzeti vrednosti TTC-ja (čas do konflikta) in PET-a (priključni čas) po Hydenovi raziskavi (TTC=1,5s in PET=5s). Ker gre za meritve narejene v ZDA, je bil prvotni namen preveriti te ugotovitve še v naših razmerah. Tako so bila s pomočjo video zapisa narejena merjenja, ki so pokazala nekoliko manjše vrednosti (TTC=1,3s in PET=3s). Kljub temu je potrebno pri tem izpostaviti naslednja dejstva: dobljene vrednosti parametrov so bile merjene le v jutranji in popoldanski konici, meritve so bile opravljene le za eno križišče in na podlagi video zapisa so bile meritve ročno izvedene. Da bi lahko opravili bolj natančne analize vrednosti TTC-ja in PET-a, bi vsekakor potrebovali dodatne video posnetke. Te analize ne bi izvajali ročno, ampak s pomočjo video detekcije. To ni »fizična« oblika detekcije, ampak gre za t.i. virtualno detekcijo. Motnja slike (na primer vozilo) povzroči zaznavanje, ki ga slikovni procesor razume kot vozilo, ta pa daje časovni impulz za dogodek. Video detekcija z eno ali več kamer omogoča detekcijo in izračun naslednjih parametrov prometnega toka: časovnega razmaka med vozili, pretoka vozil, gostote in hitrosti prometnega toka, določitev nivoja uslug in kategorizacije vozil po dolžini. Nadalje bi bilo potrebno raziskave razširiti na večje število krožnih križišč na različnih delih Slovenije. S takšnim

statističnim vzorcem bi lahko nato določili parametra TTC in PET za razmere v Sloveniji. Moje ugotovitve so pokazale, da lahko za primerjavo prometne varnosti med križišči uporabljamo privzete nastavitve parametrov v programu SSAM (TTC=1,5 in PET=5s). Če hočemo narediti primerjavo prometne varnosti v križiščih, moramo v vsakem primeru uporabljati enake nastavitve parametrov za vsak model. Iz tega sledi, da vrednosti TTC in PET ne vplivajo na končno podobo primerjav za posamezno rešitev križišča glede prometne varnosti.

Programsko orodje SSAM je še v razvoju, vseeno pa predstavlja veliko pridobitev na področju prometne varnosti. Sam program, ki temelji na mikrosimulacijskem modelu, je enostaven za uporabo in omogoča prikaz zelo uporabnih rezultatov. Na ta način se izognemo čakanju na izgradnjo ali rekonstrukcijo križišča ter čakanju na zadovoljiv vzorec prometnih nesreč, na podlagi katerih bi nato lahko ocenili stopnjo prometne varnosti.

10.0 VIRI

- Vogt and J.G. Bared, 1998. Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections Report No. FHWA-RD-98-133, McLeall, Federal Highway Administration: str. 20-124.
- Vogt and J. G. Bared, 1998. »Accident Models for Two-Lane Rural Segment and Intersections,« Transportation Research Record 1635: str. 19-29.
- Ivan Vidav, 1975. Višja matematika II. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 458-570.
- Gettman, D. and Head, L.,2003. *Surrogate Measures of Safety from Traffic Simulation Models*. Report No. FHWA-RD-03-050. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C.
- Hyden, C., 1987. *The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Conflicts Technique*. Department of Traffic Planning and Engineering, Sweden.
- NHTSA, 2002. *Motor Vehicle Traffic Crashes as a Leading Cause of Death in the U.S., A Demographic Perspective*. DOT HS 809 843. National Highway
- Bared, J.G. and Kaiser, 2001. E.I. *Advantages of Offset T-Intersections with Guidelines in Road Safety on Three Continents*. Moscow, Russia: Swedish National Road and Transport Research Institute
- Marijan Blejec,1970. Uvod v statistiko, Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: str. 43-87.
- I. N. Bronštejn, 1997. Matematični priročnik , 2. predelana in dopolnjena izd., 1. Natis, Ljubljana : Tehniška založba Slovenije: str. 594-627.
- Hardwood, D.W. and Council, 2000. F.M., *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*. Report No. FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C.,
- Leben Stanislav, 2009. Metodologija za izbor optimalne ureditve križišča – preveritev na konkretnem primeru. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Prometna smer: str. 10-76.

- *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, 2008.* Publication No. FHWA-HRT-08-051. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C., 182 pp.,
- Marko Jelenc, 2004. Metodologija za analizo učinkovitosti krožnih križišč s stališča prometne prepustnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Prometna smer: str. 30-36.
- *Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models: Final Report, 2003.* Report No. FHWA-RD-03-050. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C., 182 pp.,