

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 program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Darko Logar

Določitev kritičnih razmakov za ovirane prometne tokove v krožnem križišču

Diplomska naloga št.: 2863

Mentor:
doc. dr. Tomaž Maher

Ljubljana, 23. 1. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **DARKO LOGAR** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»DOLOČITEV PARAMETROV KRITIČNEGA RAZMAKA ZA OVIRANE
PROMETNE TOKOVE NA KROŽNEM KRIŽIŠČU«.**

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

Ljubljana, 5.1.2006

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 519.61/.64:625.739:656.1(043.2)
Avtor: Darko Logar
Mentor: doc. dr. Tomaž MAHER
Naslov: Določitev parametrov kritičnega razmaka za ovirane prometne tokove na krožnem križišču
Obseg in oprema: 54 str., 9 pregl., 25 sl.
Ključne besede: krožno križišče, kritični razmak, čas sledenja, metoda največjega verjetja, avstralska metoda, video analiza

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljena metodologija sprejemljivega razmaka. Njena glavna parametra sta kritični razmak in čas sledenja. Cilj naloge je določitev vrednosti teh dveh parametrov. Čas sledenja lahko neposredno izmerimo na terenu, medtem ko kritičnega razmaka ne moremo kar izmeriti. Lahko ga določimo po eni od številnih metod. Kot najustreznejša je metoda največjega verjetja, zato je uporabljena tudi v tej nalogi. Vhodna podatka pri tem postopku sta opazovani sprejeti razmak in največji zavrtnjeni razmak za vsakega posameznega voznika v vzorcu. Velikosti teh razmakov je določena z analizo video posnetka. Na koncu so dobljene vrednosti preverjene s pomočjo računalniškega programa aaSidra 2.0

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 519.61/.64:625.739:656.1(043.2)
Author: Darko Logar
Supervisor: Assist. Prof. dr. Tomaž MAHER
Title: Eestimating gap acceptance parameters at roundabout
Notes: 54 p., 9 tab., 25 fig.
Key words: roundabout, critical gap, follows up time, maximum likelihood method, australian method, video analysis

Abstract

The present work focuses on gap acceptance methodology. Its main parameters are critical gap and follow up time. The goal of this work is to estimate those two parameters. Follow up time can be directly measured on the field, while critical gap can not be measured. It can be estimated by one of many different methodologies. Here is used maximum likelihood method as most suitable one. Input data in this procedure are measured accepted gap and measured largest rejected gap for each driver separately. Those two gaps are extracted out with video analysis. At the end of this work the values of extracted parameters are verified by a computer program aaSidra 2.0.

ZAHVALA

Doc. dr. Tomažu Maherju se zahvaljujem za pomoč pri nastajanju in izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi svojim staršema, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč in me spodbujala.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	SPLOŠNO	2
2.1	Uvod.....	2
2.2	Interakcija prometnih tokov na krožnem križišču.....	3
2.3	Navzkrižni promet.....	5
3	KRITIČNI RAZMAK IN ČAS SLEDENJA	8
3.1	Splošno.....	8
3.2	Kritični razmak.....	8
3.3	Čas sledenja.....	10
4	OSNOVNI POSTOPKI DOLOČITVE	12
4.1	Ocenjevanje parametrov kritičnega razmaka.....	12
4.1.1	Regresijska analiza.....	13
4.1.2	Neodvisno ocenjevanje kritičnega razmaka in časa sledenja.....	14
4.2	Preverjanje ustreznosti modelov.....	17
4.3	Zaključki.....	20
5	METODA NAJVEČJEGA VERJETJA	21
5.1	Metoda največjega verjetja V našem primeru.....	21
6	KAPACITETA KROŽNEGA KRIŽIŠČA	24
6.1	Splošno.....	24
6.1.1	Število in vrsta obravnavanih podatkov.....	24
6.1.2	Kolesarski in peš promet.....	26
6.1.3	Vremenske razmere in preglednost krožnega križišča.....	26
6.1.4	Osveščenost in način vožnje voznikov.....	26
6.1.5	Kalibriranje najustrežnejšega modela za računanje prepustnosti uvozov krožnih križišč v RS.....	27
6.2	Avstralska metoda.....	28
6.2.1	Povzetek.....	29
7	OPIS DELA IN RAČUN	30
7.1	Opis izbranega krožnega križišča.....	30
7.2	Štetje prometa.....	31
7.3	Izbor najustrežnejšega kraka za analizo.....	33

7.4	Potek snemanja	34
7.5	Uporabljena oprema	35
7.5.1	Opažanja	37
7.6	Meritve časa sledenja.....	37
7.7	Definiranje kritičnega razmaka	39
7.7.1	Vpliv tipa vozila na kritični razmak in čas sledenja.....	41
7.8	Zveza med kritičnim razmakom in časom sledenja.....	42
8	PRIMERJAVA PARAMETROV	43
8.1	Vrednosti parametrov teorije sprejemljivega razmaka po različnih državah.	44
8.2	Primerjalni račun s programom aaSidra 2.0	45
8.2.1	Primer 1:	46
8.2.2	Primer 2	48
9	ZAKLJUČEK	51
9.1	Kako naprej?.....	51
10	VIRI	Error! Bookmark not defined.

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 7.1: Vzrok prometne nesreče.....	37
Preglednica 7.2: Del podatkov o času sledenja za krak C	38
Preglednica 7.3: Osnovni časi sledenja in velikost vzorca	39
Preglednica 7.4: Del urejenih podatkov potrebnih za določitev kritičnega razmaka.....	40
Preglednica 7.5: Določeni osnovni kritični razmak in podatki o velikosti vzorca	41
Preglednica 7.6: Prikaz razmerja med kritičnim razmakom in časom sledenja.....	42
Preglednica 8.1: Parametri sprejemljivega razmaka za krožno križišče, ki so v uporabi v nekaterih drugih državah.....	44
Preglednica 8.2: Primerjalne vrednosti parametrov za Slovenijo	45
Preglednica 9.1: Parametri sprejemljivega razmaka določeni za krožno križišče Primskovo. 51	

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Zaporedno povezana "T" križišča	2
Slika 2.2: Shema krožnega križišča	3
Slika 2.3: Izpeljava prioritetnih tokov v krožnem križišču iz "T" križišča	4
Slika 2.4: Prikaz navzkrižnih prometnih tokov in jakosti oviranih prometnih tokov na nesemaforizirana križišča.....	5
Slika 2.5: Oznake prometnih tokov krožnega križišča	7
Slika 3.1: Kje v postopku določevanja kapacitete se pojavi teorija sprejemljivega razmaka	8
Slika 3.2: Prikaz zavrjenega in sprejetega razmaka	10
Slika 3.3: Shematičen prikaz časa sledenja	11
Slika 6.1: Glavne geometrijske karakteristike krožnega križišča.....	25
Slika 7.1: Lokacija izbranega krožišča	30
Slika 7.2: Letalski posnetek obravnavanega križišča in poimenovanje posameznih krakov ...	31
Slika 7.3: Diagrama prometnih obremenitev za jutranjo in popoldansko konico	32
Slika 7.4: Diagram dnevnih prometnih obremenitev.....	32
Slika 7.5: Prometne obremenitve v času jutranje konice dne 28.10.2004 - izris je prirejen za krožno križišče	33
Slika 7.6: Položaj kamere in kot snemanja.....	34
Slika 7.7: Kamera Panasonic NV-DS29EGE	35
Slika 7.8: Stojalo Slik U5000	36
Slika 7.9: Videorekorder JVC BR-S622E	36
Slika 7.10: Dialogno okno uporabljenega programa	41
Slika 8.1: Podatki o geometriji	46
Slika 8.2: Podatki o prometnih obremenitvah	47
Slika 8.3: Podatki o uporabljenih parametrih sprejemljivega razmaka	47
Slika 8.4: Stopnja nasičenosti krožnega križišča z v program vgrajenimi parametri.....	48
Slika 8.5: V računu porabljeni parametri sprejemljivega razmaka	49
Slika 8.6: Stopnja nasičenja, če uporabim kr. razmak in čas sledenja določen v tej nalogi.....	49

1 UVOD

Najpogostejša križišča so nesemaforizirana. Mednje sodijo tudi krožna križišča, ki so se pri nas začela uveljavljati šele v preteklem desetletju. Glavne prednosti zaradi katerih so krožišča tako popularna so visoka prometna varnost, možnost prepuščanja prometnih tokov visoke jakosti, manjši čakalni časi, ukrep za umirjanje prometa, estetski izgled, ipd. Igrajo torej pomembno vlogo pri vodenju prometa v znotraj cestnega omrežja.

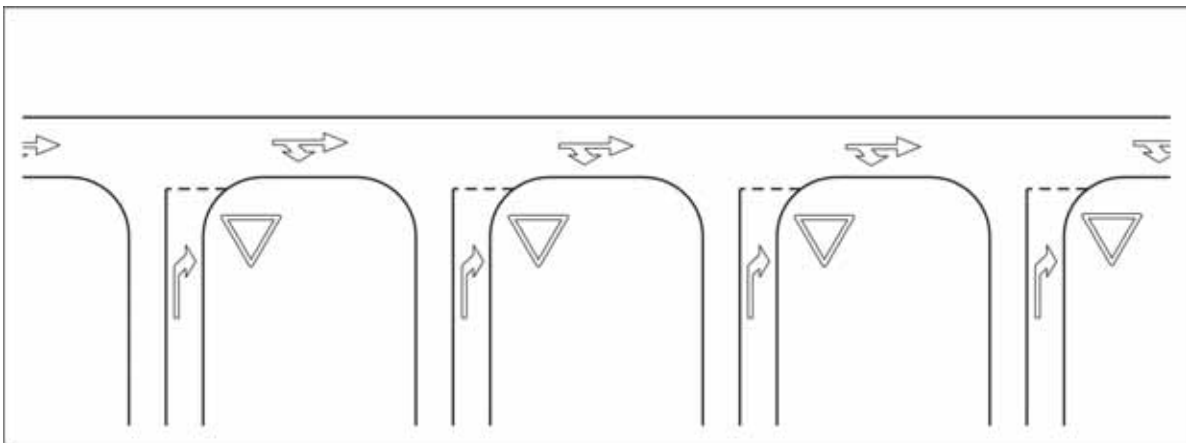
Pri načrtovanju krožnih križišč si pomagamo z modeli sprejemljivega razmaka. Dva glavna parametra teh modelov, ki bistveno vplivata na končno kapaciteto krožnega križišča sta kritični razmak in čas sledenja. Čas sledenja lahko neposredno izmerimo na terenu, medtem ko kritičnega razmaka ne moremo kar izmeriti. Obstaja več različnih metod, po katerih kritični razmak določimo. Tu je prikazana primerjava teh metod, povzeta po predhodnih raziskavah v ZDA. Raziskave kažejo, da je najustreznejša med njimi metoda največjega verjetja. Za določitev kritičnega razmaka je metoda uporabljena tudi v tej nalogi. Vhodna podatka pri tem postopku sta opazovani sprejeti razmak in največji zavrtni razmak za vsakega posameznega voznika v vzorcu. Velikosti teh razmakov sem določil z analizo 8 ur video posnetka, katerega je bilo potrebno večkrat natančno pregledati. Skupaj je analiza posnetka trajala približno 50 ur. Zbranih je bilo preko 80 strani podatkov, iz katerih so z uporabo računalniškega programa statistično določene vrednosti kritičnega razmaka.

Cilj te diplomske naloge je določitev parametrov za podatke zbrane v Sloveniji. Trenutno se pri nas uporabljajo vrednosti, ki so vključene v računalniškem programu aaSidra 2.0. Te vrednosti so določene na območju Avstralije in ZDA, kjer so geometrija križišč, dimenzije vozil in navade voznikov bistveno drugačne kot v Sloveniji. Posledično so rezultati računov kapacitet, dolžin kolon, itd. drugačni, kar je razvidno iz primerjave na koncu tega dela. Zato je pomembno, da v modelih sprejemljivega razmaka uporabljamo dejanske vrednosti parametrov kritičnega razmaka in časa sledenja.

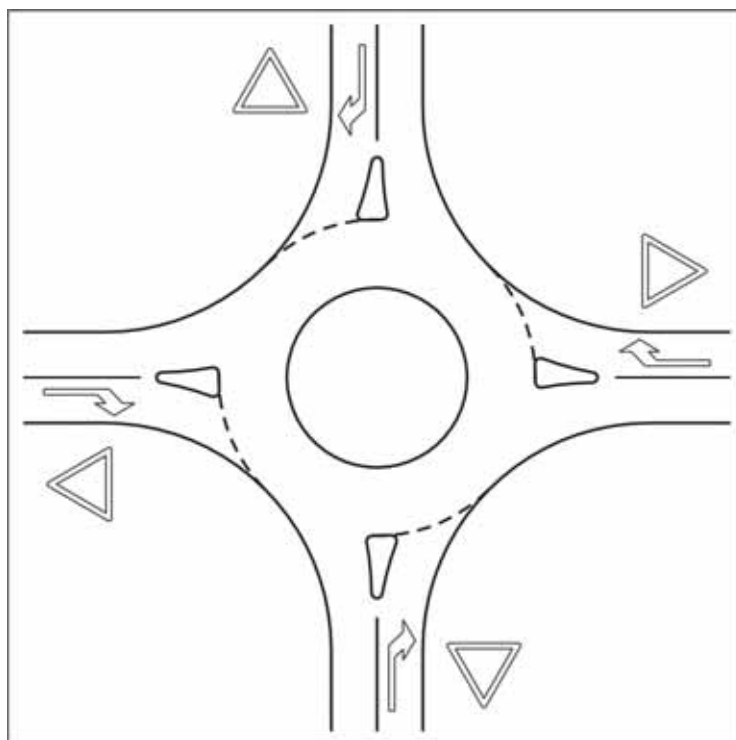
2 SPLOŠNO

2.1 UVOD

Krožno križišče kot možna izvedba nesemaforiziranega križišča voznikom ne dajejo nobenih naznanitev ali kontrole. Vozniku ni povedano, kdaj naj zapelje v križišče. Sam se mora odločiti kdaj je varno vstopiti v križišče, zato oprezuje za varnimi priložnostmi – razmaki med vozili in ko se mu ponudi sprejemljiv razmak zapelje v krožni tok križišča. Ker so vsi uvozi desno zavijanje v prednostni krožni tok in izvozi iz njega prav tako desni manevri, lahko potegnemo vzporednice z običajnim križiščem s prednostno cesto. Krožno križišče obravnavamo kot niz nesemaforiziranih T križišč (slika 2.1). Da se lahko poslužimo take obravnave mora biti krožno križišče dovolj veliko. Po nemškem pravilniku (FGSV, 2001) naj bi bil zunanji premer večji od 26 metrov.



Slika 2.1: Zaporedno povezana "T" križišča



Slika 2.2: Shema krožnega križišča

Čeprav je sprejemljivost razmakov v splošnem dobro razumljiva je pametno postopek sprejemljivega razmaka obravnavati kot sestav dveh osnovnih elementov. Na eni strani so to vozniki, ki čakajo na ustrezne razmake (priložnosti), ki so zanje ustrezni za vstop v križišče. Na drugi pa način, kako so voznikom ki se vključujejo, ti razmaki omogočeni s strani ostalih voznikov. Posledično je pomembna skladnost med različno dolgimi časovnimi razmaki, ki so ponujeni voznikom, ki vstopajo v križišče in vzorcem med prihodi vozil.

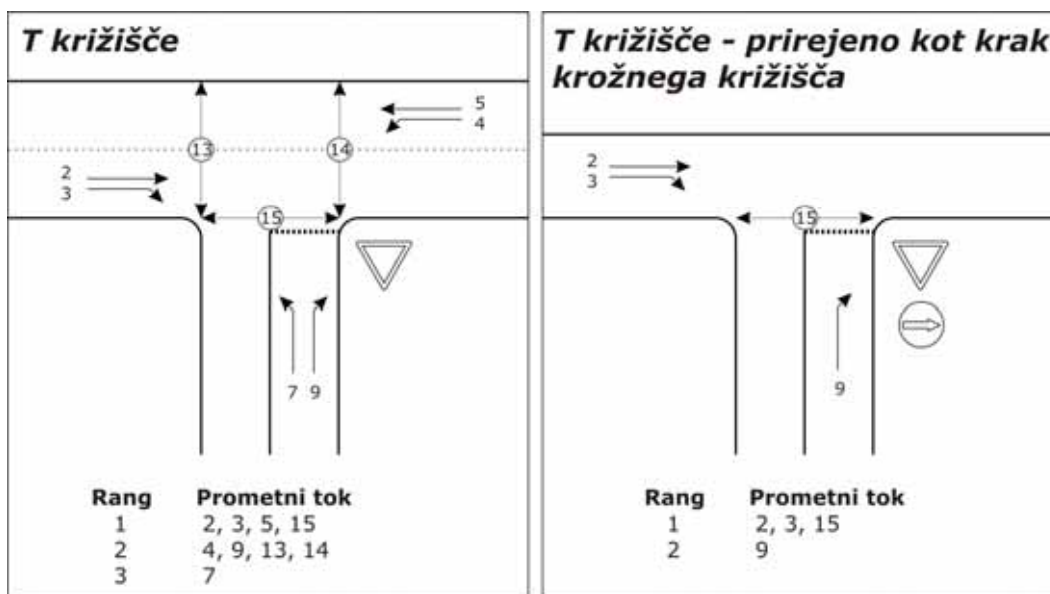
2.2 INTERAKCIJA PROMETNIH TOKOV NA KROŽNEM KRIŽIŠČU

Prometni tokovi na T križišču so predstavljeni na levi strani slike 2.3. Na takem tipu križišča so samo trije hierarhični razredi. Posledično je tudi manj konfliktnih situacij med posameznimi tokovi, zato je voznikom lažje oprezati za varnimi razmaki. Ker vemo da je krožni prometni pas enosmeren, lahko tudi tu potegnemo vzporednice s T križiščem z enosmerno prednostno cesto. Glej desni del slike 2.3.

Ob tej predpostavki prepoznamo medsebojni vpliv med tokovi in to upoštevamo. Na vseh nesemaforiziranih, torej tudi krožnih križiščih obstaja hierarhija tokov. Vozniki morajo upoštevati pravilo prednosti, da se promet v krožnem križišču odvija varno. Z upoštevanjem pravil prednosti, lahko določimo različne tudi prednostne razrede v krožnem križišču:

Rang 1: vožnja v krožnem toku (prednostna cesta) in desno izključevanje iz njega,

Rang 2: zavijanje desno (vključevanje v krožni tok) iz stranske ceste;



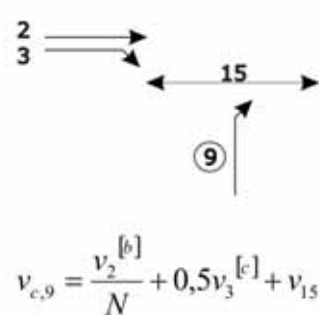
Slika 2.3: Izpeljava prioriternih tokov v krožnem križišču iz "T" križišča

Na sliki 2.3 je predstavljena izpeljava prioriternih razredov predstavljajo prometni tokovi od 1 do 6 prečkanje križišča iz prednostne ceste, prometni tokovi 7 do 12 pa iz stranske ceste. Oznake 13 do 16 predstavljajo prečkanje pešcev. Številke, ki označujejo posamezne smeri vožnje, kot tudi indeksi v oglatih oklepajih so povzeti po HCM 2000. Izhajajo iz oznak štiri krakega nesemaforiziranega križišča s prednostno cesto. Smeri, ki jih v našem primeru ni, sem preprosto izpustil.

2.3 NAVZKRIŽNI PROMET

Vsaka smer prečkanja križišča je izpostavljena navskrižnemu prometnemu toku. Ta križanja so prikazana na sliki 2.4, kjer oznaka $v_{c,x}$ predstavlja navskrižni tok smeri vožnje x (vozil/h).

Prečkanje pešcev in kolesarjev (15) predstavlja še dodatni dejavnik navskrižnega prometa. Če je na krožnem križišču visok delež prečkanja pešcev, je najbolje, če so ti ločeni od motornega prometa izvenivojsko in jih v računu ne upoštevamo. Če takšna izvedba ni možna, naj bodo peš prehodi locirani na mestu, kjer ustavljena vozila na posameznih krakih ne ovirajo krožnega toka. V metodologiji izračuna predstavlja prečkanje pešcev stranske ceste **Rang 1**.

Smer vožnje	Jakost oviranih prometnih tokov $v_{c,x}$
Zavijanje desno iz stranske ceste (9)	 $v_{c,9} = \frac{v_2^{[b]}}{N} + 0,5v_3^{[c]} + v_{15}$

Slika 2.4: Prikaz navskrižnih prometnih tokov in jakosti oviranih prometnih tokov na nesemaforizirana križišča

OPOMBE:

[b] če je na prednostni cesti (v krožnem toku) več kot en vozni pas, se predvideva količina prometnih tokov v_2/N , kjer N pomeni število voznih pasov za vožnjo naravnost na prednostni cesti (v krožnem toku).

[c] če je na prednostni cesti ločen vozni pas za zavijanje desno (bypass) na stransko cesto, se ne upošteva v_3 in v_6 .

Za krožno križišče lahko izračunamo prepustnosti uvozov po npr. Švicarski metodologiji (ETH Lausanne, 1991), ki najbolje opisuje tudi slovenske razmere v krožnih križiščih, saj le ta metoda upošteva, da promet na izvozu pred uvozom v krožno križišče vpliva na prepustnost uvoza.

Splošna enačba za določitev prometne prepustnosti uvoza je naslednja:

$$L_e = \frac{1500 - 8/9 * Q_b}{\gamma}$$
$$Q_b = \beta * Q_c + \alpha * Q_a$$

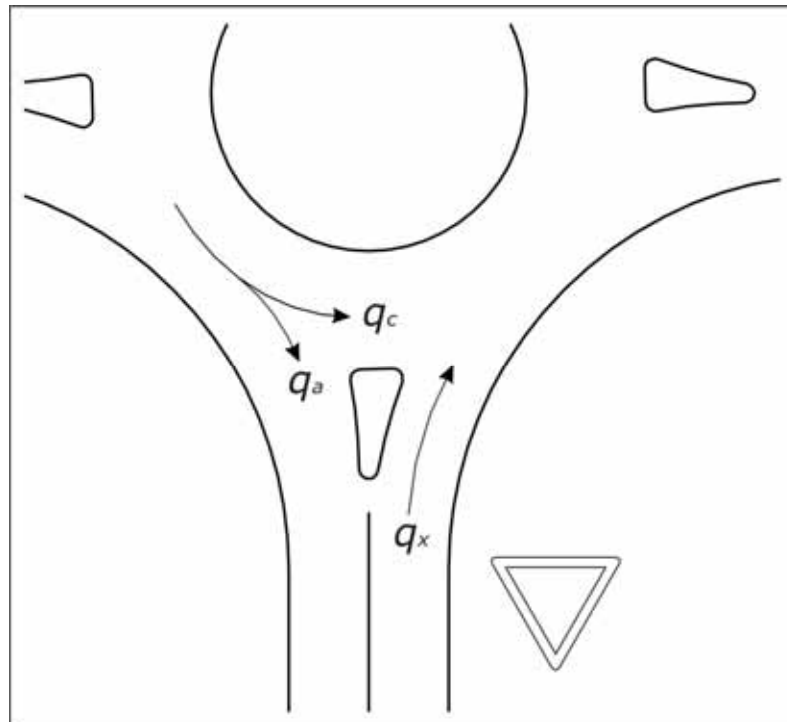
Kjer so oznake:

- L_e prometna prepustnost uvoza (EOV/h),
- Q_b jakost oviranih prometnih tokov (EOV/h),
- Q_c jakost prometa na krožnem voznom pasu (EOV/h),
- Q_a jakost prometa na izvozu nad obravnavanim uvozom (EOV/h),
- α koeficient za upoštevanje izvoznega prometa,
- β koeficient redukcije, glede na število vozniških pasov v krožnem križišču,
- γ koeficient redukcije, glede na število uvozov v krožno križišče;

Če primerjamo enačbi za izračun jakosti oviranih prometnih tokov v krožnem križišču (Q_b) in križišču s prednostno ($v_{c,9}$) cesto opazimo lahko precejšnjo podobnost. Drugega tako ne moremo pričakovati, saj gre v obeh primerih za desno vključevanje na prednostno. Razlika je le v tem da enačba za Q_b ne upošteva pešcev, to pa smo predpostavili zgoraj.

V krožnem križišču poteka smer krožnega toka v nasprotni smeri urinega kazalca. Krožni tok (q_c) je prednostna cesta (2), q_a predstavlja vozila ki se na priključku, kjer računamo jakost navzkrižnih tokov izključujejo desno (3), promet (q_x) na priključnih krakih pa podrejen prometni tok (9). Tak način organiziranosti zagotavlja nemoten potek prometa. Prometne tokove merimo neposredno na uvozu v krožni tok. Vsako vozilo, mora torej skozi križišče dvakrat zaviti desno. Ostale manevre v primerjavi z običajnim križiščem s prednostno cesto izločimo.

V večini srednje velikih krožnih križišč v Sloveniji je hitrost zaradi omenjene geometrije omejena na 20-40 km/h. Ta tip križišč gradimo predvsem iz prometno-varnostnih razlogov, navkljub povečanim zamudam. Nizka hitrost v krožnem toku posledično olajša vključevanje, torej vožnjo skozi križišče.

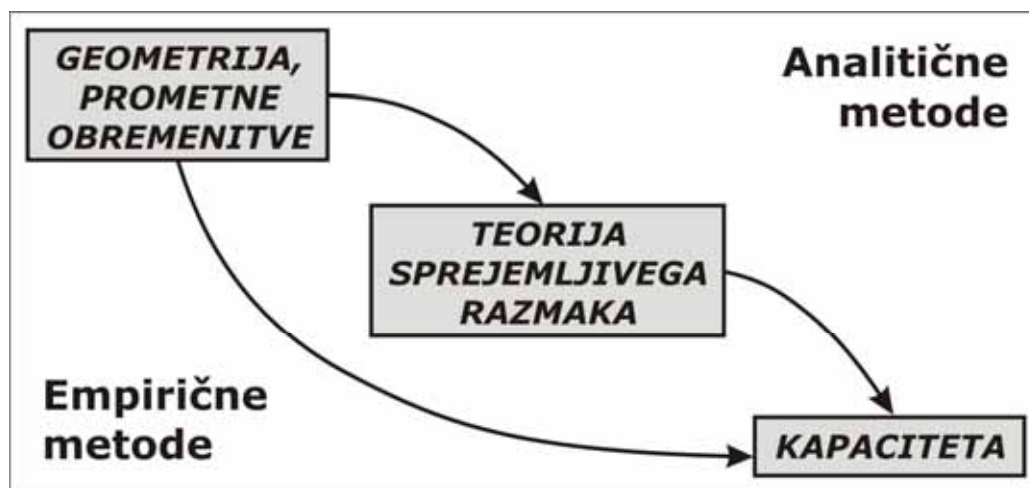


Slika 2.5: Oznake prometnih tokov krožnega križišča

3 KRITIČNI RAZMAK IN ČAS SLEDENJA

3.1 SPLOŠNO

Kapaciteto posameznega kraka križišča lahko določimo s pomočjo različnih metod. Na eni strani imamo empirične metode, na drugi pa analitične metode. Pri empiričnih kapaciteto določimo iz geometrije križišča in prometnih obremenitev direktno. Pri analitičnih pa vmes vključimo še teorijo sprejemljivega razmaka, katere glavna parametra sta kritični razmak in čas sledenja.



Slika 3.1: Kje v postopku določevanja kapacitete se pojavi teorija sprejemljivega razmaka

3.2 KRITIČNI RAZMAK

Kritični razmak (t_c) je definiran kot minimalni časovni interval, ki omogoča vstop v križišče vozilu podrejene smeri vožnje. To je tisti minimalni razmak v navskrižnih prometnih tokovih, ki je za voznika sprejemljiv. Voznik zato razmak, ki je manjši od kritičnega, zavrne. Sprejme pa tistega, ki je enak oziroma večji od kritičnega razmaka. Kritični razmak ni konstanten, je

spremenljivka odvisna od posameznega voznika posebej. Kritični razmaki, ki jih vozniki »uporabljajo« pri odločanju na nesemaforiziranem križišču so opisani z:

- minimalna vrednost (kot spodnja meja je večji od 0),
- pričakovana vrednost povprečnega kritičnega razmaka (ali srednja vrednost kritičnega razmaka), v teoretičnih modelih pogosto označen kot kritični razmak
- standardna deviacija
- faktor simetričnosti, za katerega pričakujemo, da je pozitiven. To pomeni, da ima na desni strani porazdelitev daljši rep

Porazdelitve in njenih parametrov ne moremo neposredno določiti, saj kritičnega razmaka ne moremo opazovati. Izmerimo lahko samo sprejemljive in zavrnjene razmake. Za oceno kritičnega razmaka, moramo oceniti porazdelitev oz. parametre le te. To storimo tako, da razmake čim natančneje opazujemo.

Postopek za določitev kritičnega razmaka in časa sledenja, ki je predstavljen v tem poglavju imenujemo teorija sprejemljivega razmaka. Ta postopek je pogosto uporabljen v analizi nesemaforiziranih križišč. Teorija je osnovana na definiranju ocene voznikov ali bodo ti sposobni izkoristiti posamezen ponujeni razmak oziroma njegovo trajanje.

Na sliki 3.2 je prikazana situacija, v kateri belo vozilo na priključnem kraku čaka na vključitev v krožni tok. Ker je razmak med kombijem in modrim vozilom premajhen, ga voznik belega vozila zavrne. Ta razmak imenujemo zavrneni razmak (t_z). Predpostavimo, da ta voznik zavrne enak ali manjši razmak kot je ta vedno, ko se približa križišču podobnih karakteristik. Voznik belega vozila pa sprejme večji časovni razmak (t_a) med modrim in srebrnim Audijem.



Slika 3.2: Prikaz zavrjenega in sprejetega razmaka

3.3 ČAS SLEDENJA

V primeru zelo velikega razmaka med vozili na prednostni cesti in ob pogoju, da je na podrejeni cesti vrsta vozil, potem več vozil podrejene smeri vožnje vstopi v ta večji časovni razmak. Povprečno vrednost časovnih razmakov med vozili, ki se vključijo v isti razmak na prednostni cesti imenujemo čas sledenja (t_f).



Slika 3.3: Shematičen prikaz časa sledenja

Opis zgornje situacije (slika 3.3): Rdeče vozilo in srebrni karavan čakata na priključnem kraku C – Jezersko, na vključitev v krožišče. Ker je razmak med kombijem in rumenim hroščem premajhen, rdeče vozilo zavrne ponujeni razmak. Zavrne tudi razmak med rumenim in belim vozilom. Za belim vozilom pa se pojavi večji časovni razmak, ki omogoča vključitev obeh vozil, tako rdečega vozila kot tudi srebrnega karavana. Razliko med odhodnima časoma rdečega vozila in srebrnega karavana imenujemo čas sledenja (t_f).

4 OSNOVNI POSTOPKI DOLOČITVE

Teorija uporabljena v večini priročnikov za nesemaforizirana križišča, predvideva da so vozniki konsistentni in homogeni.

- Konsistentnost: Voznik se v podobnih situacijah obnaša vedno enako. Od voznika pričakujemo, da zavrne manjši in sprejme večji razmak in ne obratno.
- Homogenost: Vsi vozniki obnašajo popolnoma enako.

Seveda je ti dve lastnosti od voznikov nerazumno pričakovati.

Catchpole in Plank (1986), Plank in Catchpole (1984), Troutbeck (1988) in Wegmann (1991) so ugotovili, da se število vstopov zmanjša, če se vozniki obnašajo heterogeno (različno). Število vstopov pa se poveča, če se vozniki obnašajo nekonsistentno (nedosledno). Če primerjamo predpostavljeno (homogeno, konsistentno) in resnično (heterogeno, nekonsistentno) obnašanje voznikov opazimo le nekaj odstotno razliko. Od tod sledi, da lahko zaradi poenostavitve postopkov uporabimo kar konsistentno in homogeno obnašanje voznikov.

4.1 OCENJEVANJE PARAMETROV KRITIČNEGA RAZMAKA

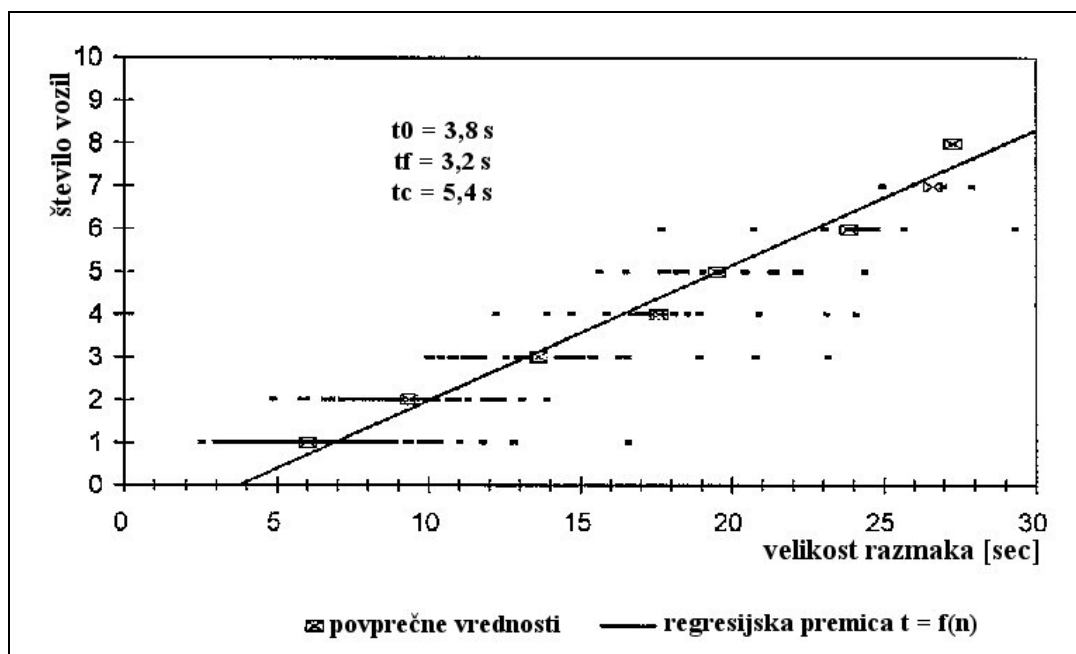
Poznamo različne pristope, kako določiti najbolj pravilen kritični razmak pri vstopu vozila v krožno križišče. Cassidy (1995) je dokazal, da srednje vrednosti kritičnega razmaka ne moremo upoštevati, zato, kritični razmak t_c in čas sledenja t_f ocenimo s postopki, ki jih razdelimo v dve skupini. Prva skupina metod ocenjevanja temelji na regresijski analizi števila vozil, ki sprejmejo razmak v odvisnosti od velikosti sprejetega razmaka. Druga skupina metod pa ocenjuje porazdelitev časov sledenja neodvisno od porazdelitve kritičnega razmaka. Obe skupini metod sta podrobneje opisani v nadaljevanju.

4.1.1 Regresijska analiza

Če imamo na stranski cesti stalno vrsto (nasičene pogoje), potem tehnika, ki jo je predlagal Siegloch (1973) daje sprejemljive rezultate, saj se ujemajo s predpostavkami uporabljenimi pri analizah kritičnega razmaka. V primeru nenasičenih pogojev prav tako dobimo t_c in t_f , ki pa nista uporabna. Za ta postopek, mora biti v času opazovanja v vrsti vsaj eno vozilo. Postopek poteka po naslednjem:

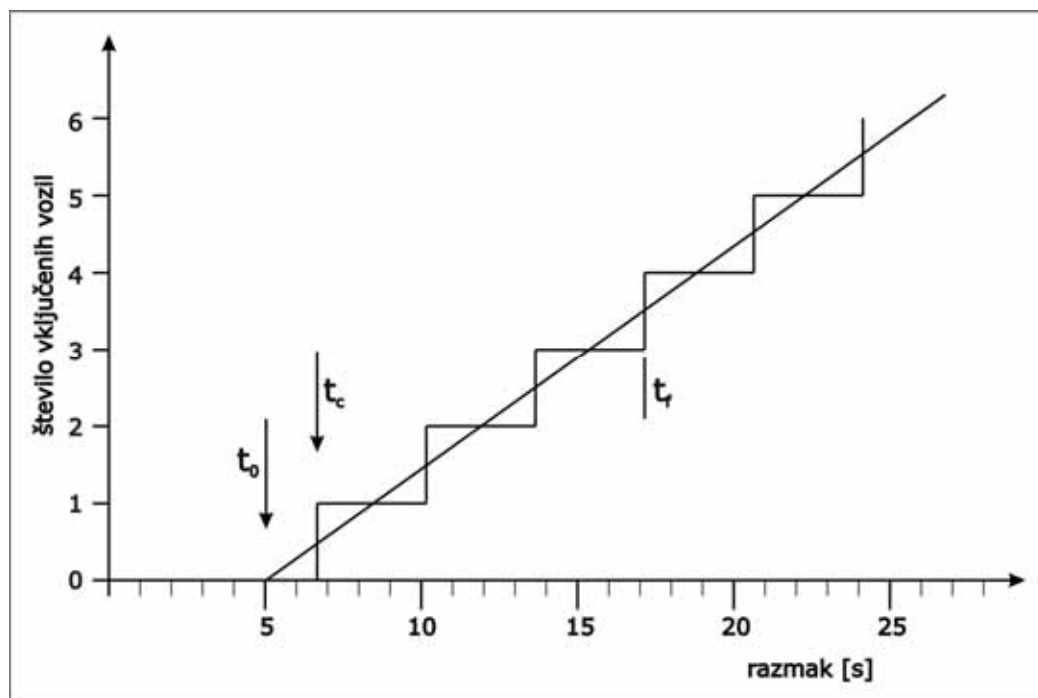
- zabeležiti velikost vsakega razmaka (t) in število vozil (n), ki vstopijo med tem razmakom;
- za vsak razmak sprejemljiv n voznikom, izračunati povprečno velikost razmaka.
- uporabi linearno regresijo na povprečnih vrednostih razmakov (kot odvisne spremenljivke) v odvisnosti od števila vozil (n), ki vstopajo v te povprečne razmake;
- t_f je naklon premice, presečišče regresijske premice z osjo x (velikost razmaka) je t_0 . kritični razmak t_c je podan:

$$t_c = t_0 + t_f/2$$



Slika: Sieglochov postopek ocene kritičnega razmaka in časa sledenja z uporabo regresije
(Povzeto po: Logar, D. 2003, str.10.)

Regresijska premica je zelo podobna stopničasti črti, ki je prikazana na spodnji sliki. Stopničasta črta prikazuje predpostavke, ki so jih naredili Tanner (1962), Harders (1976), Troutbeck (1986). Nagnjena premica na prejšnji sliki pa prikazuje predpostavke, ki sta jih napravila Siegloch (1973) in McDonald – Armitage (1978).



Slika: Tipi regresijskih linij (Povzeto po: Logar, D. 2003, str.11.)

4.1.2 Neodvisno ocenjevanje kritičnega razmaka in časa sledenja

4.1.2.1 Kritični razmak

Če na stranski cesti ni stalnih vrst, potem pristopa z uporabo regresije ne moremo uporabiti. V takem primeru moramo uporabiti verjetnostni pristop.

Za ocenitev kritičnega razmaka so predlagane številne metode: Miller (1972), Ramsey in Routledge (1973), Troutbeck (1975), Hewitt (1983, 1985). Težavnost pri določitvi kritičnega razmaka je ta, da ga ne moremo neposredno izmeriti. Vse kar vemo je, da je kritični razmak

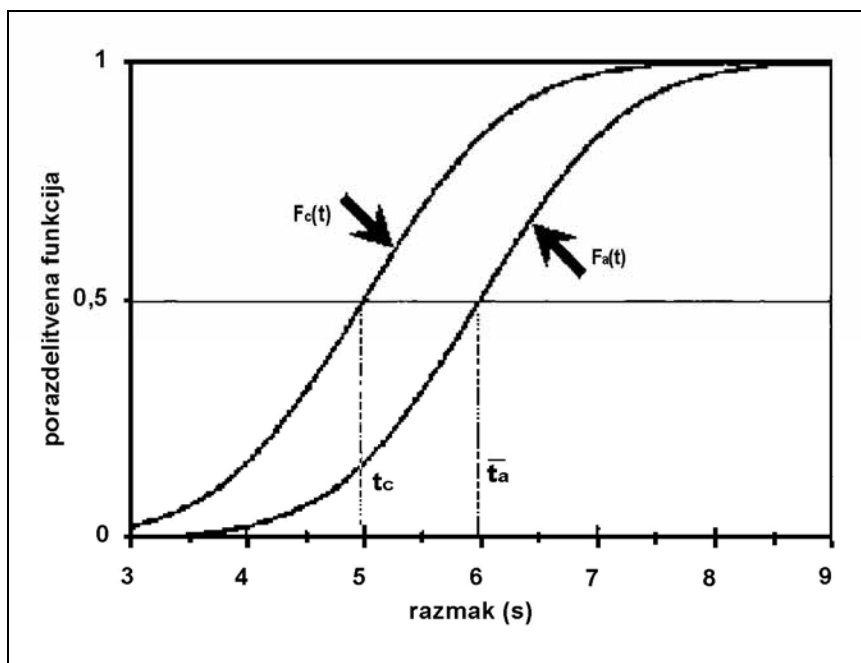
posameznega voznika večji kot njegov največji nesprejemljivi/zavrjnjeni razmak in manjši kot njegov sprejemljiv razmak.

$$\text{Največji zavrjnjeni razmak} < \text{kritični razmak} \leq \text{sprejet razmak}$$

Če voznik sprejme manjši razmak od največjega zavrjnjenega, potem takšnega voznika obravnavamo kot nekonsistentnega in ga ne vključimo v vzorec.

Miller (1972) je podal nadomestno metodo, ki uporablja takšne podatke kot so bili izmerjeni, neodvisno od neskladnosti. Razlika v rezultatih je v splošnem zanemarljiva.

Vrsto sprejemljivih razmakov t_a (razmaki v krožnem toku, ki jih sprejmejo vozniki iz priključnih smeri) lahko opišemo z empirično porazdelitveno funkcijo (spodnja slika). Porazdelitvena funkcija kritičnega razmaka t_c more biti na levi strani porazdelitve t_a .



Slika: Porazdelitvena funkcija kritičnih in dejanskih razmakov

(Povzeto po: Logar, D. 2003, str.12.)

Ashworth (1968, 1970) je predpostavil, da so razmaki v glavnem prometnem toku porazdeljeni eksponentno, t_a in t_c pa normalno. Odkril je, da povprečen kritični razmak t_c lahko ocenimo iz \bar{t}_a (srednja vrednost sprejemljivih razmakov t_a).

Hewitt (1985, 1992) je razvil postopek za oceno kritičnih razmakov (t_c), vendar na osnovi bolj resničnih pogojev kot jih je predvidel Ashworth.

Troutbeck (1992) je opisal postopek ocenjevanja kritičnih razmakov po metodi največjega verjetja. Postopek je uporaben tako v nasičenih kot nenasičenih pogojih.

4.1.2.2 Čas sledenja

Za razliko od kritičnega časovnega razmaka (t_c), lahko čas sledenja (t_f) neposredno izmerimo. Na preseku, ki se nahaja na mestu, kjer vozilo čaka ustrezen razmak, merimo zaporedne čase vozil, ki se iz podrejene smeri vožnje vključujejo v isti razmak med vozili krožnega toka. Razmak med dvema zaporednima voziloma imenujemo čas sledenja. Pogoj, ki mora biti pri tem izpolnjen, je nepretrgana vrsta vozil na stranski cesti (vsaj dve vozili).

Primer:

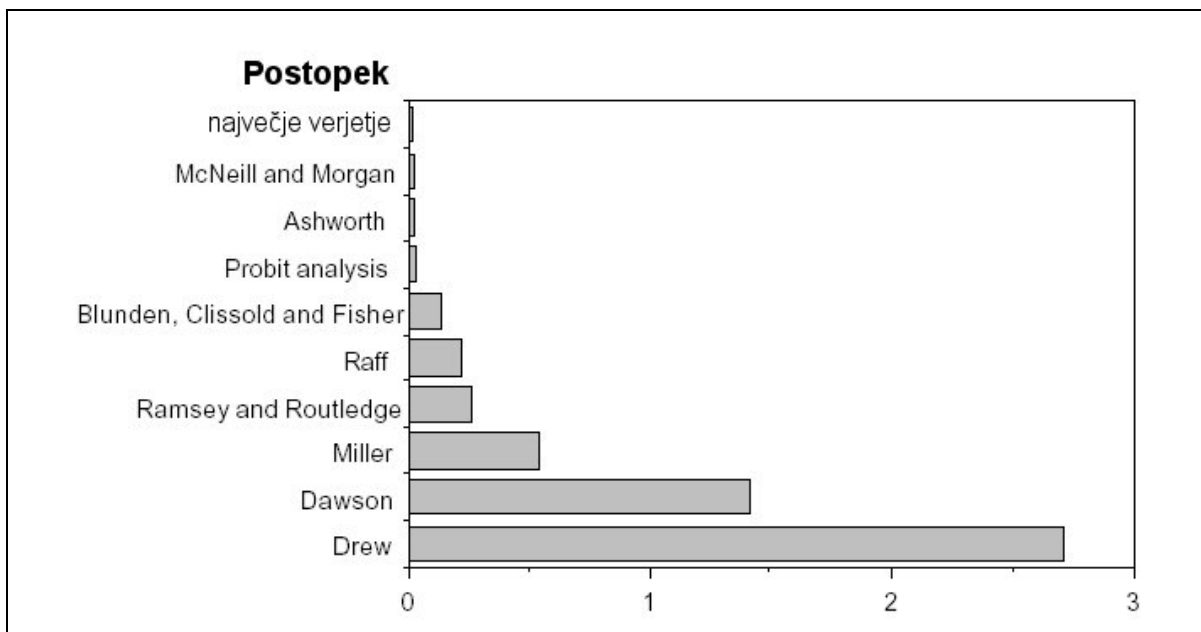
Dve vozili v krožnem toku prevozita križišče ob času 2,0 s in 42,0 s. Na priključnem kraku pa je kolona dvajsetih (20) vozil, ki se želijo vključiti v prednostni krožni tok. Če 17 vozil odpelje ob 3.99, 6.22, 8.29, 11.13, 13.14, itd. Potem so časovni razmaki med vozili (časi sledenja) na priključnem kraku enaki razliki med zaporednimi vozili (6.22-3.99, 8.29-6.22, 11.13-8.29) itd. Povprečni časovni razmak vozil priključne ceste v tej skupini znaša 2.33 sekunde. Ta postopek ponavljamo za večje število velikih razmakov na prednostni cesti. Na ta način določimo povprečno vrednost razmakov med vozili posameznega kraka. To povprečno vrednost razmaka med vozili imenujemo čas sledenja (t_f). Če se vozilo vključi, zapelje v križišče, ko na stranski cesti ni vrste, potem časa sledenja ne moremo določiti. Ta vrednost je podobna razmakom med vozili v semaforiziranih križiščih ob speljevanju ob prižigu zelene luči v nasičenih pogojih.

4.2 PREVERJANJE USTREZNOSTI MODELOV

Miller (1972) in kasneje Troutbeck (1975) sta nekaj dobro poznanih metod za oceno kritičnega razmaka preverila s postopkom simulacije. Uporabljeni so bili podatki o velikosti vseh zavrnjenih razmakov in velikosti sprejetih razmakov. Podatki o razmakih so bili nato analizirani z desetimi metodami, ki so dale oceno za povprečno vrednost kritičnih časov, srednjo vrednost standardne deviacije kritičnih časov in varianco standardne deviacije kritičnih razmakov. Te statistike omogočajo oceno pristranskosti pri določitvi srednje vrednosti in standardne deviacije. Za manj zanesljive metode imamo tiste, ki dajejo velika odstopanja ocen srednje vrednosti in standardne deviacije kritičnih razmakov. Z analizo teh postopkov sta ugotovila, da sta najboljši med njimi metoda največjega verjetja in enostavna Ashworthova metoda (1968). Obe metodi sta predhodno opisani.

Preglednica: Primerjava med različnimi metodami za ocenitev srednje vrednosti kritičnega razmaka (Povzeto po: Logar, D. 2003, str.14.)

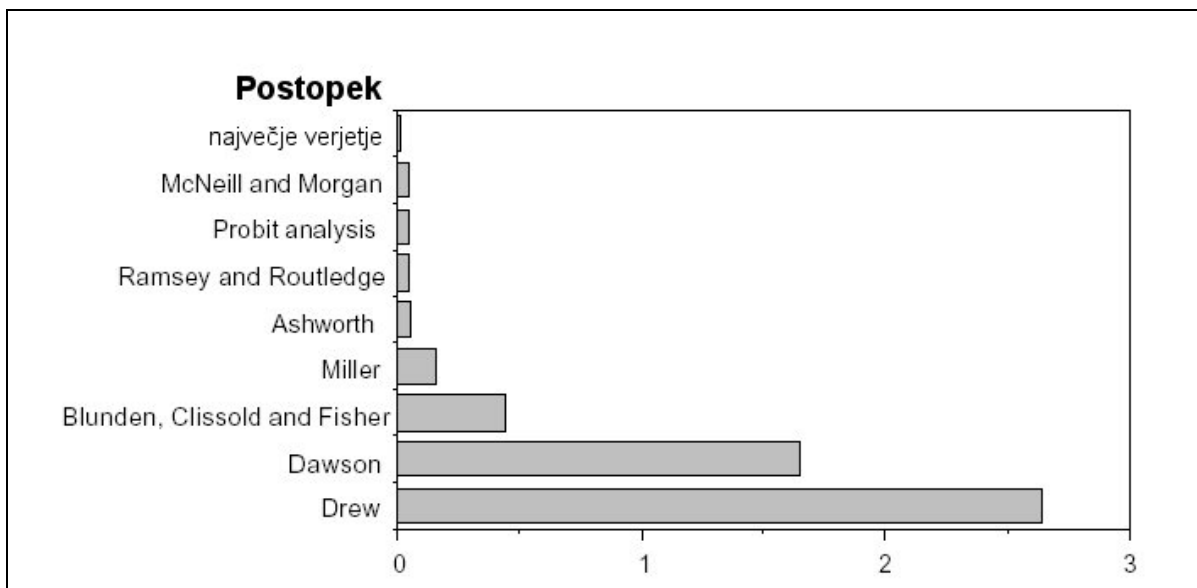
Metoda	Razlika med ocenjeno in "pravo" srednjo vrednostjo	Koeficient odstopanja ocen od srednje vrednosti
Raff	-0,211	0,065
Probit analysis	0,029	0,059
Ashworth	-0,023	0,038
Blunden, Clissold in Fisher	-0,138	0,057
Drew	2,72	0,081
Dawson	1,413	0,048
Miller	-0,544	0,036
McNeill in Morgan	-0,019	0,063
največje verjetje	-0,011	0,034
Ramsey in Routledge (0,5 s intervali)	0,257	0,037



Slika: Povprečno odstopanja srednje vrednosti logaritmov kritičnega razmaka
 (Povzeto po: Logar, D. 2003, str.14.)

Preglednica: Primerjava med različnimi metodami za ocenitev standardne deviacije kritičnih razmakov (Povzeto po: Logar, D. 2003, str.15.)

Metoda	Razlika med ocenjeno in "pravo" srednjo vrednostjo	Koeficient odstopanja ocen od srednje vrednosti
Probit analysis	0,04	0,25
Ashworth	0,06	0,12
Blunden, Clissold in Fisher	-0,44	0,22
Drew	2,65	0,2
Dawson	1,65	0,1
Miller	-0,16	0,14
McNeill in Morgan	-0,04	0,4
največje verjetje	-0,01	0,1
Ramsey in Routledge (0,5 s intervali)	-0,05	-



Slika: Povprečno odstopanje standardne deviacije logaritmov kritičnega razmaka
(Povzeto po: Logar, D. 2003, str.15.)

Učinkovitost metode največjega verjetja sta v nadaljnjih raziskavah ovrednotila Brilon in Troutbeck. Brilon (1995) v poročilu pravi, da je metoda največjega verjetja, prava metoda za določitev kritičnega razmaka. Pri nedavnih raziskavah so odkrili, da neskladnosti v literaturi ne izhajajo le iz razmerja med kritičnimi razmaki in naslednjimi parametri:

- gostota prometa,
- zamude,
- zamude na stop črti, kot servisni časi v primeru vrst,
- geometrijske karakteristike križišč, ki jih ponavadi proučujemo na različnih lokacijah pod različnimi prometnimi obremenitvami;

Neskladnosti v resnici sploh ni. Nepravilnosti izhajajo iz samega postopka ocenjevanja kritičnega časa.

Kritični razmaki so uporabljeni predvsem pri ocenah kapacitete nesemaforiziranih križišč, torej tudi krožnih križišč. Ocenjevanje kritičnih razmakov po različnih metodah lahko vpliva na rezultate modelov, ki podajajo oceno kapacitete. Uporabnikom te metode naj bi ocena

kritičnega razmaka združena s časom sledenja dala zanesljive in realne rezultate ocene kapacitete križišča. Postopek ocenjevanja je neodvisen od zgoraj navedenih zunanjih parametrov, še posebej pa od količine prometa na krožnem toku. Modeli za oceno kritičnega razmaka, kapacitete in zamud naj bi sestavljali integriran sistem, ki uporablja poenotene predpostavke.

Iz simulacijske študije povzete po Capacity and level of service at unsignalized intersections, različnih avtorjev (1996), lahko sklepamo na naslednje zaključke:

- Sieglock-ova metoda daje vrednosti blizu realnih vrednosti. Varianca je velika, rezultat pa je odvisen od prometnega toka glavne smeri (v_p). Metoda je sprejemljiva.
- Metoda največjega verjetja daje veliko povezanost/korelacijo med resničnim t_c in oceno t_c . V obdobju 10-ih ur simulacije je bilo odstopanje med ocenjenim in dejanskim kritičnim časom manjše od 0,15 sekunde. Regresijska funkcija, ki jo dobimo iz vrednosti se povsem sklada z resnično vrednostjo, rezultat pa je neodvisen od gostote prometa na glavni smeri. Na postopek ne vpliva prometna obremenitev na stranski smeri.
- Tudi postopek ocene, ki ga je opisal Hewitt zavzema izredno dobro povezanost med resnično in ocenjeno vrednostjo. Največje odstopanje je manjše od 0,2 sekunde. Regresijska premica je horizontalna in skladna z resnično vrednostjo. Hewitt-ov postopek je neodvisen od volumna prometa na stranskem prometnem toku. V primeru manjših prometnih obremenitev se rezultati po tej metodi rahlo razlikujejo od rezultatov, ki jih dobimo po metodi največje verjetnosti.

4.3 ZAKLJUČKI

Med testiranimi metodami sta samo metoda največje verjetnosti in Hewitt-ov model dosledni pri upoštevanju glavnega in stranskega prometnega toka. Priporočena metoda v tej raziskavi je metoda največjega verjetja. Vhodni podatki pri tem postopku sta opazovani sprejeti razmak in največji nesprejemljivi razmak za vsakega posameznega voznika v vzorcu. Predpostavljena porazdelitev kritičnega razmaka je lognormalna. Iterativen postopek nam vrne ocenjeni kritični razmak, prav tako pa tudi oceno variance kritičnega razmaka.

5 METODA NAJVEČJEGA VERJETJA

Pri porazdelitvah, ki jih običajno uporabljamo, je število parametrov n_p enako ena (geometrijska, Poissonova, eksponentna...) ali dve (binomska, Pascalova, normalna, lognormalna...).

Iz opazovanj obnašanja voznikov v nesemaforiziranih križiščih lahko ugotovimo, da je porazdelitev sprejetih razmakov zelo podobna lognormalni porazdelitvi. To ni presenečenje, kajti v celi vrsti naključnih procesov srečamo to porazdelitev.

Določitev porazdelitve kritičnega razmaka je osnovana na dejstvu, da je kritični razmak posameznega voznika večji kot njegov zavrnjen razmak in manjši kot njegov sprejemljiv razmak. Prvi korak je predvideti verjetnostno porazdelitev kritičnih razmakov. Lahko predvidimo, da je to lahko lognormalna porazdelitev. Ta porazdelitev je »nagnjena« na levo in nima negativnih vrednosti. Ima prav take lastnosti, ki jih v našem primeru pričakujemo. Ta porazdelitev je primerna in sprejemljiva v večini študij kritičnega razmaka.

Vzorec $X_j, j = 1, \dots, n$ je slučajen. Verjetnost, da se zgodi nek vzorec, je odvisna od porazdelitve slučajne spremenljivke in njenih parametrov $a_i, i = 1, \dots, n_a$. Določiti želimo take ocene parametrov \hat{a}_i , da bo verjetnost, da se je zgodil vzorec, ki ga imamo na voljo, največja.

Pri metodi največjega verjetja ocene parametrov določimo z uporabo verjetnostne funkcije pri diskretnih slučajnih spremenljivkah in z uporabo gostote verjetnosti pri zveznih slučajnih spremenljivkah.

5.1 METODA NAJVEČJEGA VERJETJA V NAŠEM PRIMERU

Naslednje oznake so uporabljene v enačbah (Turk, 2000), ki sledijo:

- y_i je logaritem razmaka sprejemljivega za i -tega voznika
- y_i je ∞ , če ni bil sprejet noben razmak
- x_i je logaritem največjega razmaka, ki ga zavrne i -ti voznik

- x_i je enak 0, če noben razmak ni bil zavržen
- μ je srednja vrednost logaritmov kritičnih razmakov posameznih voznikov
- $f()$ je gostota verjetnosti normalne porazdelitve
- $F()$ je porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve

Verjetnost, da bo kritični razmak posameznega voznika med r_i in a_i , lahko zapišemo kot razliko $F(a_i) - F(r_i)$. Če seštejemo po vseh voznikih, je največja verjetnost vzorca n voznikov zapisana kot dvojica sprejemljivega in največjega nesprejemljivega razmaka (a_i, r_i).

Funkcija največjega verjetja je:

$$\prod_{i=1}^n [F(y_i) - F(x_i)] = G$$

L je logaritem zgornje funkcije:

$$L = \ln G$$

$$L = \sum_{i=1}^n \ln [F(y_i) - F(x_i)]$$

Da dobimo največji L določimo oceni $\hat{\mu}$ in $\hat{\sigma}^2$, ki ju dobimo z upoštevanjem spodnjih enačb:

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = 0$$

Nato lahko zapišemo:

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(y_i)}{\partial \mu} - \frac{\partial F(x_i)}{\partial \mu}}{F(y_i) - F(x_i)} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(y_i)}{\partial \sigma^2} - \frac{\partial F(x_i)}{\partial \sigma^2}}{F(y_i) - F(x_i)} = 0$$

Pokažemo lahko tudi:

$$\frac{\partial F(x)}{\partial \mu} = -f(x)$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial \sigma^2} = -\frac{x - \mu}{2\sigma^2} f(x)$$

Z upoštevanjem zgornjega dobimo dve enačbi, ki jih lahko rešimo iterativno z uporabo numeričnih metod:

$$\sum_{i=1}^n \frac{f(x_i) - f(y_i)}{F(y_i) - F(x_i)} = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)f(x_i) - (y_i - \mu)f(y_i)}{F(y_i) - F(x_i)} = 0 \quad (2)$$

kjer so $f(x_i), f(y_i), F(x_i), F(y_i)$ prav tako funkcije $\hat{\mu}$ in $\hat{\sigma}^2$.

Na metodi največjega verjetja temelji računalniški program (Troutbeck 1992), ki je bil razvit z namenom rešiti enačbi (1) in (2). Srednjo vrednost kritičnega razmaka t_c in varianco s^2 lahko izračunamo z:

$$t_c = e^{\mu + 0,5\sigma^2}$$

$$s^2 = t_c^2 (e^{\sigma^2} - 1)$$

To srednjo vrednost kritičnega razmaka, uporabimo v različnih modelih, ki obravnavajo kapaciteto in zamude.

6 KAPACITETA KROŽNEGA KRIŽIŠČA

6.1 SPLOŠNO

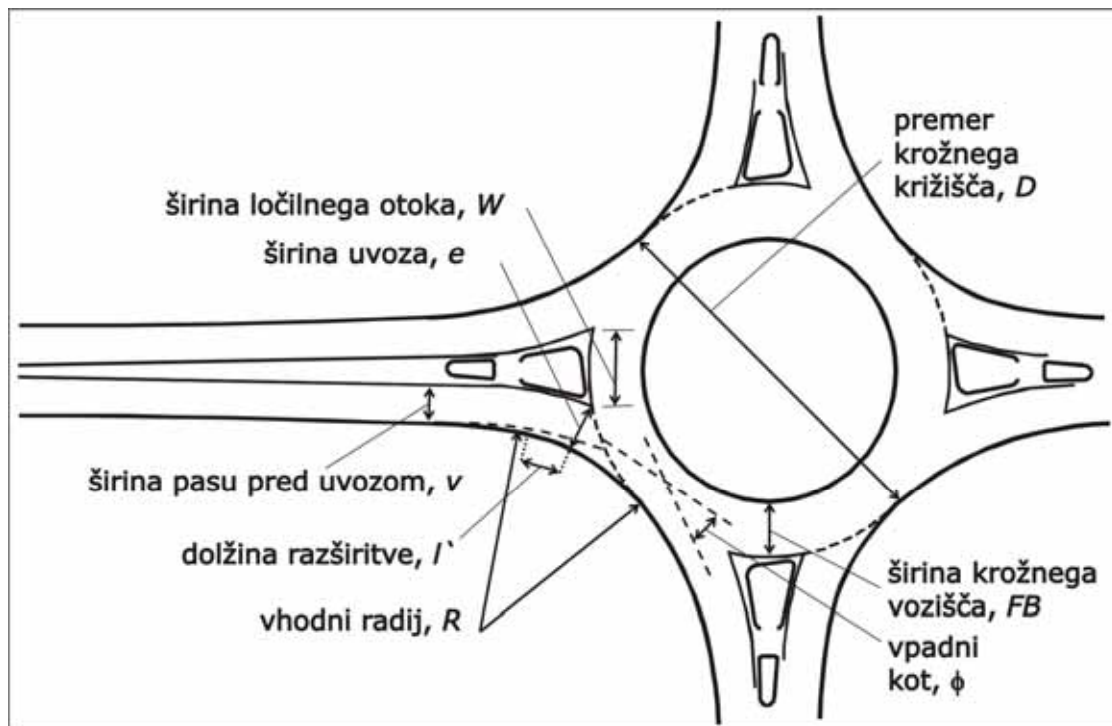
V Sloveniji se krožna križišča vedno bolj uveljavljajo. Za izračun prepustnosti še vedno uporabljamo tujo metodologijo. V okviru diplomske naloge (Mrzlikar, 1999) so bile opravljene raziskave o primernosti oziroma ustreznosti privzetih metodologij v slovenskih prometnih razmerah.

6.1.1 Število in vrsta obravnavanih podatkov

Podatke o prometnih tokovih so bili pridobljeni s štetjem prometa na različnih krožnih križiščih po Sloveniji. Podatki se nanašajo na velika, srednja in mala krožna križišča. Za vse obravnavane priključne krake je bilo štetje prometa opravljeno ob lepem vremenu. Ob deževnem vremenu pa je bilo štetje prometa opravljeno za po en priključni krak v velikem, srednjem in malem krožnem križišču. Za vsak priključni krak je bilo posebej obravnavanih 30 podatkov. Obravnavani priključni kraki so bili posneti s kamero, nato pa so bile opravljene potrebne analize in vrednotenje štetja prometa. S tem so se raziskovalci izognili morebitnim napakam, do katerih bi lahko prišlo pri štetju prometa, in zagotovili boljšo analizo obravnavanih prometnih tokov.

Podatki so vsebovali:

- število vozil v krožečem toku (EOV\h),
- število vozil na uvozu (EOV\h),
- število vozil na izvozu nad obravnavanim uvozom (EOV\h),
- vremenske razmere v času štetja,
- datum in uro,
- geometrijske značilnosti krožnega križišča,
- ime krožnega križišča.



Slika 6.1: Glavne geometrijske karakteristike krožnega križišča

Izmed geometrijskih značilnosti so uporabili naslednje podatke:

- e širino uvoza (m),
- v širino pasu pred uvozom (m),
- l' dolžino razširitve (m),
- D premer krožnega križišča,
- R vhodni radij (m),
- ϕ vpadni kot ($^{\circ}$),
- B razdaljo med konfliktnima točkama na izvozu in uvozu v krožno križišče (m)
- FB širino krožnega vozišča (m),
- T dolžino ločilnega otoka (m),
- W širino ločilnega otoka (m),
- α polovični ostri kot ločilnega otoka ($^{\circ}$).

6.1.2 Kolesarski in peš promet

Pešci in kolesarji nedvomno zmanjšujejo prepustnost uvoza v krožno križišče. Na prepustnost uvoza bolj kot absolutno število pešcev in kolesarjev vpliva čas, ko prometni tok na uvozu ovirajo pešci in kolesarji. Vpliv kolesarskega in peš prometa na prepustnost uvoza z naraščanjem krožečega toka upada in se pri določeni jakosti krožečega toka izniči. Pri enaki jakosti kolesarskega in peš prometa se njun vpliv na prepustnost uvoza v krožno križišče razlikuje glede na krožna križišča z enim, z dvema ali s tremi prometnimi pasovi v krožnem toku. Zato moramo pri dejanski odvisnosti med krožečim tokom v krožnem križišču in prepustnostjo uvoza izločiti vpliv pešcev in kolesarjev.

6.1.3 Vremenske razmere in preglednost krožnega križišča

Za vpliv vremenskih razmer na prepustnost uvoza v krožno križišče je značilno, da deževno vreme zmanjšuje prepustnost uvoza v krožno križišče za približno 10 %. Tako je priporočljivo izračunano prepustnost zmanjšati za 10 %, da dobimo prepustnost uvozov v krožna križišča ob deževnem vremenu. Upoštevamo jo lahko predvsem zato, ker v spomladanskem in jesenskem obdobju število deževnih dni ni zanemarljiv podatek, saj bi ob neupoštevanju tega dejstva lahko prišlo ob deževnem vremenu do zastojev in nedopustne gneče v krožnih križiščih. Vpliv snega in poledice na prepustnost uvozov v krožna križišča je zanemarljiv, saj je število dni na leto, ko sta na cestah sneg in poledica, zaradi organizirane zimske službe, zanemarljivo majhen, tako da bi upoštevanje tega vpliva pripeljalo do neracionalnih in ekonomsko neupravičenih rešitev.

6.1.4 Osveščенost in način vožnje voznikov

Ob opazovanju prometnih tokov v krožnih križiščih je bilo ugotovljeno, da vozniki v Sloveniji še ne obvladajo povsem vožnje v krožnih križiščih. To je še posebej opaziti pri novozgrajenih krožnih križiščih, kjer je prepustnost uvozov pri močnem krožečem toku precej manjša kot pri starejših krožnih križiščih, kjer so se vozniki že privadili na nov režim vožnje.

Drugi problem, ki se pojavlja na krožnih križiščih po Sloveniji, je neugodna distribucija prometa po krožnih pasovih. Večina voznikov se pri krožnih križiščih z več pasovi še vedno ne razvršča na notranje pasove, temveč ves čas uporabljajo zunanji vozni pas (če izhajamo iz centra). S tem pa brez potrebe ovirajo promet na uvozu. Posledica tega je manjša prepustnost uvozov v krožna križišča pri močnejšem krožečem toku. Z naraščanjem števila krožnih križišč po Sloveniji pa bo ta problem sčasoma rešen, tako da lahko v prihodnosti pričakujemo boljše rezultate in s tem večje prepustnosti uvozov v krožna križišča. To še posebej velja za srednje velika krožna križišča z več prometnimi pasovi v krožnem toku. Velik vpliv pri tem imajo tudi avto šole, kjer nemalokrat opazimo popolnoma napačno učenje bodočih kandidatov.

6.1.5 Kalibriranje najustrežnejšega modela za računanje prepustnosti uvozov krožnih križišč v RS

Z raziskavo v okviru diplome na UL FGG (Mrzlikar, 1999) je bilo ugotovljeno, katera od izbranih metod za računanje prepustnosti uvozov v krožna križišča, ki se uporabljajo v svetu, je najuporabnejša glede na stanje v slovenskih krožnih križiščih. Pri računanju prometne prepustnosti uvozov v krožna križišča so bile ugotovljene naslednje značilnosti:

- Vpliv geometrijskih elementov krožnega križišča v Sloveniji se razlikuje od tistih, ki jih upoštevajo v tujih metodologijah. Deževno vreme zmanjšuje prepustnost uvoza v krožna križišča za približno 10%
- Slovenci še ne obvladamo povsem vožnje po krožnih križiščih, predvsem večjih, večpasovnih, kar izkazuje neugodna distribucija vozil po voznih pasovih v krogu
- Pešci in kolesarji različno zmanjšujejo prepustnost uvoza v krožna križišča.

Dejanskim prepustnostim sta se skoraj v vseh primerih najbolj približali avstralska in švicarska metoda. Ker od teh metod uporablja teorijo sprejemljivega razmaka le avstralska metoda sem prevzel metodologijo le te.

6.2 AVSTRALSKA METODA

Avstralska metoda (Maher, 2000) oziroma, izračun po Jacobsu, obravnava prepustnost uvoza v krožno križišče v odvisnosti od krožečega toka kot eksponentno funkcijo. Tako dobimo pri majhnem in krožečem toku nekoliko večje vrednosti, kot pri linearnih odvisnostih, kar pa ne velja za slovenska krožna križišča.

Splošna enačba za določanje prometne prepustnosti uvoza je:

$$L = \frac{(1-p \cdot t_0) \cdot e^{-p \cdot (t_a - t_0)}}{1 - e^{-p \cdot t_f}}$$

Kjer so:

- L prometna prepustnost uvoza (EOV/h),
- q_p moč prometa na krožnem voznem pasu (EOV/h),
- t_0 najmanjši časovni razmik v krožečem prometnem toku (s),
- t_f najmanjši časovni razmik (časovni bruto razmik med vozili v stranskem prometnem toku (na uvozu) (s),
- t_a mejni časovni razmik v krožečem toku, ki še dopušča vključitev enega vozila v krožeči tok (s).
- p $p = q_p/3600$

Avstralska metoda izračuna prepustnosti uvozov bazira na Teoriji časovnih razmikov. Računa se, koliko je praznih prostorov (časovnih razmikov) v glavnem krožnem prometnem toku, kamor se lahko vključujejo vozila iz neprednostnega vhodnega prometnega toka.

Kalibrirni faktorji za mala krožna križišča:

$$t_0 = 4 \text{ s}$$

$$t_c = 2.5 - 2.6 \text{ s}$$

$$t_f = 2 \text{ s (en krožni pas)}$$

$$= 0 \text{ s (dva krožna pasova)}$$

Kalibrirni faktorji za srednja krožna križišča:

$$t_0 = 3 - 4 \text{ s}$$

$$t_c = 2.3 - 2.5 \text{ s}$$

$$t_f = 0 \text{ s (dva krožna pasova)}$$

Kalibrirni faktorji za velika krožna križišča:

$$t_0 = 2 \text{ s}$$

$$t_c = 1.2 \text{ s}$$

$$t_f = 0 \text{ s (dva krožna pasova)}$$

Metoda je primerna za kapacitetno analizo slovenskih krožnih križišč, še posej če je združena v računalniškem programskem modelu, npr. aaSidra.

6.2.1 Povzetek

Nedvomno so se krožna križišča tudi v Sloveniji pokazala kot ustrezna rešitev za oblikovanje križišč in to tako iz prometno tehniškega vidika, kjer dosegaajo zadovoljivo prepustnost, kot tudi iz prometno varnostnega vidika. Z uvajanjem novih krožnih križišč na primernih lokacijah se bo dvignila tudi osveščenost voznikov, kar bo pozitivno vplivalo tudi na njihovo kapaciteto.

7 OPIS DELA IN RAČUN

7.1 OPIS IZBRANEGA KROŽNEGA KRIŽIŠČA

Zaradi ustreznih (nasičen) prometnih pogojev je bilo izbrano krožno križišče Primskovo. Predstavlja križanje cest G2 104/1136 in R1 210/1108. Nahaja se na robu mesta Kranj, v bližini velikih trgovskih centrov.



Slika 7.1: Lokacija izbranega krožišča

Križišče je po rekonstrukciji nesemaforiziranega križišča izvedeno kot krožno. Ker je bila rekonstrukcija izvedena v okviru lastniških zemljišč Direkcije RS za ceste (DRSC) so geometrijski elementi (premer sredinskega otoka, število prometnih pasov) glede na prometne pogoje premajhni. Križišče je štirikrako krožno križišče. Spada v skupino srednje velikih eno

pasovnih izven urbanih krožnih križišč, za katere je značilen zunanji premer med 35 in 45 m. V našem primeru 41 m. Vsi uvozi v križišče so eno pasovni. Poimenovani so po smereh v katere vodijo. A – Škofja Loka (jug), B – Brnik (vzhod), C – Jezersko (sever), D – Kranj (zahod).

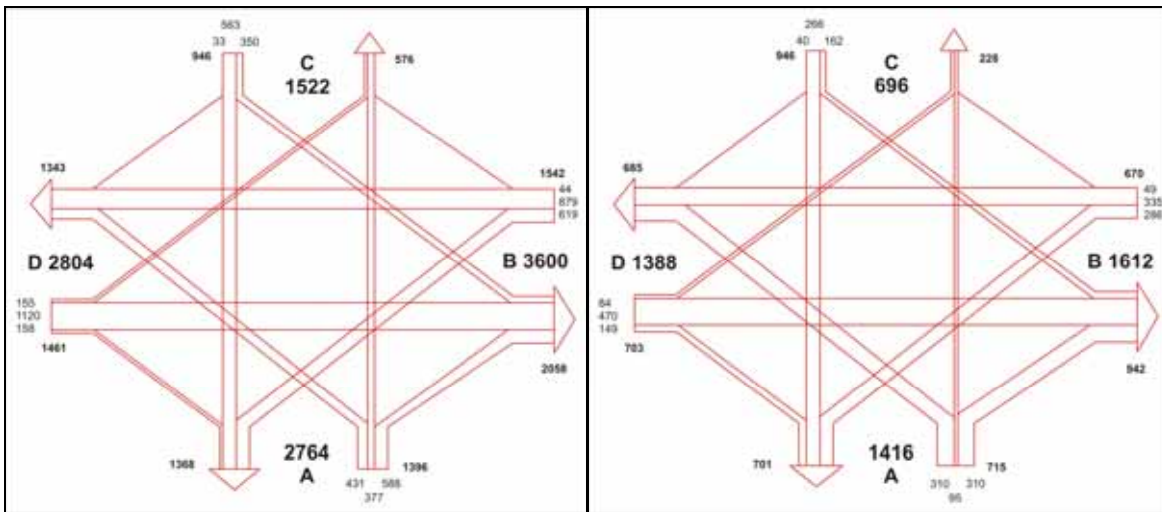


Slika 7.2: Letalski posnetek obravnavanega križišča in poimenovanje posameznih krakov

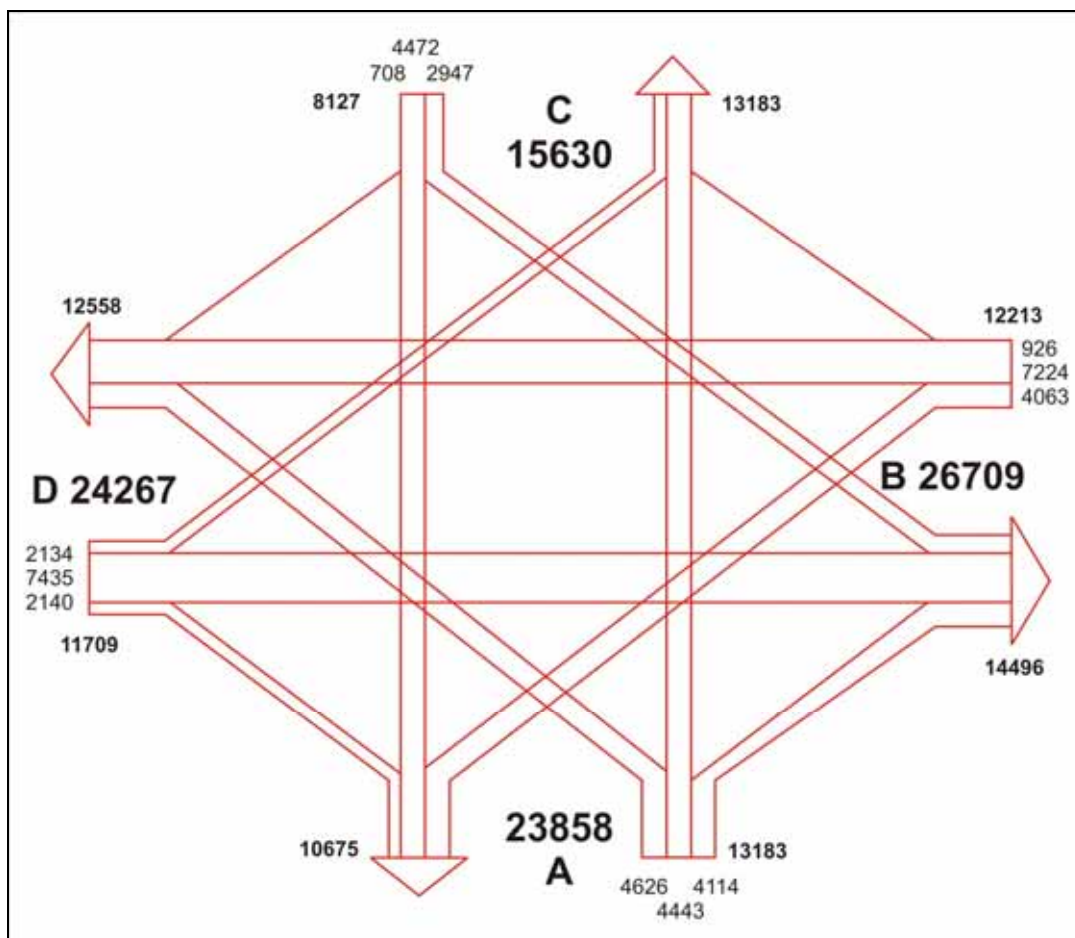
7.2 ŠTETJE PROMETA

V okviru izdelave prometne študije mesta Kranj s strani Prometnotehničnega inštituta Ljubljana (PTI) je bilo 28.10.2004 izvedeno štetje prometa na pomembnejših mestnih križiščih in priključnih cestah. V omenjeno štetje je bilo vključeno tudi krožno križišče Primskovo. Dobljeni števni podatki so potrdili visoko prometno nasičenost v križišču. Še posebej sta izraziti jutranja (5:45 - 7:45) in popoldanska konica (15:00 - 16:00). Večinski

delež prometa v krožnem križišču predstavljajo dnevni migranti iz Kranja v Ljubljano in nazaj, velik generator so tudi bližnji trgovski centri.



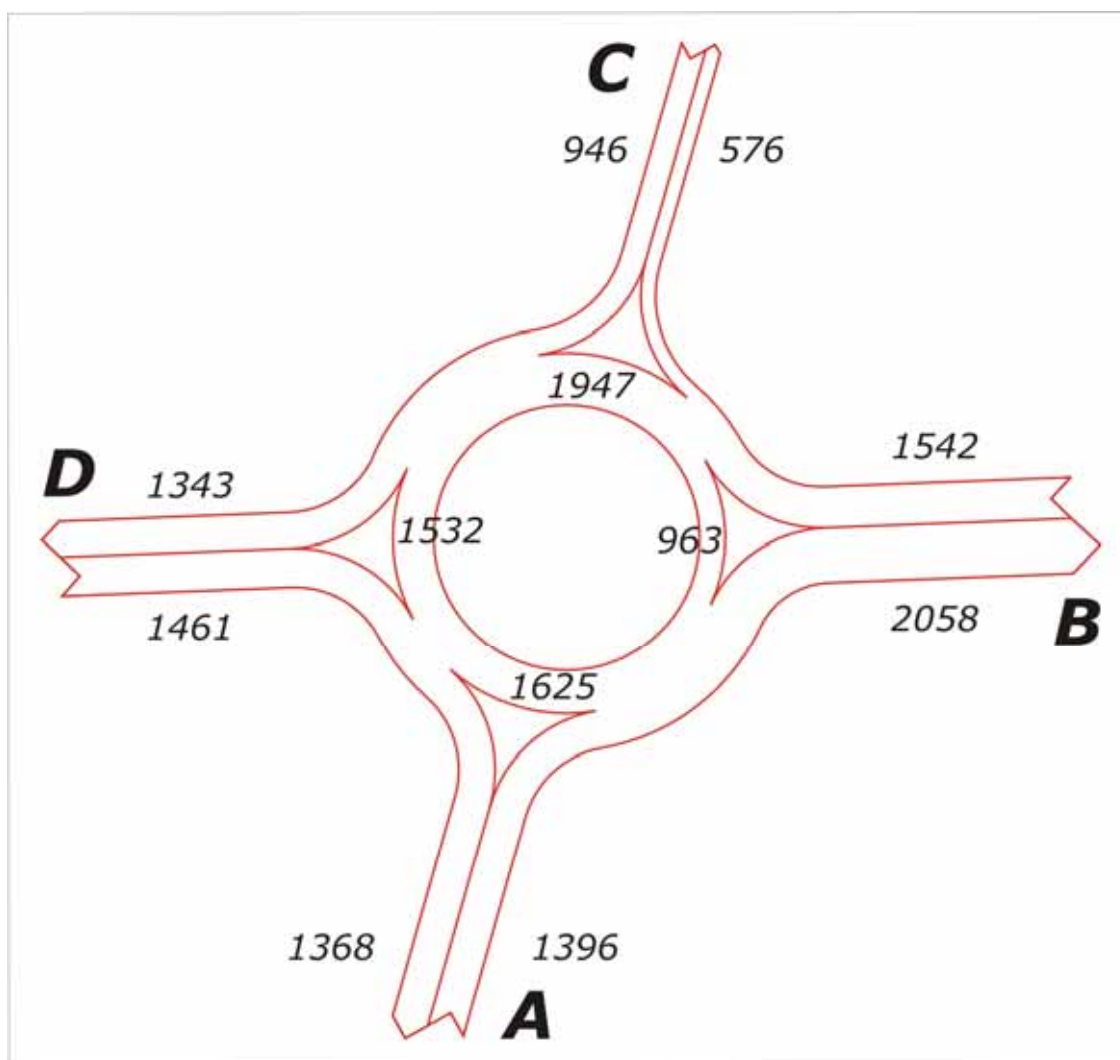
Slika 7.3: Diagrama prometnih obremenitev za jutranjo in popoldansko konico



Slika 7.4: Diagram dnevnih prometnih obremenitev

7.3 IZBOR NAJUSTREZNEJŠEGA KRAKA ZA ANALIZO

Glede na številne podatke iz oktobra 2004 so iz slik 7.3 razvidne obremenitve posameznih krakov krožnega križišča v času konic in preko dneva (slika 7.4). Ker bi bilo snemanje prometne situacije preko celega dneva prezaudno sem se osredotočil na konici. Glede na primerjavo prometnih obremenitev po posameznih krakih v času obeh konic, sem se odločil, da je za analizo najprimernejši krak C – Jezersko in sicer v času raztegnjene jutranje konice med 5:45 – 7:45 (izredno majhno število pešcev in kolesarjev). Za lažje razumevanje moje odločitve sem pripravil preglednejšo sliko prometnih obremenitev na krožnem križišču.



Slika 7.5: Prometne obremenitve v času jutranje konice dne 28.10.2004 - izris je prirejen za krožno križišče

Če pogledamo sliko 7.5, lahko opazimo, da je krožni tok na priključku C prometno najbolj obremenjen. Razlog za to je visok delež vozil v smeri B-D in B-A, ter majhen delež vozil, ki na tem priključku zapustijo križišče. Na omenjenem priključku so v času urnih konic očitno nasičeni pogoji, kar je potreben pogoj za določevanje parametrov z »regresijsko analizo«. Kljub temu metode ne moremo uporabiti, ker je gostota prometa znotraj krožnega toka tako velika, da se v en razmak v nobenem primeru ne morejo vključiti tri vozila ali več. Za določitev parametrov nam tako ostane le še neodvisno določanje kritičnega razmaka in časa sledenja. Uporabimo metodo največjega verjetja, ki se je izkazala za najustreznejšo (glej poglavje 4).

7.4 POTEK SNEMANJA

Snemanje je bilo izvedeno konec septembra 2004 s parkirišča Merkatorjevega trgovskega centra Primskovo.



Slika 7.6: Položaj kamere in kot snemanja

Kot je bilo že omenjeno je bil za snemanje izbran krak C-Jezersko v času podaljšane jutranje konice med 5:45 in 7:45. Ker v času ene konice ne dobimo dovolj velikega vzorca, je bilo snemanje izvedeno v štirih dneh. Tako je bilo skupaj posnetega 8 ur uporabnega materiala. Digitalni video zapis sem potem iz kamere (mini DV) presnel na videokaseto v PAL formatu in si tako pripravil posnetek za analizo. Dobljeni podatki so bili zbrani v bazo. Nadalje so bili obdelani glede na potrebe računov kritičnega razmaka oz. časa sledenja. Podatki so na priloženem CD-ju.

7.5 UPORABLJENA OPREMA

Kamera – osnovni podatki:

- Model: Panasonic NV-DS29EGE
- Format zapisovanja: mini DV 800.000 pikslov
- Leče: Auto Iris, F 1.8, Fokusna razdalja: 3,6-36 mm
- Premer filtra: 43 mm
- DV Terminal IEEE 1394 (digitalni izhod)



Slika 7.7: Kamera Panasonic NV-DS29EGE

Stojalo: SLIK U5000



Slika 7.8: Stojalo Slik U5000

Videorekorder – osnovni podatki:

- Model: JVC BR-S622E
- Namen uporabe: profesionalna



Slika 7.9: Videorekorder JVC BR-S622E

7.5.1 Opažanja

Na obravnavanem križišču je opaziti tvegano vključevanje in izključevanje visokega deleža voznikov. Pojavlja se izsiljevanje prednosti, paralelna vožnja v eno pasovnem krožnem toku in podobno. Kljub temu, da je prometna situacija izjemno nevarna, do nesreč ne prihaja pogosto. Po podatkih Direkcije Republike Slovenije za ceste (DRSC) z dne 30.6.2005 se je v obdobju od 2000 do 2004 na obravnavanem križišču zgodilo skupaj 47 prometnih nesreč, približno 10 vsako leto. Vzroki prometnih nesreč so tipični za nesemaforizirana križišča in so prikazni v spodnji preglednici.

Preglednica 7.1: Vzrok prometne nesreče

Vzrok prometne nesreče	Število
premiki z vozilom	17
neupoštevanje pravil o prednosti	12
neustrezna varnostna razdalja	10
neprilagojena hitrost	7
nepravilna stran/smer vožnje	1

Če pogledamo prometne nesreče po tipu, vidimo, da prihaja do tipičnih nesreč za krožna križišča, kot so oplazenje, bočno trčenje in pa naletno trčenje. V 91% nesreč udeleženci niso utrpeli poškodb, v 9% pa so utrpeli le lažje poškodbe. V zadnjih 5-ih letih ni na tem križišču umrl oz. utrpel težjih poškodb. Lahko rečemo, da je križišče kljub neustreznim dimenzijam načinu vožnje in gostoti prometa relativno varno.

7.6 MERITVE ČASA SLEDENJA

Čas sledenja lahko izmerimo direktno iz situacije. Opazovan je bil samo pod naslednjimi pogoji:

- ko vozilo prispe na križišče je pred njim vsaj eno vozilo. (stalna kolona)
- obe vozili uporabljata isti razmak v prometnem toku prednostne ceste za vstop v križišče.

Ko opazujemo čas sledenja so pomembni časi, ko vozila zapuščajo stop črto. To je v našem primeru mesto do kamor lahko zapelje vozilo, da nikogar ne ovira (točka vidljivosti). Čas sledenja je časovna razlika med dvema voziloma, ki napredujeta eden za drugim v isti časovni razmak na glavni smeri. Tabela prikazuje del podatkov, kjer so bili časi sledenja opazovani in določeni. Osnovna vrednost časa sledenja je povprečna vrednost vseh posameznih časov sledenja.

Preglednica 7.2: Del podatkov o času sledenja za krak C

KRAK	C			
CAS	FRAME	TIP	CAS	SLEDENJE
0:49:45	20	O	0:49:45,80	
0:49:48	16	O	0:49:48,64	2,84
1:05:42	15	O	1:05:42,60	
1:05:44	20	O	1:05:44,80	2,20
1:16:54	24	O	1:16:54,96	
1:16:57	4	O	1:16:57,16	2,20
1:19:26	4	O	1:19:26,16	
1:19:28	11	T	1:19:28,44	2,28
1:19:30	12	O	1:19:30,48	2,04
1:20:29	18	O	1:20:29,72	
1:20:32	10	O	1:20:32,40	2,68
1:22:36	9	O	1:22:36,36	
1:22:38	3	O	1:22:38,12	1,76
1:22:40	8	O	1:22:40,32	2,20
1:24:11	15	O	1:24:11,60	
1:24:14	3	O	1:24:14,12	2,52

Iz podatkov o času sledenja sem najprej izluščil vse zapise, ki se nanašajo na osebna vozila in izračunal čas sledenja.

Čas sledenja sem poskušal določiti tudi za težka vozila (kamioni, avtobusi). Težko vozilo je vključeno v vzorec kot dogodek časa sledenja, kadar je prvo vozilo ali pa drugo ali pa obe težki vozili vključeni v ta dogodek. Takih situacij v mojem primeru ni bilo dovolj. Posledica tega je majhen vzorec, na podlagi katerega dobljene vrednosti časa sledenja nebi bile primerne za uporabo, zato jih nisem vključil v nalogo.

Preglednica 7.3: Osnovni časi sledenja in velikost vzorca

Smer vožnje	Osnovni časi sledenja $t_{f,0}$ (s)	Število opazovanj
Krak B - Šenčur	1,95	499
Krak C - Jezersko	1,95	198

7.7 DEFINIRANJE KRITIČNEGA RAZMAKA

Če želimo izračunati kritični razmak, potem moramo beležiti čas, ko posamezno vozilo prepelje presek. Te čase je potrebno zabeležiti za vsa vozila. Čas med dvema voziloma, ki prečkata presek je velikost razmaka (v sekundah). Če želimo oceniti kritični razmak po metodi največjega verjetja, moramo za vsako vozilo poznati:

- trajanje sprejemljivega in zavrjenega razmaka,
- največji zavrjenih razmak,

Zabeležimo tudi:

- število zavrjenih razmakov,
- število opazovanj,
- število zavrjenih razmakov, ki so večji od sprejemljivega razmaka;

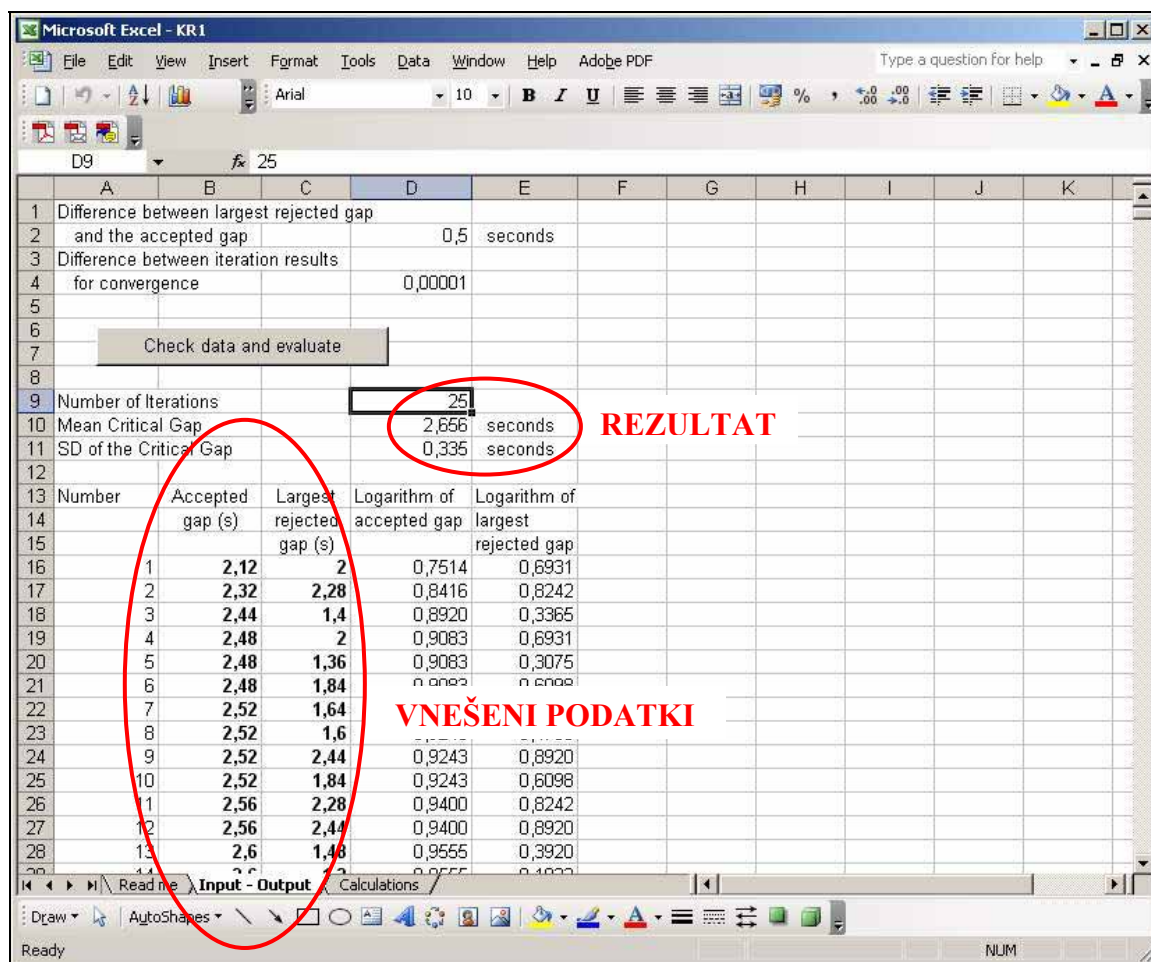
Zgornje sem določil iz analize video posnetka.

Pomembno je pravilno določiti razmake, ki odražajo voznikovo obnašanje na križiščih s prednostno cesto. Razmaki v katerih so udeleženi desni zavijalci iz prednostne na stransko sem izključil. Prav tako nisem upošteval sprejetih razmakov večjih od 10 sekund v katere se vozila vključujejo, saj v takem primeru ne gre več za strnjen prometni tok.

Preglednica 7.4: Del urejenih podatkov potrebnih za določitev kritičnega razmaka

Cas	Frame	Status	Sprejet	Zavrjen
00:03:55	20			
00:03:57	16	Z		
00:03:58	20	Z		
00:04:01	18	S	02,92	01,84
00:09:22	15			
00:09:25	17	Z		
00:09:29	21	S	04,16	03,08
00:11:00	2			
00:11:02	2	Z		
00:11:05	10	S	03,32	02,00
00:11:09	23			
00:11:12	4	Z		
00:11:13	16	Z		
00:11:14	23	Z		
00:11:17	7	S	02,36	02,24
00:11:43	4			
00:11:45	14	Z		
00:11:49	0	S	03,44	02,40
00:14:17	3			
00:14:19	12	Z		
00:14:21	6	Z		
00:14:23	8	Z		
00:14:26	0	S	02,68	02,36

Nadalje so bili izključeni vsi zapisi, ki se ne nanašajo na osebna vozila. Iz dobljenih urejenih podatkov smo potem s pomočjo računalniškega MS Excel programa (Troutbeck, 1992) izračunali oceno srednje vrednosti kritičnega razmaka in standardno deviacijo.



Slika 7.10: Dialogno okno uporabljenega programa

Preglednica 7.5: Določeni osnovni kritični razmak in podatki o velikosti vzorca

Smer vožnje	Kritični razmak	Število opazovanj
Krak C - Jezersko	2,7	295

7.7.1 Vpliv tipa vozila na kritični razmak in čas sledenja

Zaradi omejenega števila opazovanj je bilo nemogoče oceniti kritični razmak za težka vozila na opazovanem križišču. Pri vodenju te analize so bili razmaki, ki zadevajo težki promet izvzeti. Jasno pa je, da so kritični razmaki za težka vozila bistveno večji kot tisti za osebna vozila.

7.8 ZVEZA MED KRITIČNIM RAZMAKOM IN ČASOM SLEDENJA

Že v času predhodnega raziskovanja (HCM) je bila odkrita zveza med kritičnim razmakom in časom sledenja. Razmerje v večini opazovanj je 0,6. Ta vrednost je uporabljena v HCM 2000. V nalogi sem razmerja preveril in ugotovil, da je vrednost večja (preglednica 7.6). Zvečanje gre na račun krajšega kritičnega razmaka. Kot smo omenili že prej, čas sledenja lahko izmerimo neposredno na terenu. V praksi je na ta način iz izmerjenega časa sledenja možno s preprostim računom oceniti vrednost kritičnega razmaka. Zato za uporabo predlagam novo vrednost razmerja. To je 0,7.

Preglednica 7.6: Prikaz razmerja med kritičnim razmakom in časom sledenja

Smer vožnje	Osnovni čas sledenja $t_{f,0}$ (s)	Kritični razmak	Razmerje
levo zavijanje iz prednostne ceste	1,95	2,7	~0,70

Dobljeni rezultati zadoščajo, kot vrednosti posameznih parametrov. Regresijska analiza za iz vrednotenje splošnih enačb, ki bi veljale za vse krožna križišča ni možna, ker je bil kritični razmak in čas sledenja izmerjeni/določeni samo za eno krožno križišče.

8 PRIMERJAVA PARAMETROV

Na običajnem križišču s prednostno cesto, lahko vozniki na stranski cesti izvedejo tri manevre. Lahko zavijejo levo ali desno, lahko pa vozijo naravnost. Torej so tudi razmaki potrebni za vključitev v prometni tok različni. V krožnem križišču tega ni, kajti vsa vozila morajo pri vključevanju zavijati desno v krožni tok. Tian (2000) je v svojem poročilu definiral večje število spremenljivk, ki lahko vplivajo na kritični razmak in čas sledenja. Na parametra sprejemljivega razmaka najbolj vpliva geometrija, manevri zavijanja, tip vozila in naklon priključka.

- Ker gre v primeru krožišča le za en tip manevra – zavijanje desno, nam pri vrednotenju kritičnega razmaka in časa sledenja ni potrebno upoštevati parametra, ki definira tip manevra.
- Različni tipi vozil se preračunajo v enoto osebnih vozil.
- Naklona priključka ne upošteva noben simulacijski program. Po pravilniku za projektiranje, naj tako ali tako nebi presegli 4%. Torej faktor naklona pri vplivu kritičnega razmaka lahko zanemarimo.

Akcelik (1998) je predstavil dokument v katerem podaja okvirne vrednosti parametrov. Kritični razmak, naj bi se gibal med 2,2 in 8,0 sekund, medtem ko naj bi bile vrednosti za čas sledenja med 1,2 in 4,0 sekund. Okvira za parametra podaja tudi Highway capacity manual (HCM 2000). In sicer 4,1 do 4,6 sekund za kritični razmak in 2,6 do 3,1 za čas sledenja. Te vrednosti so primerne samo za eno pasovna krožna križišča.

List (1994) pa je določil vrednosti, 2,8 do 4,0 sekund za kritičen razmak in 1,8 do 3,7 sekund za čas sledenja. Te vrednosti naj bi veljale tako za eno pasovna krožna križišča, kot tudi za desni pas večpasovnih krožnih križišč. Vrednosti za notranje krožne prometne pasove so večje, saj je manever otežen zaradi prečkanja dodatnih vozni pasov krožnega toka. Vse vrednosti kritičnega razmaka in časa sledenja so v krožnem križišču pričakovano manjše od vrednosti v križišču s prednostno cesto, kjer se gibljejo za kritični razmak med 5,3 in 6,0 sekund in 2,3 do 2,6 sekund za čase sledenja.

Prametri v krožnem križišču so manjši v primerjavi z parametri na križišču s prednostno cesto iz dveh razlogov.

- Vozila se pred vstopom v krožni tok ne ustavljajo,
- Hitrost je zaradi geometrije krožišča v krožnem toku je nizka. Uvozi pa ne zahtevajo 90° vključevanja kot na križišču s prednostno cesto.

8.1 VREDNOSTI PARAMETROV TEORIJE SPREJEMLJIVEGA RAZMAKA PO RAZLIČNIH DRŽAVAH.

Ker je bilo iskanje preko interneta neuspešno, sem se odločil, da ljudi v drugih državah povprašam po vrednostih kar preko e-mila. Ta pristop se je obrestoval. V 14 dneh sem zbral vrednosti za vse zelenje države. Izbrani kontakti so zanesljivi, glede na reference.

Nemčija:

Ruhr univerzi v Bochum - Department of Civil Engineering - Transportation and Traffic Engineering, dr. Werner Brilon, verkehrsweisen@rub.de

Francija:

CERTU - Centre for the Study of Urban Planning, Transportation and Public Facilities, Bernard.Guichet, Bernard.Guichet@equipement.gouv.fr

Preglednica 8.1: Parametri sprejemljivega razmaka za krožno križišče, ki so v uporabi v nekaterih drugih državah

Država	Kritični razmak [s]	Čas sledenja [s]
ZDA – HCM 2000	4,1 – 4,6	2,6 – 3,1
Francija	4,55	2,05
Nemčija	4,1	2,1
Avstralija – aaSidra 2.0	3,6	2,3
Krožišče Primskovo – vrednosti določene v tej diplomski nalogi	2,7	1,95

Preglednica 8.2: Primerjalne vrednosti parametrov za Slovenijo

Slovenija	Kritični razmak [s]	Čas sledenja [s]
Krožno križišče - Avstralska metoda (Maher, T. 2000, str. 5)	2,5-2,6	2,0
Desni zavijalci v križišču s prednostno cesto (Logar, D. 2003, str. 42)	5,3	2,6
Križišče Primskovo - vrednosti določene v tej diplomski nalogi	2,7	1,95

Novo dobljene vrednosti so sicer manjše od vrednosti, ki jih uporabljajo druge države, vendar padejo v rang, določen po različnih avtorjih. K nizkim vrednostim pripomore tudi starost krožišča Primskovo, kjer so se vozniki že privadili na nov režim vožnje. Poleg tega se vrednosti za t_c in t_f z daljšanjem čakanja pred vstopom v križišče še dodatno zmanjšajo, saj vozniki postanejo nervozni in več tvegajo.

8.2 PRIMERJALNI RAČUN S PROGRAMOM aaSIDRA 2.0

Ustreznost določenih parametrov (kritičnega razmaka in časa sledenja) smo preverili z računalniškim programom aaSidra 2.0. Za vhodne podatke izračuna so bile uporabljene dejanske geometrijske lastnosti krožnega križišča:

- širine uvozov po posameznih krakih:
 - Škofja Loka: 4,48m
 - Brnik: 4,50 m
 - Jezersko: 4,84 m
 - Kranj: 5,50 m
- premer notranjega otoka: 29 m
- širina krožnega pasu: 6 m

Za vhodni podatek so bile uporabljene tudi dejanske prometne obremenitve za jutranjo konico dne 28.10.2004. Ker so bile ob tem času na vseh krakih dolge kolone (nasičeni pogoji), je podatek o številu kar kapaciteta krožnega križišča Primskovo. Zaradi nasičenih pogojev,

promet izredno malo niha. Tako da ni potrebe, po večji korekciji prometnih obremenitev s faktorjem urne konice. Za vse krake je bil uporabljen faktor 0,95, razen za krak Jezerko. Tam je bil zaradi večjega nihanja prometa proti koncu konične ure uporabljen faktor urne konice 0,85.

Izračunali smo dva primera. V obeh so vsi vhodni podatki enaki, razlikujejo se le uporabljene vrednosti za kritični razmak in čas sledenja. V prvem primeru uporabimo vrednosti, ki so podane v samem programu, v drugem pa uporabimo vrednosti določene s to diplomsko nalogo.

8.2.1 Primer 1:

Kot sem omenil zgoraj, so v tem primeru uporabljeni znotraj programa aaSidra vstavljeni parametri sprejemljivega razmaka. Gre za variabilne vrednosti. Njihova vrednost se za kritični razmak giblje okoli 3,6 s, za čas sledenja pa okoli 2,3 s. aaSidra pač upošteva, da se vrednost kritičnega razmaka krajša z daljšanjem čakalnih časov.

Table R.0 - ROUNDABOUT BASIC PARAMETERS										
Cent Island Diam (m)	Circ Width (m)	Insc Diam. (m)	No.of Circ. Lanes	No.of Entry Lanes	Av.Ent Lane Width (m)	Circulating/Exiting Stream				
						Flow (veh/ h)	%HV	Adjust. Flow (pcu/h)	%Exit Incl.	Cap. Constr. Effect
South: 29	Skofja 6	Loka 41	1	1	4.50	768	0.0	768	0	Y
East: 29	Sencur 6	41	1	1	4.50	466	0.0	466	0	Y
North: 29	Jezerko 6	41	1	1	4.80	1000	0.0	1000	0	Y
West: 29	Kranj 6	41	1	1	4.50	831	0.0	831	0	Y

Slika 8.1: Podatki o geometriji

Table S.0 - TRAFFIC FLOW DATA									
Mov No.	Left		Through		Right		Flow Scale	Peak Flow Factor	
	LV	HV	LV	HV	LV	HV			
VEHICLES Demand flows in veh/hour as used by the program									
South: Skofja Loka	1	227	0	198	0	309	0	1.00	0.95
East: Sencur	4	326	0	463	0	23	0	1.00	0.95
North: Jezersko	7	206	0	331	0	19	0	1.00	0.85
West: Kranj	10	82	0	589	0	83	0	1.00	0.95

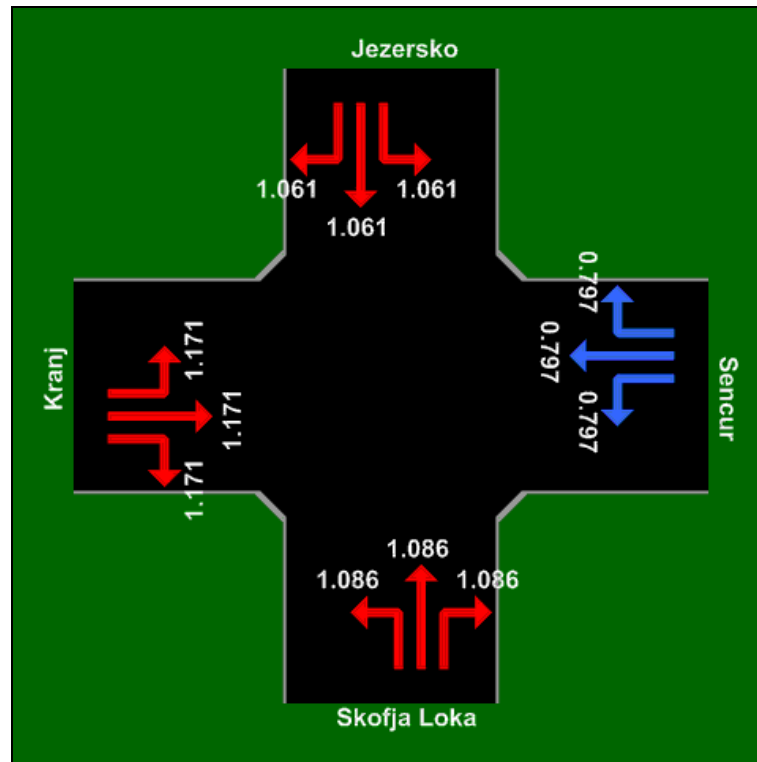
Based on unit time = 120 minutes.
 Flow Scale and Peak Hour Factor effects included in flow values.

Slika 8.2: Podatki o prometnih obremenitvah

Program vrne podatke o v računu uporabljenih parametrov sprejemljivega razmaka.

Table R.1 - ROUNDABOUT GAP ACCEPTANCE PARAMETERS							
Turn	Lane No.	Lane Type	Circ/ Exit Flow (pcu/h)	Intra- Bunch Headway (s)	Prop. Bunched Vehicles	Critical Gap (s)	Follow Up Headway (s)
South: Skofja Loka							
Left	1	Dominant	768	2.00	0.656	3.64	2.32
Thru	1	Dominant	768	2.00	0.656	3.64	2.32
Right	1	Dominant	768	2.00	0.656	3.64	2.32
East: Sencur							
Left	1	Dominant	466	2.00	0.476	3.72	2.24
Thru	1	Dominant	466	2.00	0.476	3.72	2.24
Right	1	Dominant	466	2.00	0.476	3.72	2.24
North: Jezersko							
Left	1	Dominant	1000	2.00	0.751	3.16	2.27
Thru	1	Dominant	1000	2.00	0.751	3.16	2.27
Right	1	Dominant	1000	2.00	0.751	3.16	2.27
West: Kranj							
Left	1	Dominant	831	2.00	0.685	3.58	2.31
Thru	1	Dominant	831	2.00	0.685	3.58	2.31
Right	1	Dominant	831	2.00	0.685	3.58	2.31

Slika 8.3: Podatki o uporabljenih parametrih sprejemljivega razmaka



Slika 8.4: Stopnja nasičenosti krožnega križišča z v program vgrajenimi parametri

Na zgornji sliki, ki jo po računu vrne aaSidra lahko opazimo, da stopnja nasičenosti kar na treh krakih preseže vrednost 1. To pomeni, da je kapaciteta, ki jo izračuna program z vnesenimi podatki skupaj z že vstavljenimi parametri sprejemljivega razmaka manjša od tiste, ki jo v resnici zmore križišče. To pomeni, da nekaj ni v redu z vrednostma za kritični razmak in časa sledenja.

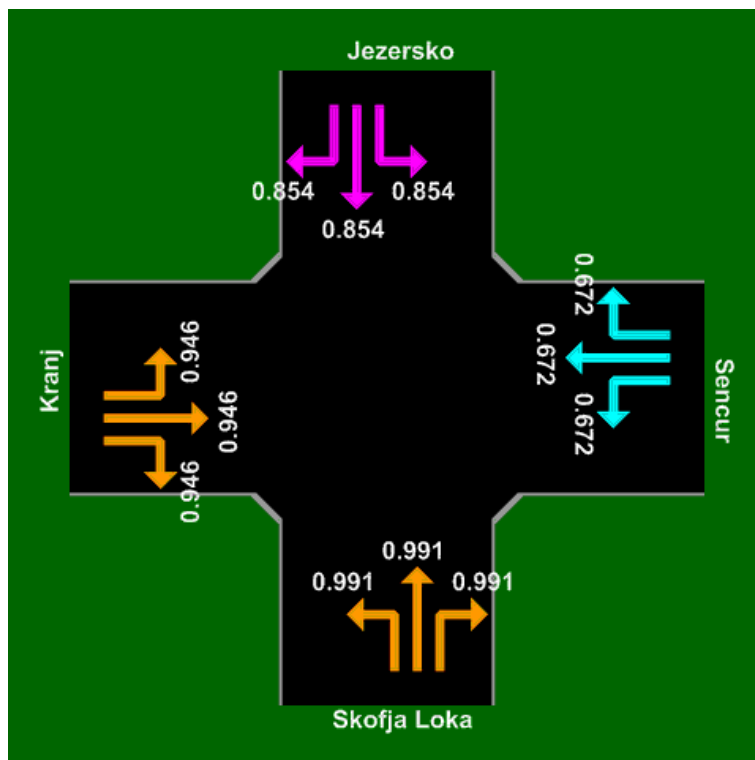
8.2.2 Primer 2

Tu postopek ponovimo s istimi geometrijskimi podatki (slika 8.1) in istimi prometnimi obremenitvami (slika 8.2) kot v primeru 1, le da uporabimo parametre sprejemljivega razmaka, določene v sklopu te diplomske naloge. Za kritični razmak je uporabljena vrednost 2,7 s, za čas sledenja pa 2,0 s. To so vrednosti, ki so bile določene na kraku C-Jezersko, vendar jih uporabim na vseh priključnih krakih (slika 8.5).

Table R.1 - ROUNDABOUT GAP ACCEPTANCE PARAMETERS							
Turn	Lane No.	Lane Type	Circ/Exit Flow (pcu/h)	Intra-Bunch Headway (s)	Prop. Bunched Vehicles	Critical Gap (s)	Follow Up Headway (s)
South: Skofja Loka							
Left	1	Dominant	877	2.00	0.704	2.70U	2.00U
Thru	1	Dominant	877	2.00	0.704	2.70U	2.00U
Right	1	Dominant	877	2.00	0.704	2.70U	2.00U
East: Sencur							
Left	1	Dominant	507	2.00	0.505	2.70U	2.00U
Thru	1	Dominant	507	2.00	0.505	2.70U	2.00U
Right	1	Dominant	507	2.00	0.505	2.70U	2.00U
North: Jezersko							
Left	1	Dominant	1015	2.00	0.756	2.70U	2.00U
Thru	1	Dominant	1015	2.00	0.756	2.70U	2.00U
Right	1	Dominant	1015	2.00	0.756	2.70U	2.00U
West: Kranj							
Left	1	Dominant	863	2.00	0.698	2.70U	2.00U
Thru	1	Dominant	863	2.00	0.698	2.70U	2.00U
Right	1	Dominant	863	2.00	0.698	2.70U	2.00U

U User specified critical gap or follow-up headway for an entry stream

Slika 8.5: V računu porabljeni parametri sprejemljivega razmaka



Slika 8.6: Stopnja nasičenja, če uporabim kritični razmak in čas sledenja določen v tej nalogi

Če pogledamo sliko 8.6 lahko opazimo da se stopnja nasičenja na dveh krakih povsem približa vrednosti 1, na nobenem kraku pa je ne preseže. To pomeni, da se izračunana kapaciteta križišča povsem približa dejanski. Tak rezultat na nek način dokazuje pravilnost parametrov sprejemljivega razmaka določenih v nalogi.

9 ZAKLJUČEK

Kritični razmak in čas sledenja sta dva glavna prametra uporabljena pri modelih za določitev sprejemljivega razmaka. Za ocenitev kritičnega razmaka je priporočena uporaba metode največjega verjetja. Čas sledenja pa izmerimo direktno iz meritev na terenu.

Glede na vrednosti parametrov sprejemljivega razmaka določene za krožno križišče Primskovo, je bilo ugotovljeno, da se te vrednosti precej manjše od vrednosti, ki smo jih povzeli skupaj s programom aaSidra 2.0. Zakaj? Krožišče Primskovo je eno starejših in eno najbolj prometno obremenjenih v Sloveniji, zato so se vozniki že dodobra navadili na sistem vožnje skozi. Lahko rečemo, da je »posebnež« med krožnimi križišči v Sloveniji. Zaradi tega ne moremo trditi, da so v diplomu določeni parametri veljavni za vsa naša srednje velika krožišča.

Preglednica 9.1: Parametri sprejemljivega razmaka določeni za krožno križišče Primskovo

Smer vožnje	Kritični razmak $t_{c,0}$ (s)	Osnovni časi sledenja $t_{f,0}$ (s)
vklučevanje (desno) v krožni tok	2,7	1,95

9.1 KAKO NAPREJ?

Za isto križišče bi bilo potrebno dobljene vrednosti parametrov potrditi tudi z izračunom na večjem vzorcu. To pomeni, da bi morali analizirati dodatne video posnetke. Nadaljnjih analiz naj nebi več izvajali ročno (videorekorder, TV), ker je preveč zamudno, ampak s pomočjo video detekcije. To je novejša oblika detekcije prometa (objektov). 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 in ta daje časovni impulz za dogodek.

Video detekcija z eno ali več kamer omogoča detekcijo in izračun naslednjih parametrov prometnega toka:

- časovni razmak med vozili,
- pretok vozil,
- gostoto prometnega toka,
- hitrost prometnega toka,
- določitev nivoja uslug,
- kategorizacijo vozil po dolžini;

Nadalje bi bilo potrebno raziskave razširiti na večje število krožnih križišč na različnih delih Slovenije (po različnih pokrajinah, urbano, ruralno). Zaradi »majhnosti« Slovenije izvedenja splošnih enačb za določitev parametrov sprejemljivega razmaka z regresijskimi analizami ni potrebno. Za uporabo so zadovoljive vrednosti parametrov določenih na posameznih križiščih.

10 VIRI

Akcelik, R., Akcelik and Associates Pty Ltd Australia. 2004. A Roundabout Case Study Comparing Capacity Estimates from Alternative Analytical Models: str. 2.
http://www.akcelik.com.au/documents/Akcelik_USS2RoundaboutPaper_Revised.pdf (5.12.2005)

Akcelik & Associates Pty Ltd. 2004. aaSIDRA21_NEWFeatures, 3
http://www.akcelik.com.au/documents/aaSIDRA21_NEWFeatures.pdf (5.12.2005)

Brilon, W. 2005. Roundabouts : A State of the Art in Germany: str. 1-15.
http://www.teachamerica.com/roundabouts/RA055A_ppr_Brilon.pdf (5.12.2005)

Gattis J. L., Low S. T., 1998.
Gap acceptance at nonstandard stop-controlled intersection: str. 34-38.
<http://www.mackblackwell.org/research/finals/MBTCOldFinals/MBTC1059.pdf> (5.12.2005)

Kittelson & Associates, Inc. 2000. Roundabouts an informational guide:str. 4-10
<http://www.tfrc.gov/safety/00-0671.pdf> (5.12.2005)

Kyte, M., Mir, Z., Kittelson, W., Brilon, W., Troutbeck, R. 1996. Capacity and level of service at unsignalized intersections - Final report, NCHRP Web Document 5.
<http://www.nap.edu/openbook/nch005/html/R1.html> (4.1.2006)

Lawrence E., 2001. A formulation to evaluate capacity and delay multilane roundabouts in the US for implementation into travel forecasting model: str. 31-36.
<http://www.uwm.edu/Dept/CUTS/its/seiber.pdf> (5.12.2005)

Logar, D. 2003. Določitev kritičnih razmakov za ovirane prometne tokove na nesemaforiziranem križišču. Diplomsko naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 46 f.

Luttinen. R. T. 2004.
Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections: str. 25-32
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200849e-vcapacitylevelserv.pdf> (5.12.2005)

Luttrell, G., Russell E. R., Rys M. 1998. A Comparison of a Roundabout to Two-way Stop Controlled Intersections with Low and High Traffic Volumes: str. 2-3.
<http://www.ite.org/traffic/documents/AB00H1903.pdf> (13.11.2005)

Maher, T. 2000. Kapaciteta krožnih križišč v Sloveniji. 5. Slovenski kongres o cestah in prometu, CD – zbirka referatov: str. 1-6.

Mereszczak Y., Dixon M., Kyte M., Rodegerdts L., Blogg M., 2005.
Incorporating Exiting Vehicles in Capacity Estimation at Single-Lane U.S. Roundabouts
http://www.teachamerica.com/roundabouts/RA057B_ppr_Mereszczak.pdf (5.12.2005)

Mrzlikar, I. 1999. Kalibriranje računskih modelov za računanje prepustnosti krožnih križišč v Sloveniji. Diplomsko naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 88 f.

National Cooperative Highway Research Program 1998.
Modern Roundabout Practice in the United States. ZDA, Transportation Research Board,
National Research Council: str. 24-25, 31-42.
http://gulliver.trb.org/publications/nchrp/nchrp_syn_264.pdf (5.12.2005)

Polus, A., Shiftan, Y., Shmueli-Lazar, S. 2005. Evaluation of the Waiting-Time effect on
Critical Gaps at Roundabouts by a Logit Model: str. 4-6.
http://ejtir.tudelft.nl/issues/2005_01/pdf/2005_01_01.pdf (5.12.2005)

Rodegerdts, L. 1998. Introduction to roundabouts / operations
<http://www.rpi.edu/dept/cits/files/ops.ppt> (1.8.2005)

Troutbeck, R. 1992. Critical gap estimation (excel program). Avstralija, Queensland
Univerity.

Waddell E. 2004.
Evolution of Roundabout Technology: A History-Based Literature Review: str. 5-7.
<http://www.k-state.edu/roundabouts/research/Waddell.pdf> (5.12.2005)

Pravilniki:

Forschungsgesellschaft für Straßen –und Verkehrswesen – FSGV. 2001 (nemški pravilnik za projektiranje cest).

Guide suisse des giratoires. 1991. ETH Lausanne. (švicarski pravilnik za projektiranje krožišč)

Highway capacity manual 2000. 2000. USA transportation research board. (ameriški pravilnik za projektiranje)