

NAPOVEDOVANJE RAVNI PROMETNE VARNOSTI NA KRIŽIŠČIH CEST

ANTICIPATING THE LEVEL OF SAFETY ON ROAD INTERSECTIONS

Andrej Puljak, univ. dipl. inž. grad.

Dolnji Suhor pri Metliki 26, 8331 Suhor
andrej.puljak@gmail.com

doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.

UL, FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana, tomaz.maher@fgg.uni-lj.si

Strokovni članek

UDK 625.739:656.1.08

Povzetek | Kako napovedati zmanjšanje števila prometnih nesreč na določeni lokaciji oziroma območju, bodisi na obstoječem stanju ali pa v fazi izdelave projekta oziroma izbora različic? V ta namen predstavljamo dve metodologiji napovedovanja ravni prometne varnosti. Prva predstavlja programsko orodje SSAM, ki deluje na podlagi mikrosimulacijskih modelov, druga pa temelji na seštevku vseh mogočih konfliktnih situacij, pri čemer dobimo teoretično največje možno število prometno nevarnih situacij (PNS). Obe metodologiji smo testirali na konkretnem primeru, in sicer na krožnem križišču v Novem mestu. Poleg analiziranja obstoječega krožnega križišča smo primerjali tudi metodologiji za izboljšano krožno križišče ter za semaforizirano T-križišče ob upoštevanju istih prometnih obremenitev. Te smo določili s štetjem prometa na terenu v jutranji in popoldanski konici. Za vsakega izmed treh modelov smo izdelali analizo prometne varnosti, in sicer po metodologijah SSAM in PNS. Na koncu smo modele primerjali in izbrali najboljšo različico. Poleg štetja prometa na terenu smo snemali prometni tok z video opremo. Na podlagi teh posnetkov smo določili dva parametra, in sicer TTC – čas do trka, in PET – priključni čas. Posamezne modele simulacije s SSAM smo primerjali s pomočjo T-testa.

Summary | How to predict the reduction of the number of road accidents at a specific location? Herewith, two methods to predict the level of road safety are presented. The first method used is the SSAM software employing simulation models, while the other method 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 a modified roundabout and a T-crossing at same peak times was conducted in addition to the analysis of the actual roundabout. The values were identified by counting traffic in the field at morning and afternoon peak times. For each of the three models, road safety analysis was elaborated both with the SSAM as well as with the PNS 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 comparisons between both SSAM simulation models were based on the T-test.

1 • UVOD

V Pravilniku o projektiranju cest (Ur. l. RS, št. 91/2005) je že v prvem členu opre-

deljeno, da se prometna varnost zagotavlja z upoštevanjem tehničnih zahtev, pogojev in

normativov, ki jih ta pravilnik določa. Kljub temu se lahko kasneje izkaže, da je določena rešitev varnejša od druge oziroma da zgrajene projektne rešitve, ki so bile projektirane ob upoštevanju vseh tehničnih standardov, ne zagotavljajo pričakovane ravni prometne

varnosti. Četrti odstavek 5. člena istega pravilnika zahteva, da se načrtovane različice med seboj primerjajo po gradbenotehničnih, prometno-ekonomskih, okoljskih parametroh, prostorskih in prometnovarnostnih pogojih, vendar do sedaj ni bilo ustreznih modelov, s katerimi bi lahko zanesljivo ocenili stopnjo prometne varnosti prihodnjih projektnih rešitev.

Predstavljena sta dva modela za napovedovanje ravni prometne varnosti, ki sta primerna za območja, kjer prihaja do združevanja, cepljenja in križanja prometnih tokov (križišča, krožna križišča in izvenvojski priključki). Prvi sloni na programskem orodju SSAM (Surrogate Safety Assessment Model – nadomestni varnostni model), razvitem pod okriljem FHWA (Federal Highway Administra-

tion, ZDA), ki deluje na podlagi mikrosimulacijskih programov VISSIM, TEXAS, AIMSUN, Paramics. Na osnovi trajektorij gibanja vozil določa nevarne situacije. Drugi model za izračun ravni prometne varnosti križišč pa upošteva metodologijo, ki sloni na seštevu vseh mogočih konfliktnih situacij, pri čemer je rezultat teoretično največje število prometno nevarnih situacij (PNS).

2 • MODELA ZA NAPOVEDOVANJE RAVNI PROMETNE VARNOSTI

2.1 PROGRAMSKO ORODJE SSAM

Programsko orodje SSAM (Gettman D., 2003) so razvili v ZDA (Virginia) na podlagi priporočila FHWA-RD-03-050, da bi uporabili nadomestne metode za oceno varnosti na podlagi modela, ki je narejen z mikrosimulacijskimi orodji (npr. v PTV VISSIM). SSAM temelji na algoritemskem pristopu prepoznavanja in razvrščanja konfliktov. Rezultate posameznega modela, narejenega z mikrosimulacijskim orodjem, je mogoče potem vizualno in statistično predstaviti ter obdelati. To se nanaša predvsem na izdelavo analiz ter poročil za posamezno rešitev modela.

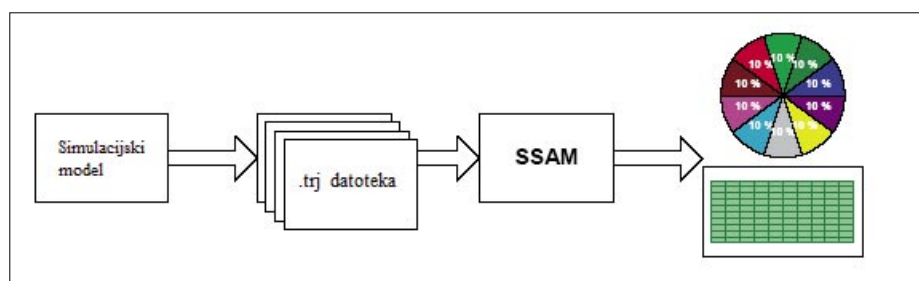
SSAM deluje tako, da obdeluje podatke, ki opisujejo trajektorije vozil, ko vozijo skozi križišča, in prepoznava morebitne konflikte. Trajektorije vozil vhodnih podatkov za SSAM ustvarimo s simulacijsko programsko opremo v obliki zapisa datoteke tipa .TRJ (format, izdelan posebej za SSAM). SSAM izračuna nadomestne varnostne ukrepe, ki ustrezajo vsaki interakciji med dvema voziloma. Tako določijo, ali posamezna interakcija izpolnjuje merila, da se lahko uradno šteje kot konflikt. Preglednice vseh ugotovljenih konfliktov in ustreznih nadomestnih varnostnih ukrepov nato predstavi uporabniku. Slika 1 prikazuje potek dela za uporabo SSAM.

Program uporablja dve mejni vrednosti za varnostne meritve:

- **Čas do trka** (Time To Collision oz. TTC) – minimalna vrednost časa do trka, opažena med konfliktom. Ta ocena temelji na trenutni lokaciji, hitrosti in prihodnji poti dveh vozil v določenem trenutku.

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

Preglednica 1 • Vrednosti TTC (Gettman, 2003)



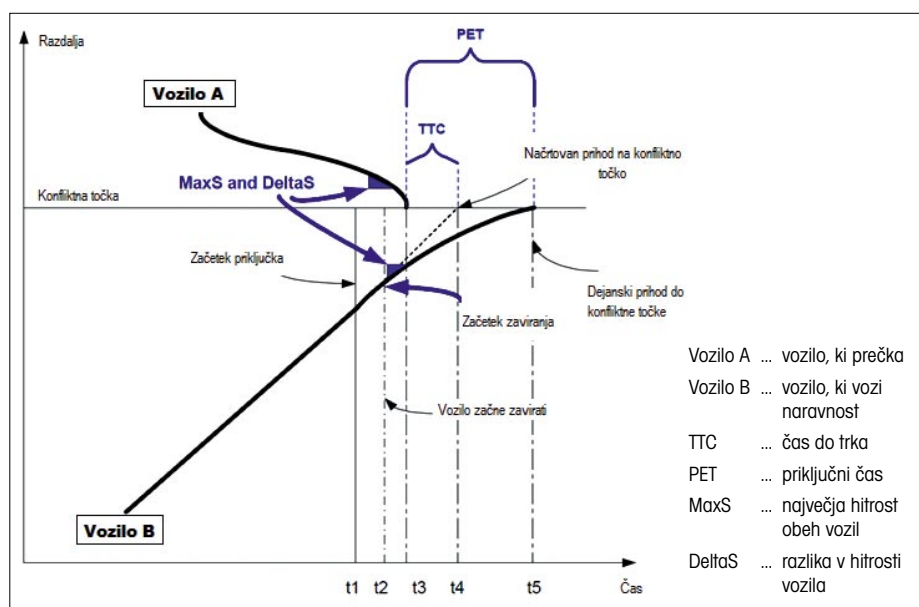
Slika 1 • Pretok informacij pri uporabi SSAM (Gettman, 2003)

- **Priključni čas** (Post Encroachment Time oz. PET) – minimalni priključni 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 predstavlja trčenje.

Na osnovi teh dveh parametrov lahko interakcijo med dvema voziloma označimo kot konflikt. Kaj je konflikt? Je stanje, v katerem

se dva ali več udeležencev v cestnem prometu približujeta drug drugemu, pri čemer obstaja nevarnost trčenja, če njuno gibanje ostane nespremenjeno. Oba parametra smo umerili v slovenskem prostoru.

Spodnja slika (slika 2) prikazuje konfliktno točko pri gibanju dveh vozil (vozilo A, ki prečka, in vozilo B, ki vozi naravnost) v časovni odvisnosti od razdalje.



Slika 2 • Nadomestne meritve konfliktno točke (Gettman, 2003)

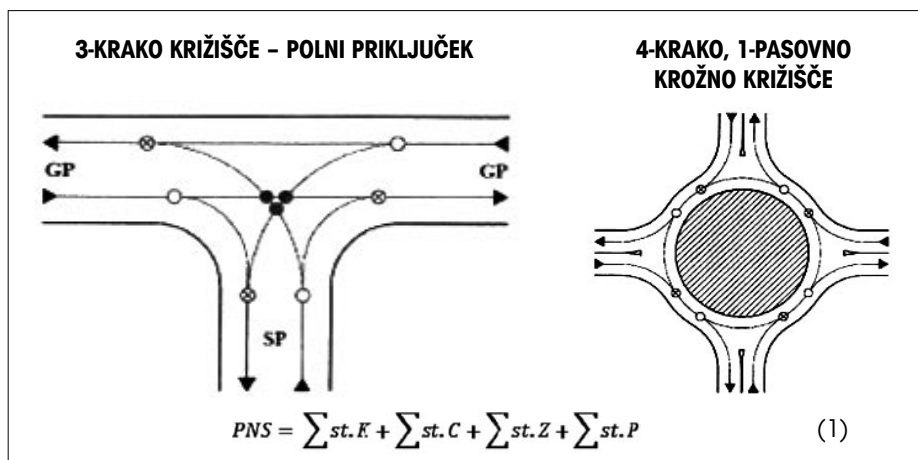
- t1 vozilo A pride v priključno (encroachment) območje (npr. začne zavijati levo)
- t2 vozilo B se zaveda, da lahko pride do trčenja, in začne zavirati
- t3 položaj zadnjega odbijača vozila A, ko zapušča konfliktno točko
- t4 vozilo B načrtovano prispe na konfliktno točko, če vozi naprej z enako hitrostjo, preden začne zavirati
- t5 vozilo B dejansko prispe na konfliktno točko

Čas do trka (TTC) je definiran kot razlika med t3 in t4. Gre za razliko med časom, ko vozilo A (ki prečka) prispe do konca priključka, in pričakovanim časom prihoda vozila B (ki vozi naravnost) na konfliktno točko, če bi vozilo B pot nadaljevalo z isto začetno hitrostjo. Priključni čas (PET) je definiran kot razlika med t3 in t5. To je čas med odhodom vozila A (ki prečka) od konfliktno točke in prihodom vozila B (ki vozi naravnost) na konfliktno točko. Kot rezultat tabelarično zapišemo še druge karakteristike vozila, kot so MaxS (največja hitrost obeh vozil), DeltaS (razlika v hitrosti vozila), MaxD (največji pojemek drugega vozila) itd.

2.2 METODOLOGIJA PNS

Model, ki ga na kratko imenujemo metodologija PNS (prometno nevarne situacije), je povzet po primerjalni analizi metodologij za napovedovanje ravni prometne varnosti v nivojskih nesemaforiziranih križiščih (Tollazzi et al., 2006). Metodologija izhaja iz seštevka vseh mogočih konfliktnih situacij, kot prikazuje slika 3, ob upoštevanju znanih prometnih obremenitev. Prikazana sta primera T-križišča

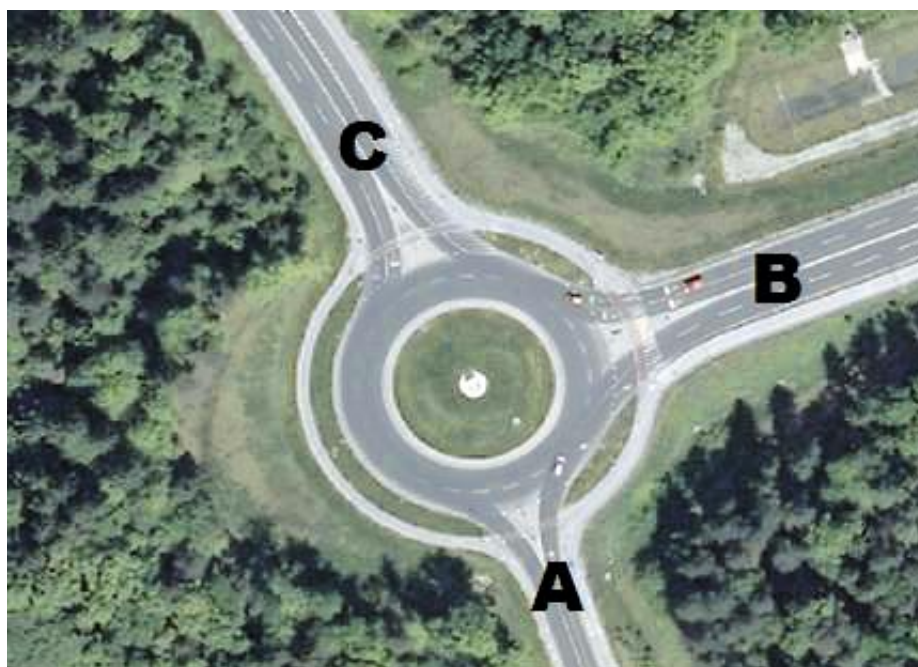
in krožnega križišča, kjer so vidne konfliktno situacije, kot so združevanje, cepljenje ter križanje prometnih tokov. Te prometno nevarne situacije seštevamo, kot prikazuje enačba za PNS (slika 3). Število PNS je odvisno od števila konfliktnih točk in jakosti povprečnega prometnega toka v časovni enoti (npr. v enem dnevu). Te vrednosti med seboj primerjamo za različne rešitve križišč. Manjša vrednost predstavlja večjo prometno varnost križišča.



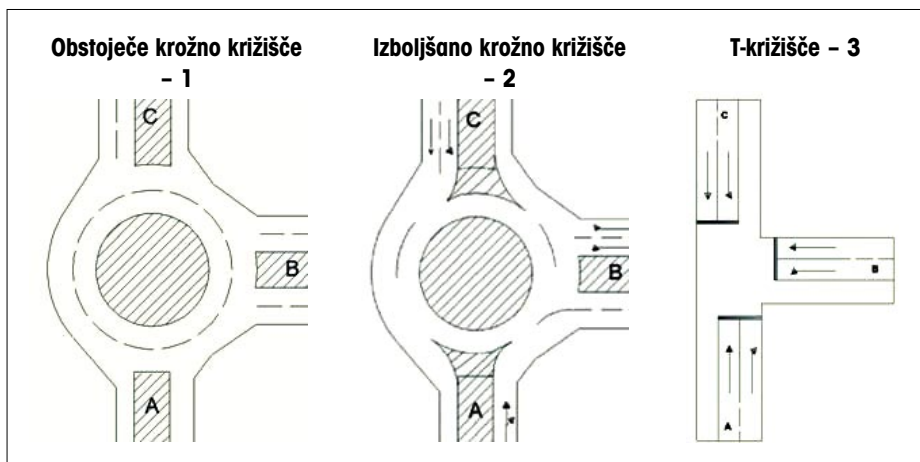
Slika 3 • Konfliktno točke in obrazec za izračun PNS (Tollazzi, 2007)

3 • NAPOVEDOVANJE PROMETNE VARNOSTI NA KONKRETNEM PRIMERU

Obe metodologiji smo preverili na konkretnem primeru že zgrajenega krožnega križišča. Krožno križišče se nahaja na državni cesti G2-105, odsek 0399 Novo mesto (Bučna vas–Krka) v Novem mestu. Krožno križišče je novogradnja. Glede na velikost (premer 49 m) spada med srednje velika krožna križišča. Je dvopasovno, trikrako. Kraki so označeni glede na smer potovanja: A – Metlika (jug), B – Ljubljana (zahod), C – BTC (sever). Krak A – enopasovna vhod in izhod, krak B – dvopasovna vhod in izhod, ter krak C – dvopasovni vhod in enopasovni izhod v krožno križišče (slika 4). Poleg analiziranja obstoječega krožnega križišča smo primerjali še dve različici: optimizirano (izboljšano) krožno križišče in T-križišče (slika 5). V obeh primerih smo upoštevali iste prometne obremenitve – jutranjo in popoldansko konico smo določili s štejetjem prometa. Za vsako različico posebej smo naredili model z orodjem PTV VISSIM in ločeno izdelali analizo za prometno varnost z modelom SSAM ter po metodologiji PNS.



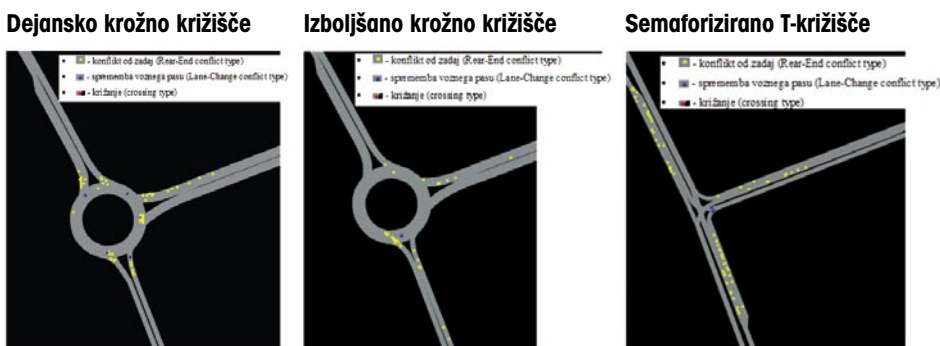
Slika 4 • Ortofoto posnetek obravnavanega krožnega križišča in oznaka krakov (Puljak, 2010)



Slika 5 • Različice obravnavanih križišč (Puljak, 2010)

Sprememba med izboljšanim in dejanskim krožnim križiščem je samo v spremenjeni horizontalni in vertikalni signalizaciji brez gradbenotehničnih posegov. S tem smo dosegli, da se promet na krožnem križišču razporedi po smereh že na priključkih, preden vstopi v samo krožno križišče, kar zelo zmanjša število konfliktov (deluje kot »kvaži turbo« krožno križišče). Semaforizirano T-križišče pa smo modelirali glede na prometne obremenitve.

3.1 IZRAČUN RAVNI PROMETNE VARNOSTI KRIŽIŠČ S PROGRAMSKIM ORODJEM SSAM



Slika 6 • Grafični rezultati programskega orodja SSAM (Puljak, 2010)

Rezultati izračunov po metodologiji SSAM so podani tako grafično kot tudi tabelarično. Slika 6 prikazuje primer konfliktov za obravnavane različice modelov križišč.

Grafično prikazani konflikti se razlikujejo po barvi, in sicer: rumena – konflikt od zadaj, modra – sprememba voznega pasu, rdeča – križanje prometnih pasov (slika 6). Na priključkih prevladujejo konflikti od zadaj. Manj je konfliktov spremembe voznega pasu.

Primer rezultatov za posamezni model (različico) z modelom SSAM prikazuje preglednica 2. Prikazani so naslednji podatki: minimalna vrednost, maksimalna vrednost, srednja vrednost ter odstopanje od srednje vrednosti (varianca).

	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 2 • Rezultati meritev SSAM – primer (Puljak, 2010)

SSAM Measures	Mean(popul...)	Variance (...)	Replicatio...	Mean(popul...)	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(popul...)	Variance (po...)	Replications	Mean(popul...)	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 3 • T-test dveh različic – primer (Puljak, 2010)

Z modelom SSAM smo različice primerjali s pomočjo T-testa. Vrednost parametra za T-test in F-test je bila nastavljen na 0,05, kar ustreza 95-odstotni natančnosti rezultatov. Med seboj smo primerjali vse različice križišč. Pri tem smo ločili jutranjo in popoldansko konico. S pomočjo vrednosti ('YES' ali 'NO') v stolpcu Significant (v spodnjih tabelah označeno s črno) statistično vrednost sprejmemo ali zavrnemo. Drugače povedano, če je v polju stolpca Significant 'YES', je razlika vrednosti glede na podani interval zaupanja statistično značilna in obratno.

Prikazana preglednica 3 je samo primer iz obravnave popoldanske konice (prometno bolj obremenjena konica). Prikazuje primerjavo med dejanskim in izboljšanim krožnim križiščem. Končni rezultat teh primerjav razberemo iz preglednice 4. Obstoječe krožno križišče z vidika ravni prometne varnosti predstavlja najslabšo rešitev, medtem ko izboljšano krožno križišče predstavlja najboljšo rešitev. Semaforizirano križišče je glede varnosti med obema. Rezultati so prikazani tudi v obliki krožnega diagrama (slika 7).

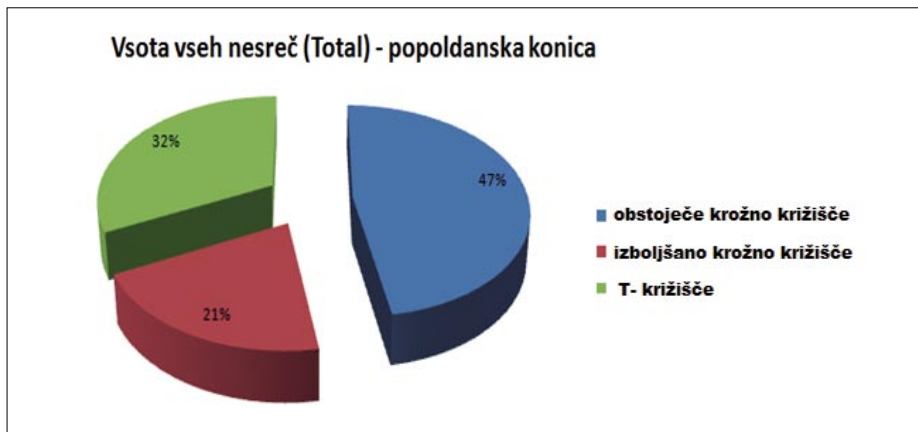
POPOLDANSKA KONICA

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

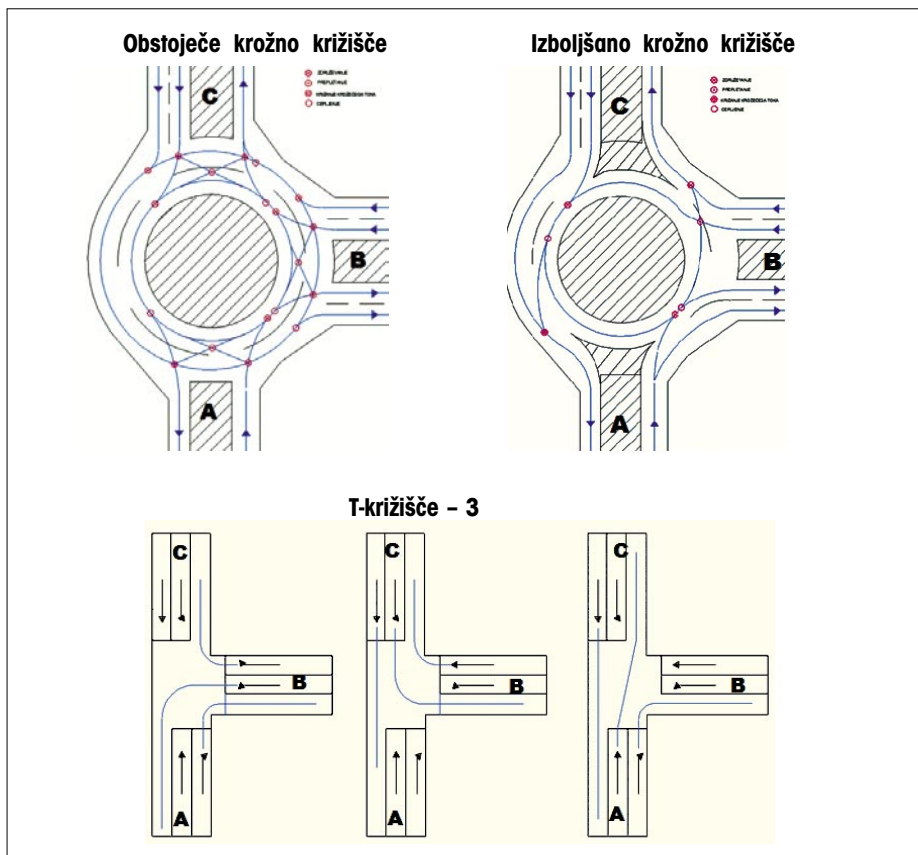
Preglednica 4 • Primerjava različic glede na število konfliktov (Puljak, 2010)

3.2 IZRAČUN RAVNI PROMETNE VARNOSTI KRIŽIŠČ PO METODOLOGIJI PNS

Po metodologiji PNS je treba ročno določiti konfliktno točko za vsako različico posebej (slika 8). Največ konfliktnih točk je v dejanskem krožnem križišču (19), v izboljšanem se število teh občutno zmanjša (7). Problem nastopi v semaforiziranem T-križišču (izbrana morata biti ustrezna fazna struktura in zaporedje), kjer jih po metodologiji PNS ni, kar ne odraža dejanskega stanja. S slike 8 za T-križišče je razvidno, da v nobeni od treh faz ne prihaja do sekanja prometnih tokov. Teoretično po metodologiji PNS tako križišče nima konfliktnih situacij.



Slika 7 • Shematski prikaz pogostosti konfliktov iz SSAM (Puljak, 2010)

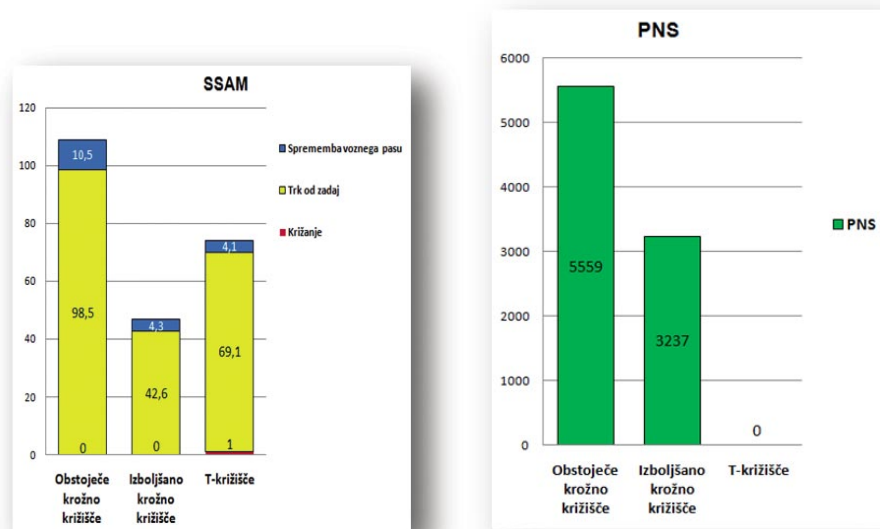


Slika 8 • Različice križišč, pripravljene za metodo PNS (Puljak, 2010)

4 • PRIMERJAVA REZULTATOV OBEH METOD

Primerjava rezultatov med različicami oziroma metodologijami je najbolje prikazana na stolpčnih diagramih na sliki 9. Prikazane rezultate smo dobili po metodologiji SSAM

ter po metodologiji PNS, in sicer za vsako različico posebej (obstoječe krožno križišče, izboljšano krožno križišče ter T-križišče). Na levem diagramu (SSAM) je ločeno pri-



Slika 9 • Primerjava dveh metod za napovedovanje ravni prometne varnosti (Puljak, 2010)

	Različica	Število konfliktnih točk	Število prometno nevarnih situacij – PNS
1.	Obstoječe krožno križišče	19	5559
2.	Izboljšano krožno križišče	7	3237
3.	T-križišče	0	0

Preglednica 5 • Primerjava različic glede na število konfliktov – PNS (Puljak, 2010)

5 • SKLEP

Testirali smo dve metodologiji oziroma dva modela za napovedovanje prometne varnosti na konkretnem primeru. Metodi se med seboj razlikujeta tako po načinu uporabe kot po različnih izhodiščih. Rezultati izračunov po obeh metodah se med seboj razlikujejo predvsem v primeru izbora najprimernejše projektne oziroma gradbene rešitve. V konkretnem primeru sta obe metodologiji potrdili, da

je obstoječa rešitev večpasovnega krožnega križišča, kar se tiče prometne varnosti, najslabša možnost. Na osnovi dobljenih rezultatov lahko tudi ugotovimo, da so krožna križišča z večpasovnimi uvozi in/ali izvozi slabe rešitve s stališča prometne varnosti. V prihodnje projektantom predlagamo, da se v primeru, ko prometne zahteve presegajo kapaciteto enopasovnih krožnih križišč, ne

kazano število konfliktov glede na njihovo vrsto (sprememba voznega pasu, trk od zadaj, križanje). Prevladujejo predvsem trki od zadaj, ki so prikazani z rumeno barvo. V desnem diagramu (PNS) so prikazane samo vrednosti PNS (prometno nevarnih situacij) glede na jakost prometnega toka in števila konfliktnih situacij. Iz stolpčnih diagramov se nazorno vidi, da obstoječe krožno križišče predstavlja prometno najslabšo rešitev (različico) v obeh primerih, tako po SSAM kot tudi po PNS. Pri prometno najboljši rešitvi pa se diagrama razlikujeta. V semaforiziranem T-križišču je PNS enak 0 (izbor faz posledično vpliva na (ne)sekanje prometnih tokov), medtem ko programsko orodje SSAM te konflikte zazna in jih skladno s tem obravnava (večji delež predstavljajo trki od zadaj).

Preglednica 5 prikazuje seštevek vseh mogočih konfliktnih situacij po metodologiji PNS glede na prometne obremenitve. Z večanjem števila konfliktnih točk oziroma prometnih obremenitev se večja tudi število prometno nevarnih situacij. Po metodologiji PNS tako sledi, da naj bi bilo T-križišče prometno absolutno varno oziroma varnejše kot drugi dve različici, kar pa dejansko ne drži. Prometno najslabša različica pa je tudi po tej metodologiji obstoječe krožno križišče. Samo določevanje konfliktnih točk po PNS je precej oteženo in nenatančno. Vedno obstaja možnost nekontroliranega manevriranja med pasovi, kar povzroči dodatne konfliktno točke in s tem poveča vrednosti po PNS. Največ takšnih manevrov omogoča obstoječe dvopasovno krožno križišče, ki s svojo ureditvijo dopušča voznikom veliko nekontroliranega manevriranja.

odločajo več za večpasovna krožna križišča s koncentričnimi voznimi pasovi v krogu ter večpasovnimi uvozi in/ali izvozi, ki teoretično lahko zadostijo prometnim zahtevam, prometno-varnostno pa so neustrezna. V takih primerih predlagamo načrtovanje večpasovnih krožnih križišč s spiralnim vodenjem pasov v krogu (t. i. turbo krožna križišča) ali ustrezno dimenzioniranih in krmiljenih semaforiziranih križišč. Podrobnejša analiza uporabe in rezultatov na konkretnem primeru ter opazovanja gibanja prometnih tokov v krožnem križišču pa dajo naslednje ugotovitve ...

Metodologija PNS

- Zamudna (gre za analitičen izračun), dopušča subjektivno natančnost.
- Pri večjem številu sekanja prometnih tokov možnost večjih napak pri izračunu PNS (prepletanje, križanje, cepljenje in priključevanje prometnih tokov).
- Problem semaforiziranih križišč (kot je vidno iz obravnavanega primera), metoda odpove v določenih nastavitvah faz semaforiziranih križišč in pri večjih krožnih križiščih (notranji pasovi in priključni pasovi – potrebno oceniti, kako se prometni tok prepleta po pasovih –, s tem pa izgubimo natančnost prometnovarnostne ocene različice).

Programsko orodje SSAM

- Še v razvoju (se izpopolnjuje, dodajajo se nove možnosti). Brez mikrosimulacijskega orodja modela ni mogoče uporabiti.
- Podrobna umeritev modela (za vsak konflikt podrobni rezultati – pojemek, hitrost, kot trčenja itd). Meritve TTC in PET so v originalu privzete nastavitve. V konkretnem primeru smo opravili meritve za TTC in PET s pomočjo videoposnetkov (vrednosti parametrov nekoliko manjše od ameriških), vendar bi bilo za natančno določitev teh parametrov treba izdelati analizo več križišč in krožnih križišč po Sloveniji.
- Vrednosti TTC in PET ne vplivajo na končno relativno primerjavo modelov med seboj z vidika prometne varnosti (pri primerjavi več modelov oziroma različic med seboj se uporabljajo enake nastavitve TTC in PET), vplivajo pa na absolutne vrednosti prometnovarnostne analize posameznega modela.

6 • LITERATURA

- Gettman, D., Head, L., *Surrogate Measures of Safety from Traffic Simulation Models*, Report No, FHWA-RD-03-050, Federal Highway Administration (FHWA), Washington DC, 2003.
- Maher, T., Tollazzi, T., Primerjava uspešnosti različnih uspešnosti različnih tipov križišč glede na kriterij čakalnih časov, Razvojno raziskovalni projekt, RS MP DRSC, 2009.
- Pravilnik o projektiranju cest., Ur. l. RS, št. 91/2005.
- Puljak, A., Napovedovanje ravni prometne varnosti s pomočjo simulacijskih programov, Diplomski naloga, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2010.
- Surrogate Safety Assessment Model and Validation, Final Report, Publication No, FHWA-HRT-08-051, Federal Highway Administration (FHWA), Washington DC, 2008.
- Tollazzi, T., Renčelj, M., Prispevek k metodologiji za napovedovanje pričakovane ravni prometne varnosti v načrtovanih nivojskih križiščih, Gradbeni vestnik 55, 2006.
- Tollazzi, T., Primerjalna analiza metodologij za napovedovanje ravni prometne varnosti v nivojskih nesemaforiziranih križiščih, Ljubljana, RS MP DRSC, 2007.