

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MATEJ MATOS

**DOLOČITEV VERJETNOSTNIH PORAZDELITEV
ČASOVNIH RAZMAKOV MED VOZILI ZA PROMETNO
MODELIRANJE NESEMAFORIZIRANIH IN KROŽNIH
KRIŽIŠČ V SLOVENSKEM PROSTORU**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2021

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GRADBENIŠTVO
SMER NIZKE GRADNJE

Kandidat:

MATEJ MATOS

**DOLOČITEV VERJETNOSTNIH PORAZDELITEV
ČASOVNIH RAZMAKOV MED VOZILI ZA PROMETNO
MODELIRANJE NESEMAFORIZIRANIH IN KROŽNIH
KRIŽIŠČ V SLOVENSKEM PROSTORU**

Magistrsko delo št.:

**DETERMINATION OF PROBABILISTIC
DISTRIBUTIONS OF TIME HEADWAYS BETWEEN
VEHICLES FOR TRAFFIC MODELING OF
UNSIGNALIZED INTERSECTIONS AND
ROUNDBOUTS IN SLOVENIA**

Graduation – Master Thesis No.:

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Predsednik komisije:

Somentor:

asist. dr. Rok Marsetič

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 519.2:656.11(497.4)(043.3)
Avtor: Matej Matos, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor: doc. dr. Tomaž Maher
Somentor: asist. dr. Rok Marsetič
Naslov: Določitev verjetnostnih porazdelitev časovnih razmakov med vozili za prometno modeliranje nesemaforiziranih in krožnih križišč v slovenskem prostoru
Tip dokumenta: magistrsko delo
Obseg in oprema: 120 str., 28 pregl., 53 sl., 19 graf., 31 en., 1 pril.
Ključne besede: sprejemljiv časovni razmak, kritični razmak, čas sledenja, nesemaforizirana križišča, krožna križišča, DataFromSky Viewer, SIDRA INTERSECTION 9.0

Izvleček

Nesemaforizirana križišča so najpogostejša oblika križišč. Četudi so njihove pretočnosti morda manjše od ostalih vrst križišč, igrajo pomembno vlogo v prometni mreži. Magistrska naloga obravnava sprejemljive razmake v nesemaforiziranih ter krožnih križišč.

Za dimenzioniranje nesemaforiziranih križišč in krožnih križišč se uporabljajo modeli sprejemljivega razmaka. Glavna parametra teh modelov sta kritični razmak (t_c) in čas sledenja (t_f). Kapacitetni izračuni po teoriji sprejemljivega razmaka so narejeni po metodlogiji HCM, ki jo priznava in predpisuje tudi Direkcija RS za infrastrukturo za semaforizirana in nesemaforizirana križišča in je določena s Pravilnikom o projektiranju cest (Ur.l. RS, št. 91/2005, Ur.l. RS, št. 26/2006, 109/2010-ZCes-1) ter Pravilnikom o cestnih priključkih na javne ceste (Ur.l. RS, št. 86/2010, Ur.l. RS, št. 109/2010-ZCes-1). Slednja podaja vrednosti kritičnih razmakov in časov sledenja, kateri niso nujno reprezentativni za slovenski prostor.

Cilj magistrske naloge je določitev kritičnih razmakov in časov sledenja za slovenski prostor. Za pridobitev časovnih razmakov ter časov sledenja iz video posnetkov križišč se koristijo usluge češkega podjetja RCE systems s.r.o. in njihovim produktom v oblaku DataFromSky TrafficSurvey. Čas sledenja neposredno izmeri programsko orodje medtem, ko kritični razmak določimo po eni izmed številnih statističnih metod.

Izmerjene vrednosti parametrov t_c in t_f v slovenskem prostoru so nato primerjane s kapacitetnimi analizami različnih modelov v programskem orodju SIDRA INTERSECTION 9.0.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 519.2:656.11(497.4)(043.3)
Author: Matej Matos B. Sc. Civil Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Tomaž Maher, Ph.D.
Cosupervisor: Assist. Rok Marsetič, Ph.D.
Title: Determination of probabilistic distributions of time headways between vehicles for traffic modeling of unsignalized intersections and roundabouts in Slovenia
Document type: Master Thesis
Scope and tools: 120 p., 28 tab., 53 fig., 19 graph., 31 eq., 1 ann.
Keywords: gap acceptance, critical gap, follow-up time, unsignalized intersections, roundabouts, DataFromSky Viewer, SIDRA INTERSECTION 9.0

Abstract

Unsignalized intersections are the most common form of intersections. Although their capacities are usually lower than other types of intersections, they have an important role in the transport network. The article deals with gap acceptance parameters at unsignalized intersections and roundabouts.

Gap acceptance models are used for analyzing unsignalized intersections and roundabouts. The main parameters of these models are the critical gap (t_c) and follow-up time (t_f). Capacity analysis are done according to the HCM methodology, which is also recognized and prescribed by the Slovenian Infrastructure Agency for signalized and unsignalized intersections and determined by the Pravilnik o projektiranju cest (Ur.l. RS, št. 91/2005, Ur.l. RS, št. 26/2006, 109/2010-ZCes-1) and Pravilnik o cestnih priključkih na javne ceste (Ur.l. RS, št. 86/2010, Ur.l. RS, št. 109/2010-ZCes-1). They give values of critical gaps and follow-up times, which are not necessarily representative for Slovenian drivers.

The goal is to determine critical gaps and follow-up times for drivers in Slovenia. Services from RCE systems s.r.o. and their cloud product DataFromSky TrafficSurvey are used to obtain gap times and follow-up times from recorded videos of intersections. Follow-up times are measured directly by the software, while the critical gap is determined by one of many statistical methods.

The obtained results for Slovenian drivers are then compared with the capacity analyzes of various models used with the micro-analytical software SIDRA INTERSECTION 9.0.

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem, ki so me vspodbujali in pripomogli k izdelavi magistrske naloge.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA	IV
1 UVOD	1
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	4
2.1 Nesemaforizirana nivojska križišča	4
2.1.1 Križišče	4
2.2 O kritičnem razmaku in času sledenja	6
2.2.1 Splošno	6
2.2.2 Kritični razmak in čas sledenja	7
2.3 Metode za ocenjevanje kritičnega razmaka	11
2.3.1 Metode za ocenjevanje v nasičenih pogojih - Sieglochova metoda (1973)	12
2.3.2 Metode za ocenjevanje v nenasičenih pogojih	14
2.3.3 Preverjanje ustreznosti različnih modelov	15
2.4 Ocena kritičnega razmaka z metodo največjega verjetja	17
2.5 Ocena kritičnega razmaka z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja	20
2.6 Ocena časa sledenja	25
2.7 Razmerje med kritičnim razmakom in časom sledenja	26
2.8 Metodologija za dimenzioniranje in analizo križišča glavne in stranske prometne smeri po metodi HCM	27
2.8.1 Kronološki pregled metode HCM	27
2.8.2 Postopek dimenzioniranja in analize po metodi HCM	29
3 METODOLOGIJA	40
3.1 Lokalno zbiranje podatkov za oceno t_c in t_f	41
3.1.1 Oznake video posnetkov	43

3.2	Programski paket za analizo prometa DataFromSky TrafficSurvey	44
3.2.1	DataFromSky TrafficSurvey	45
3.2.2	Programsko orodje DataFromSky Viewer	48
3.2.3	Konfiguracija križišča za analizo	54
3.2.4	Vozni pasovi	58
3.2.5	Vozlišča – postavitve za analizo časovnega razmaka in časa sledenja	60
3.2.6	Izvoz podatkov – časovni razmaki in časi sledenja	61
3.3	Programsko orodje SIDRA INTERSECTION 9.0	66
3.3.1	Pregled uporabniškega vmesnika	66
3.3.2	Kapacitetni modeli za nesemaforizirana križišča	70
3.3.3	Kapacitetni modeli za krožna križišča	71
4	NUMERIČNI EKSPERIMENTI	74
4.1	Ocena kritičnega razmaka t_c	74
4.2	Ocena časa sledenja t_f	78
5	PREDSTAVITEV REZULTATOV	81
5.1	Analize po statističnih regijah Slovenije	81
5.2	Določitev t_c in t_f v slovenskem prostoru	84
5.2.1	GPS – levi zavijalci	86
5.2.2	SPS – levi zavijalci	87
5.2.3	SPS – ravno	88
5.2.4	SPS – desni zavijalci	89
5.2.5	Krožna križišča	90
5.3	Primerjava parametrov raziskave FGG-PTI-2020 s parametri raziskav v sklopu zaključnih del na UL FGG	91
5.4	Primerjava parametrov raziskave FGG-PTI-2020 s parametri kapacitetnih modelov v SIDRA INTERSECTION 9.0	92
5.5	Kapacitetni izračuni s programskim orodjem SIDRA INTERSECTION 9.0 z uporabo privzetih parametrov in parametrov FGG-PTI-2020	95
5.5.1	Štetje prometa	97

5.5.2	Merodajne prometne obremenitve	98
5.5.3	Geometrija križišč (shematični prikaz)	99
5.5.4	Prometne obremenitve (osebna vozila in tovorna vozila)	100
5.5.5	Nivo uslug	101
5.5.6	Zamude [sek/vozilo]	104
5.5.7	Kolone/zaježitveno območje [m]	107
5.5.8	Stopnja zasičenosti	110
5.5.9	Zbrani podatki kapacitetne analize	113
5.5.10	Ugotovitve za križišče K1	113
5.5.11	Ugotovitve za križišče K2	114
6	ZAKLJUČEK	115
6.1	Razprava	115
6.2	Naslednji koraki	116
VIRI		118

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povzetek različnih metod za oceno kritičnega razmaka (povzeto po M. Mohan, S. Chandra 2016)	16
Preglednica 2: Povprečne zamude kot merilo LOS v HCM2000 (Transportation Research Board 2000) in HBS2001 (FGSV 2001)	29
Preglednica 3: Osnovne vrednosti za kritične razmake in čase sledenja za nesemaforizirana križišča z dvema ali štirimi pasovi, povzeto po HCM2000 (Transport Research Board 2000)	32
Preglednica 4: Kritični razmaki in časi sledenja v krožnih križiščih po metodi HCM	32
Preglednica 5: Nivo uslug na koncu planskega obdobja za nova križišča ali rekonstrukcije križišča (Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005: 3896)	39
Preglednica 6: Privzete vrednosti t_c in t_f v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 (AKCELIK & ASSOCIATES PTY LTD, 2020. SIDRA INTERSECTION 9 user guide)	71
Preglednica 7: Privzete vrednosti kapacitetnih modelov krožnih križišč v programu SIDRA INTERSECTION 9.0	72
Preglednica 8: Primer dela izvoza podatkov časovnih razmakov za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS	75
Preglednica 9: Primer dela sortiranih podatkov za nesemaforizirana križišča - levi zavijalec na SPS	76
Preglednica 10: Primer vseh sortiranih zavrženih in sprejetih razmakov za nesemaforizirana križišča - levi zavijalec na SPS	77
Preglednica 11: Prikaz dela izračuna ocene kritičnega razmaka z novo metodo za levega zavijalca na SPS	78
Preglednica 12: Primer dela izvoza podatkov časov sledenja za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS	79
Preglednica 13: Primer dela analiziranih podatkov ocene časa sledenja za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS	80
Preglednica 14: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - levi zavijalci na GPS	87

Preglednica 15: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - levi zavijalci na SPS	88
Preglednica 16: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - vozila, ki ravno prečkajo GPS	89
Preglednica 17: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - desni zavijalci na SPS	90
Preglednica 18: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - krožna križišča	91
Preglednica 19: Primerjava parametrov t_c in t_f – nesemaforizirana križišča (povzeto po Logar 2003)	92
Preglednica 20: Primerjava parametrov t_c in t_f – krožna križišča (povzeto po Logar 2006)	92
Preglednica 21: Primerjava parametrov t_c in t_f – levi zavijalci na GPS	93
Preglednica 22: Primerjava parametrov t_c in t_f – levi zavijalci na SPS	93
Preglednica 23: Primerjava parametrov t_c in t_f – vozila, ki ravno prečkajo GPS	93
Preglednica 24: Primerjava parametrov t_c in t_f – desni zavijalci na SPS	94
Preglednica 25: Primerjava parametrov t_c in t_f – krožna križišča	94
Preglednica 26: FKU za posamezno smer kraka križišča K1 (PNZ svetovanje projektiranje d.o.o. 2016)	98
Preglednica 27: FKU za posamezno smer kraka križišča K2 (PNZ svetovanje projektiranje d.o.o. 2019)	99
Preglednica 28: Zbrani podatki kapacitetne analize za K1 - krak D in K2 – krak B	113

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Razpršeni podatki vseh velikosti časovnih razmakov in številu vozil (T. Jenjiwattanakul 2011)	13
Grafikon 2: Ocena parametrov kritičnih razmakov na podlagi regresijske tehnike (T. Jenjiwattanakul 2011)	14
Grafikon 3: Porazdelitvene funkcije sprejetih razmakov $F(a)$, največjih zavrženih razmakov $F(r)$ in kritičnih razmakov $F(t)$ (Gavulová 2012)	18
Grafikon 4: Prikaz med funkcijami gostote verjetnosti za zavržene, sprejete in ocenjene kritične razmake z metodo novega modela (Wu 2012)	22
Grafikon 5: Primerjava ocen kritičnega razmaka po novi metodi in po metodi največjega verjetja (Wu 2012)	25
Grafikon 6: Porazdelitev razmerja kritičnega razmaka / časa sledenja (Zong, Z. idr. 2000)	27
Grafikon 7: Ocena povprečne zamude križišča glavne in stanske smeri (HCM 2000)	38
Grafikon 8: Število analiziranih križišč po statističnih regijah	82
Grafikon 9: Delež zaznanih objektov na video posnetkih po statističnih regijah	82
Grafikon 10: Delež dobljenih podatkov za izračun t_c – nesemaforizirana križišča	83
Grafikon 11: Delež dobljenih podatkov za izračun t_c – krožna križišča	83
Grafikon 12: Delež dobljenih podatkov za izračun kritičnega razmaka t_c	84
Grafikon 13: Delež dobljenih podatkov za izračun časa sledenja t_f	85
Grafikon 14: Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na GPS	86
Grafikon 15: Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na SPS	88
Grafikon 16: Funkcije gostot verjetnosti za vozila, ki ravno prečka GPS	89
Grafikon 17: Funkcije gostot verjetnosti za desne zavijalce na SPS	90
Grafikon 18: Funkcije gostot verjetnosti za krožna križišča	91
Grafikon 19: Delež pridobljenih podatkov za izračun t_c in t_f za različne manevre	116

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski pogled modela sprejemljivega razmaka (Ognyan 2011)	2
Slika 2: Prioritetni tokovi za štirikrako ter trokrako križišče (R. Troutbeck 1997)	6
Slika 3: Modeli za določitev kapacitete križišč	7
Slika 4: Shema preprostega modela čakalnih vrst (R. Troutbeck 1997)	8
Slika 5: Primer postopka ocene kritičnega razmaka v MS Excel z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja - levi zavijalec na SPS	24
Slika 6: Postopek dimenzioniranja in analize nesemaforiziranih nivojskih križišč po metodi HCM	30
Slika 7: Konfliktni tok 1 v križišču glavne in stranske smeri (HCM 2000)	31
Slika 8: Konfliktni tok 8 v križišču glavne in stranske smeri. v faza I so upoštevani tokovi iz leve smeri, v fazi II pa iz desne (HCM 2000)	31
Slika 9: Nesemaforizirano križišče med dvema semaforiziranim križiščema (HCM 2000)	35
Slika 10: Razširitev prometnega pasu na stranski prometni smeri (HCM 2000)	36
Slika 11: Statistične regije Slovenije https://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Statisti%C4%8Dne_regije_Slovenije_2016.png (Pridobljeno 22.11.2020.)	42
Slika 12: Prikaz vseh posnetih števnih mest po statističnih regijah	43
Slika 13: Primer oznake analiziranega križišča	44
Slika 14: Grafični prikaz poteka dela s programskim paketom DataFromSky TrafficSurvey https://datafromsky.com/trafficsurvey/ (Pridobljeno 22.11.2020.)	45
Slika 15: Okence za nalaganje video datoteke https://ai.datafromsky.com/light/tasks (Pridobljeno 22.11.2020.)	46
Slika 16: Primeri idealnih postavitvev kamer za uporabo TrafficSurvey LIGHT https://medium.com/datafromsky-light/how-to-record-the-video-for-dfs-light-3282ab55662 (Pridobljeno 22.11.2020.)	47

Slika 17: Primer analize v zavihku Tasks, pripravljen za prenos; na sliki je analiza krožnega križišča v Velenju https://ai.datafromsky.com/light/tasks (Pridobljeno 22.12.2020.)	48
Slika 18: Začetni zaslon računalniškega programa DataFromSky Viewer	49
Slika 19: Scene View v DataFromSky Viewer	49
Slika 20: Postopek georegistracije s programskim orodjem DataFromSky Viewer https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it (Pridobljeno 26.11.2020.)	51
Slika 21: Postopek georegistracije https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it (Pridobljeno 26.11.2020.)	51
Slika 22: Vstavljene vrednosti za sistem WGS-84 https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it (Pridobljeno 26.11.2020.)	52
Slika 23: Vrednosti odstopanj vstavljenih koordinat križišča (https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it (Pridobljeno 26.11.2020.)	52
Slika 24: Primer trajektorije zaporednega vozila id: 76 v določenem času video posnetka	53
Slika 25: Pregled trajektorije določenega objekta v določenem času video posnetka	53
Slika 26: Okence za konfiguracijo situacij križišča v programu DataFromSky Viewer	55
Slika 27: Konfigurator prehodnih linij, vozni pasov ter vozišč v programu DataFromSky Viewer	55
Slika 28: Pogled na prehodne linije v programu DataFromSky Viewer	56
Slika 29: Dodajanje prehodnih linij (v danem primeru za naše analize vstopna in nevtralna prehodna linija)	57
Slika 30: Nastavitev lastnosti prehodnih linij v programu DataFromSky Viewer	57
Slika 31: Postavitev prehodnih linij za pridobitev kritičnih razmakov in časov sledenja	58
Slika 32: Dodajanje vozni pasov (v danem primeru za naše analize vstopni in nevtralni vozni pas)	59

Slika 33: Nastavitev lastnosti voznih pasov	59
Slika 34: Postavitev voznih pasov za pridobitev kritičnih razmakov in časov sledenja	60
Slika 35: Primer postavitve prehodnih linij in voznih pasov za analizo časovnih razmakov in časov sledenja	60
Slika 36: Dodajanje vozlišča	61
Slika 37: Nastavitve za izvoz analize časovnih razmakov ter časov sledenja	62
Slika 38: Izvoženi podatki analize časovnih razmakov in časov sledenja v programsko orodje MS Excel	64
Slika 39: Uporabniški vmesnik SIDRA INTERSECTION 9.0	66
Slika 40: Dodajanje novega nesemaforiziranega križišča v programu SIDRA INTERSECTION 9.0	67
Slika 41: Predlogi za nesemaforizirana križišča v programu SIDRA INTERSECTION 9.0	67
Slika 42: Dodajanje vhodnih podatkov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0	68
Slika 43: Privzete vrednosti t_c in t_f na SPS za primer štirikrakega nesemaforiziranega križišča	69
Slika 44: Privzete vrednosti t_c in t_f na GPS za primer štirikrakega nesemaforiziranega križišča	69
Slika 45: Privzete vrednosti parametrov sprejemljivega razmaka na SPS - štirikrako nesemaforizirano križišče	71
Slika 46: Primer postavitve kamere na trokrakem nesemaforiziranem križišču (https://ai.datafromsky.com/light/tasks (Pridobljeno 26.12.2020.))	86
Slika 47: Mikro lokacija nesemaforiziranega križišča – K1 https://www.google.si/maps (Pridobljeno 5.1.2021.)	95
Slika 48: Mikro lokacija krožnega križišča – K2 https://www.google.si/maps (Pridobljeno 5.1.2021.)	96
Slika 49: Prometne obremenitve (vsa vozila) na križišču K1 – 1 od 7:30 do 8:30 ure – jutranja konična ura (PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2016)	97

Slika 50: Prometne obremenitve (vsa vozila) na križišču K2 od 13:45 do 14:45 ure – popoldanska konična ura (PNZ svetovanje projektiranje d.o.o. 2019)	98
Slika 51: Geometrija križišč K1 in K2	99
Slika 52: Prometne obremenitve križišča K1	100
Slika 53: Prometne obremenitve križišča K2	100

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

C	kapaciteta križišča
FKU	faktor konične ure
GPS	glavna prometna smer
HCM	Highway Capacity Manual
HD video	High-definition video
JK	jutranja konica
NU	nivo uslug
PDF	probability density function
PHF	peak hour factor
PK	popoldanska konica
RS	Republika Slovenija
SPS	stranska prometna smer
t_c	kritični razmak
t_f	čas sledenja
UL FGG	Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
UTM	Universal Transverse Mercator
V	dejanska prometna obremenitev
ZDA	Združene države Amerike
WGS-84	World Geodetic System 1984
X	stopnja nasičenja

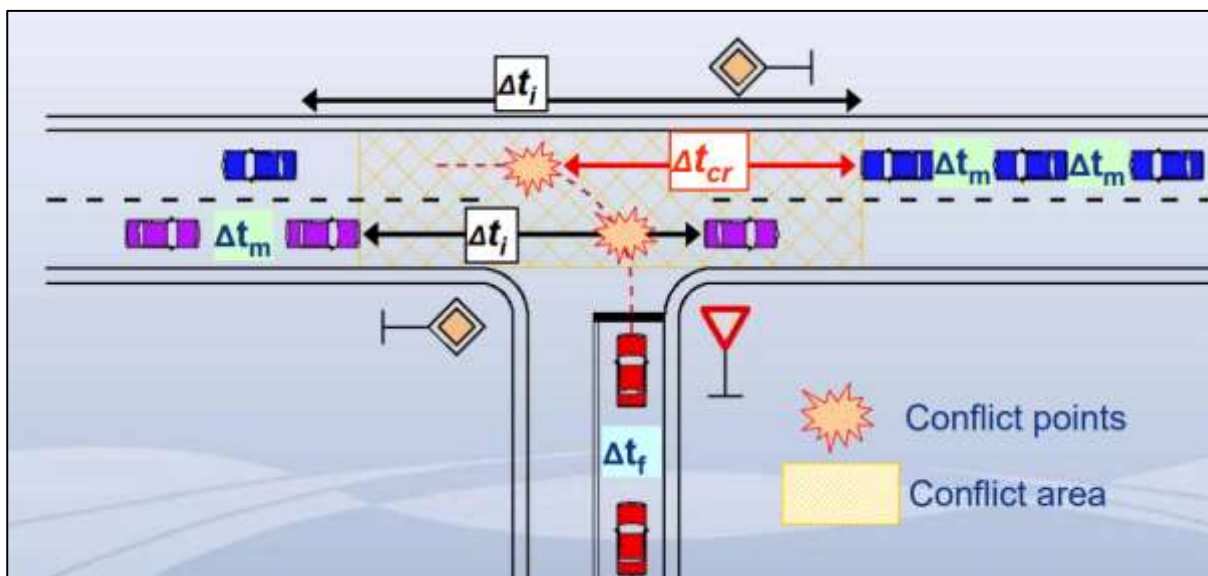
Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Razvoj določenega mesta, regije ali celotne države je v veliki meri odvisen od učinkovitosti prometnega sistema, katerega naloga je povezovanje gospodarskih središč, zagotavljanje dostopa do zelenih območij, omogočen transport ljudi in tovora. Lahko bi tudi rekli, da je velik pokazatelj kakovosti življenja na določenem območju, saj lahko z dobro grajeno cestno infrastrukturo omogočimo in pospešimo razvoj na vseh področjih, hkrati pa s slabim cestnim omrežjem povzročimo zaviranje razvoja na tem območju.

Cestno omrežje sestavljajo ceste različnih kategorij, kjer se prometni tokovi cest prepletajo pa imenujemo vozlišča. Med vozlišča štejemo tudi križišča. Najpogostejša vrsta križišč so nesemaforizirana nivojska križišča. Običajno so njihove zmogljivosti manjše kot pri ostalih vrstah križišč, imajo pa pomembno vlogo v prometnem omrežju. Slabo projektirano nesemaforizirano križišče ima lahko tudi vpliv na ostalo prometno omrežje in na kapaciteto prometne infrastrukture oziroma zamude vozil v prometnem toku. Večina nesemaforiziranih križišč je na neprednosti cesti opremljena z znakom ustavi ali znakom križišče s prednostno cesto. V praksi so navedeni znaki omogočili, da se križišča prečkajo z manj konflikti, kot bi bilo pri prečkanju enakovrednih cest. Ker je križišč tega tipa veliko tudi v slovenskem prostoru, se jim je smiselno posvetiti in tako izboljšati cestno omrežje.

Vozniku v nesemaforiziranem križišču ni v nobenem trenutku signalizirano, kdaj naj spelje v križišče. Sam se mora odločiti, kdaj je varno vstopiti v konfliktno območje križišča ter se vključiti v glavni prometni tok iz SPS ali prečkati križišče (slika 1). Voznik išče varno priložnost oziroma inženirsko imenovano časovni razmak za vstop v križišče. Ta tehnika se imenuje sprejemljivi časovni razmak (v angleškem jeziku Gap acceptance). V nesemaforiziranih križiščih mora voznik na podrejeni smeri spoštovati prednosti ostalih voznikov, ter voznikom na višjem rangju prometnih tokov pustiti prednost. Vključi ali prečka križišče le, ko je za dotičnega voznika to sprejemljivo. Voznik zavrača v danem trenutku dane časovne razmake, dokler mu ni ponujen dovolj velik časovni razmak, ki ga v tistem trenutku sprejme. Ravno pri načrtovanju in analizi križišč si pomagamo z modeli sprejemljivega razmaka.



Slika 1: Shematski pogled modela sprejemljivega razmaka (Ognyan 2011)

Glavna parametra modelov sprejemljivega razmaka sta kritični razmak (t_c) in čas sledenja (t_f). Ta dva parametra bistveno vplivata na končno izračunano kapaciteto nesemaforiziranega križišča. Iz tega razloga je bistvenega pomena, da se posveti oceni obeh parametrov. Ravno tako so zahteve pri projektiranju križišč v Pravilniku o projektiranju cest, uporaba vrednosti kritičnih razmakov in časov sledenja po priznani ameriški metodi HCM, kjer so parametri pridobljeni pri raziskavah voznikov v ZDA. Glede na to, da za analizo križišč v Sloveniji uporabljamo vhodne podatke na vzorcu ameriških voznikov, je smiselno da se podobna raziskava naredi za voznike v slovenskem prostoru ter se dobljene rezultate primerja.

Glavni cilj magistrskega dela je določitev parametrov kritičnega razmaka in čas sledenja v slovenskem prostoru. Da bi se parametri lahko določili, je smiselno najprej preučiti teoretična izhodišča. Ta so opisana v drugem poglavju. Na kratko so opisana križišča, s poudarkom na nivojskih nesemaforiziranih križiščih. Opisane so interakcije prometnih tokov različnih rangov, da bi bolje razumeli dogajanje pri križanju le-teh. V nadaljevanju sta podrobneje opisana glavna parametra modelov sprejemljivega razmaka in opisani nekateri postopki, po katerih so v preteklosti določili t_c in t_f . Podrobneje je opisana ocena kritičnega razmaka z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja (Wu, 2012), ki smo jo uporabili za oceno kritičnega razmaka. Na kratko je tudi opisana zgodovina metodologije in postopek za dimenzioniranje nesemaforiziranega križišča po metodi HCM, ki se uporablja v slovenskem prostoru. Parametra t_c in t_f , ki se uporabljajo po metodi HCM, so pridobljeni po obsežni študiji v ZDA, kjer se vozniki bistveno drugače obnašajo pri vožnji, poleg tega pa so tudi dimenzije vozil ter geometrija križišč neprimerljiva z našimi. To pa lahko bistveno vpliva na končni rezultat obeh parametrov ter na rezultate kapacitetne analize križišča.

S programskim orodjem v oblaku DataFromSky TrafficSurvey in njihovim programom DataFromSky Viewer smo pridobili vse zavrjene in sprejete časovne razmake ter čase sledenja za pridobljene video posnetke križišč po statističnih regijah Slovenije. Zaradi zgoraj navedenih raznolikosti v geometriji križišč in strukturi voznikov pričakujemo razlike v kritičnih razmakih in časih sledenja v slovenskem prostoru. Da tezo potrdimo, se ocenejne vrednosti primerjajo z vrednostmi, ki se jih uporabljajo z modeli v programu SIDRA INTERSECTION 9.0. Na primerih nesemaforiziranega in krožnega križišča primerjamo kapacitetne analize za ocenejne vrednosti in privzete vrednosti modelov iz programa (s temi vrednosti operirajo projektanti v Sloveniji). Dobljene rezultate primerjamo ter v zadnjem poglavju sledita razprava in smernice za prihodnost.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Nesemaforizirana nivojska križišča

2.1.1 Križišče

Cestno omrežje je sestavljeno iz prostih odsekov ter vozlišč, med katere spadajo tudi križišča. Na prometnih površinah križišč se prometni tokovi razhajajo, združujejo ali križajo, kar pa predstavlja morebitno nevarnost za vsakega udeleženca. Poznamo večnivojska in nivojska križišča. Pri večnivojskih križiščih so ceste speljane preko nadvozov ali podvozov, pri čemer promet lahko poteka neovirano v vseh smereh. Tako se izognemo tokovom, ki se križajo. V primeru nivojskih križišč, se tokovi križajo v konfliktnih točkah, saj so na istem nivoju ceste oziroma na isti ravnini. Križišča lahko razvrstimo po številu krakov na trokrako (T), štirikrako (+), križišča z več kraki ter krožna križišča.

Druga pomembna razvrstitev je glede na prometni režim. Tako delimo križišča na križišča s svetlobno signalizacijo (semaforji), križišča z vertikalno signalizacijo (prometni znaki) ter križišča brez prometne signalizacije (križišča enakovrednih cest). Nesemaforizirana križišča so v veliki meri urejena s prometnimi znaki, s katerimi zmanjšamo število konfliktnih točk v primerjavi s križišči brez prometne signalizacije. Semaforizirana križišča so urejena s svetlobno signalizacijo.

2.1.1.1 Nivojska križišča

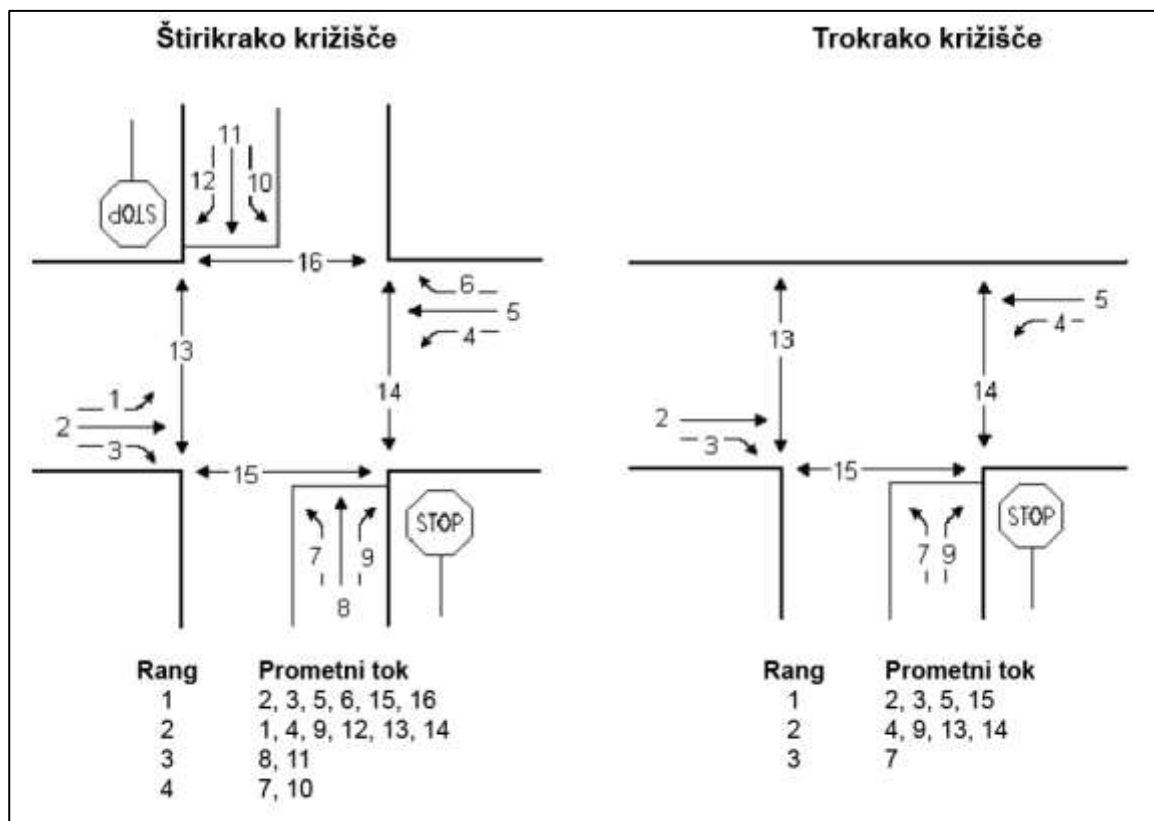
Namen nivojskih križišč je križanje dveh različnih prometnih tokov v isti ravnini oziroma istem nivoju. Za potrebe te naloge so obravnavana le nesemaforizirana križišča glavne in stranske prometne smeri ter krožna križišča. Pod širše območje križišča gledamo območje, kjer se križata dve ali več cest ter območja, ki ga tvorijo kraki križišča. Zato delimo križišča glavne in stranske prometne smeri glede na število krakov: križišča s tremi kraki (trokraka), križišča s štirimi kraki (štiriktaka) ter križišča z več kraki (pet ali več kraka). Poznamo dve delitvi prometnih tokov v nivojskih križiščih, to sta prostorska in časovna delitev. Prostorska delitev prometnih tokov vpliva na gradbeno-tehnično oblikovanje križišča. Pri časovni delitvi gre za prekinjanje prometnih tokov. To so naključno porazdeljeni časovni razmaki, katere uporabljajo vozniki prometnih tokov nižjega ranga. Ravno ti časovni razmaki so tudi bistvenega pomena pri projektiranju nesemaforiziranih križišč in so obravnavani v magistrski nalogi.

Na vseh nesemaforiziranih križiščih obstaja hierarhija prometnih tokov. Nekateri tokovi imajo absolutno prioriteto (Rang 1), ostali pa morajo dati prednost višjemu rangu. Dobro je vedeti, da imajo različni tokovi različne prednosti v hierarhiji, te so pa določene s prometnimi pravili. V križiščih enakovrednih cest velja desno pravilo, kar pomeni, da ima prednost vozilo, ki prihaja z desne strani, v kolikor ni drugače urejeno s prometno signalizacijo. Vozila, ki zavijajo levo, morajo dati prednost vozilom v nasprotnem prometnem toku. Kjer je v križiču postavljen znak ustavi ali križišče s prednostno cesto, je vozilo na neprednostni cesti in mora počakati glavni prometni tok, ki je označen s prometnim znakom križišče s prednostno cesto. Vsa vozila, ki vstopajo v krožno križišče, morajo dati prednost vozilom, ki so že v krožnem križišču. Vozila, ki vstopajo ali izstopajo iz krožnega križišča, zavijajo desno. Zaradi zgoraj opisanega dogajanja v nesemaforiziranih križiščih glavne in stranske prometne smeri, imamo manj konfliktnih točk in je posledično voznikom lažje spremljati varne razmake. Temu pravimo teorija kritičnega razmaka in vključuje štiri osnovne elemente:

- relativna prednost prometnih tokov,
- razpoložljivost časovnih razmakov v prometnem toku z višjo kategorijo,
- uporabnost časovnih razmakov za čakajoča vozila na stranski cesti,
- izpraznitev čakalne vrste.

Prioritetni tokovi v križiščih so (slika 2):

- **Rang 1**, vozila imajo absolutno prednost pred vsemi in jim ni potrebno dati prednosti vozilom na drugih prometnih tokovih,
- **Rang 2**, vozila morjo dati prednost vozilom na Rangu 1,
- **Rang 3**, vozila morajo dati prednost najprej vozilom na Rangu 2 in nato še vozilom na Rangu 1,
- **Rang 4**, vozila ki morajo dati prednost vsem vozilom na višjih rangih (izjema je desni zavijalec na GPS; prometnemu toku 3 in 6 ni potrebno dati prednost, saj se tokovi ne križajo).

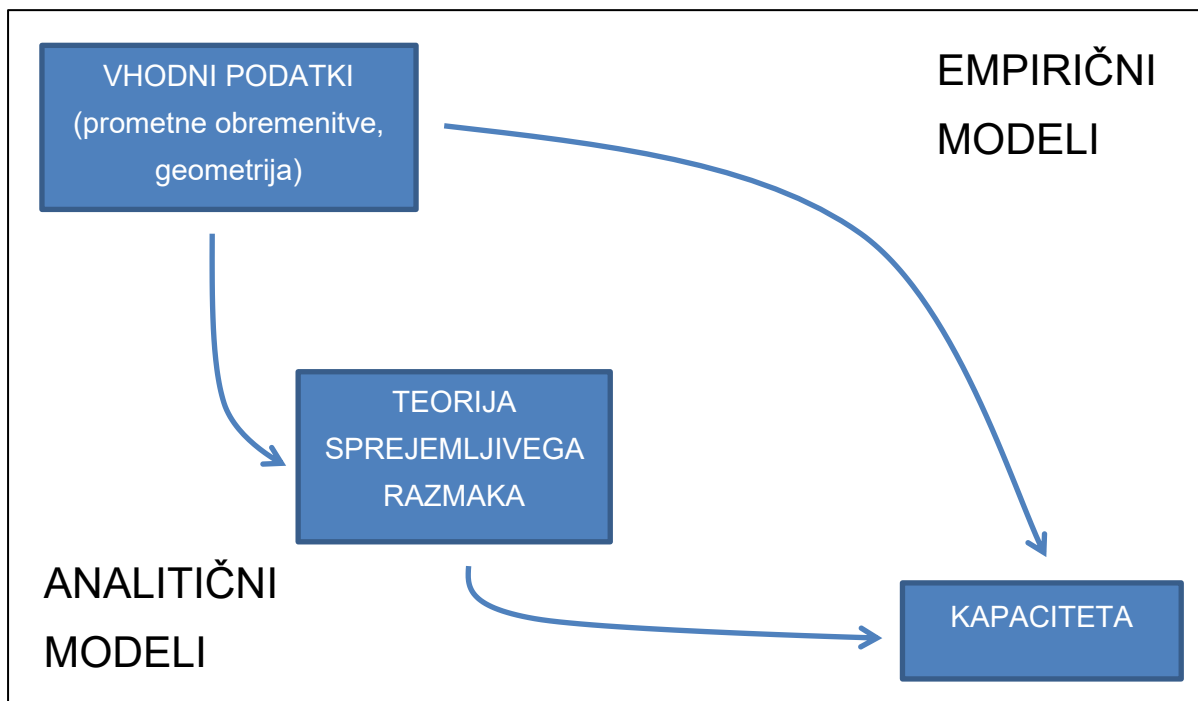


Slika 2: Prioritetni tokovi za štirikrako ter trokrako križišče (R. Troutbeck 1997)

2.2 O kritičnem razmaku in času sledenja

2.2.1 Splošno

Nivojska križišča so zaradi svojega pomena že od nekdaj predmet raziskav in načrtovanja prometne stroke. Prepustnost križišč je kritični element cestne mreže. Kapaciteto posameznih križišč lahko določimo na podlagi različnih metod. Večina analiz za določitev kapacitete uvozov v križišča temelji na empiričnih in analitičnih modelih. Pri empiričnih metodah se kapaciteto izračuna s pomočjo geometrije križišča in prometnih obremenitev. Pri analitičnih metodah pa je vključena še teorija sprejemljivega razmaka. Glava parametra sta kritični razmak in čas sledenja. Tako praviloma analize, ki obravnavajo promet v nesemaforiziranem križišču, temeljijo na analitičnih metodah. Ena izmed metod je teorija sprejemljivega razmaka, ki temelji na predpostavki, da vozilo na neprednostnem toku lahko uvozi v križišče ali ga prečka le, ko interval med dvema voziloma na prednostnem toku večji od mejnega kritičnega razmaka. Več vozil z neprednostnega toka lahko zaporedno uvozi v križišče v intervalu časovnih razmakov sledenja, dokler na prednostnem toku ne pripelje naslednje vozilo. Na sliki 3 so prikazane opisane metode in kje se v postopku določitev kapacitete pojavi teorija sprejemljivega razmaka.



Slika 3: Modeli za določitev kapacitete križišč

2.2.2 Kritični razmak in čas sledenja

Na nesemaforiziranem križišču nimamo nobenega signala, kdaj ga lahko uvozimo ali prečkamo. Tako se mora voznik sam odločiti, kdaj je to varno storiti. Zato mora voznik zaznati oddaljenost in hitrost vozil na prednostnem prometnem toku ter imeti dober občutek o zmogljivosti svojega vozila. Ta postopek zaznavanja in odločanja opisuje skupina modelov sprejemljivega razmaka. Na podlagi dokaj preprostih definicij kritičnih razmakov najdemo različne modele in rešitve. Te vrste rešitev so tesno povezane s teorijo čakalnih vrst. Večina analitičnih postopkov so se do neke mere opirali na teorijo sprejemljivega razmaka.

Čeprav je sprejemanje vrzeli na splošno dobro razumljiv postopek, je koristno, da obravnavamo tri osnovne elemente postopka (Troutbeck, 1991):

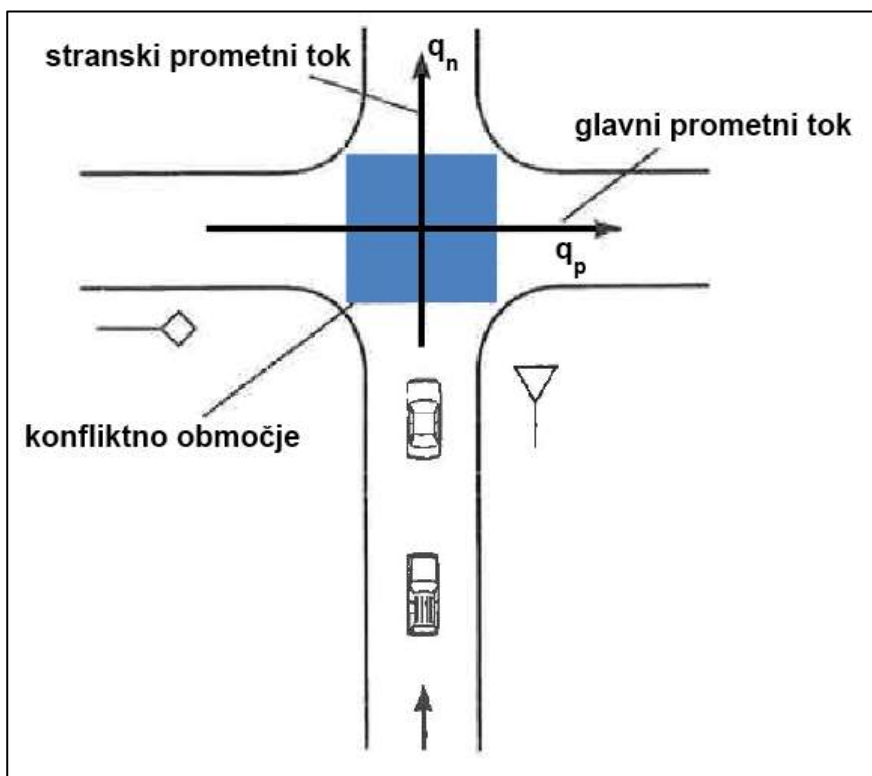
- prvi je obseg sprejemljivih časovnih razmakov, katerih vozniki sprejmejo za sprejemljive pri poskusu vstopa ali prečkanja križišča,
- drugi je delež časovnih vrzeli določene velikosti na prednostnem prometnem toku, ki se ponudi čakajočemu vozilu. Pomemben je tudi čas prihodov vozil,
- tretja zahteva v nesemaforiziranih križiščih so konfliktne točke, kjer se sekajo prometni tokovi različnih rangov.

Za lažje razumevanje prve in druge točke je koristno, da se najprej osredotočimo na najpreprostejši primer nesemaforiziranega križišča (slika 4).

Vse metode sprejemljivega razmaka za nesemaforizirana križišča izhajajo iz preprostega modela čakalnih vrst, v katerem je upoštevano križanje dveh prometnih tokov. Pri tem modelu sta vključena glavni prometni tok (tok, ki ima prednost pred stranskim prometnim tokom) z jakostjo prometnega toka q_p (vozil/h) in stranski prometni tok z jakostjo prometnega toka q_n (vozil/h). Vozila na glavnem prometnem toku lahko prečkajo konfliktno območje brez kakršnega koli zaustavljanja. Vozila na stranskem prometnem toku smejo vstopiti v konfliktno območje le, če je med dvema zaporednima voziloma na glavnem prometnem toku t_c sekund, sicer morajo počakati na dovolj velik razmak. Poleg tega lahko vozila iz stranskega prometnega toka vstopijo v križišče t_f sekund po odhodu prejšnjega vozila. Obnašanje vozil na stranskem prometnem toku torej predstavljata spremenljivki t_c in t_f .

t_c = **kritični razmak** = najmanjši časovni razmak na glavnem prometnem toku, ki ga je voznik stranskega prometnega toka pripravljen sprejeti za prečkanje ali vstop v glavni prometni tok preko konfliktnega območja.

t_f = **čas sledenja** = časovna razlika med dvema zaporednima voziloma na stranskem prometnem toku med vstopom na konfliktno območje križišča.



Slika 4: Shema preprostega modela čakalnih vrst (R. Troutbeck 1997)

Očitno je, da se t_c in t_f razlikujeta od voznika do voznika, od časa do časa, odvisnosti od ranga prometnih tokov in razmerami v prometu. Zato je treba opredeliti nekatere vrste reprezentativnih značilnosti za modeliranje vedenja voznikov. Če govorimo matematično, se v teoriji na splošno domneva, da so vozniki obnašajo dosledno in homogeno. Od takih voznikov se pričakuje, da se bodo ob podobnih situacijah vedno obnašali enako, prav tako je tudi populacija homogena in se bo obnašala enako neglede na lokacijo. Najmanjši časovni razmak, ki naj bi jo na vseh lokacijah sprejeli vsi vozniki na stranskem prometnem toku, imenujemo kritični razmak.

V skladu z predpostavljenim modelom vedenja voznikov noben voznik iz stranske prometne smeri ne bo vstopil v konfliktno območje križišča, razen če bo razmak med vozili v prometnem toku z višjo prioriteto vsaj enak kritičnemu razmaku t_c . Predpostavimo, da je kritični razmak t_c enak 5 sekundam, bi voznik potreboval 5 sekundo vrzel med vozili na cesti z višjim rangom. Ko se približuje istemu križišču ves čas potrebuje enakih 5 sekund, prav tako potrebujejo isti t_c vsi ostali vozniki na tem ali katerem koli drugem križišču.

Upoštevati moramo, da so nekateri raziskovalci uporabili drugačen koncept za kritični razmak in čas sledenja. McDonald in Armitage (1978) in Siegloch (1973) so neodvisno izpeljali koncept, pri katerem se izgubljeni čas odšteje od vsakga večjega razmaka v toku, preostali čas pa se šteje za uporabnega. Nato se uporabni čas deli z nasičenim tokom, in tako dobimo oceno absorpcijske sposobnosti stranskega prometnega toka. Učinek tega koncepta se je izkazal za zanemarljivega.

Ker predpostavke o konsistentnosti in homogenosti niso realne, so Catchpole in Plank (1986), Plank and Catchpole (1984), Troutbeck (1988) ter Wegmann (1991) dokazali, da bi bila vhodna kapaciteta križišč zmanjšana. Če pa so vozniki nekonsistentni in nehomogeni, bi se kapaciteta povečala. V kolikor se domneva, da so vozniki konsistentni in homogeni, odstopa razlika v napovedih le za nekaj odstotkov. Ker je učinek predpostavke minimalen ter nam pripomore k enostavnosti samega modela, so se teh dveh predpostavk držali pri izpeljavi.

Ugotovljeno je bilo tudi, da lahko na parametra t_c in t_f vpliva tudi hitrost glavnega prometnega toka (Harders 1976 in Troutbeck 1988). Pričakuje se tudi, da na voznike vpliva sama preglednost na uvozu v križišče. Manjša kot je preglednost, daljša sta kritični razmak in čas sledenja. Obstajajo tudi predlogi, da vozniki potrebujejo drugačen kritični razmak pri prečkanju različnih tokov znotraj enega manevra. Na primer pri zavijanju levo iz stranske smeri voznik prečka dva različna (nasprotna) glavna tokova ter tako voznik potrebuje daljši kritični razmak ali čas sledenja med vozili (Fisk 1989).

Tako kritični razmak t_c opišemo kot minimalni časovni interval med prednjima odbijačema dveh zaporednih vozil v glavnem prometnem toku, ki bo omogočil vstop enega vozila iz stranske

prometne smeri. Kadar se lahko vključi več kot eno vozilo iz stranske smeri, se časovni razmak med dvema voziloma na stranskem toku imenuje čas sledenja in ima oznako t_f . Na splošno je čas sledenja manjša vrednost od kritičnega razmaka.

(HCM2000, 2000)

Kritični razmak in čas sledenja sta dva glavna parametra za različne teorije sprejemljivega razmaka. Vrednosti teh dveh parametrov pomembno vplivata na rezultat kapacitetne analize križišča, zato je pomembno, da ta dva parametra pravilno izmerimo glede na določene prometne razmere v križišču. Leta 1985 so za študije v HCM sprejeli Nemške vrednosti časovnih razmakov, vendar so bile ugotovljena doletena odstopanja, ko so se te vrednosti uporabljale za raziskave v ZDA. Pričakovati je tudi odstopanja za slovenski prostor. Ravno to želimo raziskati v magistrskem delu. Oceniti želimo vrednosti časovnih razmakov in časov sledenja voznikov za slovenski prostor.

Številne predhodne študije so obravnavale postopke merjenja kritičnega razmaka in časa sledenja, vendar se je večina študij ukvarjala samo z reševanjem problema s teoretičnega vidika. Le peščico študij je obravnavala merjenje teh parametrov na terenu. Večina pregledane literature obravnava postopke ocenjevanja kritičnega razmaka glede na podatke o zavrženih in sprejetih časovnih razmakih, vendar redke raziskave pojasnijo, kako opredeliti dogodke, ko se mora voznik na nižjem rangu prometnega toka soočiti z drugimi konfliktnimi tokovi. V kolikor se tega ne upošteva, ostajajo postopki le na teoretični ravni in relativno neuporabni v praktičnih aplikacijah prometnega inženirstva.

V realnih okoliščinah kritični razmak ni stalna vrednost, temveč je spremenljivka z različnimi vrednostmi za različne voznike in se spreminja skozi čas za istega voznika. Kritični razmaki, ki jih vozniki uporabljajo za odločanje na nesemaforiziranih križiščih, imajo stohastično porazdelitev, za katero je značilna:

- je navzol omejena in večja od nič,
- pričakova vrednost kritičnega razmaka, ki je v teoretičnih modelih pogosto označena prav kot kritični ramak,
- standardni odklon,
- pozitiven faktor simetričnosti porazdelitve, ki predpostavlja na desni strani porazdelitve daljši rep.

Porazdelitve in njenih parametrov ni mogoče neposredno oceniti na terenu, ker kritičnega razmaka ni mogoče opazovati. Z različnimi metodami je mogoče le izmeriti zavržene in

sprejete časovne razmake. Za oceno kritičnih razmakov je potrebno uporabiti postopke, s katerimi ocenimo porazdelitve in njene parametre s pomočjo zavrženih in sprejetih časovnih razmakov.

Tak postopek ocenjevanja mora biti konsistenten. V kolikor imajo vozniki na stranskem prometnem toku določeno porazdelitev kritičnih razmakov, mora postopek omogočiti čim bolj natančno reprodukcijo te porazdelitve. Postopek mora zanesljivo reproducirati kritični razmak, ne da bi bil odvisen od spodaj naštetih parametrov:

- obseg prometa na GPS ali SPS,
- zamude pri voznikih,
- drugih zunanjih vplivov.

Samo če so rezultati postopka konsistentni, lahko z njim preučujemo vpliv zunanjih parametrov na kritični razmak. V nasprotnem primeru bi bili rezultati, ugotovljeni z empiričnimi študijami, posledica nekonsistentnega postopka ocenjevanja in v tem primeru ni direktne povezave s parametri, ki jih preiskujemo.

Številne študije so obravnavale metode in postopke ocenjevanja kritičnega razmaka:

- Raff (1950)
- Ashworth (1970),
- Siegloch (1973),
- Pastirji (1976),
- Hewitt (1992),
- metoda največjega vertjetja (Troutbeck, 1992),
- logit model (Cassidy, 1994),
- nov makroskopski model na podlagi verjetnostnega ravnovesja (Wu, 2012).

2.3 Metode za ocenjevanje kritičnega razmaka

V literaturi je objavljenih veliko različnih metod za oceno kritičnih razmakov na nesemaforiziranih križiščih. V tem poglavju je opisanih nekaj pomembnejših metod. Predpostavka in cilj vseh metod je, da v času opazovanja rezultati ocenjevalnega postopka ne bi bili odvisni od jakosti prometa na glavnem prometnem toku. Takrat, ko je ta pogoj izpolnjen, se lahko ocena uporabi v nenasičenih prometnih pogojih na nesemaforiziranih križiščih.

Povprečne vrednosti kritičnega razmaka ne moremo upoštevati (Cassidy, 1995), kar pomeni, da kritični razmak t_c in čas sledenja t_f moramo oceniti s postopki, ki jih razdelimo v dve skupini. Prva temelji na regresijski analizi števila vozil, ki sprejmejo razmak v odvisnosti od velikosti sprejetega razmaka. Druga kategorija pa neodvisno oceni porazdelitve kritičnega razmaka in časa sledenja. Različne metode ocenjevanja bodo opisane v nadaljevanju.

2.3.1 Metode za ocenjevanje v nasičenih pogojih - Sieglochova metoda (1973)

Siegloch je predlagal dosleden okvir za teorijo zmogljivosti na nesemaforiziranih križiščih in to storil na matematičnem modelu. Naj bo $g(t)$ število vozil na stranskem prometnem toku, ki lahko vstopijo v konfliktno območje med nekim časovnim razmakom t . Pričakovano število t razmakov na glavnem prometnem toku je $q_p \times h(t)$, kjer je $h(t)$ statistična funkcija gostote vseh razmakov na glavnem prometnem toku. Tako je jakost prometnega toka, ki jo zagotavlja t razmakov na uro, $q_p \times h(t) \times g(t)$. Da bi dobili skupno kapaciteto C , moramo integrirati celo vrsto možnih razmakov na glavnem prometnem toku. Tako dobimo enačbo:

$$C = q_p \cdot \int_{t=0}^{\infty} h(t) \cdot g(t) dt \quad (2.1)$$

Enačba 2.1 za kapaciteto nesemaforiziranih križišč predstavlja temelj celotne teorije sprejemanja razmakov. Veliko formul za oceno kapacitete, ki jih najdemo v različnih literaturah, temeljijo na istem konceptu.

Posledica te enačbe je, da moramo za izračune kapacitete poznati funkciji $h(t)$ in $g(t)$, zato Siegloch predlaga regresijsko analizo za izpeljavo $g(t)$ s pomočjo terenskih opazovanj. Za to tehniko ocenjevanja moramo upoštevati nasičene pogoje. Sieglochova metoda (1973) je precej enostavna in zanesljiva za oceno kritičnega razmaka, v kolikor je na stanski cesti stalna čakalna vrsta (nasičeni pogoji). Je uporabna, saj se rezultat ujema s predpostavkami, uporabljenimi v analizi kritičnega razmaka.

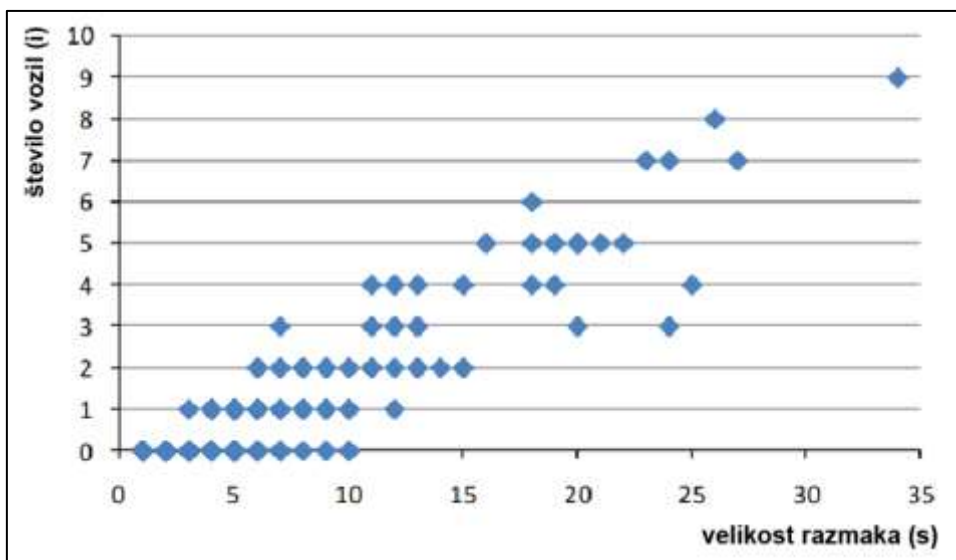
Sieglochova metoda vključuje naslednje korake:

- opazuje se prometne razmere v času, ko je na stanskem prometnem toku vsaj eno vozilo,
- zabeleži se zaporedno število vozila »i«, pri čemer se zabeleži velikost vsakega razmaka »t« za vozila, ki vstopijo,

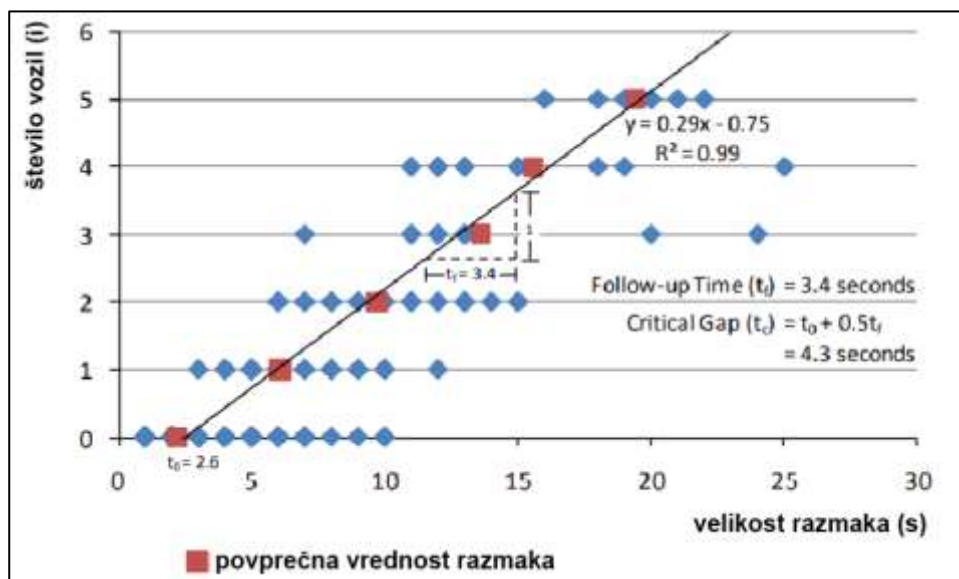
- za vsak časovni razmak, ki ga sprejme voznik »i«, se izračuna povprečje sprejetega razmaka (kot je prikazana na grafikonu 2),
- poišče se linearno regresijo teh povprečij (povprečen razmak kot funkcija v odvisnosti od »i«),
- ob povečanju regresijske linije iz »i« na »i+1« dobimo t_f ,
- na presečišču regresijske premice z vodoravno osjo (velikost razmaka) dobimo t_0 ,
- t_f je naklon premice,
- kritični razmak t_c je tak podan z enačbo:

$$t_c = t_0 + \frac{t_f}{2} \quad (2.2)$$

Grafikon 1: Razpršeni podatki vseh velikosti časovnih razmakov in številu vozil (T. Jenjiwattanakul 2011)



Grafikon 2: Ocena parametrov kritičnih razmakov na podlagi regresijske tehnike (T. Jenjiwattanakul 2011)



Kot primer vzamemo analizo na grafikonu 2. Iz regresijske premice odčitamo parameter t_0 (preseka premice z osjo X), ta je enak 2,6 sekunde. Čas sledenja t_f je 3,4 sekunde (dobimo ga iz naklona regresijske premice). Nato izračunamo kritični razmak s pomočjo enačbe 2.2. Potrebno je poudariti, da rezultat ni smislen, v kolikor je katera od spremenljivk manjša od nič.

$$t_c = 2,6 \text{ s} + \frac{3,4 \text{ s}}{2} = 4,3 \text{ s} \quad (2.3)$$

Prednost Sieglochove metode za oceno t_c in t_f je njegova tesna povezanost s kapacitetnim izračunom. Pomanjkljivost uporabe te metode pa je dejstvo, da se metoda lahko uporablja le v nasičenih pogojih, ki jih je v praksi težje najti.

2.3.2 Metode za ocenjevanje v nenasičenih pogojih

Bolj zapleteno je oceniti kritični razmak t_c iz opazovanja prometa pri nenasičenih pogojih. V takih pogojih kritičnega razmaka ni mogoče izmeriti neposredno. Zaradi omenjenih razlogov je za ocenjevanje kritičnega razmaka v nenasičenih pogojih potreben postopek, ki pridobi informacije tudi od voznikov, ki razmak sprejmejo po čakalni vrsti. Voznik, ki je sprejel določen časovni razmak je izbral med takimi, ki so mu bili ponujeni na glavnem prometnem toku. V tem primeru porazdelitev vseh razmakov na glavnem prometnem toku vpliva na porazdelitev sprejetih razmakov.

Če opazujemo velik vzorec sprejetih razmakov, potem lahko te sprejete časovne razmake opišemo z empirično statistično funkcijo porazdelitve $F_a(t)$. Na drugi strani pa lahko opazujemo porazdelitev zavrženih časovnih razmakov $F_r(t)$.

Ker funkcijo porazdelitve ni mogoče neposredno opazovati, je namen vseh zgoraj omenjenih postopkov oceniti to funkcijo čim bolj natančno in oceniti njene tipične parametre, kot so srednja vrednost in varianca.

2.3.3 Preverjanje ustreznosti različnih modelov

Preden lahko primerjamo različne metode ocenjevanja, moramo opredeliti zahteve za oceno kritičnih razmakov, ki nam bodo dale zadovoljive rezultate. Te zahteve se matematično ne more izpeljati. Predlagani so sledeči kriteriji:

- **porazdelitev:** kritični razmak t_c ni stalna vrednost. Zato so kritični razmaki porazdeljeni kot naključna spremenljivka. Za distribucijo je značilen t_c , ki je večji ali enak nič, ima srednjo vrednost μ_c , varianco σ_c^2 ter faktor poševnosti z daljšim repom na desni strani. Takih porazdelitev in njihovih parametrov ni mogoče izmeriti na terenu, zato se določijo postopki, ki dajejo čim boljšo oceno,
- **konsistentnost:** postopek ocenjevanja mora biti konsistenten in bi moral zanesljivo reproducirati kritični razmak. Če je bila ta skladnost dokazana za določen postopek, se šele takrat lahko metodo uporablja za preučevanje vpliv zunanjih parametrov na kritični razmak,
- **robustnost metode:** pomeni, da rezultati postopkov ocenjevanja ne bi smeli biti preveč občutljivi na predpostavke, kot so predpostavke o porazdelitvi kritičnih razmakov ali razmakov na glavnem prometnem toku. Drugi dejavnik je velikost standardne napake kritičnega razmaka. Možno je, da je metoda povzroča rahlo pristranskost, vendar je majhna standardna napaka bolj zaželeno kot nepristranska metoda z veliko standardno napako,
- **kompatibilnost metode:** za izračun kapacitete ocena kritičnih razmakov ni sama sebi namen. Kritični razmaki se uporabljajo v modelih za izračun kapacitet na nesemaforiziranih križiščih. Kritični razmaki, ocenjeni z različnimi postopki, lahko različno vplivajo na model sam. Potrebno je zagotoviti, da ocenjeni kritični razmaki in časi sledenja (in njihovim postopkom ocenjevanja) dajejo zanesljivo in realno oceno kapacitete križišča, neodvisno od zunanjih vplivov (prometni volumen na glavnem ali stranskem prometnem toku, zamude in drugih zunanjih vplivov).

Iz študije, ki je povzeta po Review and Assessment of Techniques for Estimating Critical Gap at Two-way Stop-controlled Intersections (2016), so preučili potrebne podatke za določeno metodo ter nato opisali prednosti in slabosti vsake izmed njih. Po študiji je privzeta spodnja preglednica primerjave metod.

Preglednica 1: Povzetek različnih metod za oceno kritičnega razmaka (povzeto po M. Mohan, S. Chandra 2016)

Metoda	Potrebni podatki	Prednosti	Slabosti
Siegloch	Število vozil, ki vstopajo s posameznim časovnim razmakom	Tesno povezano s formulo Sieglachovo formulo kapacitete Rezultat tudi časi sledenja	Primerno za nasičene pogoje Odvisno od porazdelitve na glavni prometni smeri
Greenshields	Sprejete in zavrnjene razmake	Preprosta metoda na podlagi histogramov	Ni primerena za majhne nabore podatkov
Acceptance Curve	Sprejete razmake	Enostaven postopek ocenjevanja	Pripravnost do previdnih voznikov
Lag	Sprejeti in zavrnjeni razmake	Podatki o razmaku so nepristranski Enostaven postopek ocenjevanja	Zgubijo se dragoceni podatki o razmaku Potrebna so daljša obdobja opazovanja
Harder	Sprejete in zavrnjene razmake	Enostaven postopek ocenjevanja	Potreben velik vzorec podatkov Odvisna od obsega prometa v konfliktnem območju
Ashworth	Sprejete razmake	V predvidenem rezultatu ni pristranskosti	Odvisna od obsega prometa v konfliktnem območju Kritična vrzel normalno porazdeljena
Raff	Sprejete in zavrnjene razmake	Enostaven postopek ocenjevanja	Pripravnost do previdnih voznikov Odvisna od obsega prometa v konfliktnem območju
Logit	Sprejete razmake	Tesno povezano z odločitvami o sprejetih časovnih razmaku voznika	Odvisna od obsega prometa v konfliktnem območju
Probit	Sprejete razmake	Tesno povezano z odločitvami o sprejetih časovnih razmaku voznika	Predpostavlja, da je kritični razmak normalno porazdeljen
Hewitt	Sprejete in zavrnjene razmake	Ne glede na prometne obremenitve	Zapleten iterativni postopek Potrebna računalniška pomoč
Maximum Likelihood	Sprejete in največje zavrnjene razmake	Podaja parametre porazdelitve Ne glede na prometne obremenitve	Predpostavljamo lognormalno porazdelitev Ni primerna za nekonstantne voznike Potrebna računalniška pomoč
Probability Equilibrium	Sprejete in vse / največje zavrnjene razmake	Sposoben upoštevati nekonstantne voznike	Zahteva, da je sprejeti razmak večji od največjega zavrnjenega razmaka

Iz študije, ki je povzeta po Capacity and level of service at unsignalized intersections (1996), so bile narejene različne simulacije ter so s tem prišli do prvih dveh zaključkov. V študiji Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections Based on Equilibrium of Probabilities (2012) pa je avtor Wu prišel do zaključka, opisanega v tretji alineji. Ti zaključki so:

- **Sieglachova metoda** daje dovolj dobre vrednosti, ki so blizu realnih. Rezultat je v veliki meri odvisen od nasičenosti prometa na stranski smeri. Metoda je sprejemljiva in je predhodno že opisana,
- **metoda največjega verjetja** nam daje dobro korelacijo med resničnim in ocenjenim kritičnim razmakom t_c . Z velikim številom simulacijami je bilo ugotovljeno, da je odstopanje med dejanskim in ocenjenim časom največ 0,15 s. Rezultat je neodvisen od obremenitve na stranskem prometnem toku, kakor tudi ni odvisen od gostote prometa na glavnem prometnem toku. Metoda je priporočena v veliki večini literature, ki je bila obravnavana v namene te naloge. Vhodni podatki pri tej metodi so največji

zavrneni razmak za opazovanega voznika ter njegov sprejeti razmak. Predpostavljena porazdelitev ocenjenega kritičnega razmaka je lognormalna porazdelitev, ki je nagnjena v desno in nima negativnih vrednosti (kar je smiselno, nimamo negativnih časov). Metoda je podrobneje opisana v naslednjem odstavku.

- **nov makroskopski model na podlagi verjetnostnega ravnovesja** je vzpostavljen splošen postopek za oceno kritičnega razmaka. Z uporabo tega modela lahko upoštevamo več merjenih podatkov (vse zavrnjene in sprejete časovne razmake). Rezultati kažejo, da je Weibullova porazdelitev boljša za oceno kritičnih razmakov. Weibullova porazdelitev boljše predstavlja empirično porazdelitev kot lognormalna porazdelitev. Postopek novega makroskopskega modela je preprost in zanesljiv. Oceno se lahko naredi tudi v programu MS Excel. Metoda se je izkazala za eno najboljših in najpreprostejših v primerjavi z drugimi modeli. Podrobneje je opisana v nadaljevanju.

2.4 Ocena kritičnega razmaka z metodo največjega verjetja

Kritičnega razmaka ni mogoče izmeriti neposredno na terenu. Med metodami za oceno t_c se je izkazalo, da je metoda največjega verjetja ena najbolj natančnih in zanesljivih (Troutbeck 1992 in Brilon 1995).

Metoda največjega verjetja za oceno kritičnega razmaka t_c temelji na dejstvu, da je voznikov kritični razmak med njegovim največjim zavrnenim razmakom in njegovim sprejetim razmakom. Predpostaviti je potrebno verjetnostno porazdelitev kritičnih razmakov. Troutbeck (1992) je za kritične razmake uporabil lognormalno porazdelitev. Ta porazdelitev je poševno usmerjena v desno in nima negativnih vrednosti, kot bi v teh okoliščinah pričakovali. Brilon (1995) je uporabil hyper-Erlangovo porazdelitev. Pri obeh pristopih so poročali o podobnih rezultatih. Teoretična izpeljava je obravnavana v nadaljevanju in temelji na teoriji, ki jo je razvil Troutbecku (1992).

Naslednje oznake so uporabljene pri izpeljavi teorije:

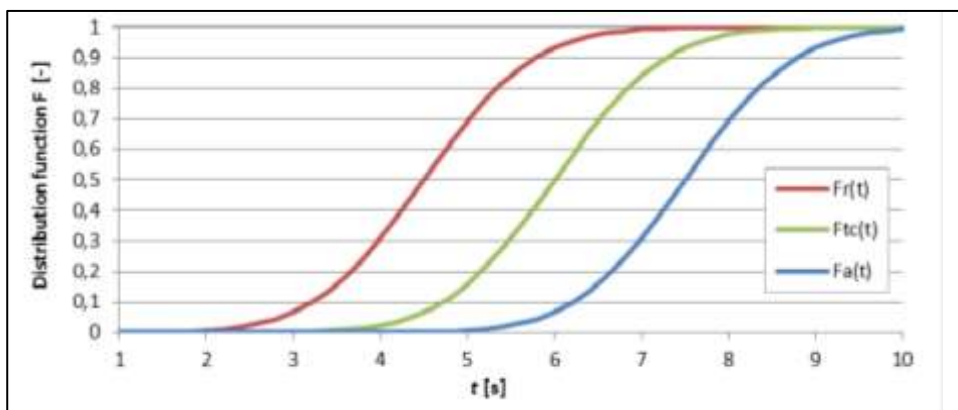
- a_i je logaritem razmaka, ki ga sprejme i -ti voznik,
- r_i je logaritem največjega razmaka, ki ga je zavrnil i -ti voznik,
- $r_i = 0$, če noben razmak ni bila zavrnen,
- μ je srednja vrednost porazdelitve logaritmov kritičnih razmakov za posameznega voznika,
- σ^2 je varianca porazdelitve logaritmov kritičnih razmakov za posameznega voznika,

- $f()$ je funkcija gostote verjetnosti za normalno porazdelitev,
- $F()$ je porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve.

Verjetnost, da je kritični razmak voznika i med r_i in a_i , zapišemo kot razliko porazdelitvenih funkcij $F(a_i) - F(r_i)$. Če seštejemo razliko po vseh voznikih, dobimo funkcijo največje verjetnosti za vzorec z n število voznikov, z največjim zavrženim razmakom $r_{i,max}$ in sprejetim razmakom a_i . To zapišemo kot dvojico sprejetega in največjega zavrženega razmaka (a_i, r_i) in funkcijo največjega verjetja zapišemo v taki obliki

$$G = \prod_{i=1}^n [F(a_i) - F(r_i)] \quad (2.4)$$

Grafikon 3: Porazdelitvene funkcije sprejetih razmakov $F(a)$, največjih zavrženih razmakov $F(r)$ in kritičnih razmakov $F(t)$ (Gavulová 2012)



Logaritem funkcije največjega verjetja označimo z L

$$L = \ln G \quad (2.5)$$

$$L = \sum_{i=1}^n \ln [F(a_i) - F(r_i)] \quad (2.6)$$

Da dobimo maksimalno vrednost L , moramo enačbo 2.6 parcialno odvajati po spremenljivki μ in σ^2

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0 \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = 0 \quad (2.8)$$

Rešitevi parcialnih odvodov sta

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = \frac{\frac{\partial F(a_i)}{\partial \mu} - \frac{\partial F(r_i)}{\partial \mu}}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = \frac{\frac{\partial F(a_i)}{\partial \sigma^2} - \frac{\partial F(r_i)}{\partial \sigma^2}}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (2.10)$$

To nas nato pripelje do dveh enačb, ki ju je treba iterativno rešiti s pomočjo numeričnih metod:

$$-\sum_{i=1}^n \frac{f(a_i) - f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (2.11)$$

$$-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - \mu)f(a_i) - (y_i - \mu)f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (2.12)$$

Parametra μ in σ^2 lahko izračunamo z numeričnimi ali iteracijskimi tehnikami. Za reševanje enačb 2.11 in 2.12 je Troutbeck razvil računalniški program (1992). Srednja vrednost t_c in varianca s^2 porazdelitvene funkcije kritičnega razmaka je funkcija parametrov lognormalne porazdelitve. Te lahko nato izračunamo po enačbah 2.13 ter 2.14

$$t_c = e^{\mu + 0,5\sigma^2} \quad (2.13)$$

$$s^2 = t_c^2(e^{\sigma^2} - 1) \quad (2.14)$$

Vrednost ocenjenega kritičnega razmaka t_c mora biti manjša od povprečja sprejetih razmakov. Ta metoda ne spada med najenostavnejše, vendar daje dobre rezultate. Uporablja veliko količino informacij brez pristranskosti rezultata, tako da vključuje učinke velikega števila zavrnjenih časovnih razmakov. Velika pomanjkljivost metode je ta, da če bi voznik sprejel prvi ponujeni razmak, ne da bi zavrnil vsaj enega, nam enačbi 2.11 in 2.12 dajeta trivialne rezultate. V takem primeru Troutbeck priporoča (v kolikor vozilo ni zavrnilo nobenega razmaka) vrednost 0 zamenjati z 0.1 sekunde (Troutbeck 2014).

2.5 Ocena kritičnega razmaka z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja

Avtor članka Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections Based on Equilibrium of Probabilities (Wu 2012) je predstavil nov model, ki temelji na makroskopskem verjetnostnem ravnovesju sprejetih in zavrnjenih razmakov.

Glede na funkcije gostote verjetnosti, sta gostoti verjetnosti sprejetih ($F_a(t)$) in zavrnjenih ($F_r(t)$) razmakov ter verjetnost, da se sprejme razmak dolžine t enak $1 - F_a(t)$, da se ne sprejme pa je $F_a(t)$. Verjetnost, da se razmak dolžine t zavrne je $F_r(t)$ in da se ne zavrne je $1 - F_r(t)$. Na splošno je definirano, da je $F_r(t) \neq 1 - F_a(t)$ in $1 - F_r(t) \neq F_a(t)$, ker sprejeti razmak na glavnem prometnem toku morda nima enake dolžine kot dejanski kritični razmak. Sprejeti razmak je vedno večji od dejanskega kritičnega razmaka t_c v določenem časovnem obdobju. Dejanski kritični razmak je statistično porazdeljen in se lahko občasno spreminja glede na določeno porazdelitev. Sprejeti razmak in s tem tudi kritični razmak sta funkciji čakalnega časa podrejene smeri.

Funkcijo gostote verjetnosti kritičnih razmakov, ki jo je potrebno oceniti s $F_{tc}(t)$ in je tako verjetnost $P_{r,tc}(t)$, da se razmak dolžine t v glavnem toku zavrne, verjetnost $P_{a,tc}(t)$ da se razmak sprejme pa je $1 - F_{tc}(t)$.

Glede na opaženo verjetnost sprejemanja in zavračanja dobimo verjetnostno ravnovesje

$$\begin{cases} P_{r,tc}(t) = F_r(t)P_{r,tc}(t) + F_a(t)P_{a,tc}(t) \\ P_{a,tc}(t) = (1 - F_a(t))P_{r,tc}(t) + (1 - F_r(t))P_{a,tc}(t) \end{cases} \quad (2.15)$$

Enačbo 2.15 lahko zapišemo v matrični obliki

$$\begin{pmatrix} P_{r,tc}(t) \\ P_{a,tc}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_r(t) & F_a(t) \\ 1 - F_r(t) & 1 - F_a(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{r,tc}(t) \\ P_{a,tc}(t) \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

V tej formulaciji je to natančen opis ravnotežnega stanja verjetnosti $P_{a,tc}(t)$ in $P_{r,tc}(t)$ Markovska veriga. V tej formulaciji je vektor stanja

$$\begin{pmatrix} P_{r,tc}(t) \\ P_{a,tc}(t) \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

in transformacijska matrika

$$\begin{pmatrix} F_r(t) & F_a(t) \\ 1 - F_r(t) & 1 - F_a(t) \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Pri $P_{r,tc}(t) = F_{tc}(t)$ in $P_{a,tc}(t) = 1 - F_{tc}(t)$, enačba 2.16 dobi naslednjo obliko

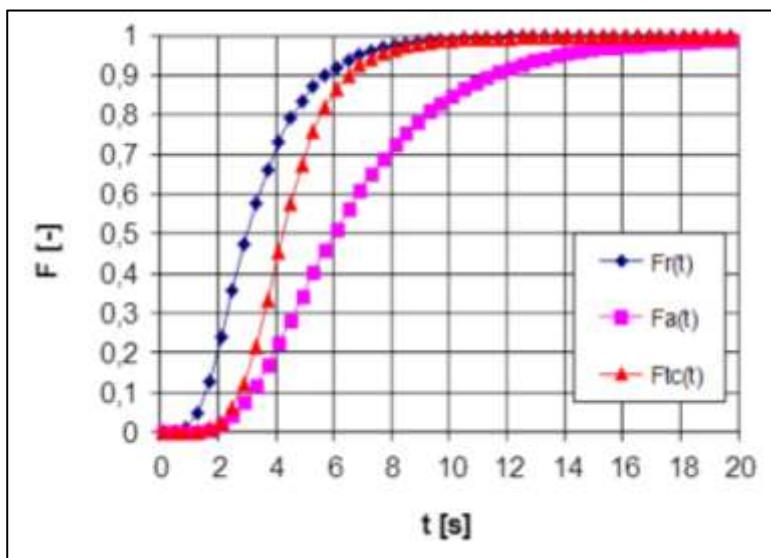
$$\begin{pmatrix} F_{tc}(t) \\ 1 - F_{tc}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_r(t) & F_a(t) \\ 1 - F_r(t) & 1 - F_a(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_{tc}(t) \\ 1 - F_{tc}(t) \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

Rešitev enačbe 2.19 daje funkcijo gostote verjetnosti kritičnih razmakov $F_{tc}(t)$

$$F_{tc}(t) = \frac{F_a(t)}{F_a(t) + 1 - F_r(t)} = 1 - \frac{1 - F_r(t)}{F_a(t) + 1 - F_r(t)} \quad (2.20)$$

Funkcijo gostote verjetnosti $F_{tc}(t)$ je vedno med $F_r(t)$ in $F_a(t)$ kar je prikazano na grafikonu 4.

Grafikon 4: Prikaz med funkcijami gostote verjetnosti za zavrnjene, sprejete in ocenjene kritične razmake z metodo novega modela (Wu 2012)



Potrebno je opozoriti, da je porazdelitev opredeljena med celotnim najmanjšim sprejetim razmakom a_{min} in celotnim največjim zavrjenim razmakom r_{max} z $a_{min} \leq r_{max}$. Za $t_c \leq a_{min}$ je $F_{tc}(t) = 0$, za $t_c \geq r_{max}$ pa je $F_{tc}(t) = 1$. V primeru, ko je $a_{min} > r_{max}$ lahko srednji kritični razmak izračunamo kot $t_c = (a_{min} + r_{max}) / 2$.

Glede na Raffovo definicijo kritičnega razmaka (enačba $F_a(t) = 1 - F_r(t)$) dobimo

$$F_{tc}(t) = \frac{F_a(t)}{F_a(t) + 1 - F_r(t)} = 1 - \frac{F_a(t)}{F_a(t) + F_a(t)} = 0.5 \quad (2.21)$$

To pomeni, da je kritični razmak ocenjen po Raffovi metodi srednja vrednost in ne povprečna vrednost kritičnega razmaka. Za lognormalno porazdelitev kritičnega razmaka je srednja

vrednost vedno manjša od povprečne vrednosti. To pomeni, da Raffova metoda podcenjuje kritični razmak in tako precenjuje ustrezno kapaciteto križišča.

Novi model ima dobro teoretično ozadje (v smislu Markovske verige in verjetnostnega ravnovesja) in daje zanesljive rezultate. Prav tako je neodvisen od kakršnih koli predpostavk o modelu ter ne zahteva niti vnaprej določene funkcije porazdelitve kritičnih razmakov niti konstantnega in doslednega vedenja voznikov. Ta model lahko upošteva vse ustrezne razmake (ne samo največje zavrjene, kot je pri po Troutbeckovem modelu). Predpostavka, da mora biti zavrjeni razmak manjši od sprejetega, tudi ni potrebna. Postopek izračuna modela je preprost in ne zahteva nobene iteracije.

Po novem modelu lahko z enostavnim postopkom ocenimo t_c . Ta postopek je mogoče enostavno zapisati v program MS Excel. Postopek je sledeč:

1. v prvi stolpec preglednice vstavimo vse izmerjene (lahko vstavimo vse ali samo največje zavrjene razmake z ustreznimi sprejetimi razmaki, večjimi od zavrjenih) razmake t v glavnem prometnem toku,
2. v drugem stolpcu preglednice označimo sprejete razmake z "a", zavrjene pa z "r",
3. vse razmake skupaj z oznakama "a" in "r" razvrstimo v naraščajočem vrstnem redu,
4. v tretjem stolpcu izračunamo skupne frekvence zavrjenih vrzeli n_{rj} (za dano vrstico j , če je *oznaka* = "r", potem je $n_{rj} = n_{rj} + 1$, sicer $n_{rj} = n_{rj}$, $n_{r0} = 0$),
5. v četrtem stolpcu izračunamo skupne frekvence sprejetih razmakov n_{aj} (za dano vrstico j , če je *oznaka* = "a", potem je $n_{aj} = n_{aj} + 1$, sicer $n_{aj} = n_{aj}$, $n_{a0} = 0$),
6. v petem stolpcu izračunamo PDF zavrjenih razmakov $F_j(r)$ (za dano vrstico j je $F_j(r) = n_{rj} / n_{max}$, n_{max} = število razmakov),
7. v šestem stolpcu izračunamo PDF sprejetih razmakov $F_a(t_j)$ (za dano vrstico j je $F_a(t_j) = n_{aj} / n_{max}$, n_{max} = število vseh razmakov),
8. v sedmem stolpcu izračunamo PDF ocenjenih kritičnih razmakov $F_{tc}(t_j)$ (za dano vrstico j , $F_{tc}(t_j) = F_a(t_j) / [F_a(t_j) + 1 - F_r(t_j)]$),
9. v osmem stolpcu izračunamo frekvence ocenjenih kritičnih razmakov $p_{tc}(t_j)$, med j in $j-1$ ($p_{tc}(t_j) = F_{tc}(t_j) - F_{tc}(t_{j-1})$),
10. v devetem stolpcu izračunamo povprečje t_{dj} med j in $j-1$ ($t_{dj} = (t_j + t_{j-1}) / 2$),
11. sedaj izračunamo povprečno vrednost in varianco ocenjenega kritičnega razmaka ($t_{c,povprečen} = vsota [p_{tc}(t_j) \times t_{dj}]$ in $\sigma^2 = vsota [p_{tc}(t_j) \times t_{dj}^2] - (vsota [p_{tc}(t_j) \times t_{dj}])^2$).

Postopek izračuna zagotavlja monotono naraščajočo funkcijo gostote verjetnosti za kritične razmake. Na sliki 5 je prikazan primer postopka ocene kritičnega razmaka v MS Excel.

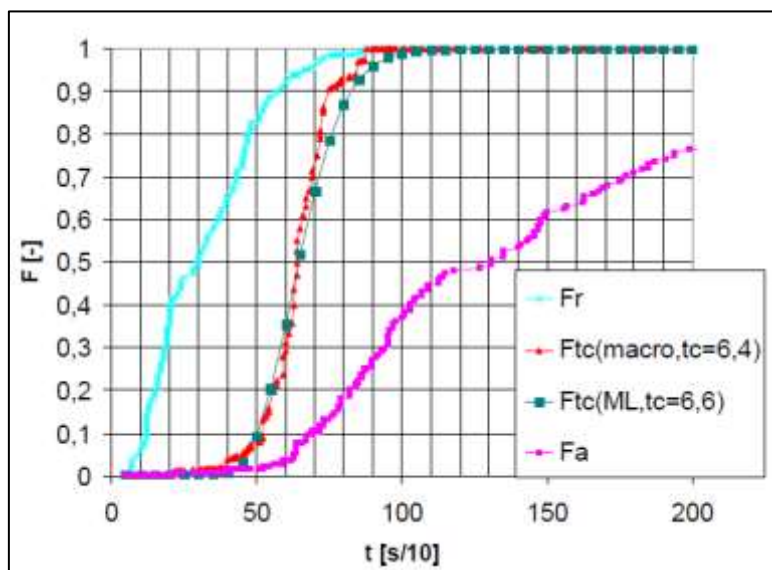
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
4891	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			
4892	4890	6333	0	4674	216	0.95	0.04390244	0.46753247	0.00100979	6.333			
4893	4891	6367	1	4674	217	0.95	0.04410569	0.46868251	0.00115004	6.35			
4894	4892	6367	0	4675	217	0.95020325	0.04410569	0.46969697	0.00101446	6.367			
4895	4893	6367	1	4675	218	0.95020325	0.04430894	0.47084233	0.00114536	6.367			
4896	4894	6367	1	4675	219	0.95020325	0.0445122	0.47198276	0.00114043	6.367			
4897	4895	6367	1	4675	220	0.95020325	0.04471545	0.47311828	0.00113552	6.367			
4898	4896	6367	1	4675	221	0.95020325	0.0449187	0.47424893	0.00113065	6.367			
4899	4897	6400	0	4676	221	0.9504065	0.0449187	0.47526882	0.00101989	6.3835			
4900	4898	6400	0	4677	221	0.95060976	0.0449187	0.4762931	0.00102429	6.4			
4901	4899	6400	0	4678	221	0.95081301	0.0449187	0.47732181	0.00102871	6.4			
4902	4900	6400	1	4678	222	0.95081301	0.04512195	0.47844828	0.00112646	6.4			
4903	4901	6400	0	4679	222	0.95101626	0.04512195	0.47948164	0.00103337	6.4			
4904	4902	6400	0	4680	222	0.95121951	0.04512195	0.48051948	0.00103784	6.4			
4905	4903	6400	0	4681	222	0.95142276	0.04512195	0.48156182	0.00104234	6.4			
4906	4904	6400	0	4682	222	0.95162602	0.04512195	0.4826087	0.00104687	6.4			
4907	4905	6400	0	4683	222	0.95182927	0.04512195	0.48366013	0.00105144	6.4			
4908	4906	6400	0	4684	222	0.95203252	0.04512195	0.48471616	0.00105603	6.4			
4909	4907	6400	0	4685	222	0.95223577	0.04512195	0.48577681	0.00106065	6.4			
4910	4908	6433	0	4686	222	0.95243902	0.04512195	0.48684211	0.0010653	6.4165			
4911	4909	6433	1	4686	223	0.95243902	0.0453252	0.48796499	0.00112288	6.433			
4912	4910	6433	0	4687	223	0.95264228	0.0453252	0.48903509	0.0010701	6.433			
4913	4911	6433	1	4687	224	0.95264228	0.04552846	0.49015317	0.00111809	6.433			
4914	4912	6433	1	4687	225	0.95264228	0.04573171	0.49126638	0.0011132	6.433			
4915	4913	6433	1	4687	226	0.95264228	0.04593496	0.49237473	0.00110835	6.433			
4916	4914	6433	1	4687	227	0.95264228	0.04613821	0.49347826	0.00110353	6.433			
4917	4915	6433	1	4687	228	0.95264228	0.04634146	0.49457701	0.00109875	6.433			
4918	4917	6433	0	4688	229	0.95284553	0.04654472	0.4967462	0.00107521	6.433			
4919	4918	6467	0	4689	229	0.95304878	0.04654472	0.49782609	0.00107988	6.45			
4920	4919	6467	0	4690	229	0.95325203	0.04654472	0.49891068	0.00108459	6.467			
4921	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			

$t_{c, SPS, levij} = 6.5$
 $\sigma^2 = 3$
 št. podatkov = 6467

Slika 5: Primer postopka ocene kritičnega razmaka v MS Excel z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja - levi zavijalec na SPS

Lastnost novega modela, da je mogoče upoštevati vse zavrnjene in sprejete razmake, vključno s sprejetimi razmaki, ki so manjši od zavrnjenih razmakov, je bistvena razlika med novim modelom in najpogosteje uporabljenim modelom Troutbecka (metoda največjega verjetja z lognormalno porazdelitvijo). Če se za oceno kritičnih razmakov uporabijo le največji zavrnjeni razmaki, ki so večji od sprejetih razmakov, novi model daje podobne rezultate (odstopanja so manjša od 0,2 s) kritičnih razmakov, kot tiste z metodo največjega verjetja (grafikon 5). V novi metodi so upoštevani največji zavrnjeni in sprejeti razmaki. Če se uporabijo vsi časovni razmaki, so ocenjeni kritični razmaki običajno manjši.

Grafikon 5: Primerjava ocen kritičnega razmaka po novi metodi in po metodi največjega verjetja (Wu 2012)



V kolikor uporabimo iste vzorčne podatke, nam novi model daje podobne rezultate kakor metoda največjega verjetja (Troutbeckov model), ki je najbolj razširjena metoda za oceno kritičnega razmaka. Novi model ne zahteva vnaprej določenih predpostavk in je enostaven za uporabo. Model je že našel široko uporabo v različnih državah, na primer v Nemčiji, Španiji, Kanadi, na Nizozemskem in v ZDA. Za ocene kritičnih razmakov za slovenski prostor bomo uporabili model na podlagi verjetnostnega ravnovesja po Wu (2012).

2.6 Ocena časa sledenja

V okviru teorije sprejemljivega razmaka se predpostavlja, da bo več voznikov s stranske prometne smeri lahko hkrati vstopilo v križišče, kadar bo časovni razmak na glavni prometni smeri dovolj velik. Povprečno vrednost časovnih razmakov med vozili, ki vstopijo v te večje razmake na glavni prometni smeri imenujemo čas sledenja in ga označimo s kratico t_f . Z razliko od kritičnega razmaka t_c , je ocena časa sledenja preprostejša. Drugi parameter, ki se uporablja pri merjenju časa sledenja, se imenuje čas premika t_{mv} . Čas premika je definiran kot časovni razpon med odhodom enega vozila iz stranskega prometnega toka, do prihoda do zaustavitvene linije pod pogojem neprekinjene čakalne vrste. Čas premika je le del časa sledenja.

V nadaljevanju je predstavljen primer, kako dobimo čas sledenja (povzeto po R. Troutbeck 1997).

Oglejmo si primer dveh vozil v glavnem prometnem toku, ki od začetka opazovanja preko neke točke prevozijo opazovano križišče v času 2.0 in 42.0 sekunde. Na stranski prometni smeri je čakalna vrsta 20 vozil, ki želijo zaviti desno iz stranske ceste. 17 od teh vozil na stranski smeri odpelje ob 3.99, 6.22, 8.29, 11.13, 13.14, Iz teh podatkov dobimo časovne razmake med temi vozili, in sicer 6.22 - 3.99, 8.29 - 6.22, 11.13 - 8.29, ... Povprečni čas sledenja teh vozil izračunamo s preprosto enačbo za povprečno vrednost

$$t_f = \frac{(6.22s - 3.99s) + (8.29s - 6.22s) + \dots + t_n}{n} = \frac{2.23s + 2.07s + \dots + t_n}{n} \quad (2.22)$$

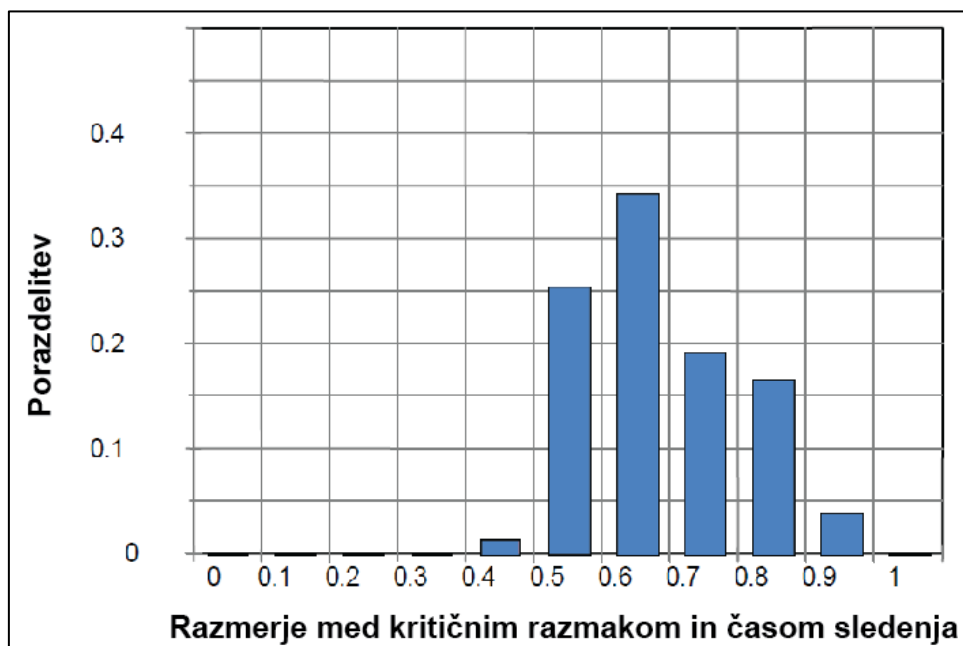
Po enačbi 2.22 dobimo čas sledenja t_f in je enak 2,33 sekunde. V realnosti moramo za pridobitev časa sledenja vzeti večji vzorec, kar pomeni, da moramo izmeriti večje število istih dogodkov, ko je v čakalni vrsti več vozil in se ob ponujenem dovolj velikem razmaku vključijo na glavni prometni tok eno za drugim.

V kolikor vozila na stranskem prometnem toku ni bilo v čakalni vrsti, potem se ga v analizo ne vključimo.

2.7 Razmerje med kritičnim razmakom in časom sledenja

V procesu preučevanja kritičnega razmaka in časa sledenja je bilo ugotovljeno razmerje med med obema parametroma (Brilon 1988). To razmerje je bilo tudi uporabljeno v Highway Capacity Manual (1985). Na grafikonu 6 je prikazana porazdelitev razmerja med kritičnim razmakom in časom sledenja.

Grafikon 6: Porazdelitev razmerja kritičnega razmaka / časa sledenja (Zong, Z. idr. 2000)



Opazimo, da se razmerja med čas sledenja in kritičnim razmakom gibljejo med 0.4 in 0.9 sekunde. Večina vseh opazovanj je približno okoli 0.6 sekunde, kar je tudi vrednost, uporabljena v HCM. Ta ugotovitev tudi potrjuje rezultate prejšnjih študij (Brilon 1988). Omogoča tudi priročen način napovedovanja kritičnega razmaka, saj je čas sledenja običajno mogoče meriti kar na terenu ter ga lažje pridobimo. To nam lahko omogoči, da se prilagodi kritični razmak in čas sledenja glede na obravnavano križišče.

2.8 Metodologija za dimenzioniranje in analizo križišča glavne in stranske prometne smeri po metodi HCM

2.8.1 Kronološki pregled metode HCM

Z izrazom križišča glavne in stranske prometne smeri so mišljena nivojska nesemaforizirana križišča. Ta so na stranski prometni smeri opremljena z znakom ustavi ali znakom križišče s prednostno cesto.

Prva izdaja HCM (Bureau of Public Roads 1950) je to vprašanje obravnavala in opredelila količino praktične kapacitete C_p . Potencialna kapaciteta je zmogljivost določenega premika na nesemaforiziranem križišču, ob predpostavki, da ga ne ovirajo drugi premiki in za to se uporablja ločen pas. Gre za največje število vozil, ki lahko v eni uri prečka določeno točko na

cestišču ali na določenem pasu brez, da bi bila gostota prometa tako velika, da bi povzročala zamude, nevarnost ali omejitev voznikove svobode manevriranja.

Druga izdaja (Highway Research Board 1965) je to idejo nadalje razvila z uvedbo nivoja uslug ali po angleško level of service, v literaturi se uporablja kratica LOS. Praktično zmogljivost so nadomestili servisni volumni, ki predstavljajo specifičen volumen v razmerju z operativnimi pogoji in jih imenujemo nivo uslug. Servisni volumen je bil podan kot največje število vozil, ki lahko prečkajo določen del pasu ali ceste v eno smer na večpasovnih avtocestah (ali v obe smeri na dvo ali tripasovni avtocesti) v določenem časovnem intervalu, medtem ko se obratovalni pogoji vzdržujejo v skladu z izbranim nivojem uslug. Za analizo nesemaforizirana križišča ni bil predstavljen noben poseben postopek. V priročniku je bilo predlagano, da se kapacitete in volumni ocenijo po merilih za semaforizirana križišča.

Tretja izdaja HCM (Transportation Research Board 1985) je predstavila postopek analize, ki temelji na nemški metodologiji. Za merilo nivoja uslug je bila uporabljena rezervna kapaciteta. V poznejših posodobitvah HCM (Transportation Research Board 1994) je bila sprejeta povprečna skupna zamuda. Povprečna zamuda je bila opredeljena kot skupni čas, ki se meri, odkar se vozilo ustavi na koncu čakalne vrste, do tedaj, ko vozilo zapusti zaustavitveno linijo na stranskem prometnem toku.

Četrta izdaja HCM (Transport Research Board 2000) uporablja povprečno zamudo kot servisno merilo tako za semaforizirana kot tudi za nesemaforizirana križišča (glej preglednico 2). Medtem ko je rezervna zmogljivost praktična inženirska količina, je zamuda količina, ki jo neposredno občutijo udeleženci v prometu. Zamuda vključuje začetni pojemek, čas premika v čakalni vrsti, čakanje na zaustavitveni liniji in na koncu še pospešitev iz zaustavitvene linije.

Najnovejša izdaja HCM je bila izdana leta 2016 in je sedaj standard za dimenzioniranje in analizo križišč. Oznaka najnovejše različice je HCM 6, ki vključuje najnovejše raziskave o kapacitetah, kakovosti storitev in zanesljivosti potovalnega časa ter izboljšuje poglavja HCM, da bi bilo inženirjem na področju prometnega inženirstva lažje razumeti osnovne koncepte, računske korake in rezultate pri uporabi metod HCM.

Preglednica 2: Povprečne zamude kot merilo LOS v HCM2000 (Transportation Research Board 2000) in HBS2001 (FGSV 2001)

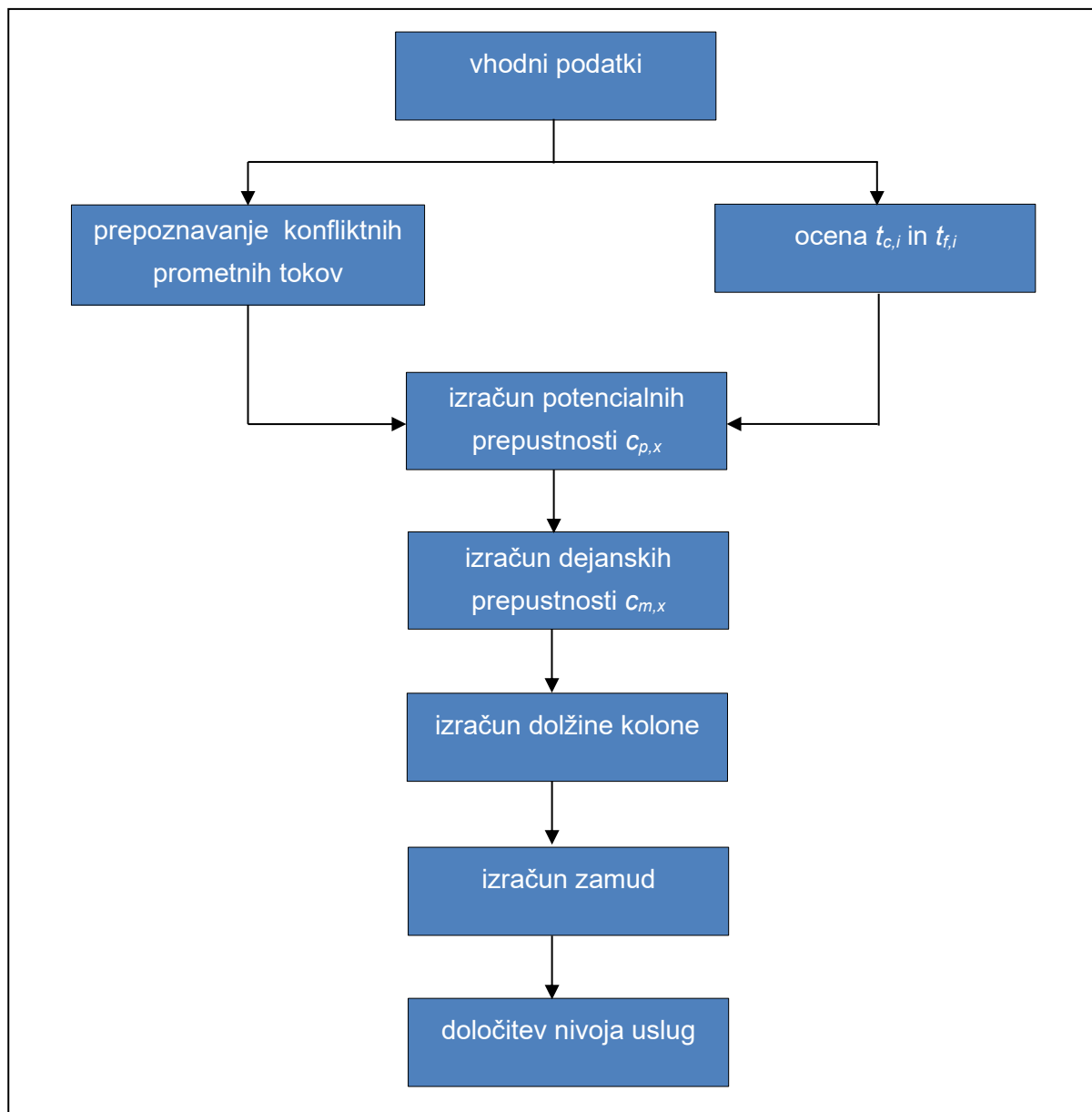
LOS	HCM2000 povprečna zamuda (s/vozilo)	HBS 2001 povprečna zamuda (s/vozilo)
A	0 - 10	0 - 10
B	> 10 - 15	> 10 - 20
C	> 15 - 25	> 20 - 30
D	> 25 - 35	> 30 - 45
E	> 35 - 50	> 45
F	> 50	$V / C > 1$

T. Kyte idr. (1996) so kot merilo za nivoja usluge predlagali tako povprečno zamudo kot dolžino čakalne vrste. Vendar pa v skladu z nemškim priročnikom (FGSV 2001) dolžine čakalne vrste ne more šteti za merilo nivoja usluge, temveč se upošteva pri dimenzioniranju križišča.

2.8.2 Postopek dimenzioniranja in analize po metodi HCM

V poglavju 17 v priročniku HCM2000 (Transportation Research Board 2000) je opisana analitična metoda za križišča, ki so opremljena z znakom ustavi ali križišče s prednostno cesto, semaforizirana križišča in krožna križišča. Priročnik predlaga, da lahko projektant z ustreznimi spremembami ključnih parametrov uporabi metodo tudi za križišča glavne in stranske prometne smeri.

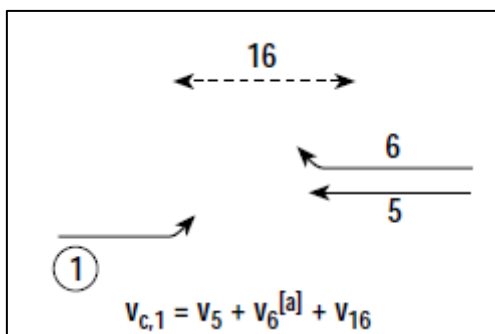
Postopki analize so podrobno opisani v priročniku. Metodologija za analiziranje krožnih križišč pa sledi predlogom Troutbecka (1997). Shema postopka dimenzioniranja po metodi HCM je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Postopek dimenzioniranja in analize nesemaforiziranih nivojskih križišč po metodi HCM

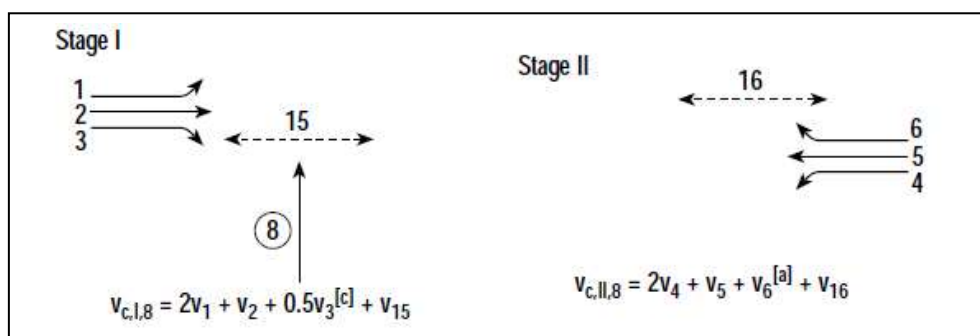
Metoda HCM predvideva Poissonovovo porazdelitev prihodov ter konstantne kritične razmake in čase sledenja. Omogoča analizo periode kratkih konic. V prejšnjem poglavju smo razpravljali o teoretičnih osnovah HCM, v nadaljevanju pa je opisan postopek.

Vsak prometni tok v križišču ima določeno število konfliktnih tokov. To so točke, kjer se prometni tokovi vozil križajo (slika 2). Za določitev konfliktnega toka moramo sešteti vse ostale prometne tokove, s katerim se obravnavani prometni tok križa. Pešci, ki prečkajo glavno prometno smer se po metodi HCM upošteva v rang 2; pešci ki pa prečkajo stransko prometno smer pa v rang 1. Kot primer je spodaj prikazano (slika 7) za leve zavijalce na glavni prometni smeri, kjer računamo konfliktni prometni tok 1.



Slika 7: Konfliktni tok 1 v križišču glavne in stranske smeri (HCM 2000)

Kadar se konfliktni tok seka iz obeh smeri, to je iz leve in desne, se ga izračuna v dveh fazah, to je vsako fazo posebej. Da bi dobili skupni konfliktni tok, obe fazi seštejemo. Na sliki 8 sta podani obe fazi za primer konfliktnega toka 8.



Slika 8: Konfliktni tok 8 v križišču glavne in stranske smeri. v fazi I so upoštevani tokovi iz leve smeri, v fazi II pa iz desne (HCM 2000)

Vsi preostali konfliktni tokovi v križišču glavne in stranske smeri so podrobneje opisani v HCM pod poglavjem 17 na strani 17-6.

Obstaja nekaj izjem:

- pri levih zavijalcih na GPS, se nasprotnih desnih zavijalcev ne upošteva, v kolikor so ločeni z otokom,
- pri desnih zavijalcih na SPS in ko je na glavni prometni smeri več kot en pas, vrednost toka delimo s številom pasov ter ne upoštevamo desnih zavijalcev na glavni prometni smeri, če tej imajo svoj ločen pas,
- naravnost na SPS se tudi v tem primeru ne upošteva desnih zavijalcev na glavnem prometni smeri, če imajo ločen pas za desno zavijanje ali so z otokom ločeni od ostalih pasov,

- pri levih zavijalcih na SPS se ne upošteva desnih zavijalcev iz glavne prometne smeri, če imajo svoj pas ali so ločeni z otokom od ostalih pasov ter v kolikor je glavna prometna smer večpasovna, se upošteva le polovica desnega zavijalca na SPS.

V krožnih križiščih so kot glavni prometni tok upoštevana vozila, ki so že v krožišču. V večini dobro zasnovanih krožnih križiščih lahko zanemarimo izhodni prometni tok.

Osnovne vrednosti za kritične razmake in čase sledenja so prikazane v preglednici 3. To so osnovni časi, ki jih je potrebno kasneje še koregirati glede na prisotnost težkih vozil, prilagoditve zaradi geometrije križišča ter vpliva naklona terena, kakor je prikazano z enačbo 2.23. Osnovni časi sledenja (preglednica 4) se tudi prilagodijo glede na prisotnost težkih vozil, kakor je prikazano z enačbo 2.24.

Preglednica 3: Osnovne vrednosti za kritične razmake in čase sledenja za nesemaforizirana križišča z dvema ali štirimi pasovi, povzeto po HCM2000 (Transport Research Board 2000)

Movement	Critical gap (s)		Follow-up time (s)
	2-lane	4-lane	
Major left	4.1	4.1	2.2
Minor right	6.2	6.9	3.3
Minor through	6.5	6.5	4.0
Minor left	7.1	7.5	3.5

Za enopasovna krožna križišča HCM priporoča kritične razmake in čase sledenja, ki jih je predlagal Troutbeck (1997). Ti časi so prikazane v preglednici 4. Postopek je mogoče uporabiti, če število vozil v krožnem toku ne presega 1200 voz/h.

Preglednica 4: Kritični razmaki in časi sledenja v krožnih križiščih po metodi HCM

	Critical gap (s)	Follow-up time (s)
Upper bound	4.1	2.6
Lower bound	4.6	3.1

Kritični razmak po metodi HCM se izračuna za vsak prometni tok posebej, in sicer po slednji enačbi

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{c,T} - t_{3,LT} \quad (2.23)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- $t_{c,x}$ je kritični časovni razmak stranskega prometnega toka x [s],
- $t_{c,base}$ je osnovni kritični razmak po preglednici 3 [s],
- $t_{c,HV}$ je faktor vpliva težkih vozil,
- P_{HV} je delež težkih vozil na stranski prometni smeri,
- $t_{c,G}$ je faktor vpliva naklona terana,
- G je odstotek nagiba terena podeljen s 100,
- $t_{c,T}$ je faktor glede na fazo,
- $t_{3,LT}$ je faktor vpliva geometrije križišča.

Ravno tako se za vsako smer posebej izračuna čase sledenja po spodnji enačbi

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV} \quad (2.24)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- $t_{f,x}$ je čas sledenja stranskega prometnega toka x [s],
- $t_{f,base}$ je osnovni čas sledenja po preglednici 4 [s],
- $t_{f,HV}$ je faktor vpliva težkih vozil,
- P_{HV} je delež težkih vozil na stranski prometni smeri.

Pri izračunu kritičnega razmaka $t_{c,x}$ in časa sledenja $t_{f,x}$ so upoštevani še dodatni parametri (vpliv težkih vozil, nagib terena in drugo), zato jih ne moremo direktno primerjati z izmerjenimi vrednostmi iz magistrske naloge.

Potencialna kapaciteta se izračuna ob predpostavki Poissonove porazdelitve prometa na glavni prometni smeri. Izračuna se po enačbi 2.25 za vse prometne tokove na stranski prometni smeri ter za levega zavijalca na glavni prometni smeri. Enačba za izračun potencialne kapacitete se glasi

$$C_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{f,x}/3600}} \quad (2.25)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- $C_{p,x}$ je potencialna kapaciteta prometnega toka x [voz/h],
- $v_{c,x}$ je konfliktni tok prometnega toka x [voz/h],
- $t_{c,x}$ je kritični časovni razmak prometnega toka x [s],
- $t_{f,x}$ je čas sledenja prometnega toka x [s].

Za izračun dejanske kapacitete $C_{m,x}$ moramo upoštevati vpliv medsebojnega oviranja prometnih tokov. Do medsebojnega oviranja prometnih tokov nastaja zaradi povečanja prometa ter zaradi tega nastajajo kolone. Ovirani prometni tokovi so razdeljeni v več rangov ter se za vsakega izmed rangov določi dejansko prepustnost. Rangji so od 1 do 4. Podrobnejši izračuni dejanskih prepustnosti so opisani v HCM pod poglavjem 17 na strani 17-9.

Po metodi HCM je potrebno upoštevati tudi vpliv pešcev. Po metodologiji pešci nimajo prednosti pred tokovi na glavni prometni smeri, imajo pa prednost pred tokovi na stranskih prometnih smereh. Učinek toka pešcev se oceni s faktorjem vpliva pešcev

$$f_{pb} = \frac{(v_x) \left(\frac{w}{S_p} \right)}{3600} \quad (2.26)$$

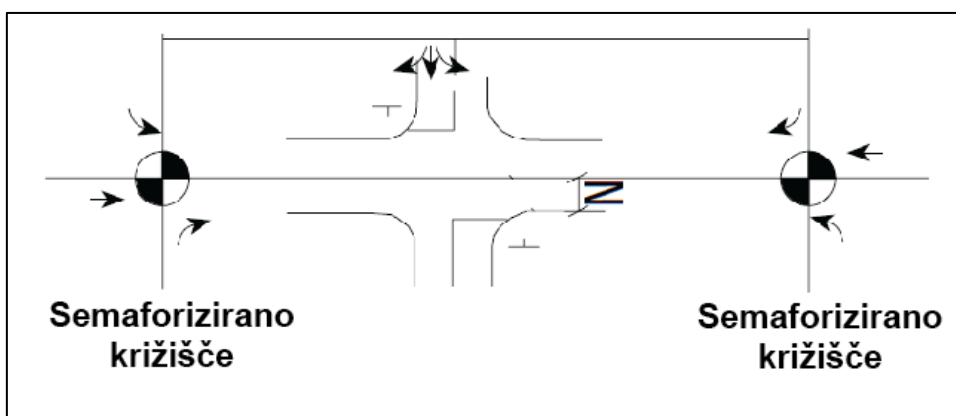
kjer posamezne količine pomenijo:

- f_{pb} je faktor vpliva pešcev,
- v_x je število pešcev,
- w je širina voznega pasu [m],
- S_p je hitros pešcev, priporočilo HCM je 1.2 m/s.

Tako z enačbo 2.25 izračunamo tudi faktor oviranja pešcev $p_{p,x} = 1 - f_{pb}$ (2.27). Ta faktor se množi s preostalimi verjetnostmi $p_{0,x}$.

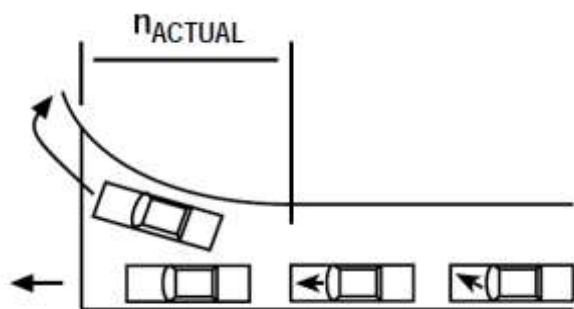
V nadaljevanju je potrebno upoštevati uporabo skupnih voznih pasov c_{SH} , ki je natančneje opisana v HCM pod poglavjem 17 na strani 17-12. Na stranski prometni smeri nima vedno vsaka smer svoj pas za zavijanje, zato je to potrebno upoštevati. Kapaciteta na skupnih voznih pasovih se zato zmanjša.

Potrebno je tudi upoštevati bližino semaforiziranih križišč (slika 9) in v kolikor je oddaljenost manjša od 0.4 km, moramo upoštevati vpliv bližine semaforiziranih križišč. Vozila namreč prečkajo semaforizirano križišče v skladu s prometno signalizacijo in pridejo na nesemaforizirano križišče v kolonah. Podrobneje je postopek opisan v HCM pod poglavjem 17 na strani 17-13.



Slika 9: Nesemaforizirano križišče med dvema semaforiziranima križiščema (HCM 2000)

Upošteva se tudi razširitev prometnega pasu na stranski pas. Zaradi prostorskih in finančnih omejitev velikokrat ni mogoče, da bi imeli za vsak prometni tok svoj pas. Velikokrat se poslužujejo razširitvam prometnih pasov, kot kaže slika 10. Podrobneje je postopek opisan v HCM pod poglavjem 17 na strani 17-21.



Slika 10: Razširitev prometnega pasu na stranski prometni smeri (HCM 2000)

Sledi postopek ocene dolžine kolone. Ta je pomemben vidik na nesemaforiziranih križiščih. Teoretične študije in empirična opazovanja so pokazale, da je porazdelitev verjetnosti dolžin kolone na nesemaforiziranem križišču odvisna od kapacitete križišča in obsega prometa. Izračuna se s pomočjo povprečne zamude vozila in dejanskega pretoka. Pričakovana skupna dolžina kolone je enaka pričakovanemu številu vozil v čakalni vrsti. Za izračun 95-ega percentila dolžine kolone uporabimo enačbo

$$Q_{95} \approx 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{c_{m,x}}{3600} \right) \quad (2.28)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- Q_{95} je 95 percentil dolžine kolone [voz],
- v_x je pretok gibanja prometnega toka x [voz/h],
- $c_{m,x}$ je prepustnost gibanja prometnega toka x [voz/h],
- T je časovni interval analize ($T = 0.25$ za 15 minutni interval) [h].

Naslednji korak je izračun zamud. V križiščih glavne in stranske prometne smeri nastajajo zamude zaradi upočasnjevanja, zamude zaradi čakanja v koloni, zamude pri čakanju na ustavitveni liniji in zamude zaradi pospeševanja. Povprečna zamuda je, neglede na terenske raziskave, definirana kot skupni čas, ki se šteje od trenutka, ko se vozilo ustavi, do trenutka, ko vozilo zapusti zaustavitveno linijo. Povprečna zamuda je odvisna od prepustnosti in zasičenosti križišča. Analitični model, uporabljen za izračun povprečnih zamud predpostavlja,

da je povpraševanje manjše od zmogljivosti za obdobje analize. Povprečno zamudo se izračuna po sledeči enačbi

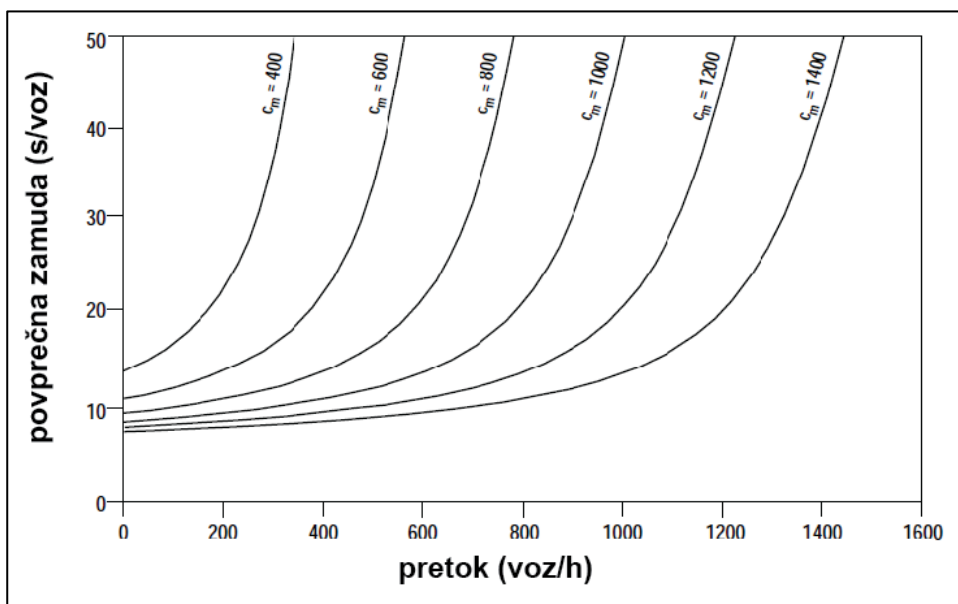
$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5 \quad (2.29)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- d je povprečna zamuda [s/voz],
- v_x je pretok gibanja prometnega toka x [voz/h],
- $c_{m,x}$ je prepustnost gibanja prometnega toka x [voz/h],
- T je časovni interval analize ($T = 0.25$ za 15 minutni interval) [h].

V enačbi 2.29 je stalna vrednost 5 s/voz vključena, saj se z njo upošteva upočasnitev vozil s hitrosti prostega pretoka na hitrost vozil v čakalni vrsti in pospeševanje vozil od zaustavitvene linije do hitrosti prostega pretoka. Ta enačba je grafično prikazana na grafikonu 7 ter razdeljena na določene prepustnosti za 15-minutno obdobje analiziranja, kot je priporočeno po HCM. Da nam ni potrebno računati kompleksne enačbe 2.29, lahko povprečno zamudo odčitamo iz grafikona 7.

Grafikon 7: Ocena povprečne zamude križišča glavne in stanske smeri (HCM 2000)



Veliko krat se v realnosti zgodi, da nastajajo zamude tudi zaradi vpliva neločenih pasov na glavni prometni smeri. Zamude zaradi skupnega pasu na glavnem prometnem rangu niso zanemarljive, saj lahko levi zavijalec iz glavne prometne smeri ali celo desni zavijalec ovira voznika, ki sicer ima prioriteto prej njimi. To ne upočasni le vozil ranga 1, vendar vsa druga vozila v križišču. Povprečno zamudo ranga 1 lahko po tem takem izračunamo po naslednji enačbi

$$d_{Rank1} = \begin{cases} \frac{(1 - p_{0,j}^*)d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N} \right)}{v_{i,1} + v_{i,2}} & N > 1 \\ (1 - p_{0,j}^*)d_{M,LT} & N = 1 \end{cases} \quad (2.30)$$

kjer posamezne količine pomenijo:

- d_{Rank1} je povprečna zamuda vozila na rangu 1,
- N je število pasov za naravnost,
- $p_{0,j}^*$ je delež neblokiranih vozil na rangu 1,
- $d_{M,LT}$ je povprečna zamuda levih zavijalcev [s/voz],
- $v_{i,1}$ je količina vozi, ki gredo naravnost [voz/h],
- $v_{i,2}$ je količina vozil, ki zavijajo desno [voz/h].

Ko izmerimo povprečne zamude, lahko po preglednici 2 določimo nivo uslug na posameznem voznem pasu, in sicer za vsak posamezni prometni tok posebej. Nivo uslug (od A do F) predstavlja kvalitativno oceno razmer v križišču. A je najvišji nivo uslug, F je najnižni nivo uslug. Nova križišča ali rekonstrukcija obstoječega križišča se projektira z elementi, ki zagotavljajo na koncu planske dobe za vse manevre naslednje nivoje uslug (povzeto po Pravilniku o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005: 3896) in je prikazano v preglednici 5.

Preglednica 5: Nivo uslug na koncu planskega obdobja za nova križišča ali rekonstrukcije križišča (Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005: 3896)

Funkcija ceste	Nivo uslug
Daljinska cesta	D
Povezovalna cesta	E
Zbirna cesta	E
Dostopna cesta	E

Iz tega sledi, da v kolikor je nesemaforizirano križišče po koncu planske dobe 20 let pod nivojem uslug prikazanih v zgornji preglednici za določeno funkcijo ceste, je potrebno na tem križišču uvesti določene ukrepe za izboljšanje prepustnosti na tistih krakih križišča, ki ne zadošča zahtevam.

Postopek za oceno nivoja uslug po HCM je v tem poglavju opisan, saj se uporablja tudi v programskem orodju SIDRA INTERSECTION ter sta kritični razmak in čas sledenja ena izmed vhodnih podatkov pri analizi nesemaforiziranih križišč po tem postopku. Dobro ocenjeni vrednosti t_c in t_f za slovenski prostor sta ključnega pomena za realno oceno nivoja uslug križišč v slovenskem prostoru.

3 METODOLOGIJA

Za izdelavo magistrske naloge je bilo najprej potrebno preučitev teoretična izhodišča, katera so opisana v prejšnjem poglavju. Ugotovljeno je bilo, da sta glavna parametra modelov sprejemljivega razmaka kritični razmak t_c in čas sledenja t_f . Ta dva parametra sta ocenjena po HCM na velikem vzorcu v prostoru ZDA (preglednica 3 in 4). Pri dimenzioniranju nesemaforiziranih križišč v Sloveniji, se po Pravilniku o projektiranju cest (Ur.l. RS, št. 91/2005, Ur.l. RS, št. 26/2006, 109/2010-ZCes-1) uporablja prav metodo HCM in s tem privzete vrednosti t_c in t_f za nesemaforizirana križišča in krožna križišča.

V tem poglavju je opisana metodologija za pridobitev vrednosti kritičnega razmaka t_c ter časa sledenja t_f v slovenskem prostoru za vsak manever v križišču. Ti časi so t_c za levega zavijalca na GPS ($t_{c_GPS_levo}$), t_c za levega zavijalca na SPS ($t_{c_SPS_levo}$), t_c za vozila, ki prečkajo GPS ($t_{c_SPS_ravno}$) ter t_c za desnega zavijalca na SPS ($t_{c_SPS_desno}$). Prav tako so za vsak manever ocenjeni tudi časi sledenja t_f . Za krožna križišča imamo kritični razmak $t_{c_krožno}$ ter čas sledenja $t_{f_krožno}$.

Najprej je potrebno oceniti smiselno število različnih nesemaforiziranih in krožnih križišč za raziskavo. Smiselno se je zgledovati po podobni literaturi, v kateri so se v preteklosti ukvarjali z oceno parametrov modelov sprejemljivega razmaka. Zaradi velike demografske raznolikosti Slovenije se je potrebno odločiti, katera križišča v različnih statističnih regijah se vključijo v raziskavo. Le tako lahko dobimo reprezentativne vzorce in na koncu nepristranski rezultat za slovenski prostor.

Potrebno je izbrati metodo, s katero pridemo do želenih rezultatov. V preteklosti je bilo narejenih veliko podobnih raziskav s snemanjem določenega križišča z video kamero. Po podobnem postopku sta tudi bili narejeni raziskavi v sklopu zaključnih del na UL FGG leta 2003 (Logar, D. 2003. Določitev kritičnih razmakov za ovirane prometne tokove na nesemaforiziranem križišču) in leta 2006 (Logar, D. 2006. Določitev parametrov kritičnega razmaka za ovirane prometne tokove na krožnem križišču). Ko so bili posnetki narejeni, se je lahko pričela njihova vizualna analiza, ki je bila dolgotrajna. Iz videoposnetka se je ročno merilo čase. Ker je bil postopek ročno izpeljan so se najverjetneje pojavljale napake, ki so posledica človeškega faktorja. Ker smo v obdobju računalniške tehnologije se lahko odločimo za bolj moderen pristop. V pomoč nam je orodje češkega podjetja RCE systems s.r.o. ter njihov produkt za analizo prometa v oblaku DataFromSky TrafficSurvey, s katerim se pridobi za vsa vozila zavrnejše ter sprejete časovne razmake. Kadar je v križišče spelje več vozil hkrati, programsko orodje zabeleži tudi čase sledenja. Več o produktu DataFromSky TrafficSurvey in programskem orodju DataFromSky Viewer je opisano v naslednjih poglavjih. Program

omogoča priročen izvoz analiziranih podatkov v obliki, s katero lahko operiramo v računalniškem programu MS Excel.

V računalniškem programu MS Excel je potrebno surove podatke filtrirati tako, da so uporabni za našo raziskavo. Po metodi z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja (Wu 2012) se vhodne podatke filtrira tako, da za vsako vozilo dobimo vse zavrnjene in sprejete časovne razmake. Z razliko od metode največjega verjetja, se upošteva tudi podatke, ko je največji zavrnjeni razmak večji od sprejetega razmaka. S programskim orodju MS Excel se oceni kritične razmake za vsak manever posebej. Za izračun časa sledenja za vsak posamezni manever se v MS Excel izračuna povprečna vrednost dobljenih podatkov.

Z računalniškim analitičnim orodjem SIDRA INTERSECTION 9.0 primerjamo parametre t_c in t_f privzetih kapacitetnih modelov programa in izmerjenih parametrov magistrske naloge. Primerjava je narejena za eno štirikrako nesemaforizirano in eno krožno križišče. Prikazani so tudi rezultati kapacitetnih analiz.

Z izdelavo magistrske naloge pridemo do določenih zaključkov, ki so opisani v zadnjem poglavju. Na koncu je razprava in diskusija o naslednjih korakih v prihodnosti.

3.1 Lokalno zbiranje podatkov za oceno t_c in t_f

Vhodni podatki za analizo zavrnjenih in sprejetih časovnih razmakov ter časov sledenja so posnetki iz štetja prometa, ki nam jih je v namene raziskave posredovalo podjetje PNZ svetovanje projektiranje d.o.o. Posneti so bili s tehnologijo Miovision po celotni Sloveniji med leti 2016 in 2020. Najprej je potrebno analizirati podobno literaturo, v kateri so se ukvarjali z oceno t_c in t_f ter ugotoviti vzorec, ki so ga pri tem uporabili. Potrebno je poudariti, da je analiza najbolj smiselna v koničnih urah, saj dobimo v nasičenih pogojih več uporabnih podatkov. Pri različnih pridobljenih člankih so se različno lotili reprezentativnega vzorca. V nadaljevanju so omenjeni tri članke po katerih ocenimo količino posnetkov, ki jih potrebujemo za izdelavo naloge in izbiro reprezentativnega vzorca za slovenski prostor:

- v članku Estimating Critical Gap - A Comparison of Methodologies Using a Robust, Real-World Data Set (Tupper idr. 2013), ki so ga tudi sami poimenovali obsežna terenska študija in je sodelovalo več ljudi, so za namene raziskave analizirali 60 križišč, kjer je 2.767 voznikov generiralo 22.639 časovnih razmakov. Podatki so bili zbrani v koničnih urah za obdobje enega leta,
- v članku Estimation of gap acceptance parameters for HCM 2010 roundabout capacity model applications (Gazzarri idr. 2012) so obravnavali sedem krožnih križišč. V center krožnih križišč so postavili kamere. Med tednom so snemali med koničnimi urami. Tako so dobili veliko število nesprejetih in sprejetih časovnih razmakov. Lokacije so bile izbrane na podlagi geometrije krožnega križišča (enopasovna, večpasovna) ter na

podlagi rabe prostora, kjer se krožno križišče nahaja (stanovanjska, poslovna, industrijska), z namenom, da bi vzorec vseboval različne vrste voznikov,

- v diplomski nalogi Določitev parametrov kritičnega razmaka za ovirane prometne tokove na krožnem križišču (Logar 2006) so izbrali eno krožno križišče. Posneto je bilo v štirih dneh v koničnih urah. Tako so so dobili približno 8 ur uporabnega materiala. To ni osamljen primer, našli smo več člankov, kjer so obravnavali po samo eno krožno križišče za oceno parametrov t_c in t_f .

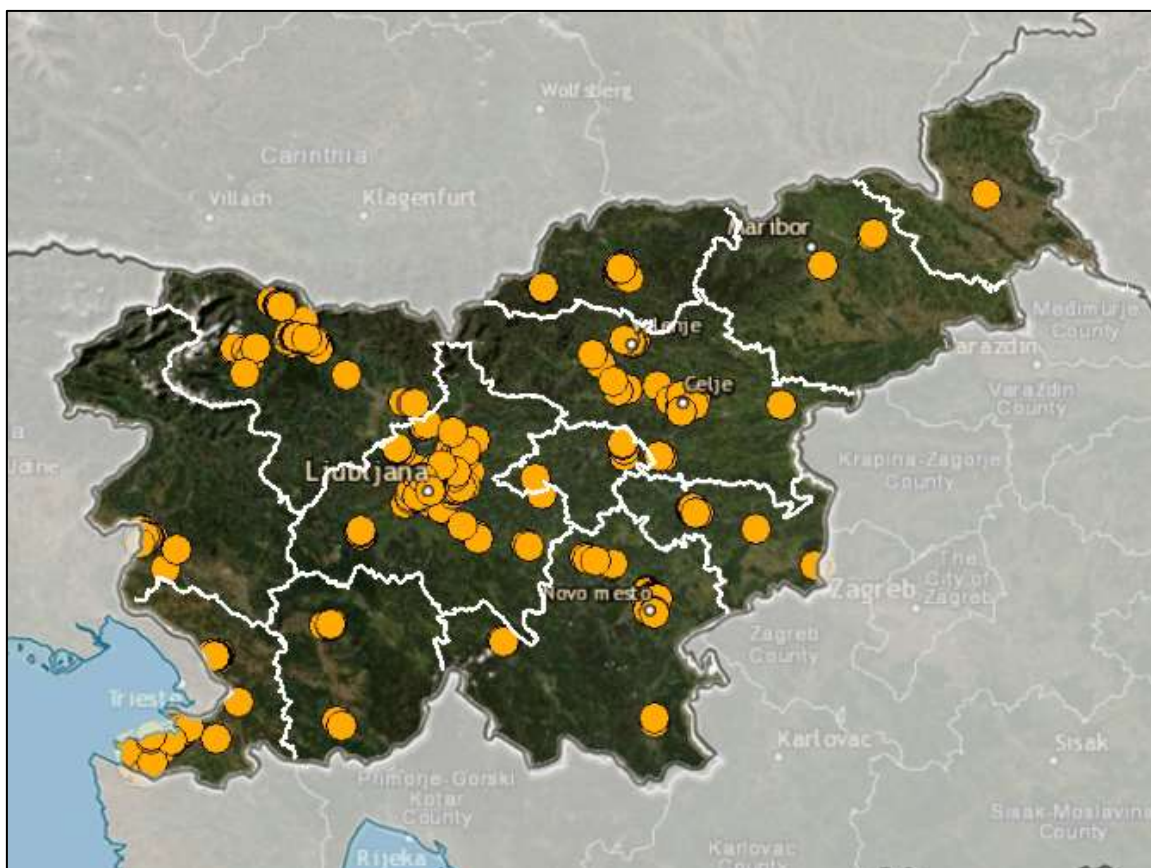
Slovenija je razdeljena na dvanajst statističnih regij (slika 11). Za namen magistrskega dela želimo narediti podobno obsežno terensko študijo, kakor v članku Estimating Critical Gap - A Comparison of Methodologies Using a Robust, Real-World Data Set (Tupper idr. 2013). Odločili smo se pridobiti za vsako statistično regijo določeno število video posnetkov za nesemaforizirana in krožna križišča.



Slika 11: Statistične regije Slovenije

https://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Statisti%C4%8Dne_regije_Slovenije_2016.png (Pridobljeno 22.11.2020.)

Prikaz vseh števnih mest, ki jih je posnelo podjetje PNZ svetovanje projektiranje d.o.o., je na sliki 12.

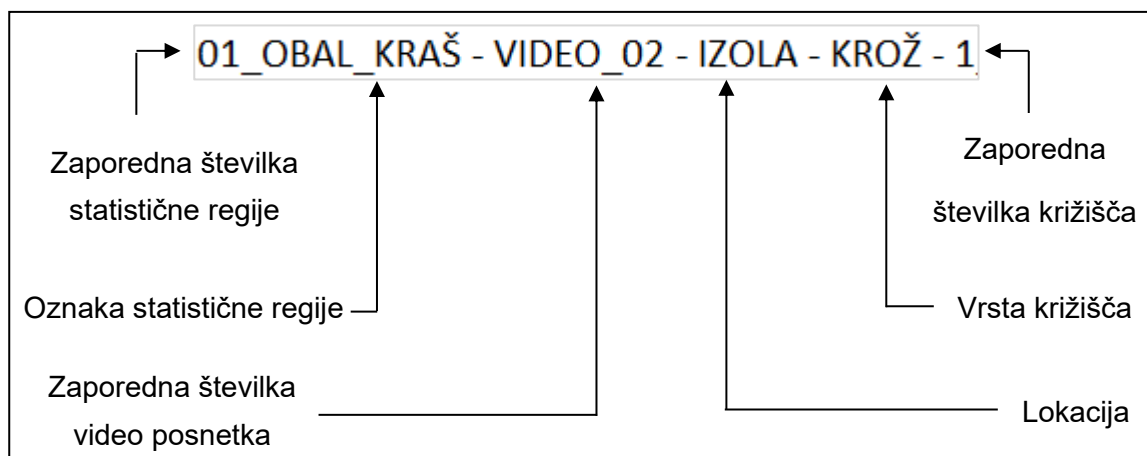


Slika 12: Prikaz vseh posnetih števnih mest po statističnih regijah

Da je vzorec čim bolj reprezentativen je najbolje analizirati posnetke po vseh statističnih regijah Slovenije (v kolikor so na voljo posnetki). Ker smo v središču različnih kultur (neposredna bližina sosednjih držav), lahko predpostavimo, da se vozniki po regijah obnašajo različno. V primeru, da se iz vsake regije analizira določeno število križišč, dobimo dobre podatke za nadaljne analize. Skupek teh podatkov iz križišč po posameznih statističnih regijah nam da dober reprezentativni vzorec za določitev kritičnih razmakov in časov sledenja v slovenskem prostoru.

3.1.1 Oznake video posnetkov

Križišča, kjer je bilo izvedeno štetja prometa, so najprej razdeljena na statistične regije. Nato so po vsaki statistični regiji oštevilčeni video posnetki. Video posnetki so razdeljeni po lokaciji (mesto, kjer se nahaja križišče). Slednja razvrstitev je na nesemaforizirana in krožna križišča. Na zadnje so še oštevilčena z 1, v kolikor je samo eno križišče istega tipa v istem mestu in od 2 naprej, v kolikor jih je več. Primer oznak baze podatkov križišč za analizo je prikazan na sliki 13.



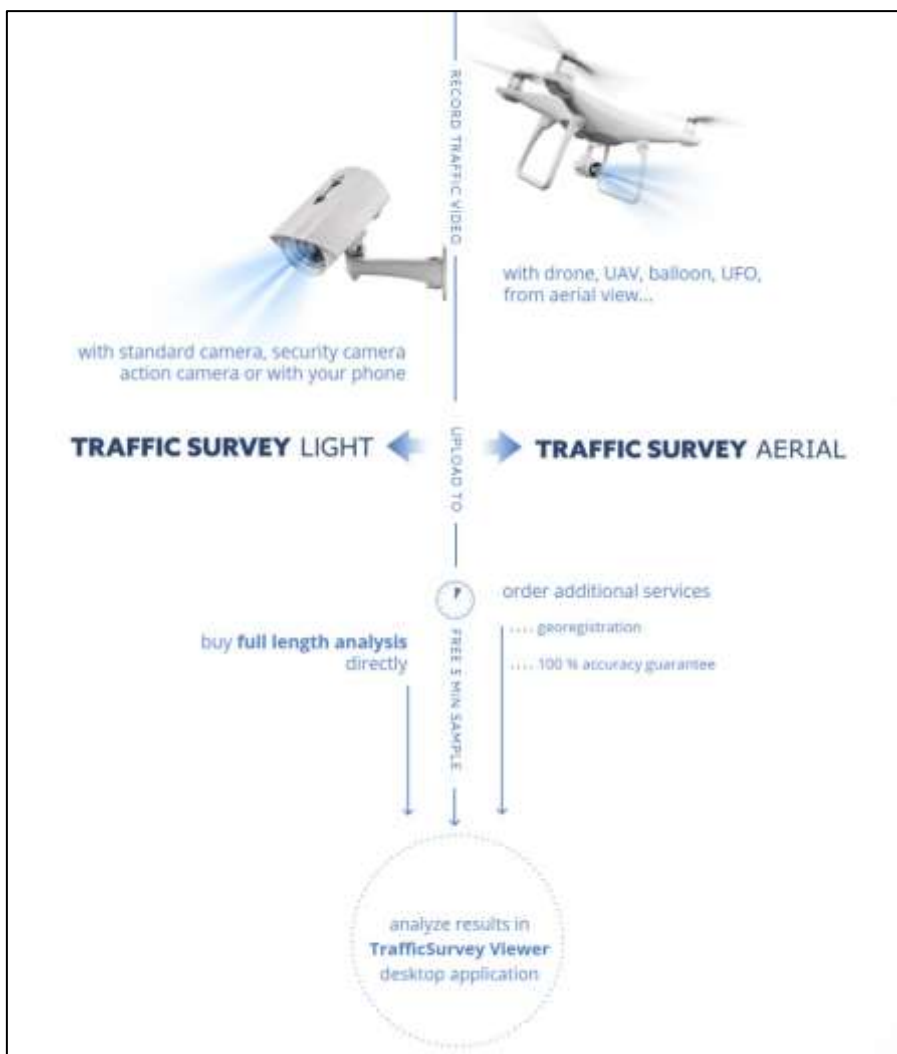
Slika 13: Primer oznake analiziranega križišča

Celoten seznam analiziranih križišč je podanih v Prilogi A. Poleg oznake najdemo tudi koordinate križišča. Navedena sta tudi datum in začetek snemanja video posnetka. V zadnjem stolpcu je navedena dolžina posnetka v minutah.

Obsežna raziskava kritičnih časov t_c in časov sledenja t_f za nesemaforizirana in krožna križišča je narejena v sklopu magistrske naloge, v nadaljevanju *FGG-PTI-2020*. Za to raziskavo je izbranih 54 križišč po različnih statističnih regijah v Sloveniji in po različnih tipih križišč, od tega jih je 34 nesemaforiziranih križišč in 20 krožnih križišč. Skupna dolžina vseh posnetkov je 190 ur, 6 minut in 38 sekund. Za analizo nesemaforiziranih križišč imamo 126 ur, 39 minut in 38 sekund video posnetkov. Za analizo krožnih križišč imamo 63 ur, 27 minut in 0 sekund video posnetkov.

3.2 Programski paket za analizo prometa DataFromSky TrafficSurvey

DataFromSky TrafficSurvey je popolnoma avtomatiziran sistem za analizo prometnih video posnetkov. Lahko se uporablja za vse vrste križišč, krožnih križišč, vse vrste cest in prehodov ter za vse vrste posnetkov kamer v različnih vremenskih razmerah in delom dneva (dan/noč). Omogoča lokalizacijo vozil z najmanj 95% natančnostjo. Kombinacija umetne inteligence in tehnološko dovršene obdelave slik so naprednejše od tradicionalnih metod zbiranja in analiz podatkov v cestnem prometu. Programski paket prinaša številne nove možnosti na področju analize prometa, kot so določitev hitrosti, gostote, pretokov, varnostne razdalje, pospeškov, pojemkov, razmakov in drugo. Analizirane podatke v oblaku DataFromSky lahko nato brez povezave kadarkoli obdelujemo v računalniškem programu DataFromSky Viewer. Z uporabniku prijaznim vmesnikom lahko podatke analiziramo do vsake milisekunde ter lahko le-te kadarkoli prikažemo na izvornem videu.



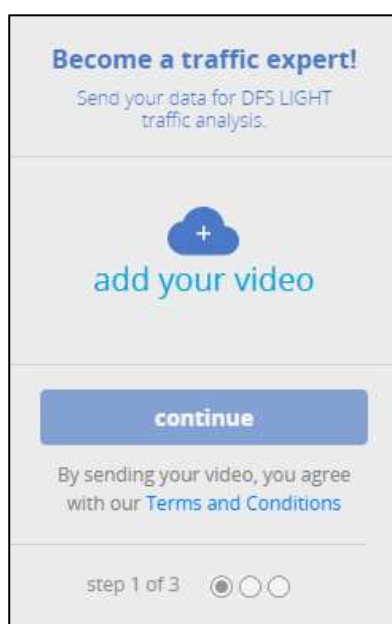
Slika 14: Grafični prikaz poteka dela s programskim paketom DataFromSky TrafficSurvey <https://datafromsky.com/trafficsurvey/> (Pridobljeno 22.11.2020.)

3.2.1 DataFromSky TrafficSurvey

Programsko orodje v oblaku DataFromSky Traffic survey je namenjen prvemu koraku v analizi prometa. Gre za storitev, ki jo ponujajo v oblaku ter se deli na dve skupini (slika 14):

- **TrafficSurvey LIGHT**, je storitev za analizo podatkov s kamer na nižji višini (stalne ali začasne prometne kamere, zrakoplovi pod višino 50 m) za standardne raziskave prometa, ki zagotavljajo štetje prometa in klasifikacijo objektov, matriko potovanj O-D, prepoznavanje registrskih tablic, analiza t_c in t_f ,
- **TrafficSurvey AERIAL**, je najsodobnejša in popolnoma avtomatizirana storitev za video analizo iz ptičje perspektive (droni in baloni nad višino 50 m) za pridobivanje izjemno natančnih časovno-prostorskih podatkov, kot so hitrost, pospešek, analiza t_c in t_f , analiza varnosti ter še druge analize.

Za namene naše raziskave uporabimo storitev TrafficSurvey LIGHT, saj so pridobljeni video posnetki iz začasnih kamer na križiščih po Sloveniji. Resolucija video posnetkov je 720p. Prednost pristopa je ta, da se analiza videa vrši na njihovih super računalnikih ter si končno analizo le prenesemo na svoj računalnik. To pomeni da nimamo potrebe po najsodobnejši računalniški strojni opreми. Ko imamo prenešen izvorni format, lahko na njem opravljamo vse analize, ki jih omogoča programsko orodje DataFromSky Viewer. Najprej je potrebno ustvariti nov uporabniški račun (podobno kot večina spletnih aplikacij in storitev v oblaku). Enostaven postopek na spletni strani nas vodi preko nalaganja željene video datoteke (slika 15).



Slika 15: Okence za nalaganje video datoteke
<https://ai.datafromsky.com/light/tasks> (Pridobljeno 22.11.2020.)

DataFromSky Light lahko obdeluje podatke iz katerega koli video posnetka narejenega z ročno kamero ali iz obstoječe video infrastrukture. Za najboljše rezultate analize prometa priporočajo naslednje vhodne parametre video posnetkov:

- **priporočljiva ločljivost:** HD (1080p) video ali več,
- **bitna hitrost:** 5 Mb/s ali več,
- **hitrost slik:** 25 slik/s ali več,
- **min. velikost vozila:** 32 slikovnih pik za vsako dimenzijo,
- **video brez prekinitev,**
- **video brez premikanja kamere v času snemanja.**

Priporočajo tudi konfiguracije postavitve kamere in značilnosti optike, ki je najbolj primerna za analizo DataFromSky LIGHT:

- **višina kamere:** 10 m ali več,
- **optika in vidno polje:** 90°,
- **kot gledanja, ki ga ima kamera pri tleh:** 45°.



Slika 16: Primeri idealnih postavitev kamer za uporabo TrafficSurvey LIGHT
<https://medium.com/datafromsky-light/how-to-record-the-video-for-dfs-light-3282ab55662> (Pridobljeno 22.11.2020.)

Ko je video datoteka naložena lahko pod zavihkom Tasks najdemo opravljene in analize, ki se obdelujejo na njihovih strežnikih (slika 17) ter si prenesemo željene analize, ki so v izvornem formatu .tlgx oziroma po angleško format Compressed Tracking Log.

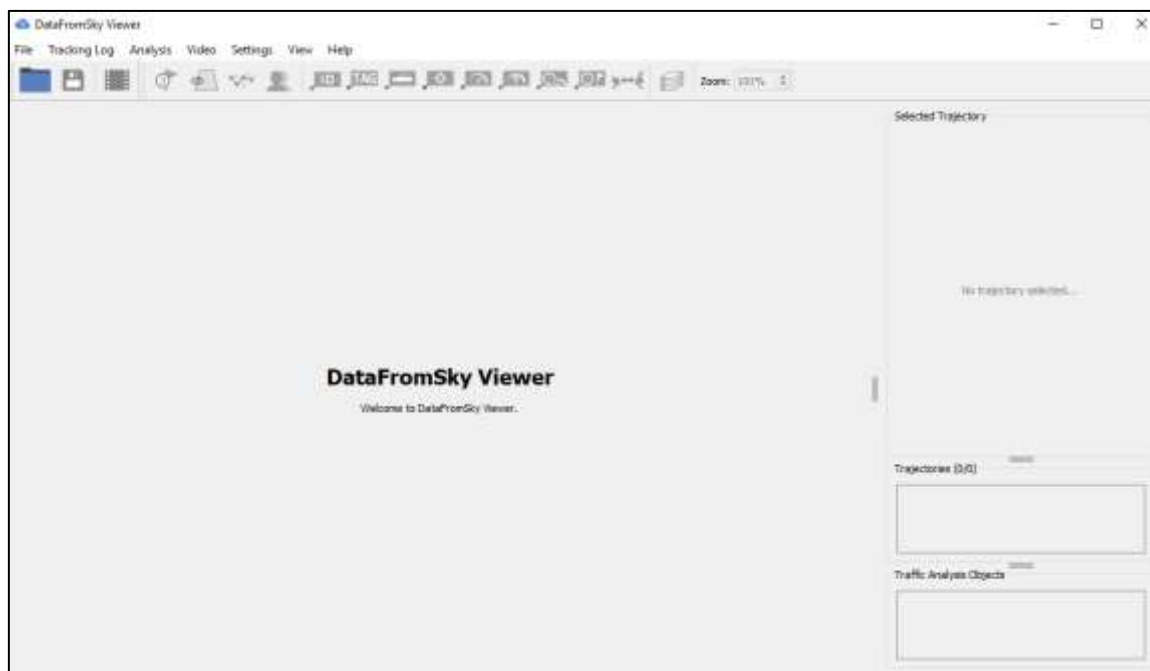


Slika 17: Primer analize v zavihku Tasks, pripravljen za prenos; na sliki je analiza krožnega križišča v Velenju <https://ai.datafromsky.com/light/tasks> (Pridobljeno 22.12.2020.)

3.2.2 Programsko orodje DataFromSky Viewer

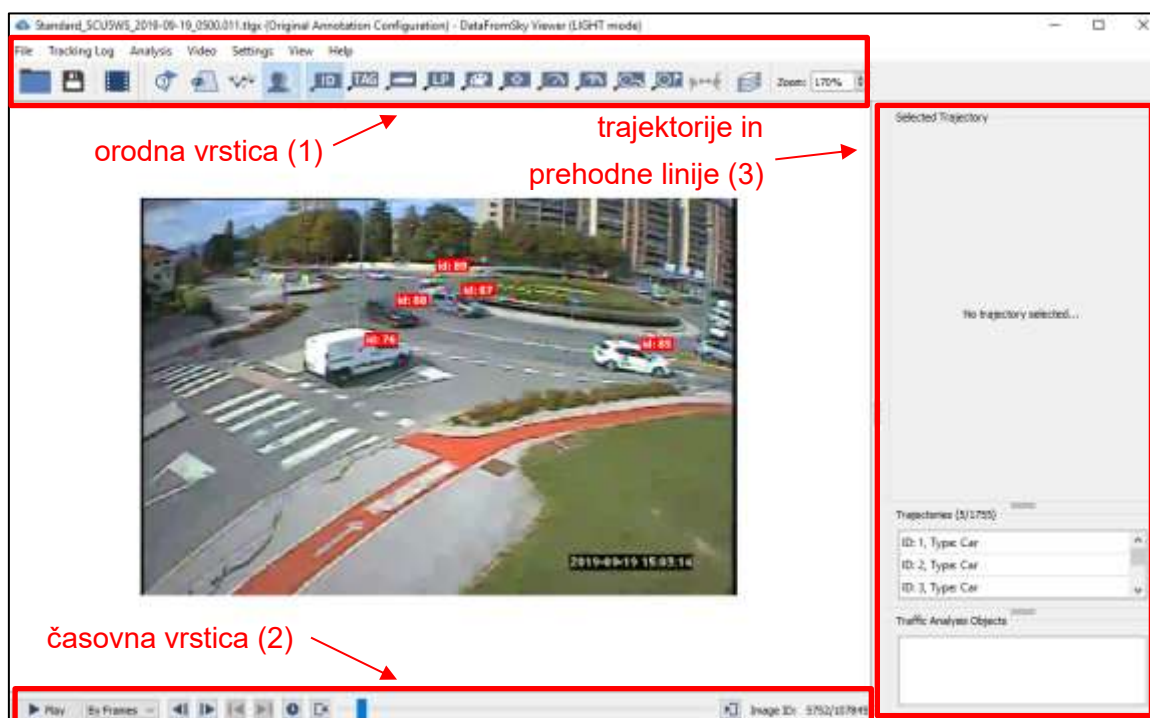
DataFromsky Viewer je, z razliko od TrafficSurvey (LIGHT ali AERIAL), računalniški program nameščen na trdem disku računalnika. Prebira izvorni format .tlgx ter različne formate video posnetkov (kot so na primer formati .avi, .mp4 in drugi široko uporabljeni formati).

Compressed Tracking Log ali skrajšano Tracking Log format predstavlja podatkovni paket, ki vsebuje informacije analize prometa in zaznanih trajektorij objektov (vozila različnih klasifikacij, kolesarji, pešci). Vsaka datoteka .tlgx je tesno povezana z datoteko video analize, saj datoteka sama ne vsebuje slikovnih podatkov. V kolikor si želimo ogledati ali urejati datoteko v programu DataFromSky Viewer, moramo uvoziti tudi izvirno video datoteko.



Slika 18: Začetni zaslon računalniškega programa DataFromSky Viewer

Ko s programom odpremo Tracking Log datoteko, spojeno z video posnetkom križišča, se glavno območje programa preklopi v tako imenovano Scene View, ki je prikazan na sliki 19. V tem pogledu že opazimo identifikacijske številke (ID.) vozil.



Slika 19: Scene View v DataFromSky Viewer

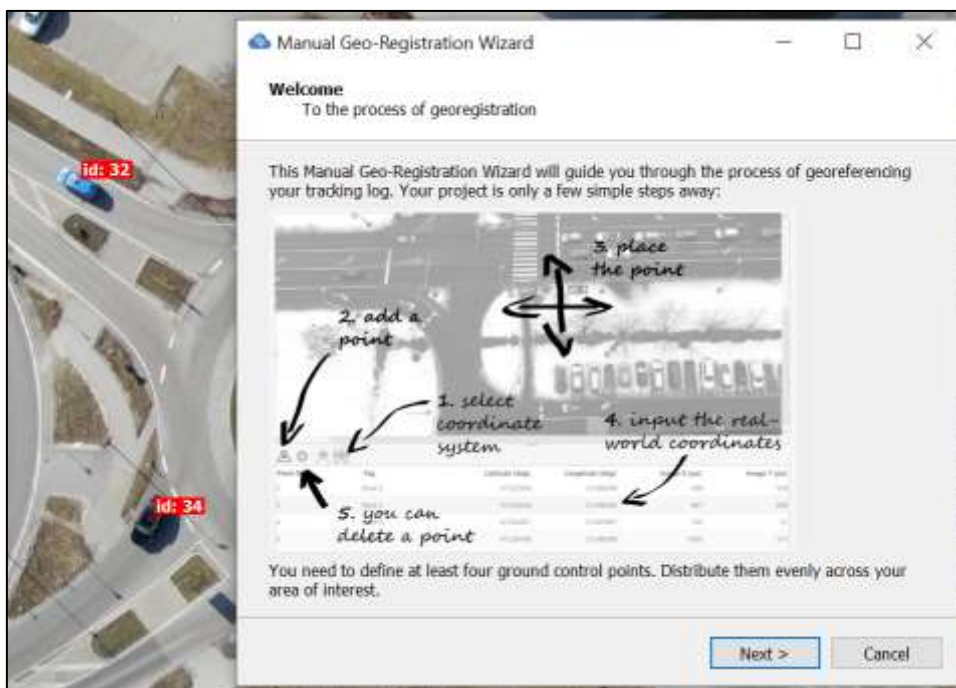
Glavni deli Scene View so (slika 19):

- **orodna vrstica (1)**, kjer odpremo datoteko, shranimo, renderiramo, opravljamo z različnimi pogledi na videu (identifikacijske oznake vozila, vrsta vozila, barva vozila, trenutna hitrost, trenutni pospešek ali pojemek vozila in drugo) ali uravnavamo povečavo videa,
- **časovna vrstica (2)**, kjer je na dnu programskega okna drsnik, podoben predvajalniku (izbiramo tudi med hitrostjo predvajanja, gumb za skok naprej, skok nazaj in drugo),
- **trajektorije in prehodne linije (3)**, ki vsebujejo seznam vseh zaporednih trajektorij sledenim vozilom (več o trajektorijah je opisano v nadaljevanju) ter seznam prehodnih linij (več o prehodnih linijah je napisano v nadaljevanju).

3.2.2.1 Georegistracija

V kolikor želimo analizirati ali izvoziti dolžine v metrih, hitrost in pospešek predmetov v km/h oziroma m/s^2 moramo opraviti postopek georegistracije. Postopek georegistracije je potrebno storiti tudi za analize časovnih razmakov in časov sledenja, kakor tudi za druge analize, ki jih omogoča programsko orodje. Georegistracijo je mogoče narediti za DataFromSky Light in DataFromSky Aerial. Video posnetki s kamerami, postavljenim relativno nizko, niso najbolj primerni za pridobivanje natančnih podatkov o hitrosti ali razdalji, zato je priporočljivo, da je kamera postavljena čim višje.

Georegistracijo nastavimo tako, da v orodni vrstici kliknemo pod Tracking Log - Manual Geo-Registration. Odpre se nam novo okno, ki nas vozi čez postopek georegistracije (slika 20).



Slika 20: Postopek georegistracije s programskim orodjem DataFromSky Viewer
<https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it> (Pridobljeno 26.11.2020.)

Najprej moramo izbrati regijo, za katero želimo analizirati video posnetek. Z modrim poligonom označimo območje, kjer bomo sledili vozilom (slika 21).



Slika 21: Postopek georegistracije
<https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it> (Pridobljeno 26.11.2020.)

Za pravilno nastavitve georegistracije moramo nastaviti vsaj 4 referenčne točke, te lahko vstavimo koordinatnem sistemu UTM ali WGS-84. Točke naj bodo postavljene v bližini , kjer se pričakujejo vozila.

Koordinate križišča lahko pridobimo iz zemljevida ali iz lastnih meritev na sami lokaciji. Uporaba mobilnih telefonov ali običajnih ročnih GPS naprav ni dovolj natančna. Boljša opcija je pridobivanje koordinat iz zemljevidov, kot so na primer Google Maps. Najbolje je, da točke postavimo na dobro vidne elemente v križišču, kot so prometne oznake na cestišču, prometni znaki, meje cest in podobno. Vstavljene vrednosti za sistem WGS-84 je prikazano na sliki 22.



Slika 22: Vstavljene vrednosti za sistem WGS-84

<https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it> (Pridobljeno 26.11.2020.)

Ko potrdimo vrednosti vstavljenih točk, se prikaže novo okno z vrednostmi odstopanj in koregirano perspektivo glede na postavitev kamere. Te vrednosti naj bodo čim nižje. V kolikor je odstopanje preveliko se okence, kjer je zapisano odstopanje obarva rdeče barve.



Slika 23: Vrednosti odstopanj vstavljenih koordinat križišča

<https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3526089-why-georegistration-and-how-to-set-it> (Pridobljeno 26.11.2020.)

Nato potrdimo s klikom na gumb Finish. Od tega koraka dalje so nam na voljo podatki o hitrosti in pospešku v km/h oziroma m/s^2 , vključno z drugimi povezanimi funkcijami, kot so za nas relevantna analiza zavrženih in sprejetih časovnih razmakov in časov sledenja.

3.2.2.2 Trajektorije

Trajektorna linija predstavlja pot sledenega objekta (vozila, kolesa ali pešca) in je dvobarvna. Zelena barva predstavlja že prevoženi del trajektorije, medtem ko modra barva pa del poti, ki jo bo vozilo še prevozilo (slika 24).



Slika 24: Primer trajektorije zaporednega vozila id: 76 v določenem času video posnetka

Selected Trajectory			
Track ID:	76		
Track Tag:	Van 76		
Vehicle Type:	Van		
Vehicle Colour:	White		
Licence Plate:	Undefined		
Current Speed:	10.41	km/h	
Tangential Acceleration:	1.76	ms ⁻²	
Lateral Acceleration:	0.52	ms ⁻²	
Total Acceleration:	1.84	ms ⁻²	
Avg. Speed in Crossroad:	-	km/h	
Time in Crossroad:	-	[s]	
First Image ID:	5090	Go To!	
Last Image ID:	5984	Go To!	
Entry Gate ID:	-		
Exit Gate ID:	9		
Movement Dynamics:	-	Show	

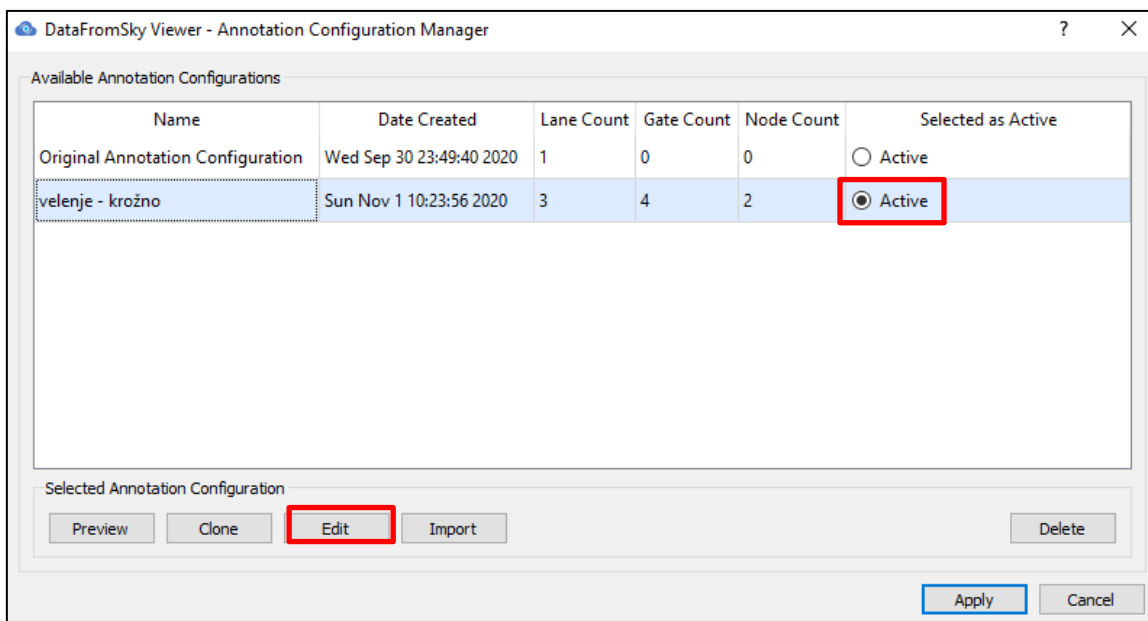
Slika 25: Pregled trajektorije določenega objekta v določenem času video posnetka

Ko označimo določeno trajektorijo (v našem primeru id: 76) se na seznamu izbranih trajektorij prikažejo naslednje informacije (slika 25):

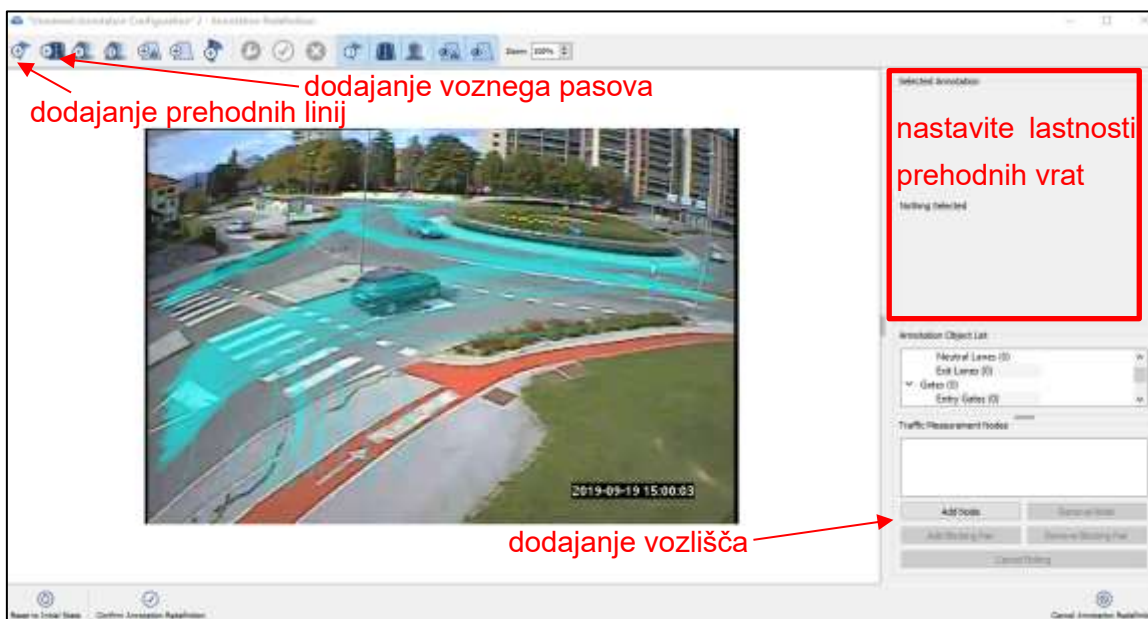
- **Track ID** je enolična identifikacijska številka posameznega objekta,
- **Vehicle Type** je razvrstitev objektov po kategoriji, loči pa med 7 različnih kategorij (avto, srednje vozilo, težko vozilo, avtobus, motocikel, kolo, pešec in nedoločeno),
- **Vehicle Colour** je ocenjena barva vozila,
- **Current Speed** je trenutna hitrost objekta,
- **Tangential Acceleration** je tangencialni pospešek,
- **Lateral Acceleration** je bočni pospešek,
- **Total Acceleration** je absolutna velikost vektorja pospeševanja,
- **Average Speed in Crossroad** je povprečna hitrost vozila v območju križišča (med vstopno in izstopno linijo za analizo prometa),
- **Time in crossroad** je čas, ki ga je vozilo preživelo v križišču (med vstopno in izstopno linijo za analizo prometa),
- **First image ID** je začetni indeks slike od kadar se objekt sledi,
- **Last image ID** je končni indeks slike od kadar se objekt sledi,
- **Entry gate ID** je enolična identifikacijska številka vstopne linije, ki jih je vozilo prečkalo ob vstopu v križišče,
- **Exit gate ID** je enolična identifikacijska številka izstopne linije, ki jih je vozilo prečkalo ob izstopu v križišče,
- **Movement dynamics** je prikaz grafa hitrosti in pospeška za vsak željeni objekt.

3.2.3 Konfiguracija križišča za analizo

Okence za konfiguracijo križišča najdemo v opravilni vrstici pod Tracking Log - Manage annotation configuration. Odpre se nam novo okno (slika 26). Tu vstvarimo nove ali urejamo že predčasno urejene situacije. V našem primeru za pridobitev kritičnih razmakov in časov sledenja lahko nastavimo za analizo vsakega želenega manevra svojo situacijo. Ob pritisku na gumb Edit se nam odpre novo okno (slika 27) v katerem urejamo vse potrebne elemente za analizo križišča (v našem primeru bodo to prehodne linije, vozni pasovi ter vozlišča za pridobitev časovnih razmakov in časov sledenja).



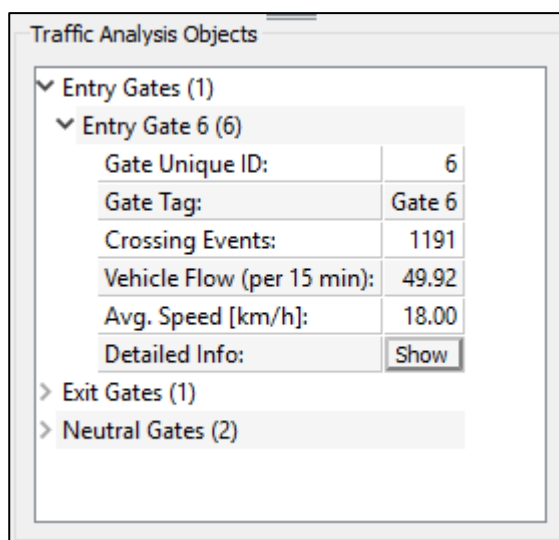
Slika 26: Okence za konfiguracijo situacij križišča v programu DataFromSky Viewer



Slika 27: Konfigurator prehodnih linij, voznih pasov ter vozlišč v programu DataFromSky Viewer

3.2.3.1 Prehodne linije

Prehodne linije so navidezne črte, ki zaznajo objekte, ki te linije prečkajo in so lahko selektivne glede na klasifikacijo objektov. Delimo jih na vstopne linije (zelene barve), izstopne linije (rdeče barve) in nevtralne linije (modre barve). Uporabljajo se za generiranje matrike potovanj Origin-Destination, izvoza podatkov o časovnih razmakih in časih sledenja in za izvoz dogodkov v datoteko CSV.

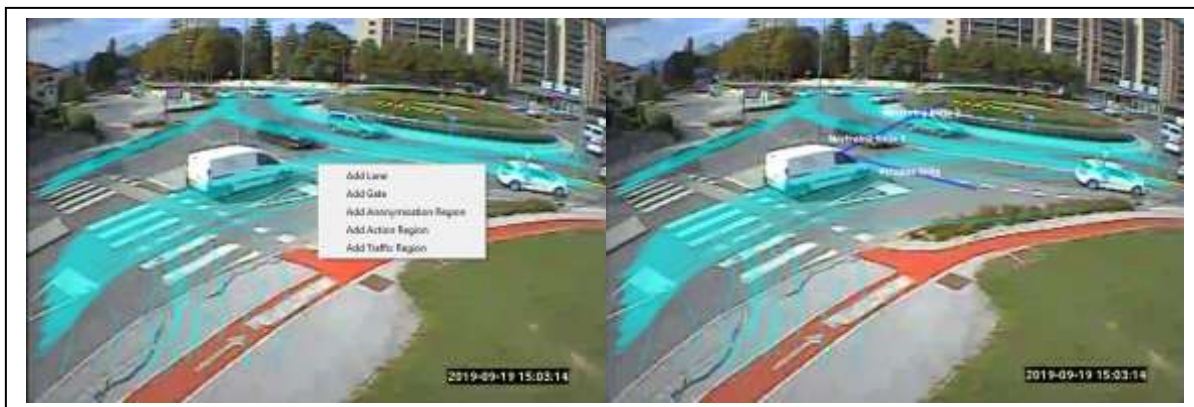


Slika 28: Pogled na prehodne linije v programu DataFromSky Viewer

Če kliknemo na prehodne linije, dobimo preglednico z vsemi povezanimi informacijami:

- **Gate Unique ID** je edinstvena oznaka prehodne linije,
- **Gate Tag** je ime prehodne linije,
- **Crossing Events** je število vozil, ki so čez celotno video analizo prečkali prehodno linijo,
- **Vehicle Flow (per 15min)** je preračunan pretok vozil za 15 minutno obdobje,
- **Avg. Speed [km/h]** je povprečna hitrost vozila, ki gre skozi prehodno linijo,
- **Detailed Info** nam da preglednico z detajlnimi informacijami o vseh objektih, ki so prečkali prehodno linijo.

Za dodajanje prehodnih linij je postopek enostaven. Prvi gumb v glavni orodni vrstici se uporablja za dodajanje prehodnih linij. Te so navidezne linije, ki jih prečkajo vozila in drugi objekti, katerih program pozna njihove trajektorije. So v obliki linije, sestavljene iz ravnih odsekov, ki jih povezujejo točke, zato za njihovo dodajanje potrebujete vsaj 2 točki.



Slika 29: Dodajanje prehodnih linij (v danem primeru za naše analize vstopna in nevtralna prehodna linija)

Nato lahko v desnem stolpcu pod Selected Annotation (slika 28) nastavimo zelene lastnosti prehodnih linij.

Selected Annotation	
Annotation Type:	Gate
Gate ID:	22
Gate Type:	Neutral
Gate Direction:	Bi-Directional
Object detection mode:	Trajectory
Object detection range:	50.00
Angular Sensitivity:	90.00 [deg]
Filter Types:	Select
Filter Colours:	Select
Tag:	Gate 22

Slika 30: Nastavitev lastnosti prehodnih linij v programu DataFromSky Viewer

Nastavitve prehodnih linij so sledeče:

- **Gate Type** je nastavitev, ali je linija vstopna, izstopna ali nevtralna,
- **Gate Direction** nastavi smer, v kateri naj prehodna linija spremlja sekajoče objekte,
- **Object detection mode** je način, s katerim bo objekt zaznan (trajektorije ali vizualno),
- **Object detection range** je zaznavanja objekta - če izberemo Visual Detector, lahko nastavimo velikost zaznavanega objekta,
- **Angular Sensitivity** je občutljivost prehodne linije v odvisnosti od kota, pod katerim objekt seka linijo,
- **Allowed Objects** so dovoljeni objekti, ki prečkajo prehodno linijo,

- **Allowed Colours** so dovoljene barve objektov, ki prečkajo prehodno linijo,
- **Tag** je polje, kjer nastavimo ime prehodne linije.

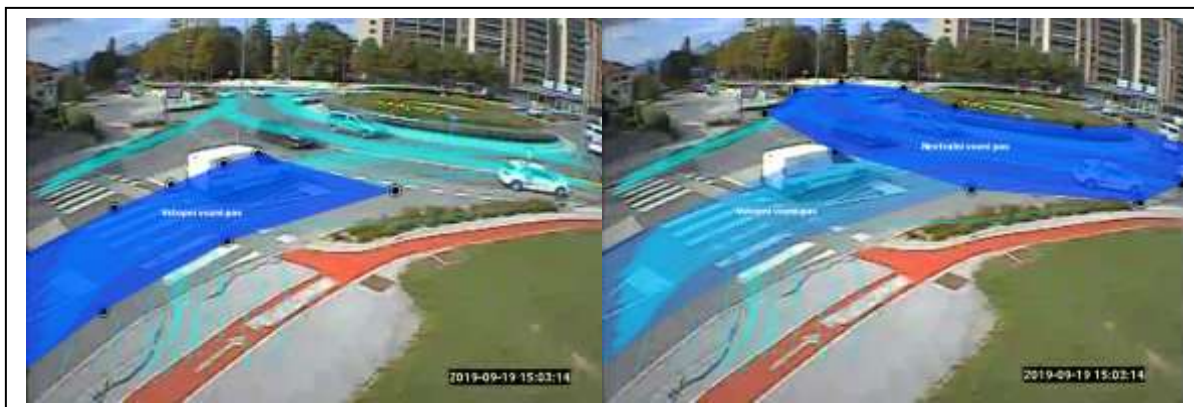
Za analizo razmakov ter časov sledenja je dovolj dodati ter nastaviti le vstopne in nevtralne prehodne linije (slika 31). Vstopno linijo (zelena barva) bo vozilo prevozilo v primeru, ko bo na trajektorijah, kjer je nevtralna linija (modra barva), dovolj velik razmak za ta maneuver. Pred tem bo voznik željeni maneuver zavrnil, saj mu bo časovni razmak t med dvema voziloma na glavni prometni smeri premajhen. Postopek sovпада s teoretičnim delom pridobitev zavrnjenih in sprejetih časovnih razmakov na nesemaforiziranih križiščih.



Slika 31: Postavitev prehodnih linij za pridobitev kritičnih razmakov in časov sledenja

3.2.4 Vozni pasovi

Vozni pasovi so območja, kjer so vozila prisotna. Poznamo vstopne pasove (zelene barve), izstopne pasove (rdeče barve) in nevtralne pasove (modre barve). Podobno kot pri prehodnih linijah je postopek dodajanja enostaven. Uporablja se drugi gumb v glavni orodni vrstici. Površine so navidezne in zabeležijo objekt, v času ko je na površini. So v obliki n-kotnika, zato je za dodajanje potrebno določiti vsaj 3 točke (smiselno je 4 ali več, saj je vozni pas največkrat pravokotne oblike).



59Slika 32:Dodajanje voznih pasov (v danem primeru za naše analize vstopni in nevtralni vozni pas)

Nato lahko v desnem stolpcu pod Selected Annotation (slika 33) nastavimo želene lastnosti voznih pasov.

Selected Annotation

Annotation Type: Lane

Lane ID: 9

Lane Type: Neutral

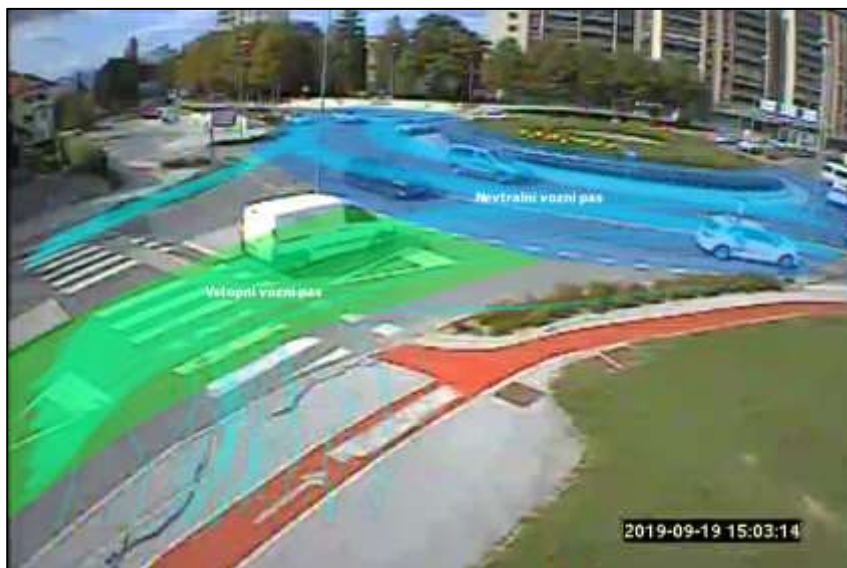
Tag: Vozni pas 1

Slika 33: Nastavitev lastnosti voznih pasov

Nastavitve voznih pasov so sledeče:

- **Lane Type** je nastavek, ali je vozni pas vstopni, izstopni ali nevtralni,
- **Tag** je polje, kjer nastavimo ime voznega pasu.

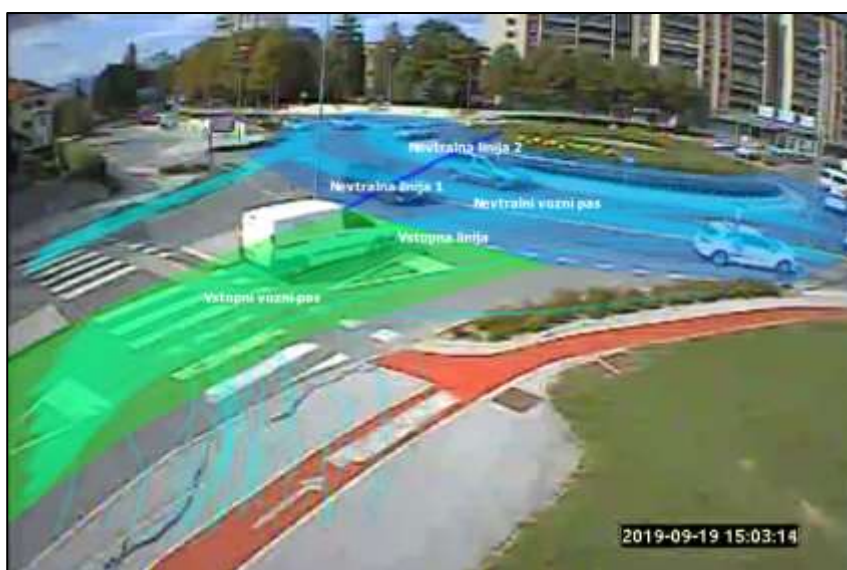
Za analizo razmakov ter časov sledenja je dovolj dodati ter nastaviti le vstopne in nevtralne pasove (slika 34). Po vstopnem pasu (zelena barva) se bo vozilo pomikalo do vstopne linije. V kolikor bo to vozilo samo eno, bo hitrost do vstopne linije različna od nič. Če bo vozil več bo nastala kolona in v nekem trenutku bo več vozil imelo hitrost enako nič. Ko bo na nevtralnem pasu (modra barva) dovolj velik razmak, bo lahko v kižišče spelje več vozil. Postopek sovпада s teoretičnim delom pridobivanja časov sledenja na nesemaforiziranih križiščih.



Slika 34: Postavitev voznih pasov za pridobitev kritičnih razmakov in časov sledenja

3.2.5 Vozlišča – postavitev za analizo časovnega razmaka in časa sledenja

Kakor smo ugotovili je za analizo časovnih razmakov in časov sledenja potrebna pravilna postavitve prehodnih linij in voznih pasov (slika 35). Vozlišča se uporabljajo za izračun podatkov za analizo t_c in t_f . Razvijalci računalniškega programa priporočajo saturirane pogoje prometa, da se na vstopnih pasovih pojavijo vozila, ki bodo tam čakala. Če ni vozil na vstopnem pasu, program ne more oceniti vrednosti t_c in t_f .



Slika 35: Primer postavitve prehodnih linij in voznih pasov za analizo časovnih razmakov in časov sledenja

Slika 36: Dodajanje vozlišča

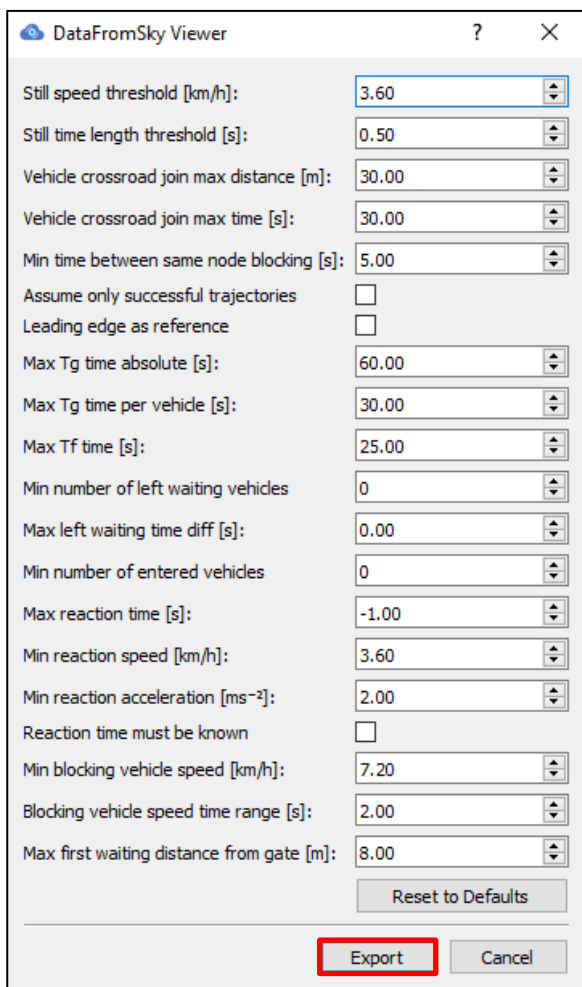
Vozlišče dodamo s klikom na gumb Add Node (slika 36). Ko želimo nastaviti vozlišča moramo imeti vsaj en čakalni par (vstopna prehodna linija in vstopni pas) ter en ali več blokirajočih parov (nevtralna prehodna linija ter nevtralni vozni pas). Vozlišče nastavimo s tema dvema paroma.

Za dotično analizo je potrebno nastaviti pod Waiting Gate ID vstopno prehodno linijo (zelena barva) na zelen krak, ter pod Blocking Gate-Lane Pairs; Gate ID nevtralne prehodne linije (modre barve), ki jih je smiselno postaviti v smeri prometnega toka, kateremu vozilo na vsopni liniji pušča prednost. Enako storimo tudi z voznimi pasovi. Vstopni vozni pas (zelene barve) nastavimo kot Waiting Gate ID in je na stranski prometni smeri, katero analiziramo. Nevtralni vozni pas pa nastavimo kot Blocking Gate-Lane Pairs; Lane ID in je na preostalemu delu križišča, katerih prometni toki blokirajo vozila na analiziranem toku.

Ko so vse nastavitve smiselno urejene, lahko preidemo na analizo časovnih razmakov in časov sledenja.

3.2.6 Izvoz podatkov – časovni razmaki in časi sledenja

Ko so vsi parametri nastavljeni, je vse pripravljeno za izvoz v datoteko .CSV. V orodni vrstici (slika 19) kliknemo pod Analysis - Export Gap-Time/Time-to-Follow Data. Odpre se nam novo okno z nastavitvami analize (slika 37).



DataFromSky Viewer

Still speed threshold [km/h]:	3.60
Still time length threshold [s]:	0.50
Vehicle crossroad join max distance [m]:	30.00
Vehicle crossroad join max time [s]:	30.00
Min time between same node blocking [s]:	5.00
Assume only successful trajectories	☐
Leading edge as reference	☐
Max Tg time absolute [s]:	60.00
Max Tg time per vehicle [s]:	30.00
Max Tf time [s]:	25.00
Min number of left waiting vehicles	0
Max left waiting time diff [s]:	0.00
Min number of entered vehicles	0
Max reaction time [s]:	-1.00
Min reaction speed [km/h]:	3.60
Min reaction acceleration [ms ⁻²]:	2.00
Reaction time must be known	☐
Min blocking vehicle speed [km/h]:	7.20
Blocking vehicle speed time range [s]:	2.00
Max first waiting distance from gate [m]:	8.00

Reset to Defaults

Export Cancel

Slika 37: Nastavitve za izvoz analize časovnih razmakov ter časov sledenja

Nastavitve lahko pustimo kot privzete vrednosti (slika 37) ali parametre sami določimo, in sicer:

- **Still speed threshold** je hitrost vozil, če se po vstopnem pasu premikajo pod to hitrostjo, se domneva, da mirujejo,
- **Still time length threshold** je čas, katerega morajo biti vozila, da se jih upošteva kot mirujoča,
- **Vehicle crossroad join max distance** je dolžina, ki se sledi prvo čakajoče vozilo ob vstopu v križišče,
- **Vehicle crossroad join max time** je čas vozila, ki sledi vozilu pred njim, ob vstopu v križišče,
- **Min time between same node blocking** je najmanjši čas med zaznavanjem ustavljenega vozila na istem vozlišču,
- **Assume only successful trajectories** je potrditveno polje s katerim se upošteva samo trajektorije, ki so v celoti prečkale križišče,
- **Leading edge as reference** je potrditveno polje s katerim, bo središče prednjega roba prehodne linije predvideno kot točka za zaznavanje prehoda linije,

- **Max Tg time absolute** je čas, nad katerim se ne upošteva dogodka sprejemanja časovnega razmaka t_c ,
- **Max Tg time per vehicle** je čas za vozilo, ki vstopi v križišče, če vstopi N čakajočih vozil, mora biti t_c manjši ali enak največjemu t_f na vozilo, pomnoženo z N ,
- **Max Tf time** je največji čas t_f , da se dogodek še upošteva,
- **Min number of left waiting vehicles** je minimalno število vozil na vstopnem pasu, da se dogodek upošteva,
- **Max left waiting time diff** je najdaljši čas med koncem čakanja zadnjega vozila in začetkom čakanja prvega čakajočega vozila,
- **Min number of entered vehicles** je najmanjše število vozil, da se dogodek upošteva,
- **Max reaction time** je najdaljši reakcijski čas za zaporedna vozila, negativna vrednost se ne upošteva,
- **Min reaction speed** je reakcijska hitrost, če hitrost vozila preseže to vrednost, se domneva, da se je reakcija zgodila,
- **Min reaction acceleration** je minimalni pospešek, če pospešek vozila preseže to vrednost, se domneva, da se je reakcija zgodila,
- **Reaction time must be known** je potrditveno polje, ki obkljukano shrani samo dogodke, ki vsebujejo reakcijske čase vozila,
- **Min blocking vehicle speed** je minimalna hitrost, da se vozilo upošteva kot ovirajoče,
- **Blocking vehicle speed time range** je čas med tem ko je hitrost vozila nič ter različna od nič, da se še vedno upošteva kot ovirajoče vozilo,
- **Max first waiting distance form gate** je dolžina od prehodne linije, da se še upošteva prvo vozilo v vrsti.

Po nastavitvi zgornjih parametrov parametrov in klikom na gumb Export podatke izvozimo v format CSV, katerega lahko naprej obdelujemo v programskem orodju MS Excel.

FileHomeInsertPage LayoutFormulasDataReviewView

FormatPage BreakPreviewPage CustomLayoutViewWorkbook Views

RulesFormula Bar

Zoom100%Zoom to Selection

New WindowArrange FreezeAllPanes

SplitHide

View Side by SideSynchronous Scrolling

Switch Windows

Macros

Tell me what you want to do...

Sign inShare

Q58

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Unique Ev	Measurer	Waiting	C Video Po	First Blo	Second B	Number s	First Wait	Tg Value	Number s	First Left	Entered V	if Entere	Reaction	Following	Video Po	:		
65	1828	19	10	516049	274	275	2	249	1508	2	249	0							
66	1829	19	10	517618	275	276	2	249	1969	2	249	0							
67	1830	19	10	519586	276	277	2	249	67	2	249	0							
68	1831	19	10	519653	277	277	2	249	1935	2	249	0							
69	1832	19	10	521588	277	279	2	249	1568	2	249	0							
70	1833	19	10	523157	279	278	2	249	567	2	249	0							
71	1834	19	10	523724	278	281	2	249	1435	2	249	0							
72	1835	19	10	525159	281	280	2	249	67	2	249	0							
73	1836	19	10	530284	283	283	2	249	4204	0	---	1	2402	1635	253	53103			
74	1837	19	10	541106	293	296	1	290	3203	0	---	1							
75	1843	19	10	548415	300	302	3	294	934	3	294	0							
76	1844	19	10	549349	302	304	3	294	5439	1	299	0	254	100	286	551185			
77	1849	19	10	560127	307	309	2	306	13812	0	---	2	2135	300	308	562496			
78	1850	19	10	590434	320	319	1	317	267	1	317	0							
79	1851	19	10	590691	319	321	1	317	1435	1	317	0							
80	1852	19	10	592126	321	322	1	317	2102	1	317	0							
81	1853	19	10	594228	322	323	1	317	1268	1	317	0							
82	1854	19	10	595496	323	326	1	317	1608	1	317	0							
83	1855	19	10	597164	326	327	1	317	601	1	317	0							
84	1856	19	10	597794	327	328	1	317	1168	1	317	0							
85	1857	19	10	598932	328	330	1	317	501	1	317	0							
86	1858	19	10	599433	330	331	1	317	868	1	317	0							

velemlje valiko krosno

64Slika 38: Izvoženi podatki analize časovnih razmakov in časov sledenja v programsko orodje MS Excel

Rezultat izvoza zavrženih in sprejetih razmakov in časov sledenja so predstavljeni na sliki 102. Vsaka vrstica predstavlja posamičen dogodek. Ta opisuje dogodek, ko je prišlo do časovnega razmaka na GPS, medtem ko so bila na SPS čakajoča vozila. Obstajata dve vrsti situacij:

- vozila čakajo na vstopnem pasu, dve zaporedni vozili pa sta na GPS, tako da tvorita razmak, ki jo čakajoče vozilo ne izkoristi ter ga zavrne in ponavlja, dokler ne sprejme dovolj dolgega razmaka. Tak dogodek je označen s stolpcem *entered_vehicles_count* = 0 (rdeč pravokotnik na sliki 102),
- vozila čakajo na vstopnem pasu, dve zaporedni vozili pa sta na GPS, tako da tvorita razmak, in je dovolj velik, da ga čakajoče vozilo (vsaj eno) sprejme. Tak dogodek je označen s stolpcem *entered_vehicles_count* = 1 (rdeč pravokotnik na sliki 102).

Podatki v izvozni datoteki so oblikovani v 12 stolpcih. V primeru, da v dovolj dolgem časovnem razmaku prevozi več vozil hkrati, je stolpcev več (primer vstopa dveh zaporednih vozil, slika 102, modri okvir). Pomen izvožene datoteke je pojasnjen v nadaljevanju:

- **Unique Event ID** je nolična identifikacijska številka dogodka,
- **Measurement Node ID** je identifikacijska številka vozlišča, na katerem se je zgodil dogodek,
- **Waiting Gate ID** je identifikacijska številka prehodne linije, na kateri se je zgodil dogodek,

- **Video Position of First Blocking** je položaj videoposnetka (v milisekundah od začetka videoposnetka), ko prvo vozilo na glavnem prometnem toku prečka nevtralno prehodno linijo,
- **First Blocking Vehicle ID** je identifikacijska številka prvega vozila med časovnim razmakom,
- **Second Blocking Vehicle ID** je identifikacijska številka drugega vozila med časovnim razmakom,
- **Number of Waiting Vehicles** je število čakajočih vozil, ko se prvemu vozilu ponudi časovni razmak,
- **First Waiting Vehicle ID** je identifikacijska številka prvega vozila, ki čaka v čakalni vrsti,
- **Tg Value** je razmak vrzeli v milisekundah,
- **Number of Left Waiting Vehicles** je število čakajočih vozil, ki so ostala v čakalni vrsti,
- **First Left Waiting Vehicle ID** je identifikacijska številka prvega čakajočega vozila - če je *number_of_left_waiting_vehicles* > 0, ta vsebuje ID prvega vozila, ki ni vstopilo v križišče, če je *number_of_left_waiting_vehicles* = 0, to vsebuje niz ---,
- **Entered Vehicles Count** je število čakajočih vozil, ki so vstopila v križišče v danem razmaku.

Če je *Entered Vehicles Count* > 1 (to pomeni, da je več vozil vstopilo v križišče v tem časovnem razmaku), se dodajo 4 novi stolpci za vsako naslednje vozilo. Ti stolpci so:

- **Tf Value** je čas sledenja vrednosti naslednjega zaporednega vozila v milisekundah,
- **Reaction Time** je reakcijski čas zaporednega vozila v milisekundah,
- **Following Entered Vehicle ID** je identifikacijska številka vozila, ki naslednje prevozi križišče,
- **Video Position of Following Vehicle Entry** je položaj videoposnetka (v milisekundah od začetka videoposnetka), ko je zaporedno čakajoče vozilo vstopilo v križišče.

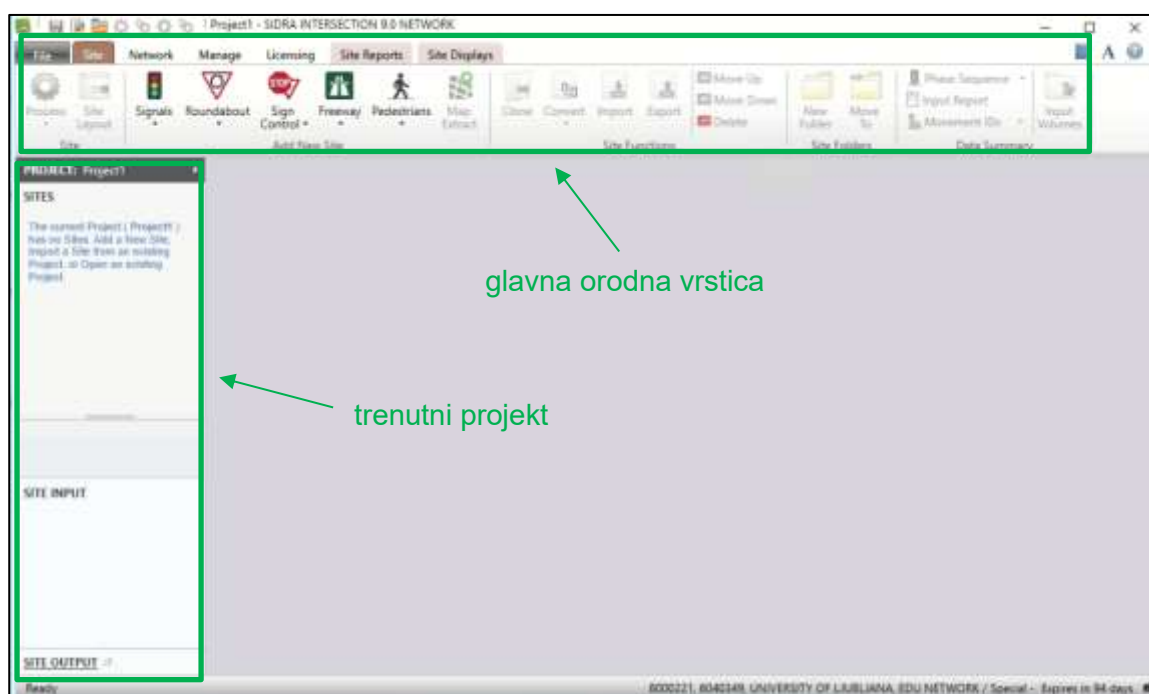
Sedaj ko smo se seznanili s podatki za izvoz iz programa DataFromSky Viewer v program MS Excel, lahko podatke filtriramo tako, da dobimo nam potrebne podatke za oceno kritičnega razmaka t_c in časa sledeja t_f . Postopek izračuna t_c in t_f je opisan v poglavju Numerični eksperimenti.

3.3 Programsko orodje SIDRA INTERSECTION 9.0

Programska oprema SIDRA INTERSECTION je napredno mikroanalitično orodje za analizo prometa posameznih križišč ali omrežju več križišč. Maja 2020 je izšla najnovejša verzija z imenom SIDRA INTERSECTION 9.0. Vsi vhodni in izhodni podatki ter modeliranje temeljijo na O/D matriki potovanj. Uporablja se za analizo semaforiziranih, nesemaforiziranih in krožnih križišč, prehodov za pešce, priključkov in ostalo. Osnovni računski model programa je zasnovan po metodologiji HCM, prometni model pa je analitični z metodo iteracijskega približevanja. Program omogoča kalibriranje ključnih parametrov kapacitete križišča, kot so pretok, kritični razmak t_c in čas sledenja t_f , čakalne vrste in drugo. Program omogoča veliko paleto analiz in izračunov, kot so izračun nivoja uslug, dolžin kolon, zamude, stopnjo nasičenja in druge analize.

3.3.1 Pregled uporabniškega vmesnika

Ob zagonu programskega orodja se prikaže začetni zaslon in se odpre glavno okno (slika 39). Ob zagonu se nam odpre nov projekt.



Slika 39: Uporabniški vmesnik SIDRA INTERSECTION 9.0

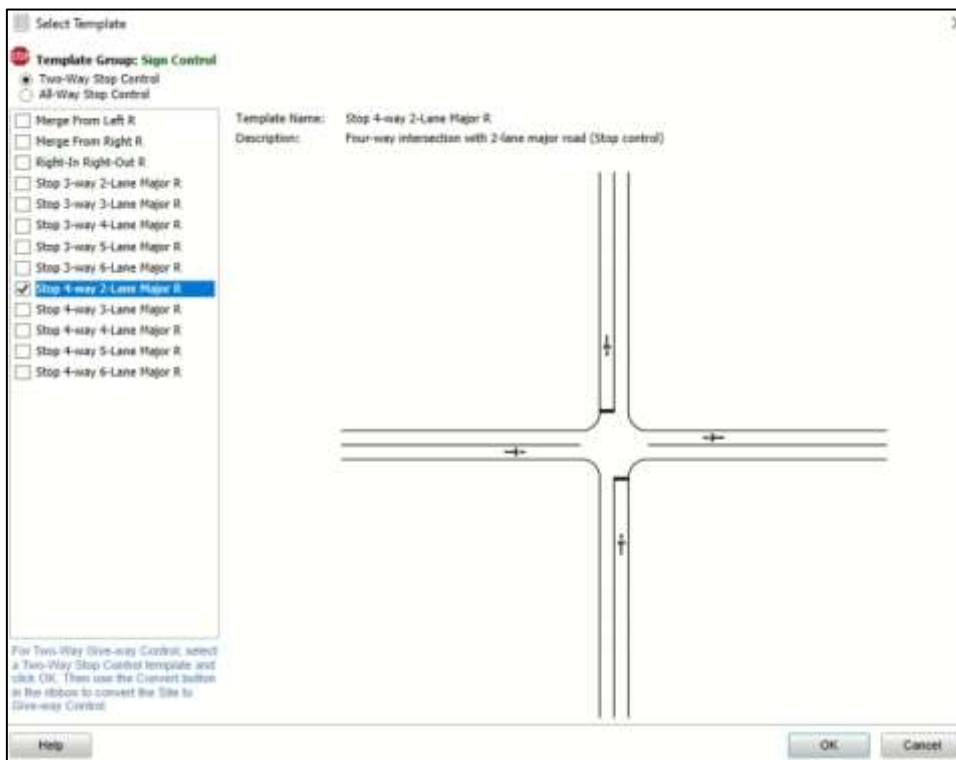
Podrobnejšo razlago glavne orodne vrstice in vrstice trenutnega projekta najdemo v vodniku za uporabnike AKCELIK & ASSOCIATES PTY LTD, 2020. Za namene magistrske naloge so

se uporabile le določene funkcionalnosti programskega orodja, zato jih je smiselno na kratko omeniti. Programsko orodje SIDRA INTERSECTION 9.0 je uporabljeno zgolj za primerjavo kapacitetnih analiz dveh izbranih križišč s parametri t_c in t_f med modeli programskega orodja ter izmerjenimi vrednostmi magistrske naloge.

Za dodajanje novega nesemaforiziranega križišča, je potrebno v glavni orodni vrstici klikniti na Sign Control ter izberemo Select Template (slika 40). Pod opcijo Select Template najdemo veliko število predlogov tipičnih nesemaforiziranih križišč (slika 41). Enako velja za krožna križišča oz. v angleškem jeziku Roundabout.

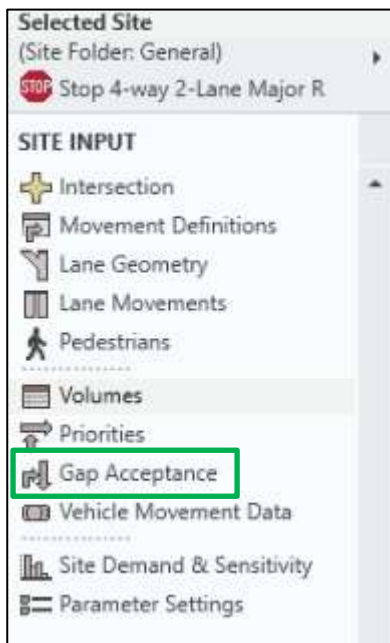


Slika 40: Dodajanje novega nesemaforiziranega križišča v programu SIDRA INTERSECTION 9.0



Slika 41: Predlogi za nesemaforizirana križišča v programu SIDRA INTERSECTION 9.0

Ko izberemo željeno križišče, lahko nadaljujemo z dodajanjem vhodnih podatkov (slika 42). V program SIDRA INTERSECTION 9.0 vstavimo podatke, ki jih dobimo s štetjem prometa, podatke o prometnih tokovih, pešcih, geometriji križišča, številu voznih pasov, vrednosti časovnih razmakov in drugo. V našem primeru je bilo štetje prometa izvedeno z opremo Miovision in pridobljeno s strani podjetja PNZ svetovanje projektiranje d.o.o.



Slika 42: Dodajanje vhodnih podatkov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0

Namen magistrske naloge je izmeriti kritične razmake ter čase sledenja v slovenskem prostoru. Pod zavihkom Gap Acceptance, ko vpisujemo vhodne podatke (slika 42), nam program dodeli privzete vrednosti t_c in t_f za modela SIDRA Standard Model in SIDRA HCM Model.

Za analize križišč, kjer se uporablja nastavitev Standard Right (kar odraža stanje na slovenskih cestah) nam SIDRA INTERSECTION 9.0 ponudi privzete vrednosti SIDRA Standard Model (slika 43 in slika 44).

Approach Selector

Minor Road

Gap Acceptance Data

From South to Exit:	W	N	E
	L2	T1	R2

Vehicle Movements Opposing

Apply TWSC Calibration	☒	☒	☒
Critical Gap	7,00 sec	6,50 sec	5,00 sec
Follow-up Headway	4,00 sec	3,50 sec	3,00 sec
Minimum Departures (vehicles per minute)	0,1	0,1	0,1
Exiting Flow Effect	50 %	50 %	50 %
Percent Opposed by Nearest Lane Only	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Main Crossing Pedestrians Opposing

Opposing Peds (Unsig)	Prg(Flow ▾)	Prg(Flow ▾)	Prg(Flow ▾)
-----------------------	-------------	-------------	-------------

Slika 43: Privzete vrednosti t_c in t_f na SPS za primer štirirakega nesemaforiziranega križišča

Approach Selector

Major Road

Gap Acceptance Data

From West to Exit:	N	E	S
	L2	T1	R2

Vehicle Movements Opposing

Apply TWSC Calibration	☒		
Critical Gap	4,50 sec		
Follow-up Headway	2,50 sec		
Minimum Departures (vehicles per minute)	0,1		
Exiting Flow Effect	0 %		
Percent Opposed by Nearest Lane Only	0,0 %		

Main Crossing Pedestrians Opposing

Opposing Peds (Unsig)	Prg(Flow ▾)		
-----------------------	-------------	--	--

Slika 44: Privzete vrednosti t_c in t_f na GPS za primer štirirakega nesemaforiziranega križišča

Ravno te vrednosti kritičnih razmakov ter časov sledenja so v nadaljevanju raziskave izračunani v slovenskem prostoru. Parametri modelov sprejemljivega razmaka za nesemaforizirana križišča SIDRA Standard Model ali SIDRA HCM Model so v nadaljevanju primerjani s parametri FGG-PTI-2020. Za krožna križišča pa so primerjani parametri modelov US HCM 6, US HCM 2010 ter SIDRA Standard in s parametri FGG-PTI-2020. Narejena je tudi primerjava rezultatov kapacitetnih analiz z zgoraj omenjenimi modeli ter parametri raziskave FGG-PTI-2020. Primerjava je narejena za dva tipa križišč, in sicer štirirako nesemaforizirano križišče ter krožno križišče. Obe križišči sta vzeti iz analiziranih video posnetkov, kar pomeni da je na realnem primeru bilo narejeno štetje prometa, geometrija križišča je poznana. Postopek primerjave in rezultati so opisani v nadaljnjih poglavjih.

3.3.2 Kapacitetni modeli za nesemaforizirana križišča

V programskem orodju imamo dva kapacitetna modela, in sicer SIDRA HCM ter SIDRA STANDARD. Metoda, ki se uporablja v SIDRA INTERSECTION, zagotavlja sistematičen pristop k ocenjevanju parametrov za kritične razmake in čase sledenja za nesemaforizirana križišča. Metoda je bila razvita z uporabo informacij, ki so na voljo v priporočilih za dimenzioniranje cest AUSTROADS ter HCM 6. Metoda omogoča:

- razmerje med parametri modelov sprejemljivega razmaka in geometrijo križišča (število pasov na glavni cesti, enosmerna cesta, trokrako križišče),
- razlike v parametrih na križiščih, kjer so na neprednosti cesti opremljena z znakom ustavi ali znakom križišče s prednostno cesto,
- zmanjšanje kritičnih razmakov in časov sledenja s povečevanjem prometnega toka v nasprotni smeri,
- učinek razredov vozil (lahka vozila, težka vozila, avtobusi, kolesa itd.),
- in drugo.

Nekateri od teh prilagoditvenih parametrov so bili upoštevani že v starejših različicah SIDRA INTERSECTION (od različice 5.1 dalje). V modelih, ki se uporabljajo v novejših različicah, se te prilagoditve izvedejo samodejno. To pomeni bolj standardizirano metodo, ki določenim vrednostim konstantnih parametrov, ko postanejo neprimerne, se le-ti spremenijo samodejno. To velja, v kolikor imamo v zavihku Gap Acceptance označeno nastavitev Apply TWSC Calibration (rdeč okvir na sliki 7216). Podrobneje je opisano v SIDRA INTERSECTION 9 user guide (2020) v poglavju 5.10.2. Pri primerjalni študiji kapacitetnih modelov (opisana v poglavju 5.4) programa SIDRA INTERSECTION 9.0 in parametrov FGG-PTI-2020 je uporabljena nastavitev Apply TWSC Calibration, da bodo rezultati kapacitetne analize primerljivi.

Approach Selector

Minor Road

Gap Acceptance Data

From South to Exit:	W	N	E
	L2	T1	R2

Vehicle Movements Opposing

Apply TWSC Calibration	☒	☒	☒
Critical Gap	7,00 sec	6,50 sec	5,00 sec
Follow-up Headway	4,00 sec	3,50 sec	3,00 sec
Minimum Departures (vehicles per minute)	0,1	0,1	0,1
Exiting Flow Effect	50 %	50 %	50 %
Percent Opposed by Nearest Lane Only	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Main Crossing Pedestrians Opposing

Opposing Peds (Unsig)	Prg(Flow ▾)	Prg(Flow ▾)	Prg(Flow ▾)
-----------------------	-------------	-------------	-------------

7171Slika 45: Privzete vrednosti parametrov sprejemljivega razmaka na SPS - štirikrako nesemaforizirano križišče

Privzete vrednosti kritičnih razmakov in časov sledenja za model SIDRA Standard in model SIDRA HCM so navedene v preglednici 6. V rdečem okvirju so prikazane privzete vrednosti za model SIDRA Standard, v zelenem pa za model SIDRA HCM.

Preglednica 6: Privzete vrednosti t_c in t_r v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 (AKCELIK & ASSOCIATES PTY LTD, 2020. SIDRA INTERSECTION 9 user guide)

Type of Movement	SIDRA Standard Model				SIDRA HCM Model	
	Drive Rule = Left		Drive Rule = Right		Drive Rule = Right	
	t_c	t_r	t_c	t_r	t_c	t_r
Minor Road Left Turn	5.0	3.0	7.0	4.0	7.5	3.5
Minor Road Through	6.5	3.5	6.5	3.5	6.5	4.0
Minor Road Right Turn	7.0	4.0	5.0	3.0	6.9	3.3
Major Road Turn (1)	4.5	2.5	4.5	2.5	4.1	2.2
Slip /Bypass Lane Movements (2)	5.0	3.0	5.0	3.0	6.9	3.3

3.3.3 Kapacitetni modeli za krožna križišča

V programskem orodju imamo za krožna križišča tri kapacitetne modele, in sicer US HCM 6, US HCM 2010 ter SIDRA STANDARD. Pri dodajanju vhodnih podatkov pod zavihkom Roundabouts lahko spremenimo kapacitetni model krožnega križišča. Privzete vrednosti (Roundabout LOS Method, HCM Delay Formula in Exclude Geometric Delay) za SIDRA Standard in US HCM 6 / US HCM 2010 so različne (preglednica 7) in jih lahko poljubno spremenimo.

Preglednica 7: Privzete vrednosti kapacitetnih modelov krožnih križišč v programu SIDRA INTERSECTION 9.0

Related Parameters	Roundabout Capacity Model	
	SIDRA Standard	US HCM 6 / US HCM 2010
Roundabout LOS Method	<i>Same as Signalised Intersections</i>	<i>Same as Sign Control</i>
HCM Delay Formula	<i>Unchecked</i> (use the SIDRA Standard Delay equation)	<i>Checked</i> (use the HCM Delay equation)
Exclude Geometric Delay	<i>Unchecked</i> (include geometric delay)	<i>Checked</i> (exclude geometric delay)

Pri dodajanju vhodnih podatkov za kritične čase in čase sledenja sta v pogovornem oknu Gap Acceptance dve opciji. Privzeta opcija za t_c in t_f je Program, druga opcija je Input. S privzeto opcijo bo program sam določil vrednosti parametrov t_c in t_f v odvisnosti od geometrije krožišča, pretoka v krožišču in drugih dejavnikov.

Če želimo vnesti fiksne t_c in t_f , moramo to omogočiti z opcijo Input. Razvijalci programa ne priporočajo tako metodo vnašanja. Namesto tega spreminjamo faktorje okolja (Environment Factor) v zavihku Roundabout Data za kalibriranje vrednosti kritičnih razmakov ter časov sledenja.

Model kapacitete krožnega križišča SIDRA INTERSECTION temelji na metodologiji sprejemanja razmakov z empirično osnovo. Uporablja parametre sprejemljivih razmakov, kalibrirane na podlagi podatkov terenskih raziskav, opravljenih na velikem številu krožnih križišč v Avstraliji. Novejše raziskave so podprle veljavnost enačb za oceno t_c in t_f , uporabljenih v SIDRA INTERSECTION (Akçelik 2008a).

Kalibracijski parametri za kapacitetne modele krožnega križišča:

- za model SIDRA Standard, se uporabljata kalibracijska faktorja Environment Factor in Entry / Circulating Flow Adjustment,
- za model HCM 6, se uporabljata kalibracijska faktorja Model Calibration Factor (HCM 6) in Entry/Circulating Flow Adjustment (HCM 6),
- za model HCM 2010, se uporabljata kalibracijska faktorja Model Calibration Factor (HCM 2010) in Entry/Circulating Flow Adjustment (HCM 2010).

Za kapacitetni model SIDRA Standard ter izbrana privzeta vrednost programske opreme US HCM, je privzeta vrednost faktorja Environment Factor nastavljena na naslednji način:

- 1,05 za enopasovna krožna križišča,
- 1,05 za krožna križišča, ki so enopasovna ali večpasovna (vključevalni pas in krožni pas imata različno število pasov),

- 1,2 za večpasovna krožna križišča.

Te vrednosti so nastavljene tako, da ustrezajo kapacitetnemu modelu za krožna križišča HCM 6. V starejših različicah programa SIDRA INTERSECTION je bil faktor okolja 1,2 uporabljen za ujemanje s kapacitetnim modelom HCM 2010.

Ko se uporablja nastavitev programa US HCM, je priporočljivo uporabiti vrednosti faktorja okolja (1,0 in 1,1) namesto (1,05 in 1,2), da kapacitetni model predstavlja pogoje v prihodnosti ob predpostavki, da bodo vozniki agresivnejši zaradi večjega poznavanja vožnje v krožnih križiščih (Akçelik 2011a).

Priporočila za vnos t_c in t_f s privzeto vrednostjo Program so smiselna, v kolikor nimamo točno izmerjenih kritičnih razmakov ter časov sledenja. Cilj magistrske naloge je določitev časovnih razmakov v slovenskem prostoru. Ker se v okvirju magistrske naloge naredi obširno raziskavo tudi za krožna križišča, se parametra t_c in t_f vnašata pod opcijo Input. Tako program SIDRA INTERSECTION 9.0 uporabi pri kapacitetni analizi točne čase kritičnega razmaka in časa sledenja pri analizi krožnega križišča.

4 NUMERIČNI EKSPERIMENTI

4.1 Ocena kritičnega razmaka t_c

Kritični razmak ne moremo izmeriti na terenu. V kolikor ga želimo oceniti, moramo beležiti čase, ko vozilo na glavni smeti prevozi določeno navidezno linijo. Čas med dvema zaporednima voziloma, ki prevozijo to linijo imenujemo časovni razmak. Za oceno kritičnega razmaka po novem makroskopskem modelu na podlagi verjetnostnega ravnovesja je potrebno za vsako vozilo na SPS (izjema GPS levi zavijalec) beležiti vse ponujene časovne razmake, nato pa iz njih izluščiti:

- vse zavrnjene časovne razmake v sekundah,
- sprejete časovne razmake v sekundah,
- število vseh opazovanih vozil (za kasnejšo oceno vzorca populacije).

Vrednosti je potrebno določiti posebej za nesemaforizirana križišča in za krožna križišča, saj so kritični razmaki različni za vsak manever različni.

Iz tega sledi, da imamo za nesemaforizirana križišča štiri različne kritične razmake (slika 43 in slika 44), in sicer:

- t_c za levega zavijalca na GPS ($t_{c_GPS_levo}$),
- t_c za levega zavijalca na SPS ($t_{c_SPS_levo}$),
- t_c za vozilo, ki ravno prečka GPS ($t_{c_SPS_ravno}$),
- t_c za desnega zavijalca na SPS ($t_{c_SPS_desno}$).

Pri manevru vključevanja v krožni tok imamo en kritični razmak, ki ga označimo z $t_{c_krožno}$.

Zgoraj določene podatke smo pridobili s pomočjo programskega paketa DataFromSky TrafficSurvey. Metodologija dela s programskim orodjem DataFromSky Viewer je opisana v prejšnjem poglavju. Ob pravilni georegistraciji križišča in postavitvi prehodnih linij, za vsak manever, dobimo določeno število podatkov za nesemaforizirana križišča in krožna križišča, ki se nato izvozijo v programsko orodje MS Excel. Za isti manever se podatke, pridobljene iz križišč v slovenskem prostoru, združi.

Preglednica 8: Primer dela izvoza podatkov časovnih razmakov za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS

Unique Ev	Measur	Waiting G	Video Po	First Blocl	Second Bl	Number c	First Wait	Tg Value	Number c	First Left	Entered V
7260	12	9	45833	29	33	1	28	4167	1	28	0
7261	12	9	50000	33	35	1	28	4155	1	28	0
7262	12	9	54767	35	37	1	28	2233	1	28	0
7263	12	9	57000	37	38	1	28	2667	1	28	0
7264	12	9	59667	38	41	1	28	4533	0	---	1
7265	12	9	67200	41	42	1	40	1667	1	40	0
7266	12	9	68867	42	48	1	40	25967	0	---	1
7267	12	9	143400	76	78	1	75	1633	1	75	0
7268	12	9	145033	78	79	1	75	1167	1	75	0
7269	12	9	146200	79	81	1	75	1133	1	75	0
7270	12	9	147333	81	83	1	75	3000	1	75	0
7271	12	9	150333	83	84	1	75	1200	1	75	0
7272	12	9	151533	84	85	1	75	1467	1	75	0
7273	12	9	153000	85	88	1	75	1067	1	75	0
7274	12	9	160333	88	89	1	75	5333	0	---	1
7275	12	9	263000	155	157	1	151	4333	1	151	0
7276	12	9	267333	157	159	1	151	3667	1	151	0
7277	12	9	271000	159	163	1	151	4177	0	---	1
7278	12	9	291200	169	172	1	166	3200	1	166	0
7279	12	9	294400	172	173	1	166	2233	1	166	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

V preglednici 8 je prikazan primer izvoženih podatkov. V rdečem okvirju je označeno vozilo z identifikacijsko številko 75 (zeleni okvir). V modrem okvirju so z 0 označeni zavrnjeni časovni razmaki, ki so prikazani v rumenem okvirju, z 1 ali več pa so označeni sprejeti časovni razmaki istega vozila. Časovni razmaki v rumenem okvirju so v milisekundah. V zgornjem primeru je vozilo 75 sedem krat zavrnilo ponujen časovni razmak. Drugi pomemben podatek je sprejeti časovni razmak. V zgornjem primeru je ta enak 4571 milisekunde oziroma 4.571 sekunde. Za nadaljno analizo potrebujemo dva stolpca podatkov, to sta vsi ponujeni časovni razmak na glavni prometni smeri v milisekundah (rumeni okvir) ter ali je bil ta čas sprejet ali zavrnjen. Iz tega sledi, da filtriramo v stolpcu Entered Vehicles Count (modri okvir) števila 0 in 1. Podatke istega manevra za vsa križišča združimo na isti list v MS Excel. To je prikazano v preglednici 9.

Preglednica 9: Primer dela sortiranih podatkov za nesemaforizirana križišča - levi zavijalec na SPS

Tg Value	Entered V
4167	0
4155	0
2233	0
2667	0
4533	1
1667	0
25967	1
1633	0
1167	0
1133	0
3000	0
1200	0
1467	0
1067	0
5333	1
4333	0
3667	0
4177	1
3200	0
2233	0
...	...

S funkcijo Sort v MS Excel podatke časov razvrstimo v vrstnem redu od najmanjšega časovnega razmaka do največjega časovnega razmaka, skupaj s pripadajočim stolpcem sprejetih in zavrženih časovnih razmakov (preglednica 10).

Preglednica 10: Primer vseh sortiranih zavrženih in sprejetih razmakov za nesemaforizirana križišča - levi zavijalec na SPS

Tg Value	Entered V
1000	0
1000	0
1033	0
...	...
6333	1
6400	1
6433	0
6433	0
6467	0
6600	1
6600	0
6633	1
6767	1
6767	0
6767	1
6800	1
6833	0
...	...
21767	1
25067	1
25967	1

Za oceno kritičnega razmaka po novem makroskopskem modelu na podlagi verjetnostnega ravnovesja lahko zgornje podatke že uporabimo. Te urejene podatke kopiramo v že vnaprej pripravljen MS Excel, kateri vsebuje vse formule za oceno kritičnega razmaka t_c in variance σ^2 . To naredimo za podatke vsakega manevra na nesemaforiziranih ter krožnih križiščih. V tem koraku tudi že dobimo željeni oceni t_c in varianco σ^2 , kakor je prikazano z rdečim okvirjem v preglednico 11.

Preglednica 11: Prikaz dela izračuna ocene kritičnega razmaka z novo metodo za levega zavijalca na SPS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
4891	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			
4892	4890	6333	0	4674	216	0.95	0.04390244	0.46753247	0.00100979	6.333			
4893	4891	6367	1	4674	217	0.95	0.04410569	0.46868251	0.00115004	6.35			
4894	4892	6367	0	4675	217	0.95020325	0.04410569	0.46969697	0.00101446	6.367			
4895	4893	6367	1	4675	218	0.95020325	0.04430894	0.47084233	0.00114536	6.367			
4896	4894	6367	1	4675	219	0.95020325	0.0445122	0.47198276	0.00114043	6.367			
4897	4895	6367	1	4675	220	0.95020325	0.04471545	0.47311828	0.00113552	6.367			
4898	4896	6367	1	4675	221	0.95020325	0.0449187	0.47424893	0.00113065	6.367			
4899	4897	6400	0	4676	221	0.9504065	0.0449187	0.47526882	0.00101989	6.3835			
4900	4898	6400	0	4677	221	0.95060976	0.0449187	0.4762931	0.00102429	6.4			
4901	4899	6400	0	4678	221	0.95081301	0.0449187	0.47732181	0.00102871	6.4			
4902	4900	6400	1	4678	222	0.95081301	0.04512195	0.47844828	0.00112646	6.4			
4903	4901	6400	0	4679	222	0.95101626	0.04512195	0.47948164	0.00103337	6.4			
4904	4902	6400	0	4680	222	0.95121951	0.04512195	0.48051948	0.00103784	6.4			
4905	4903	6400	0	4681	222	0.95142276	0.04512195	0.48156182	0.00104234	6.4			
4906	4904	6400	0	4682	222	0.95162602	0.04512195	0.4826087	0.00104687	6.4			
4907	4905	6400	0	4683	222	0.95182927	0.04512195	0.48366013	0.00105144	6.4			
4908	4906	6400	0	4684	222	0.95203252	0.04512195	0.48471616	0.00105603	6.4			
4909	4907	6400	0	4685	222	0.95223577	0.04512195	0.48577681	0.00106065	6.4			
4910	4908	6433	0	4686	222	0.95243902	0.04512195	0.48684211	0.0010653	6.4165			
4911	4909	6433	1	4686	223	0.95264228	0.0453252	0.48796499	0.00112288	6.433			
4912	4910	6433	0	4687	223	0.95284553	0.0453252	0.48903509	0.0010701	6.433			
4913	4911	6433	1	4687	224	0.95304878	0.04552846	0.49015317	0.00111809	6.433			
4914	4912	6433	1	4687	225	0.95325203	0.04573171	0.49126638	0.0011132	6.433			
4915	4913	6433	1	4687	226	0.95345528	0.04593496	0.49237473	0.00110835	6.433			
4916	4914	6433	1	4687	227	0.95365853	0.04613821	0.49347826	0.00110353	6.433			
4917	4915	6433	1	4687	228	0.95386178	0.04634146	0.49457701	0.00109875	6.433			
4918	4917	6433	0	4688	229	0.95406503	0.04654472	0.49567462	0.00109393	6.433			
4919	4918	6467	0	4689	229	0.95426828	0.04654472	0.49677223	0.00108911	6.45			
4920	4919	6467	0	4690	229	0.95447153	0.04654472	0.49786984	0.00108429	6.467			
4921	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			

$t_{c_SPS_levo} = 6.5$
 $\sigma^2 = 3$
 3σ podstokov = 6467

4.2 Ocena časa sledenja t_f

Ocena časa sledenja je bistveno enostavnejša od ocene kritičnega razmaka. Lahko ga izmerimo direktno iz situacije:

- imeti moramo stalno kolono, kar pomeni, da je pred vozilom vsaj eno vozilo, ki čaka na stranski prometni smeri,
- vozila merjena v koloni uporabijo isti (daljši) časovni razmak na glavni prometni smeri.

Vrednosti je potrebno določiti posebej za nesemaforizirana križišča in za krožna križišča, saj so časi sledenja različni za vsak manever posebej.

Iz tega sledi, da poznamo za nesemaforizirana križišča štiri različne čase sledenja (slika 43 in slika 44), in sicer:

- t_f za levega zavijalca na GPS ($t_{f_GPS_levo}$),
- t_f za levega zavijalca na SPS ($t_{f_SPS_levo}$),
- t_f za vozilo, ki ravno prečka GPS ($t_{f_SPS_ravno}$),
- t_f za desnega zavijalca na SPS ($t_{f_SPS_desno}$).

Pri manevru vključevanja v krožni tok imamo en čas sledenja, ki ga označimo $t_{f,krožno}$.

Iz izvoženih podatkov programskega orodja DataFromSky Viewer za kritične razmake dobimo tudi podatke časov sledenja (preglednica 12).

Preglednica 12: Primer dela izvoza podatkov časov sledenja za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS

Unique Ev	Measurer	Waiting G	Video Po	First Blo	Second Bl	Number c	First Wait	Tg Value	Number c	First Left	Entered V	(If Entere	Reaction	Following Video Po	J)
979	32	29	124925	19	21	3	17	5439	3	17	0				
980	32	29	130354	24	22	2	17	2103	2	17	0				
981	32	29	132466	22	25	3	17	17684	0	---	3	3837	1869	18	134635
983	32	29	189022	31	32	1	30	5138	1	30	0				
984	32	29	194161	32	33	1	30	2035	1	30	0				
985	32	29	196196	33	34	1	30	2469	1	30	0				
986	32	29	198665	34	35	1	30	3637	1	30	0				
987	32	29	202302	35	38	1	30	1969	1	30	0				
988	32	29	204271	38	39	1	30	3504	1	30	0				
989	32	29	207774	39	41	1	30	9209	0	---	1				
990	32	29	240807	46	48	1	45	5772	0	---	1				
991	32	29	246580	48	51	1	47	12679	0	---	1				
992	32	29	293260	57	58	2	55	3203	2	55	0				
993	32	29	296463	58	59	2	55	2703	2	55	0				
994	32	29	299166	59	60	2	55	5305	2	55	0				
995	32	29	304471	60	66	2	55	16250	0	---	2	1902	1935	56	306773
996	32	29	320721	66	67	2	64	4838	2	64	0				
997	32	29	325559	67	68	2	64	3103	2	64	0				
998	32	29	328662	68	69	2	64	33	2	64	0				
999	32	29	328695	69	71	2	64	2369	2	64	0				
1000	32	29	331064	71	70	2	64	701	2	64	0				
1001	32	29	331765	70	72	2	64	334	2	64	0				
1002	32	29	332099	72	73	2	64	19620	0	---	2	2936	2102	65	334434
1003	32	29	436270	93	94	1	92	3237	1	92	0				
1004	32	29	439506	94	95	1	92	15382	0	---	1				
1005	32	29	713780	153	155	1	150	3470	1	150	0				
1006	32	29	717251	155	157	1	150	15983	0	---	1				
1007	32	29	780214	166	168	1	167	2236	1	167	0				
1008	32	29	782449	168	169	1	167	3303	1	167	0				
1009	32	29	785752	169	170	1	167	2903	1	167	0				
1010	32	29	788655	170	172	1	167	1735	1	167	0				

Ko se na GPS pojavi dovolj velik časovni razmak, da lahko v križišče spelje več vozil hkrati, programsko orodje DataFromSky Viewer izmeri čase sledenja in to označi z dodatnimi stolpci. V preglednici 12 je to prikazano z zelenim in rumenim okvirjem. V zelenem okvirju so časovni razmaki drugih zaporednih vozil, ki so speljala v križišče. Z rumenim pa označeni časovni razmaki tretjih zaporednih vozil. Dodatnih stolpcev je toliko, kolikor je zaporednih vozil, ki pri danem časovnem razmaku prevozijo križišče. Časi sledenja so v milisekundah.

V rdečem okvirju je označen dogodek, v katerem je bil ponujen časovni razmak 17,684 sekunde. V tem časovnem razmaku so prevozila križišče 3 vozila. Drugo zaporedno vozilo je imelo čas sledenja 3,837 sekunde, tretje vozilo pa 3,437 sekunde. Te čase sledenja filtriramo iz analize posnetka za določen manever. Z orodjem Data Analysis v MS Excel izračunamo povprečno vrednost teh filtriranih podatkov in dobimo čas sledenja t_f za vsak manever posebej (preglednica 13). V preglednici 13 je z rdečim okvirjem označena povprečna vrednost in ravno ta je naš čas sledenja t_f za določen manever.

Preglednica 13: Primer dela analiziranih podatkov ocene časa sledenja za nesemaforizirano križišče - levi zavijalec na SPS

	A	B	C	D	E
1	(If Entered Vehicles Count > 1: list(Tf Value [ms])				
2	2100				
3	3000		Column1		
4	3433				
5	233		Mean	3678.985	
6	7067		Standard E	89.80072	
7	3333		Median	3300	
8	1567		Mode	2833	
9	9100		Standard E	1623.879	
10	4700		Sample Va	2636983	
11	3967		Kurtosis	8.452652	
12	3767		Skewness	2.289608	
13	1467		Range	13900	
14	4400		Minimum	233	
15	6533		Maximum	14133	
16	3933		Sum	1203028	
17	5167		Count	327	
18	2733		Confidenc	176.662	
19	3600				
20	...				

5 PREDSTAVITEV REZULTATOV

Projektirati je potrebno racionalno. To pomeni, da najdemo razmerje med najboljšo možno rešitvijo in čim manjšo porabo finančnih sredstev. Pri projektiranju križišč sta parametra kritičnega razmaka in časa sledenja definitivno ena najbolj pomembnih parametrov teorije sprejemljivega razmaka. Uspešna rešitev nastopi ob zadovoljivem NU na koncu planske dobe križišča. V sedanji praksi se upoštevajo privzete vrednosti t_c in t_f , saj so kapacitetni izračuni narejeni po metodlogiji HCM. Namen te naloge je izmeriti oba parametra z obširno raziskavo na nesemaforiziranih in krožnih križiščih in ju primerjati z do sedaj uporabljenih vrednosti t_c in t_f . Pričakovana so določena odstopanja, saj sta parametra t_c in t_f odvisna tudi od raznih človeških faktorjev, kakor tudi od same geometrije križišča. Za izmerjene parametre raziskave FGG-PTI-2020 je bila narejena primerjava v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 za eno štirikrako nesemaforizirano križišče in eno krožno križišče. S tem želimo prikazati, kako bi bilo projektiranje križič primernejše.

S postopki, ki so opisani v prejšnjem poglavju smo ocenili parametra t_c in t_f za vse manevre na nesemaforiziranih križiščih (slika 43 in 44) ter za manever vključevanja v krožni tok. V nadaljevanju so za vsak manever nesemaforiziranega križiša ter za krožna križišča v svojem poglavju prikazane izmerjene vrednosti t_c in t_f . Vrednosti za nesemaforizirana križišča so primerjane z dvema privzetima kapacitetnima modeloma v programskem orodju SIDRA INTERSECTION 9.0. Ta dva modela sta SIDRA HCM ter SIDRA STANDARD. Za krožna križišča smo ocenjene vrednosti primerjali z vrednostmi kapacitetnih modelov US HCM 2010, US HCM 6 ter SIDRA STANDARD.

5.1 Analize po statističnih regijah Slovenije

Kakor je napisano v poglavju 3.1 se je za raziskavo FGG-PTI-2020 obravnavalo 53 križišč po različnih statističnih regijah v Sloveniji. Število analiziranih križišč po statističnih regijah je prikazano na grafikonu 8. Iz grafikona je razvidno, da je bilo največ križišč analiziranih v obalno-kraški regiji (10 križišč) in najmanj v pomurski regiji (1 križišče).

Grafikon 8: Število analiziranih križišč po statističnih regijah



S programskim orodjem v oblaku TrafficSurvey LIGHT je bilo zaznanih skupno dobrih 224 tisoč objektov. Med objekte spadajo vse vrste vozil ter kolesarji in pešci. Delež zaznanih objektov na video posnetkih po statističnih regijah je prikazano na grafikonu 9. Iz grafikona je razvidno, da se je največji delež podatkov dobil v osrednjeslovenski regiji (22%) in najmanj v pomurski regiji (2%), kar je tudi pričakovati.

Grafikon 9: Delež zaznanih objektov na video posnetkih po statističnih regijah



S pravilno georegistracijo in postavitvijo prehodnih linij se je z analizami za nesemaforizirana križišča pridobilo približno 10 tisoč zavrnjenih in sprejetih časovnih razmakov. Delež pridobljenih podatkov, ki so se uporabili za izračun t_c in t_f je prikazan na grafikonu 10.

Grafikon 10: Delež dobljenih podatkov za izračun t_c – nesemaforizirana križišča



Za krožna križišča se je z analizami pridobilo približno 6 tisoč zavrnjenih in sprejetih časovnih razmakov. Delež dobljenih časovnih podatkov, ki so se uporabili za izračun t_c in t_f je prikazan na grafikonu 11.

Grafikon 11: Delež dobljenih podatkov za izračun t_c – krožna križišča



5.2 Določitev t_c in t_f v slovenskem prostoru

Dobljene podatke zavrženih in sprejetih časovnih razmakov ter časov sledenja so se za vsak manever posebej združili v enotno datoteko Excel. Kritični razmak t_c smo izmerili z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja. Metoda je zanesljiva in rezultati so primerljivi s tistimi določenimi po metodi največjega verjetja. Za vsak manever posebej so v nadaljevanju prikazani statistični rezultati raziskave. Kritični razmak in čas sledenja sta primerjana z vrednostmi privzetih modelov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0. Prikazana je tudi velikost vzorca, na kateremu so bile raziskave narejene. Zaradi različnih faktorjev lahko dobimo iz analiz križišč različno število uporabnih podatkov. Veliko vplivajo porazdelitve na prometnih tokovih, tip križišča in nenazadnje tudi postavitev kamere. V primeru, da kamera ni posnela širšega območja križišča, dobimo znatno manj podatkov za čase sledenja ali jih celo ne dobimo, saj programsko orodje DataFromSky Viewer ne zazna vozil v koloni. V kolikor nimamo dovolj velikega vzorca za čase sledenja bi lahko implementirali ugotovitev, da je razmerje med časom sledenja in kritičnim razmakom enak 0.6 (Brilon 1988).

Na grafikonu 12 so prikazani deleži uporabljenih podatkov raziskave FGG-PTI-2020 za izračun kritičnega razmaka t_c . Razvidno je, da smo največ podatkov dobili za krožna križišča ter za leve zavijalce na SPS. Najmanj podatkov smo dobili za analizo levih zavijalcev na GPS.

Grafikon 12: Delež dobljenih podatkov za izračun kritičnega razmaka t_c

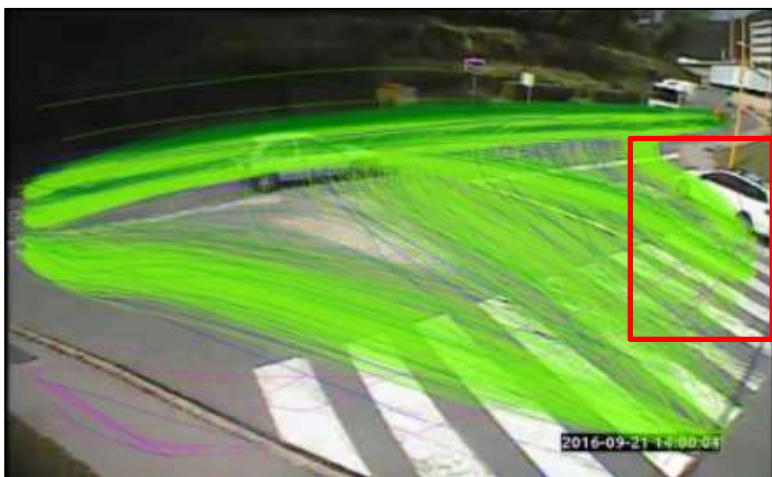


Na grafikonu 13 so prikazani deleži pridobljenih podatkov raziskave FGG-PTI-2020 za izračun časa sledenja t_f . Deleži sovpadajo z deleži pridobljenih podatkov za oceno t_c .

Grafikon 13: Delež dobljenih podatkov za izračun časa sledenja t_f



Pri analizah levih zavijalcev na GPS, kjer imamo najmanj pridobljenih podatkov, smo opazili največkrat nezasičene pogoje na GPS. Vozila, ki na GPS zavijajo levo, imajo ponujen dovolj velik razmak na GPS, da voznikom ni potrebno ustaviti in zavrniti razmaka. Poleg tega, je veliko križišč, ki bi bila primerna za analizo, bilo z leti spremenjenih v krožna križišča. Enako velja za zavijalce, ki prečkajo GPS. Med nesemaforizirana križišča smo pri analizi upoštevali trokraka in štirikraka križišča. Pri trokrakih križiščih tega manevra ne moremo opazovati, zato iz tega razloga dobimo manj podatkov. Poleg tega so bile kamere velikokrat postavljene tako, da kolona za prvim vozilom ni bila posneta in s tem nismo mogli pridobiti podatkov (slika 46, rdeč okvir). V teh primerih bi bilo potrebno pridobiti video posnetke ali posneti lastne video posnetke križišč z boljšo perspektivo na krake križišča. To bi lahko izboljšali z dodatnim dvigom kamere od tal ter posneti v boljši resoluciji. Pri resoluciji 720p se velikokrat zgodi, da programsko orodje ne prepoznalo objektov, ko se približujejo križišču. Pridobljeni video posnetki so namreč bili posneti v namene štetja prometa in so zato v veliki meri posneli le ožje območje križišča.

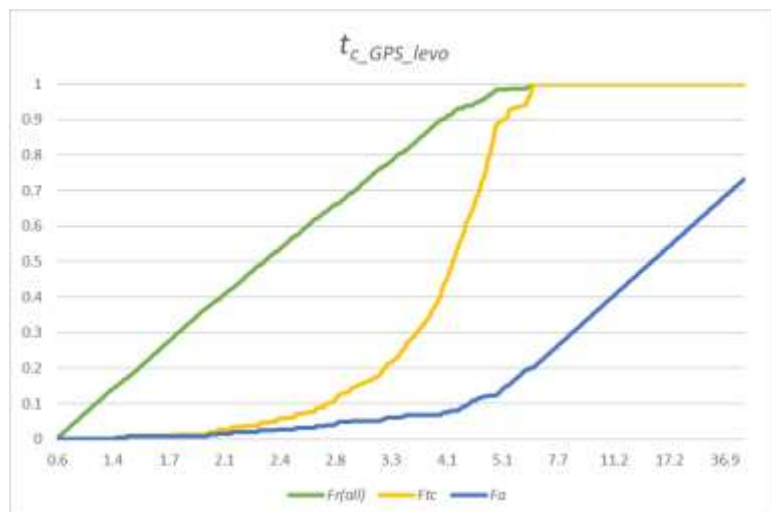


Slika 46: Primer postavitve kamere na trokrakem nesemaforiziranem križišču
(<https://ai.datafromsky.com/light/tasks> (Pridobljeno 26.12.2020.))

5.2.1 GPS – levi zavijalci

Pri analizi levih zavijalcev na GPS je bilo zaznanih 250 zavrženih razmakov ter 183 sprejetih časovnih razmakov, kar je skupno 433 podatkov. Kakor je razvidno iz grafikonov 12 in 13, je to najmanjši delež podatkov, ki so bili pridobljeni z analizo video posnetkov. V veliki meri je delež podatkov odvisen od postavitve kamere ter od kvalitete in resolucije video posnetkov, nenazadnje pa tudi od razporeditve prometa na dotičnem križišču. Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na GPS so prikazane na grafikonu 14. $Fr(all)$ je funkcija gostote verjetnosti vseh zavrženih razmakov in je označena z zeleno barvo, Fa pa funkcija gostote verjetnosti sprejetih časovnih razmakov in je označena z modro barvo. Med tema dvema funkcijema leži Ftc , ki je funkcija gostote verjetnosti kritičnega razmaka.

Grafikon 14: Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na GPS



Kritični razmak je bil izmerjen z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, rezultati analize so prikazani v preglednici 14. Ravno tako so prikazani rezultati analize za čas sledenja.

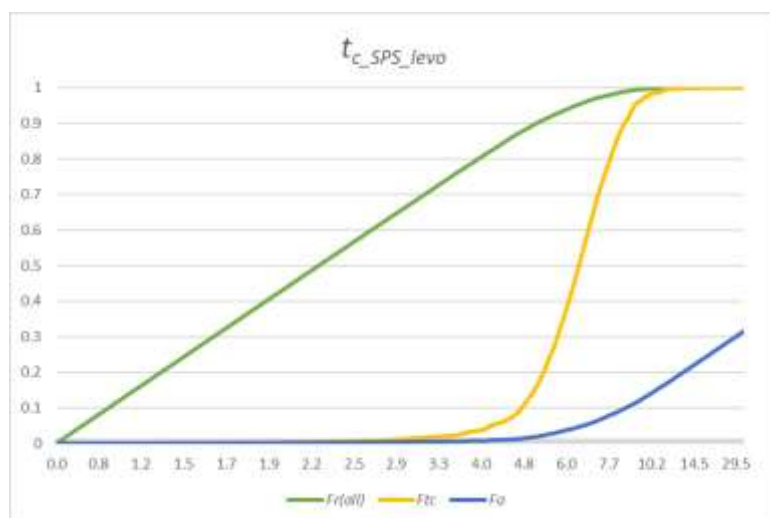
Preglednica 14: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - levi zavijalci na GPS

GPS_levo	Kritični razmak t_c	Čas sledenja t_f
Minimum [s]	0.6	1.8
Maksimum [s]	59.4	3.7
FGG-PTI-2020 [s]	4.1	2.9
Varianca σ^2	1.4	0.4
15. percentila [s]	1.6	2.1
85. percentila [s]	14.3	3.5
Št. podatkov	433	17

5.2.2 SPS – levi zavijalci

Pri analizi levih zavijalcev na SPS je bilo zaznanih 4920 zavrženih razmakov ter 1546 sprejetih časovnih razmakov, kar je skupno 6467 podatkov. Kakor je razvidno iz grafikonov 12 in 13, je to največji dekež, ki so bili pridobljeni z analizo video posnetkov. Za izračun t_f smo prav tako dobili veliko količino podatkov. Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na SPS so prikazane na grafikonu 15. Kakor vidimo so funkcije gladke v primerjavi s funkcijami za leve zavijalce na GPS. To pa zato, ker smo pridobili približno 15 krat več podatkov za izračun t_c , kakor pri manevru GPS – levi zavijalci.

Grafikon 15: Funkcije gostot verjetnosti za leve zavijalce na SPS



Kritični razmak je bil izmerjen z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, rezultati analize so prikazani v preglednici 15. Ravno tako so prikazani rezultati analize za čas sledenja. V prvem stolpcu so pod *Minimum [s]* in *Maksimum [s]* prikazani rezultati izmed vseh zavrnjenih in sprejetih kritičnih razmakov.

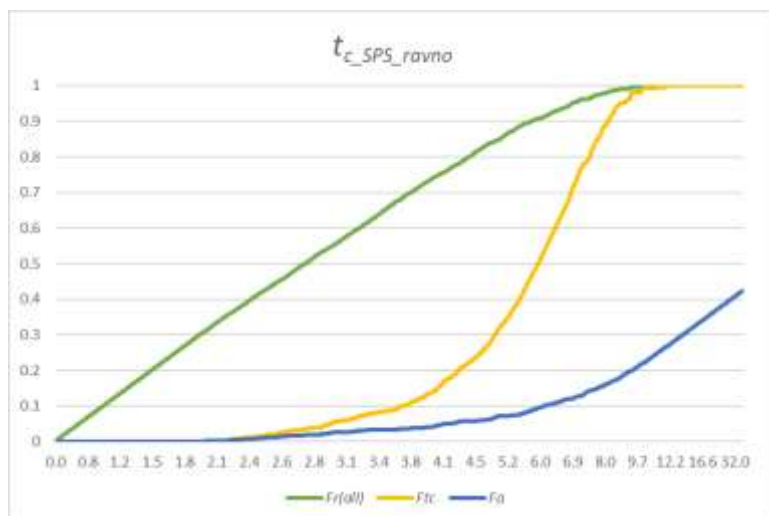
Preglednica 15: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - levi zavijalci na SPS

SPS_levo	Kritični razmak t_c	Čas sledenja t_f
Minimum [s]	0.3	0.8
Maksimum [s]	59.3	14.1
FGG-PTI-2020 [s]	6.5	3.7
Varianca σ^2	3	2.6
15. percentila [s]	1.3	2.5
85. percentila [s]	9.3	4.7
Št. Podatkov	6467	327

5.2.3 SPS – ravno

Pri analizi vozil, ki ravno prečkajo GPS (SPS_ravno) je bilo zaznanih 747 zavrnjenih razmakov ter 317 sprejetih časovnih razmakov, kar je skupno 1064 podatkov. Funkcije gostot verjetnosti za vozila, ki ravno prečkajo GPS so prikazane na grafikonu 16.

Grafikon 16: Funkcije gostot verjetnosti za vozila, ki ravno prečka GPS



Kritični razmak je bil izmerjen z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, rezultati analize so prikazani v preglednici 16. Ravno tako so prikazani rezultati analize za čas sledenja.

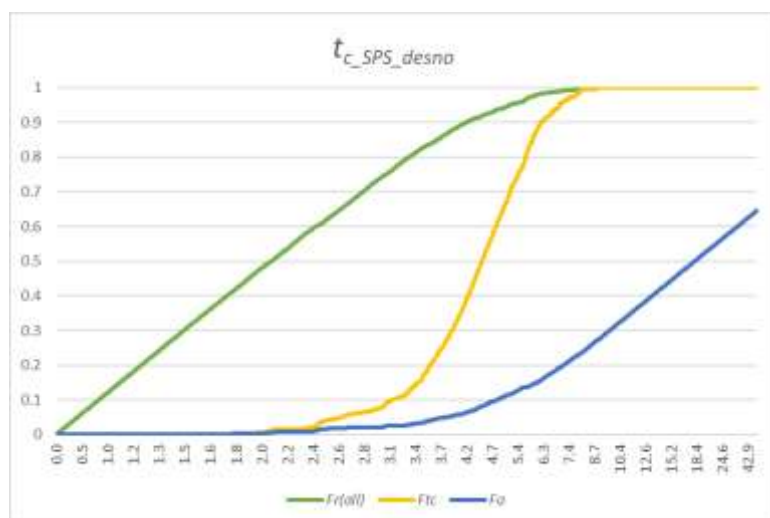
Preglednica 16: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - vozila, ki ravno prečkajo GPS

SPS_ravno	Kritični razmak t_c	Čas sledenja t_f
Minimum [s]	0.6	0.7
Maksimum [s]	55.7	9.3
FGG-PTI-2020 [s]	5.9	3.9
Varianca σ^2	3.3	3.3
15. percentila [s]	1.6	2.5
85. percentila [s]	10.1	5.9
Št. podatkov	1064	33

5.2.4 SPS – desni zavijalci

Pri analizi desnih zavijalcev na SPS je bilo zaznanih 834 zavrženih razmakov ter 535 sprejetih časovnih razmakov, kar je skupno 1370 podatkov. Funkcije gostot verjetnosti za desne zavijalce na SPS so prikazane na grafikonu 17.

Grafikon 17: Funkcije gostot verjetnosti za desne zavijalce na SPS



Kritični razmak je bil izmerjen z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, rezultati analize so prikazani v preglednici 17. Ravno tako so prikazani rezultati analize za čas sledenja.

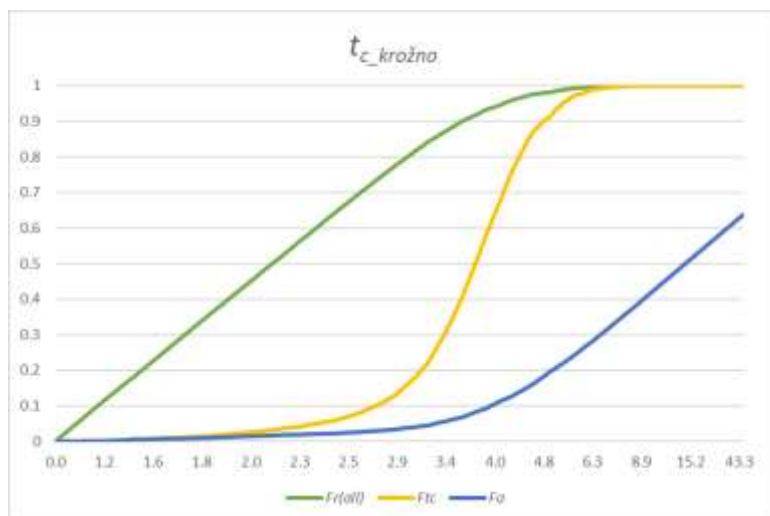
Preglednica 17: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - desni zavijalci na SPS

SPS_desno	Kritični razmak t_c	Čas sledenja t_f
Minimum [s]	0.8	0.7
Maksimum [s]	58.8	7.6
FGG-PTI-2020 [s]	4.6	3.1
Varianca σ^2	1.9	1.1
15. percentila [s]	1.4	2.3
85. percentila [s]	13.3	3.6
Št. Podatkov	1370	82

5.2.5 Krožna križišča

Pri analizi krožnih križišč je bilo zaznanih 3441 zavrnjenih razmakov ter 2218 sprejetih časovnih razmakov, kar je skupno 5549 podatkov. Za izračun t_f smo prav tako dobili veliko količino podatkov. Funkcije gostot verjetnosti za krožna križišča so prikazane na grafikonu 18. Kakor vidimo so funkcije gladke v primerjavi s funkcijami, kjer imamo podatkov manj.

Grafikon 18: Funkcije gostot verjetnosti za krožna križišča



Kritični razmak je bil izmerjen z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, rezultati analize so prikazani v preglednici 18. Ravno tako so prikazani rezultati analize za čas sledenja.

Preglednica 18: Obsežna raziskava FGG-PTI-2020 - krožna križišča

Krožna križišča	Kritični razmak t_c	Čas sledenja t_f
Minimum [s]	0.6	0.8
Maksimum [s]	59.9	5.2
FGG-PTI-2020 [s]	3.7	2.7
Varianca σ^2	1.3	0.5
15. percentila [s]	1.6	2.1
85. percentila [s]	7.9	3.4
Št. podatkov	5549	353

5.3 Primerjava parametrov raziskave FGG-PTI-2020 s parametri raziskav v sklopu zaključnih del na UL FGG

Izmerjene vrednosti raziskave FGG-PTI-2020 so v tem poglavju primerjane z vrednostmi dveh raziskav v sklopu zaključnih del na UL FGG, to sta diplomsko delo iz leta 2003 (Logar, D. 2003. Določitev kritičnih razmakov za ovirane prometne tokove na nesemaforiziranem križišču) ter diplomsko delo iz leta 2006 (Logar, D. 2006. Določitev parametrov kritičnega razmaka za

ovirane prometne tokove na krožnem križišču). Rezultati in primerjave so prikazani v preglednicah 19 in 20.

Preglednica 19: Primerjava parametrov t_c in t_f – nesemaforizirana križišča (povzeto po Logar 2003)

Manever		LOGAR 2003 [s]	FGG-PTI-2020 [s]
GPS_levo	$t_c =$	5.6	4.1
	$t_f =$	2.3	2.9
SPS_levo	$t_c =$	6.6	6.5
	$t_f =$	2.4	3.7
SPS_ravno	$t_c =$	6.0	5.9
	$t_f =$	2.4	3.9
SPS_desno	$t_c =$	5.3	4.6
	$t_f =$	2.6	3.1

Preglednica 20: Primerjava parametrov t_c in t_f – krožna križišča (povzeto po Logar 2006)

Manever		LOGAR 2006 [s]	FGG-PTI-2020 [s]
Krožna križišča	$t_c =$	2.7	3.7
	$t_f =$	1.95	2.7

5.4 Primerjava parametrov raziskave FGG-PTI-2020 s parametri kapacitetnih modelov v SIDRA INTERSECTION 9.0

Izmerjene vrednosti raziskave FGG-PTI-2020 so v tem poglavju primerjane z vrednostmi privzetih kapacitetnih modelov v programskem orodju SIDRA INTERSECTION 9.0. Programsko orodje je razširjeno med slovenskimi inženirji na področju prometnega inženirstva. Rezultati in primerjave so prikazani v preglednicah 21 do 25.

Preglednica 21: Primerjava parametrov t_c in t_f – levi zavijalci na GPS

Manever		SIDRA HCM [s]	FGG-PTI-2020 [s]
GPS_levo	$t_c =$	4.1	4.1
	$t_f =$	2.2	2.9
		SIDRA STANDARD [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	4.5	4.1
	$t_f =$	2.5	2.9

Preglednica 22: Primerjava parametrov t_c in t_f – levi zavijalci na SPS

Manever		SIDRA HCM [s]	FGG-PTI-2020 [s]
SPS_levo	$t_c =$	7.5	6.5
	$t_f =$	3.5	3.7
		SIDRA STANDARD [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	7	6.5
	$t_f =$	4	3.7

Preglednica 23: Primerjava parametrov t_c in t_f – vozila, ki ravno prečkajo GPS

Manever		SIDRA HCM [s]	FGG-PTI-2020 [s]
SPS_ravno	$t_c =$	6.5	5.9
	$t_f =$	4	3.9
		SIDRA STANDARD [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	6.5	5.9
	$t_f =$	3.5	3.9

Preglednica 24: Primerjava parametrov t_c in t_f – desni zavijalci na SPS

Manever		SIDRA HCM [s]	FGG-PTI-2020 [s]
SPS_desno	$t_c =$	6.9	4.6
	$t_f =$	3.3	3.1
		SIDRA STANDARD [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	5	4.6
	$t_f =$	3	3.1

Preglednica 25: Primerjava parametrov t_c in t_f – krožna križišča

Manever		US HCM 6 [s]	FGG-PTI-2020 [s]
Krožna križišča	$t_c =$	4.98	3.7
	$t_f =$	2.61	2.7
		US HCM 2010 [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	5.19	3.7
	$t_f =$	3.19	2.7
		SIDRA STANDARD [s]	FGG-PTI-2020 [s]
	$t_c =$	4 - 4.8 (*)	3.7
	$t_f =$	2.4 - 3.1 (*)	2.7

(*) Parametra t_c in t_f sta pri kapacitetnem modelu SIDRA Standard povezana z geometrijo krožnega križišča ter pretoki in vstopnimi tokovi.

Čas sledenja se zmanjša z:

- naraščajočim premerom krožnega križišča,
- povečanjem vstopnega radija in zmanjšanjem vstopnega kota,
- povečanjem pretoka,
- zmanjševanjem števila prometnih pasov,
- povečanjem števila vstopnih pasov.

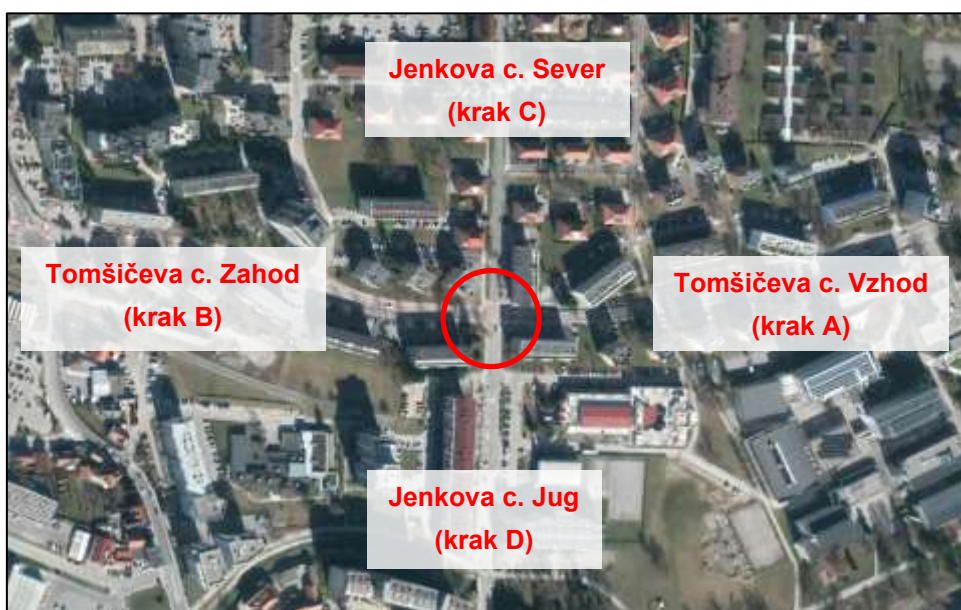
Kritični razmak je sorazmerna času sledenja. Razmerje t_c in t_f je v območju od 1,1 do 2,1 in se z naraščanjem zmanjšuje:

- pretok v krožišču,
- število krožnih pasov,
- povprečna širina vstopnega pasu.

Učinki težkih vozil se upoštevajo z uporabo ekvivalenta težkega vozila za modele kritičnega razmaka.

5.5 Kapacitetni izračuni s programskim orodjem SIDRA INTERSECTION 9.0 z uporabo privzetih parametrov in parametrov FGG-PTI-2020

V tem poglavju so primerjani parametri raziskave FGG-PTI-2020 z različnimi kapacitetnimi modeli v programu SIDRA INTERSECTION 9.0. Mikro lokacije obravnavanih križišč so prikazane na slikah 47 in 48. Nesemaforizirano štiriktako križišče Tomšičeve ceste in Jenkove ceste v Velenju (09_SAVINJ - VIDEO_08 - VELENJE - NESEM – 1) se za primerjalno študijo označi z oznako K1. Krožno križišče Partizanske ceste in Pokopališke ceste v Velenju (09_SAVINJ - VIDEO_06 - VELENJE - KROŽ – 1) se za primerjalno študijo označi z oznako K2. Lokaciji križišč sta podani v Prilogi A.



Slika 47: Mikro lokacija nesemaforiziranega križišča – K1
<https://www.google.si/maps> (Pridobljeno 5.1.2021.)



Slika 48: Mikro lokacija krožnega križišča – K2
<https://www.google.si/maps> (Pridobljeno 5.1.2021.)

Izračuni za primerjavo so narejeni po metodologiji HCM 6. Upoštevani so vsi potrebni parametri za izračun kapacitete križišč, kot so geometrija, merodajne prometne obremenitve, zamude, NU, dolžine kolon.

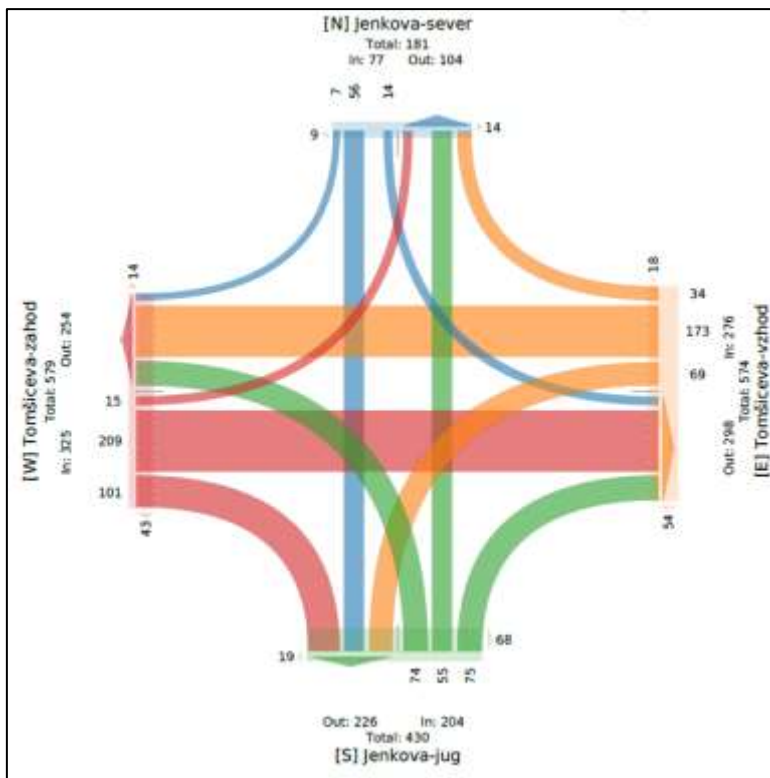
Kriterija, ki sta upoštevana pri uspešnosti delovanja križišč sta dva, in sicer:

- kriterij prometnih obremenitev (kapaciteta), katerega izrazimo s stopnjo zasičenosti $X = V/C$ (5.1). Ob koncu planske dobe 20 let, je še zadovoljiva stopnja nasičenja 0,85 ob doseženem kriteriju prometnih obremenitev,
- kriterij čakalnih časov, ki je izražen preko zamud. Ob koncu planske dobe 20 let je končni NU lahko E ob doseženem kriteriju čakalnih časov. V primeru nivoja uslug F pa je potrebno izvesti dodatne ukrepe na križišču.

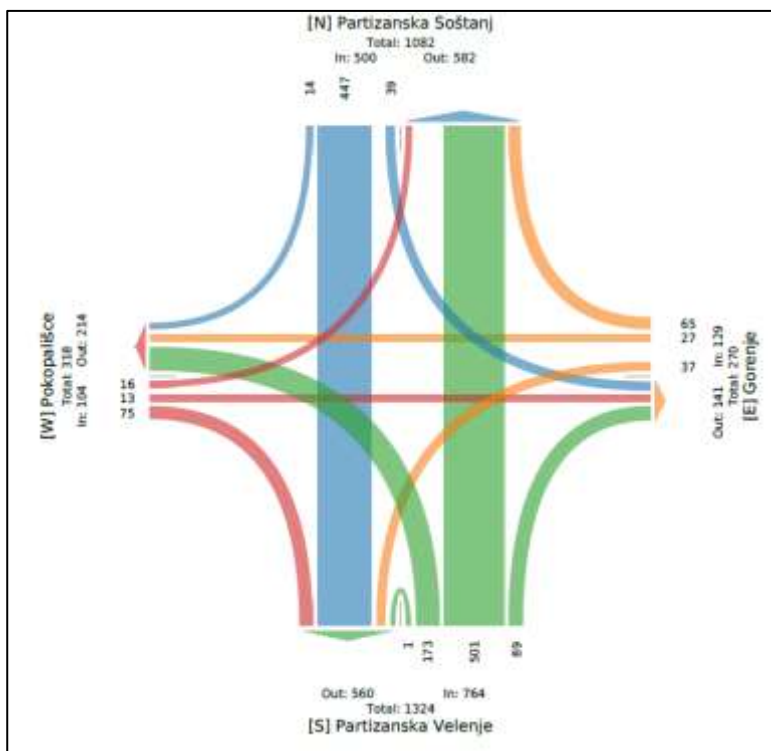
Kriterij odvisnosti čakalnih časov od NU po HCM je prikazan v preglednici 2. Po metodi HCM je potrebno križišča analizirati na maksimalni 15 minutni promet v koničnih urah (ker gre samo za primerjavo parametrov smo upoštevali na križišču K1 le jutranjo ter na križišču K2 popoldansko konico). Za primerjalno študijo smo predpostavili 2% rast prometnih obremenitev.

5.5.1 Štetje prometa

Na obravnavanih križiščih je bilo izvedeno video štetje prometa. Na slikah 49 in 50 so prikazane prometne obremenitve za vsa vozila na izbranih križiščih za konično uro.



Slika 49: Prometne obremenitve (vsa vozila) na križišču K1 – 1 od 7:30 do 8:30 ure – jutranja konična ura (PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2016)



Slika 50: Prometne obremenitve (vsa vozila) na križišču K2 od 13:45 do 14:45 ure – popoldanska konična ura (PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2019)

5.5.2 Merodajne prometne obremenitve

Merodajna prometna obremenitev je izražena z enoto osebnih vozil na uro [EOV/h]. Ustrezen faktor konične ure je upoštevan za vsak krak posebej in je izračunan iz podatkov štetja. FKU med 0,8 in 0,95 so značilni za visoke prometne obremenitve. Ko imamo nižje vrednosti FKU so nihanja pretoka znotraj konične ure velika. FKU za posamezno smer na krakih analiziranih križišč so prikazani v preglednicah 26 in 27.

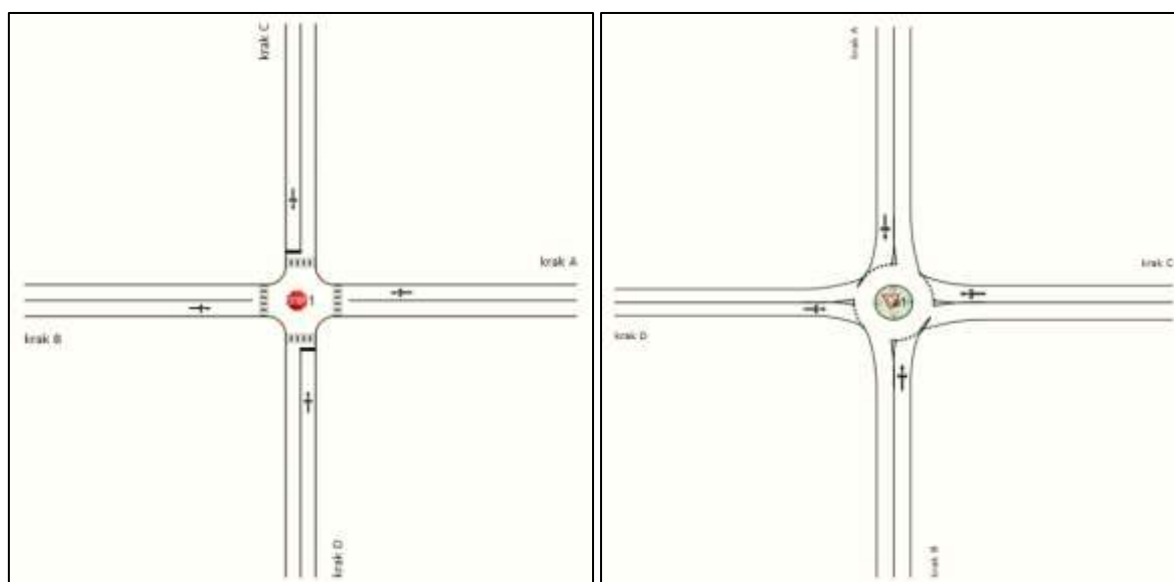
Preglednica 26: FKU za posamezno smer kraka križišča K1 (PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2016)

KRAK	LEVO	RAVNO	DESNO
A	0.784	0.759	0.607
B	0.789	0.821	0.750
C	0.583	0.700	0.583
D	0.661	0.794	0.721

Preglednica 27: FKU za posamezno smer kraka križišča K2 (PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2019)

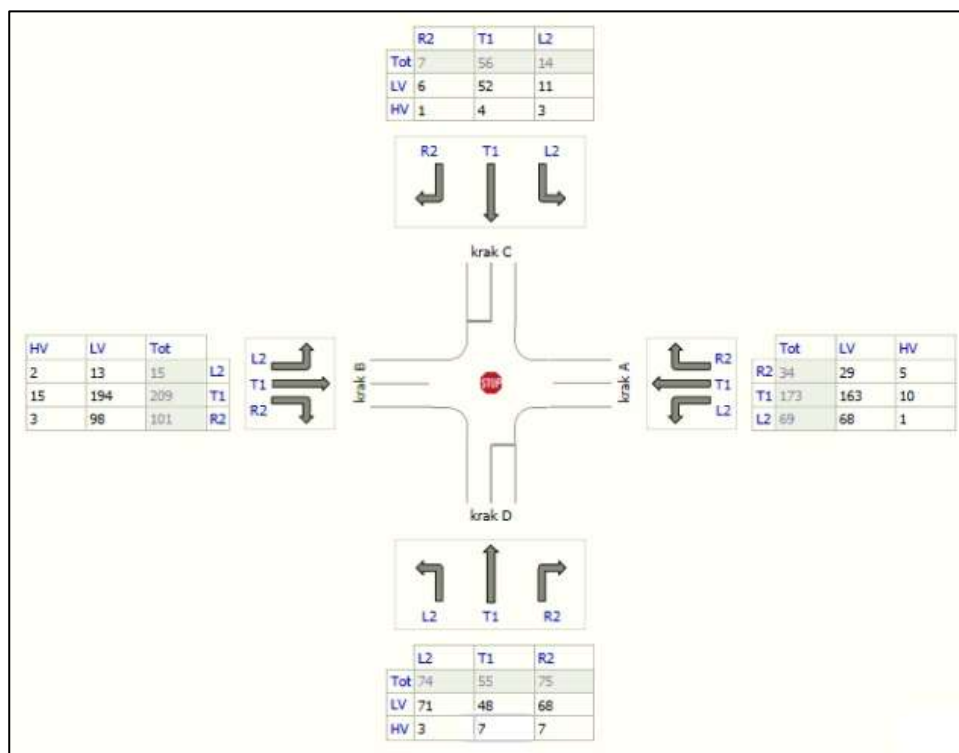
KRAK	LEVO	RAVNO	DESNO
A	0.667	0.931	0.667
B	0.798	0.93	0.865
C	0.897	0.694	0.75
D	0.611	0.75	0.87

5.5.3 Geometrija križišč (shematični prikaz)

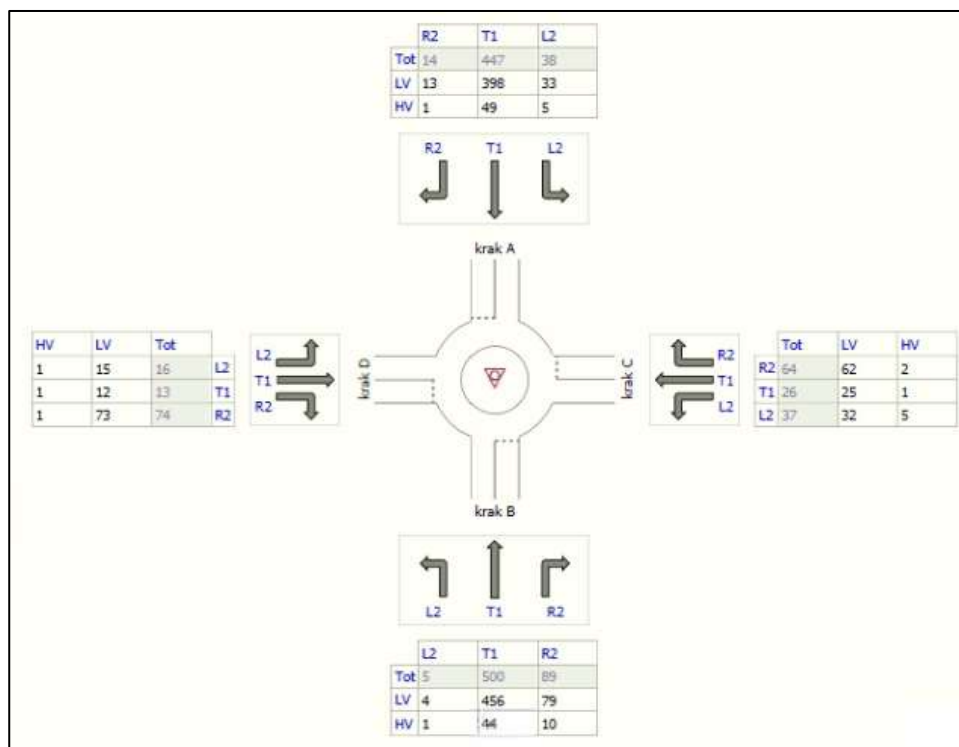


Slika 51: Geometrija križišč K1 in K2

5.5.4 Prometne obremenitve (osebna vozila in tovorna vozila)

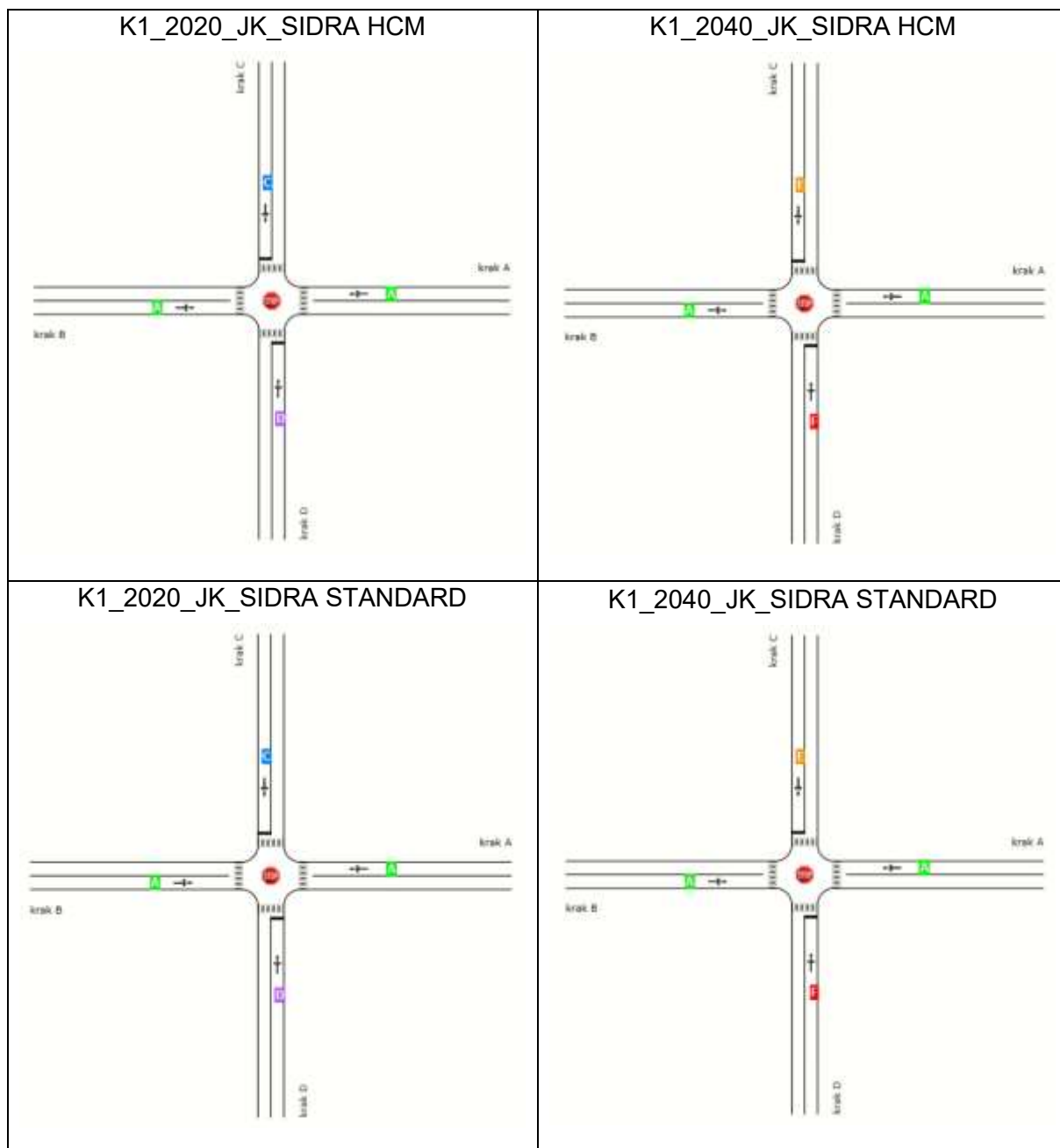


Slika 52: Prometne obremenitve križišča K1



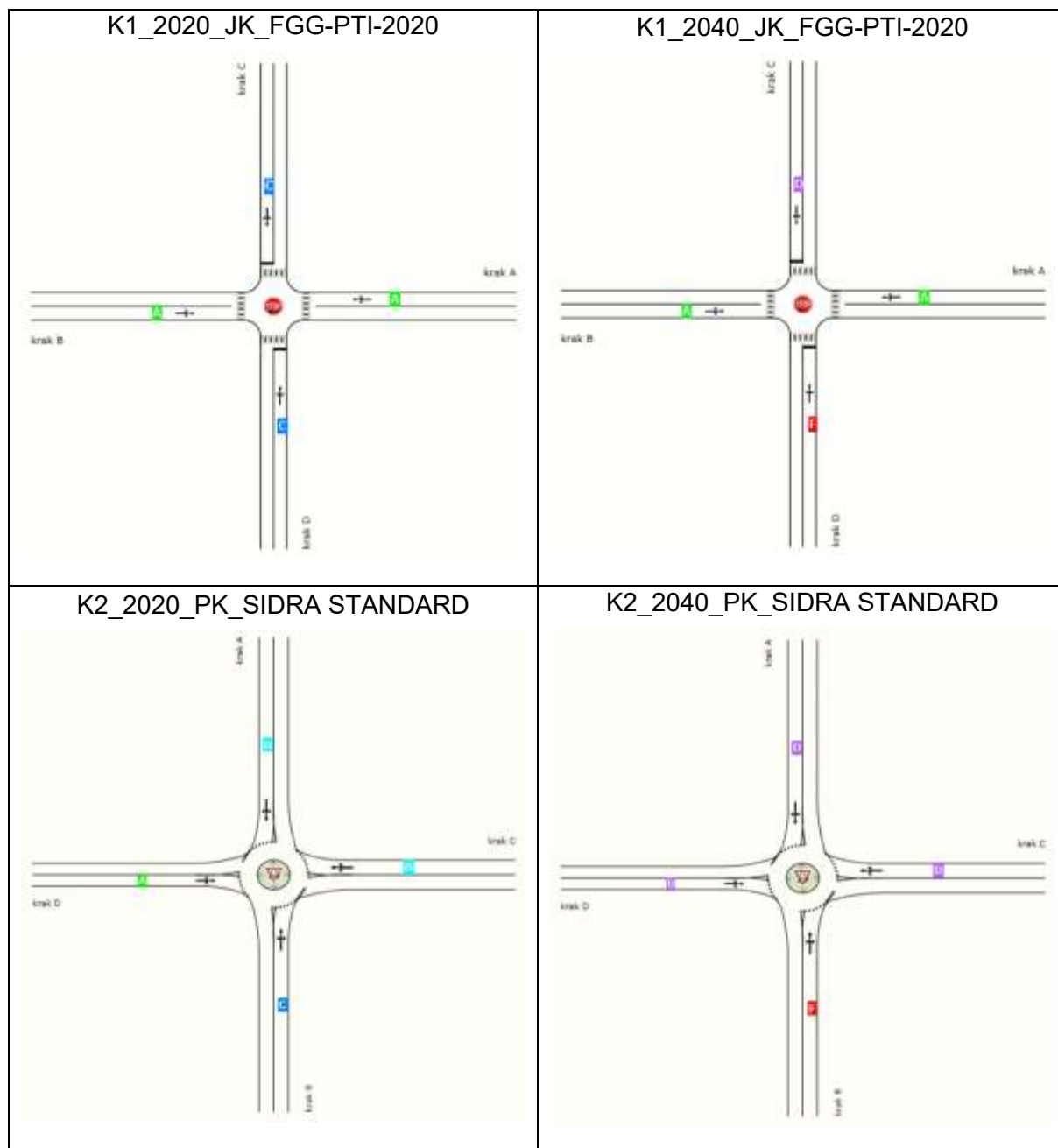
Slika 53: Prometne obremenitve križišča K2

5.5.5 Nivo uslug



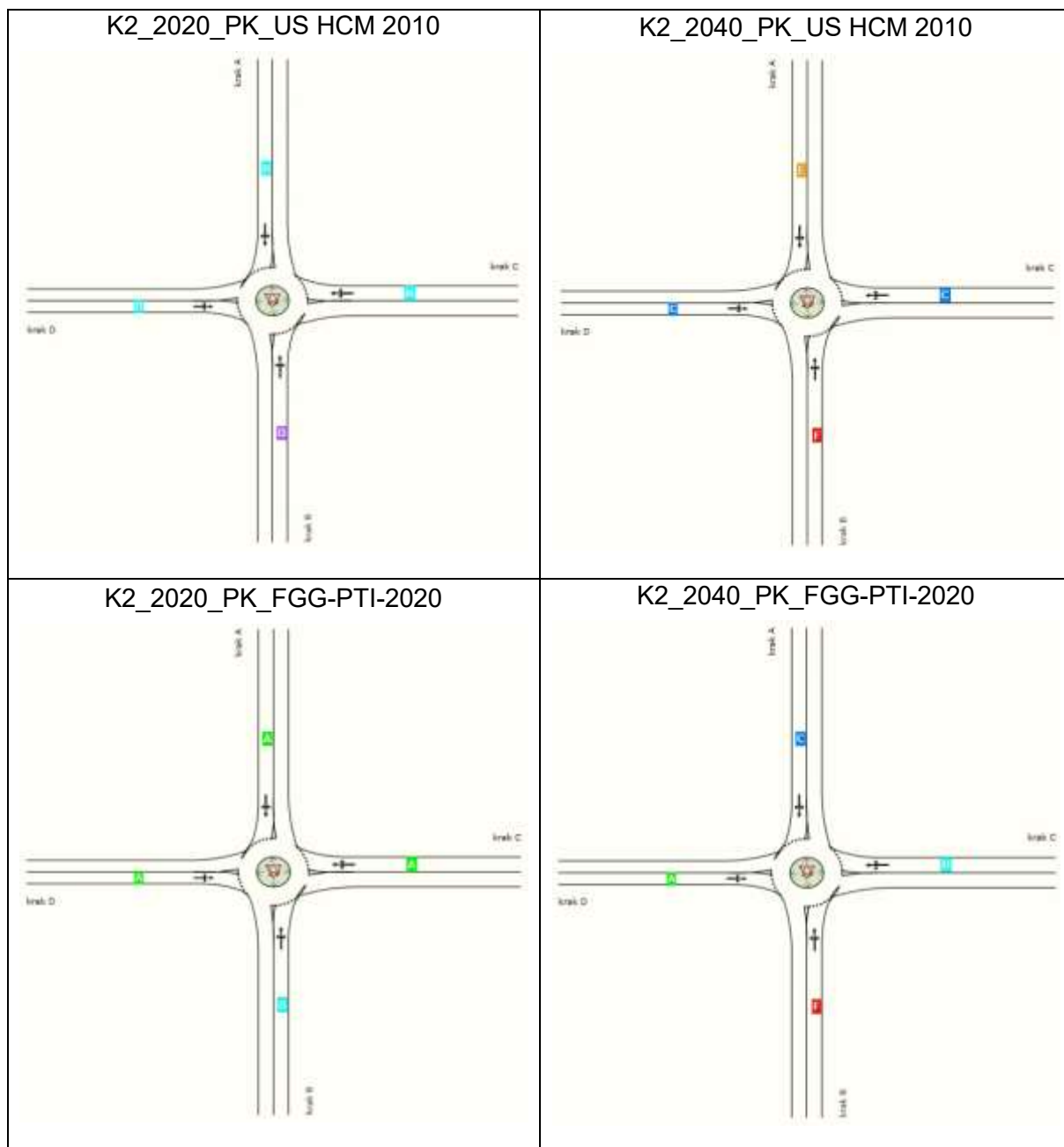
Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:





Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:

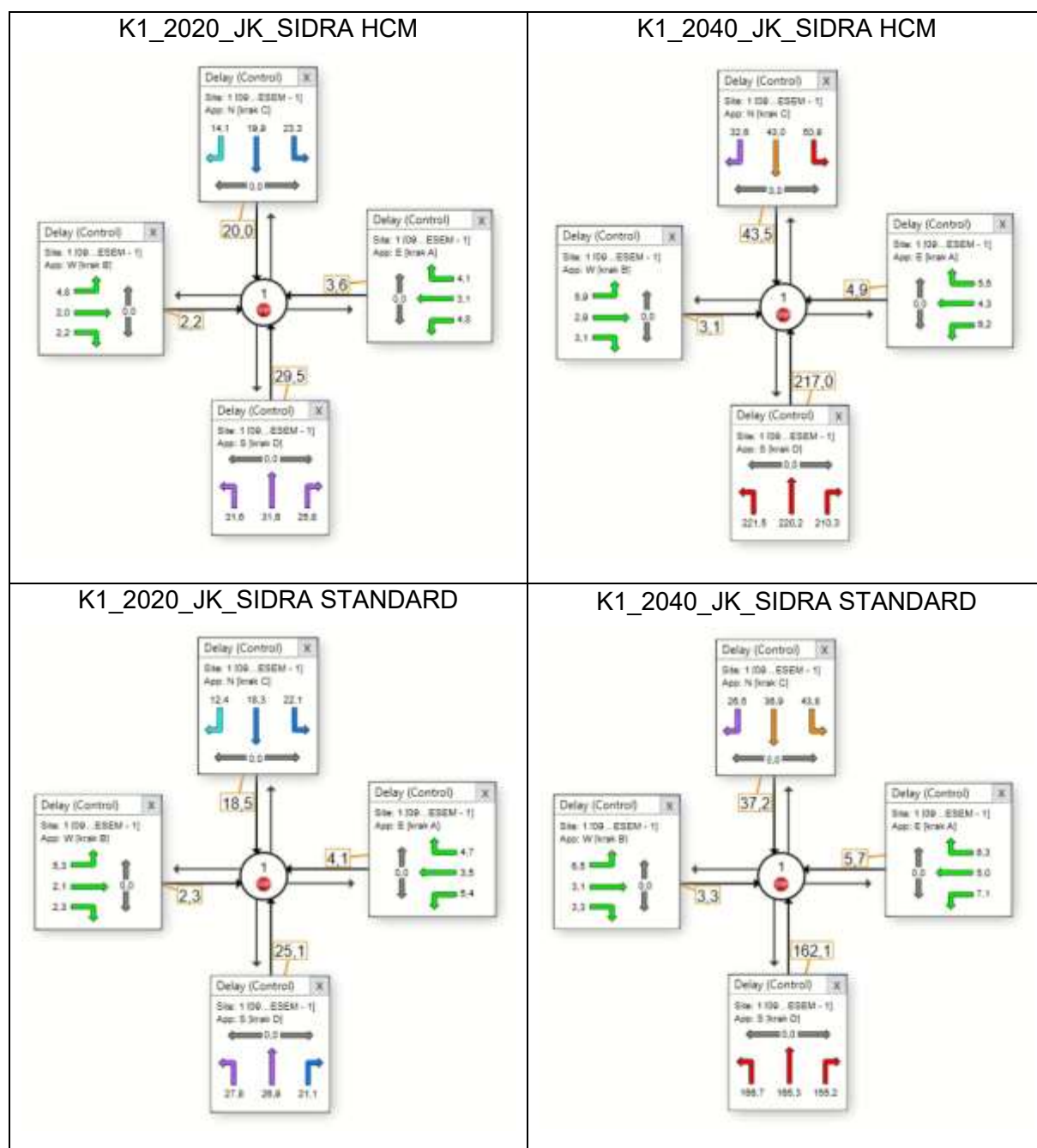




Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:

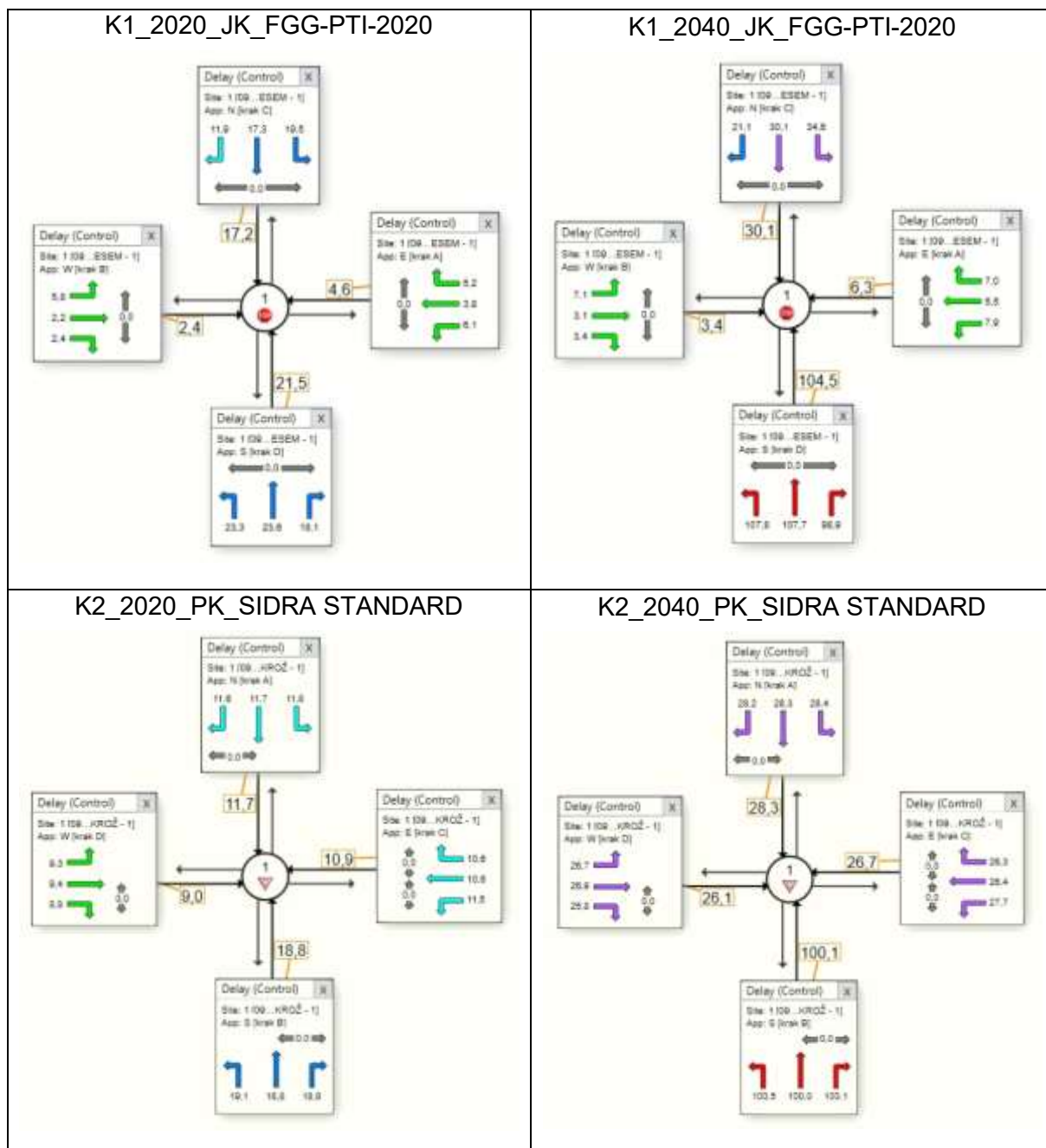


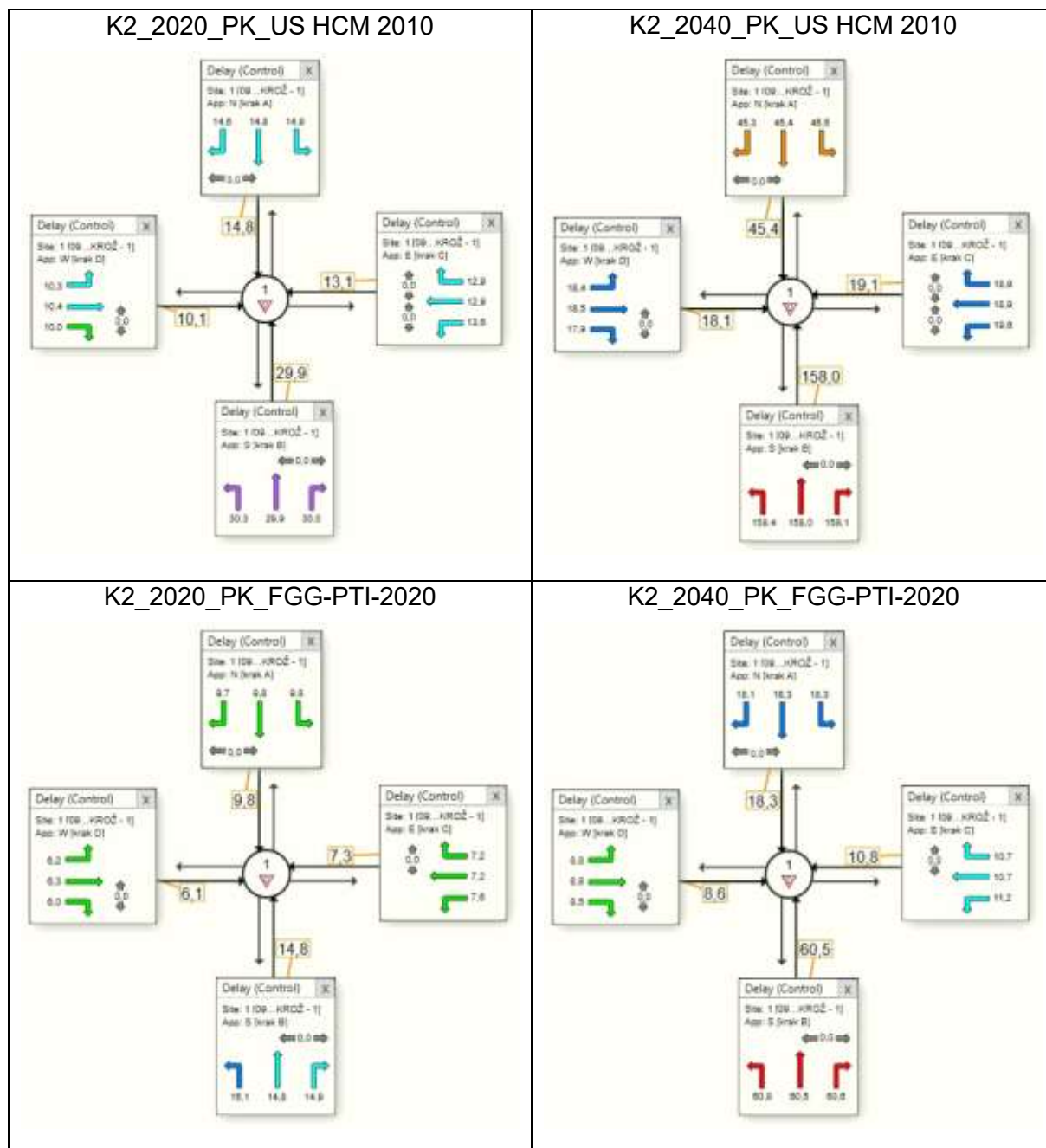
5.5.6 Zamude [sek/vozilo]



Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:



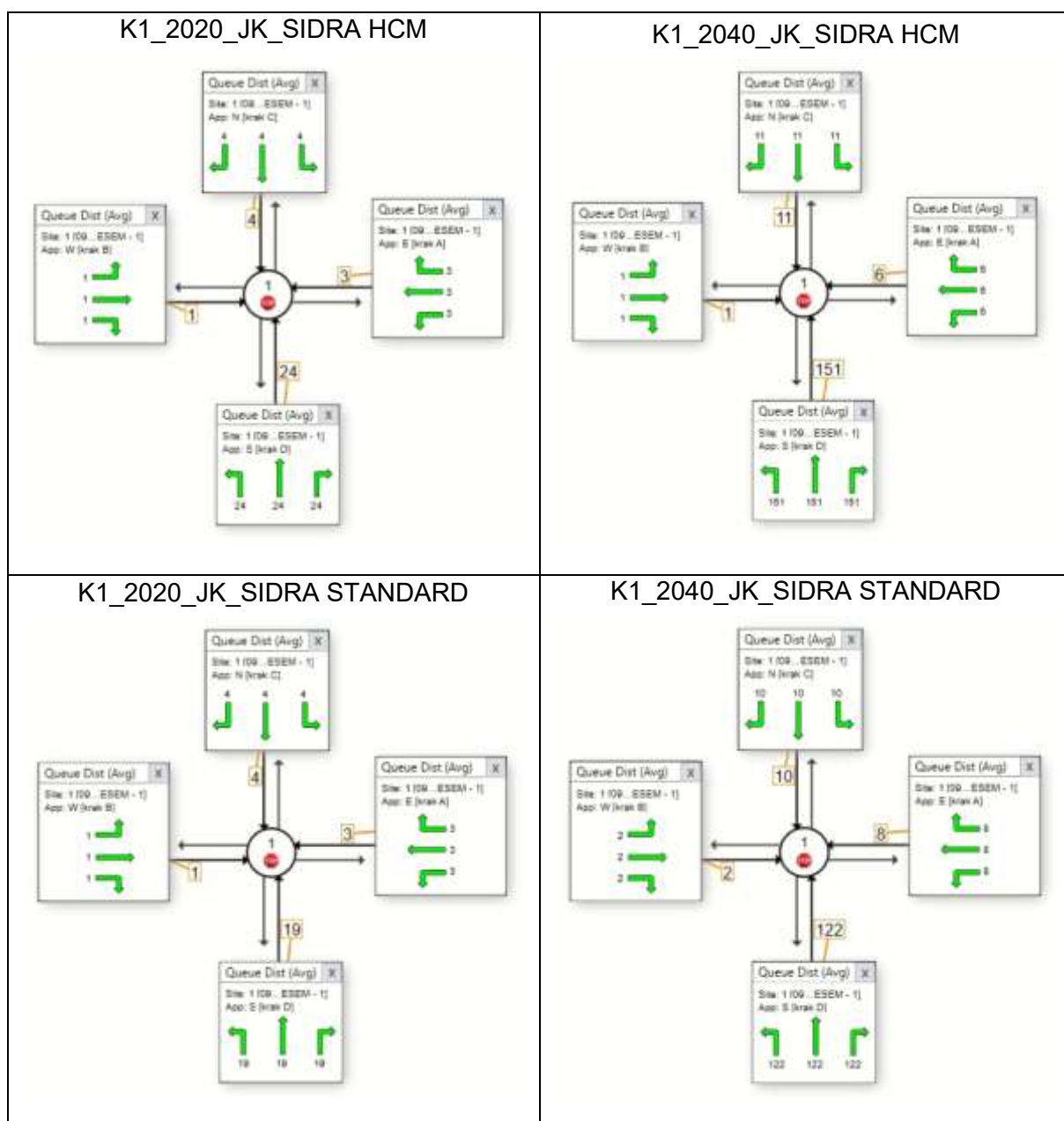




Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:

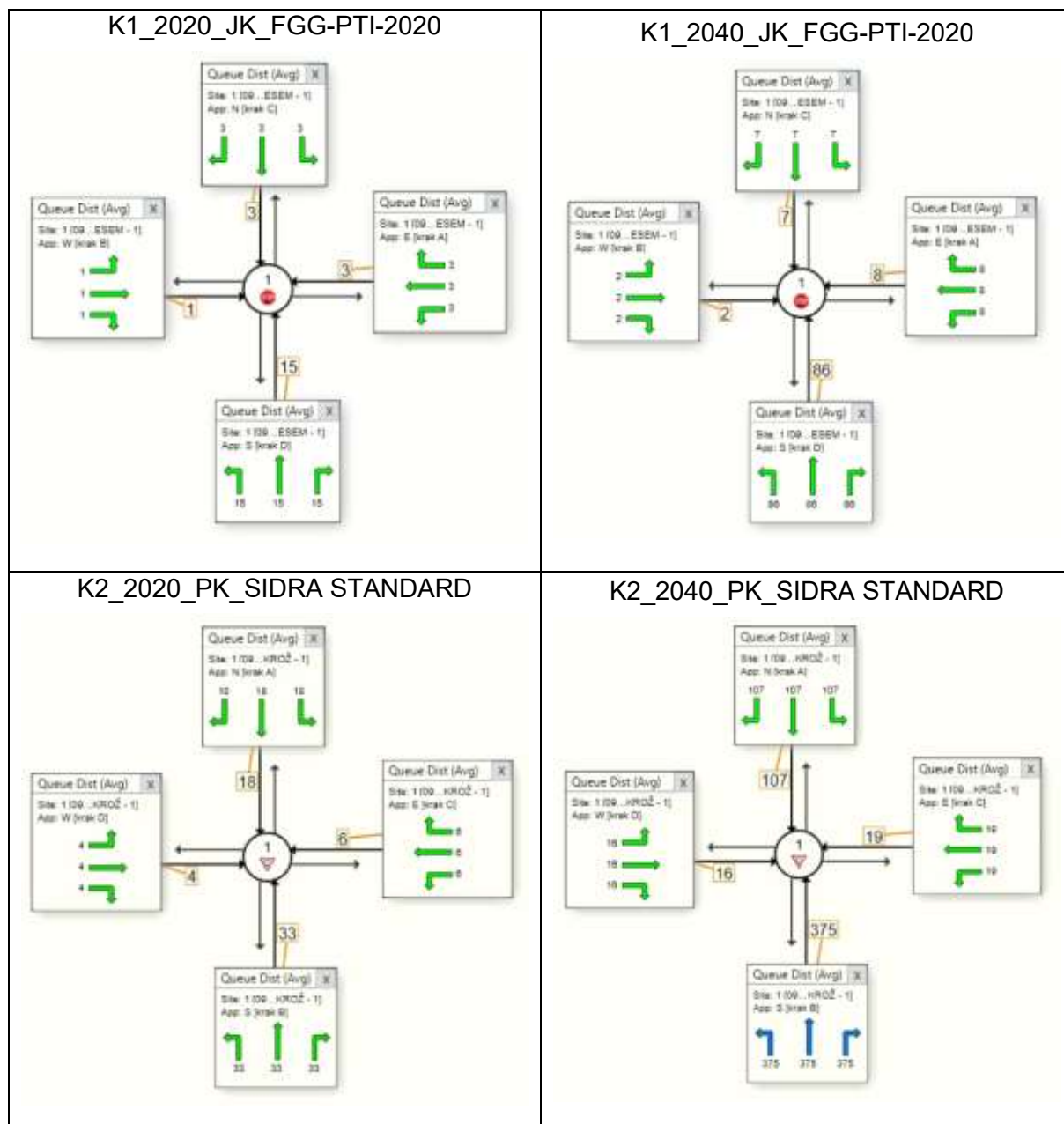


5.5.7 Kolone/zaježitveno območje [m]

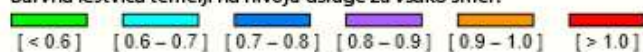


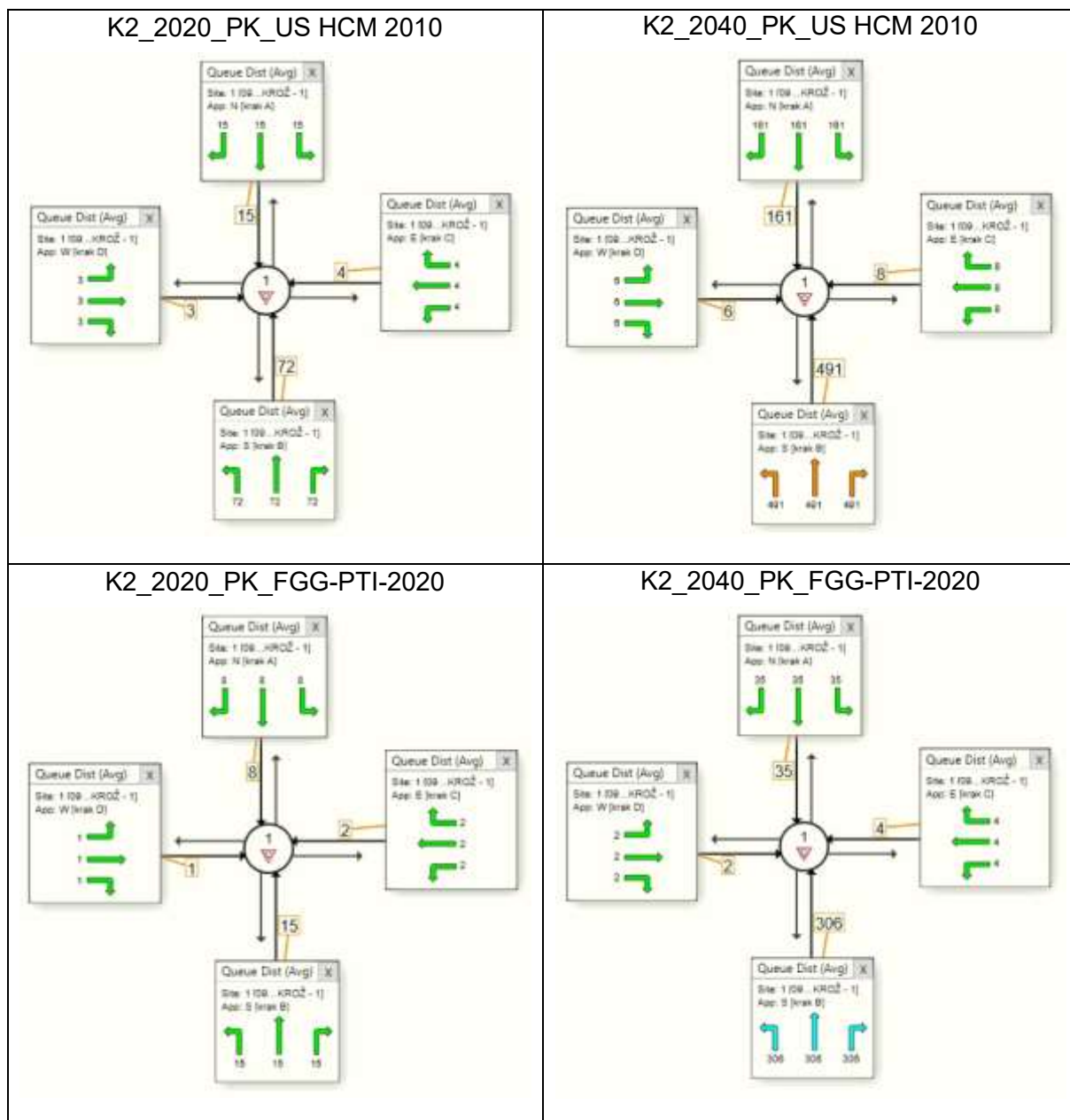
Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:





Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:

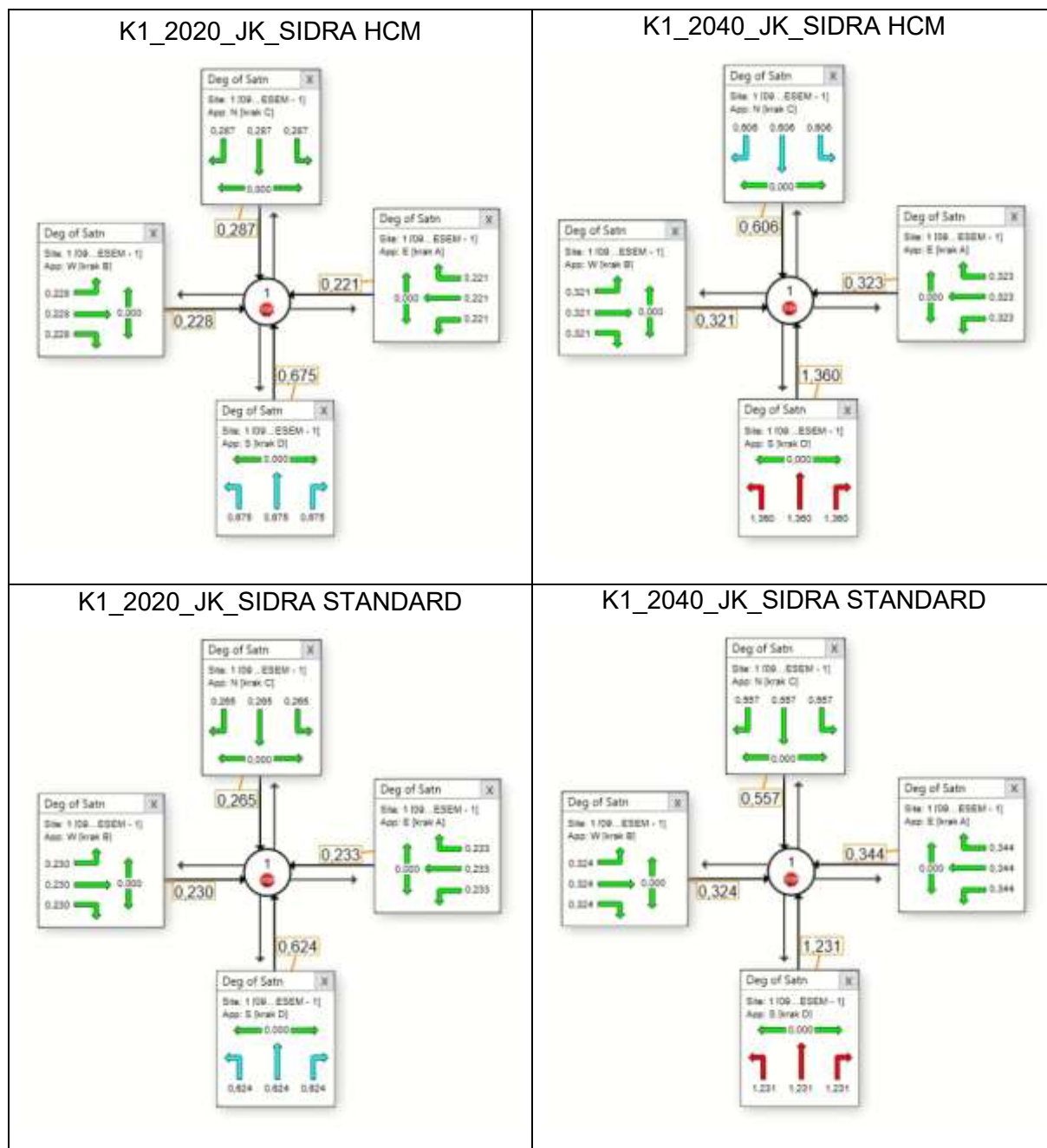




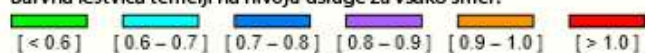
Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:

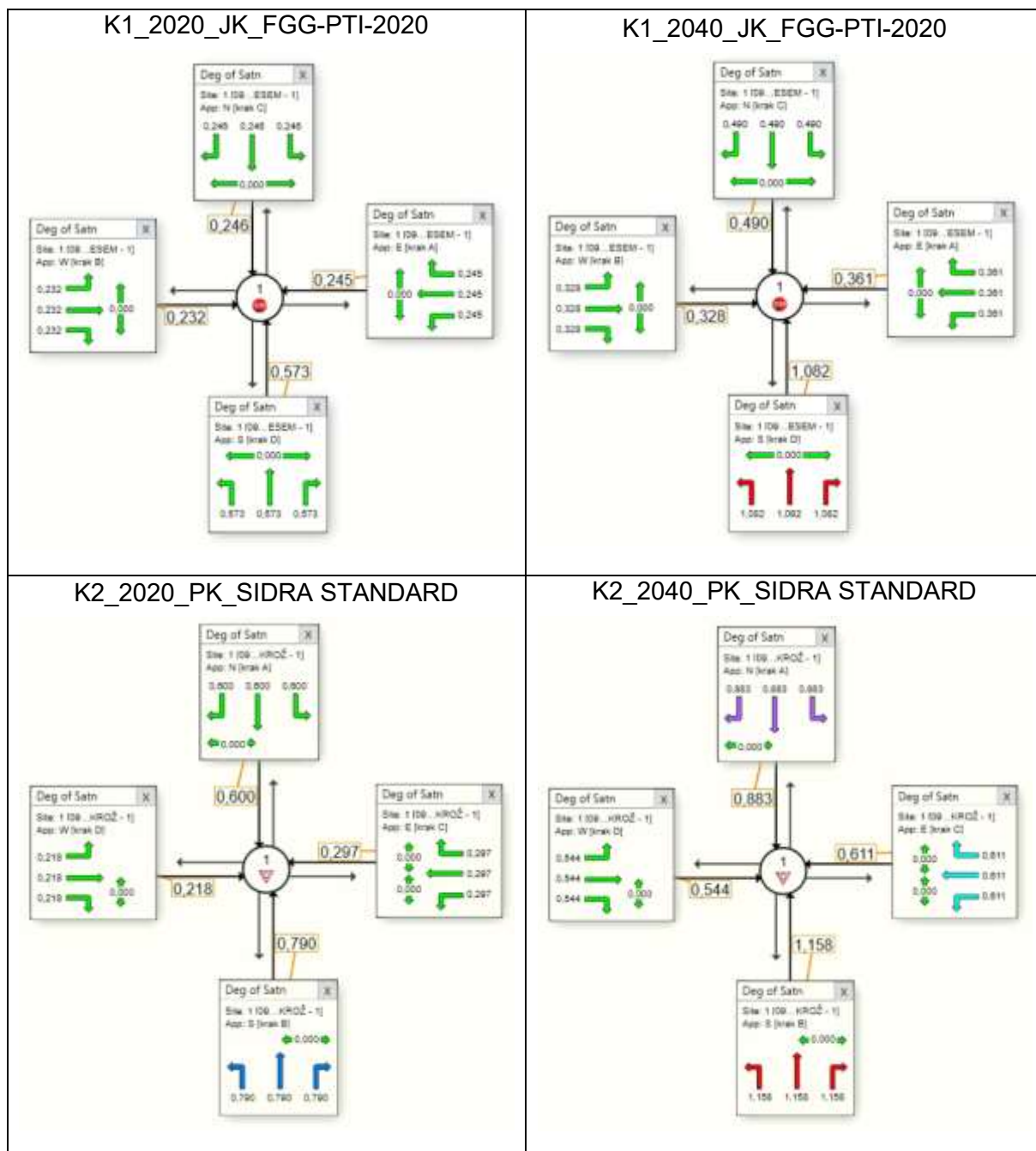


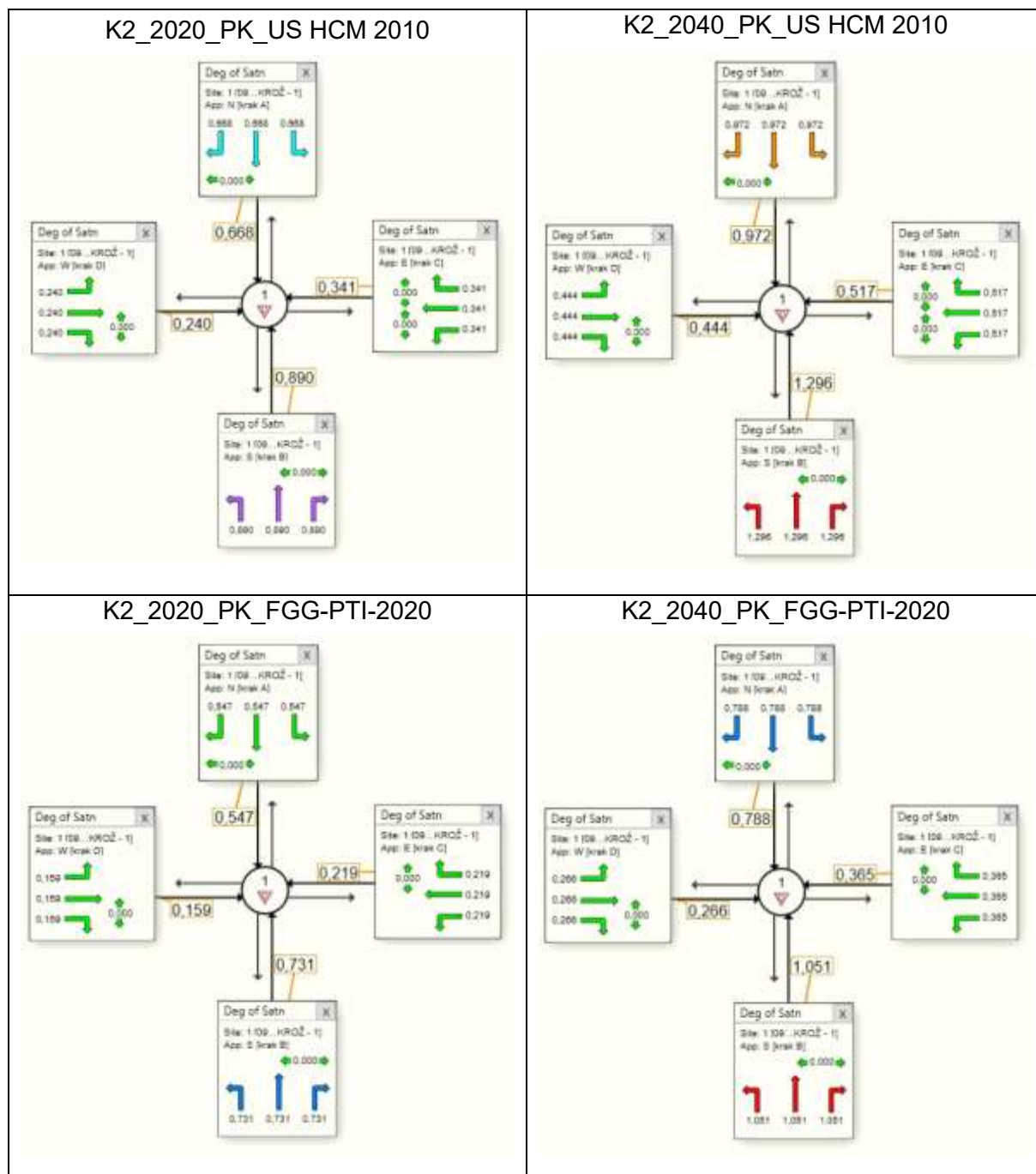
5.5.8 Stopnja zasičenosti



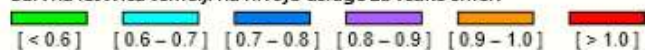
Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:







Barvna lestvica temelji na nivoju usluge za vsako smer:



5.5.9 Zbrani podatki kapacitetne analize

Preglednica 28: Zbrani podatki kapacitetne analize za K1 - krak D in K2 – krak B

Križišče	Leto	Nivo uslug	Zamude [sek/vozilo]	Kolone/zaježitveno območje [m]	Stopnja zasičenosti
K1_JK_SIDRA HCM	2020	D	29.5	24	0.675
	2040	F	217	151	1.360
K1_JK_SIDRA STANDARD	2020	D	25.1	19	0.624
	2040	F	162.1	122	1.231
K1_JK_FGG-PTI-2020	2020	C	21.5	15	0.573
	2040	F	104.5	86	1.082
K2_PK_SIDRA STANDARD	2020	C	18.8	33	0.790
	2040	F	100.1	375	1.158
K2_PK_US HCM 2010	2020	D	29.9	72	0.890
	2040	F	158	491	1.296
K2_PK_FGG-PTI-2020	2020	B	14.8	15	0.731
	2040	F	60.5	306	1.051

5.5.10 Ugotovitve za križišče K1

Kapacitetna analiza nesemaforiziranega križišča K1 izkazuje na kraku D nivo uslug F po planski dobi 20 let za parametre modela SIDRA HCM, SIDRA STANDARD ter za FGG-PTI-2020. Neglede na NU lahko vidimo, da so zamude, kolone in stopnja zasičenosti izračunane z FGG-PTI-2020 manjše od tistih s parametri kapacitetnih modelov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0. S parametri modelov v programu SIDRA INTERSECTION je stopnja zasičenosti v leti 2040 večja od 1, kar pomeni, da je kapaciteta križišča presežena. Z uporabo parametrov FGG-PTI-2020 pa je stopnja zasičenosti približno enaka 1. Zamude so s parametri FGG-PTI-2020 za polovico manjše od tistih analiziranih s parametri modela SIDRA HCM in za četrtno manjše od tistih analiziranih s parametri modela SIDRA STANDARD. Enako velja za kolone.

Prometne obremenitve s stranskih smeri so relativno nizke. Na kraku D večina vozil zavija levo in desno.

Zaradi NU F na kraku D bi na njem bili potrebni določeni ukrepi. To so lahko posebni pas za leve ali desne zavijalce, pretvorbo v krožno križišče ali kak drugi ukrep, ki bi izboljšal NU na križišču po planski dobi 20 let. Za to bi bile potrebne dodatne analize variant s programom SIDRA INTERSECTION 9.0, kar pa ni predmet magistrskega dela.

5.5.11 Ugotovitve za križišče K2

Kapacitetna analiza krožnega križišča K1 izkazuje na kraku B nivo uslug F po planski dobi 20 let za parametre modela SIDRA STANDARD, US HCM 2010 ter za FGG-PTI-2020. Neglede na NU lahko vidimo, da so zamude, kolone in stopnja zasičenosti izračunane s parametri FGG-PTI-2020 manjše od tistih, primerjanih s parametri kapacitetnih modelov v SIDRA INTERSECTION 9.0. S parametri modelov v programu SIDRA INTERSECTION je stopnja zasičenosti v leti 2040 večja od 1, kar pomeni, da je kapaciteta manjša od tiste, ki jo križišče zmore. Z uporabo parametrov FGG-PTI-2020 pa je stopnja zasičenosti približno enaka 1. Zamude so s parametri FGG-PTI-2020 za dve tretjine krajše od tistih analiziranih s parametri modela US HCM 2010 in za 40% krajše od tistih analiziranih s parametri modela SIDRA STANDARD. Enako velja za kolone.

Prometne obremenitve so na kraku B relativno visoke. Prometni tok na kraku B je velikokrat prekinjen s prometnimi tokovi kraka A in D. Zaradi teh prekinitev so zastoji in zamude prisotni že v izhodiščnem letu, po koncu planske dobe pa bi prihajalo do še večjih zastojev in zamud vozil.

Zaradi NU F na kraku B bi na križišču bili potrebni določeni ukrepi. Ena izmed variant, ki bi jo bilo vredno preveriti je npr. rekonstrukcija v smislu spiralnega (turbo) krožnega križišča. Za validacijo ukrepov bi bile potrebne dodatne analize variant s programom SIDRA INTERSECTION 9.0, kar pa ni predmet magistrskega dela.

6 ZAKLJUČEK

6.1 Razprava

Kritični razmak t_c in čas sledenja t_f sta glavna parametra pri modelih sprejemljivega razmaka. Razmaki in časi sledenja so bili izmerjeni s storitvijo video detekcije TrafficSurvey LIGHT podjetja RCE systems s.r.o. Za izračun kritičnega razmaka smo uporabili metodo z novim makroskopskim modelom na podlagi verjetnostnega ravnovesja, ki je dokazano uporabna in daje rezultate, podobne tistim ocenjenim z metodo največjega verjetja. Čas sledenja pa je direktno izmerjen in ocenjen kot povprečna vrednost.

Pomembno je tudi analizirati te parametre v slovenskem prostoru. Iz rezultatov je razvidno, da so vozniki v slovenskem prostoru hitrejši in agresivnejši od tistih izmerjenih v drugih študijah, vendar tega še nimamo dokazanega s študijami. Iz primerjave je razvidno, da privzete vrednosti v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 dajejo različne rezultate v primerjavi z novo pridobljenimi parametri FGG-PTI-2020. Razvidno je, da večina voznikov sprejema krajše časovne razmake, kar vsekakor vpliva na prometno varnost oziroma nevarnost.

S parametri FGG-PTI-2020 smo dobili rezultate zamud, ki so manjše pri krajših t_c in t_f v primerjavi s parametri kapacitetnih modelov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 za izhodiščno leto, kakor tudi za ciljno leto oz. plansko leto (po 20 letih). Do teh rezultatov smo prišli zaradi sprejemanja krajših časovnih razmakov voznikov v slovenskem prostoru. Del sprejemanja krajših časovnih razmakov pripomorejo vozniki v slovenskem prostoru, ki so po tem takem agresivnejši od tistih, ki so jih analizirali v preteklosti z drugimi raziskavami. S privzetimi vrednostmi časovnih razmakov v programu SIDRA INTERSECTION 9.0 smo sicer na varni strani dimenzioniranja, vendar ob pogoju racionalnosti projektiranja bi bilo bolje privzeti vrednosti za slovenski prostor. Obsežno raziskavo FGG-PTI-2020, ki smo jo naredili v sklopu magistrske naloge, moramo razumeti kot začetno raziskavo v tej smeri in kot pobuda za nadaljne, še obsežnejše raziskave, saj smo za določene manevre pridobili manj podatkov v primerjavi z ostalimi.

Na grafikonih 12 in 13 lahko vidimo, da smo za določene manevre dobili relativno malo podatkov za izračun t_c in t_f . Gre za manevre GPS_levo, SPS_ravno ter SPS_desno. Za našete manevre vidimo, da so še posebej časi sledenja t_f za nekaj procentov večji od tistih v modelih programa SIDRA INTERSECTION 9.0. Razlogov za pomankanje rezultatov je lahko več. Eden izmed razlogov razlogov so lahko v prvi vrsti video posnetki in postavitve kamer. Bile so

postavljene z namenom štetja prometa in ne zajamejo širšega območja križišča in krakov, kar bi pripomoglo, da bi programsko orodje zaznalo več čakajočih vozil in s tem izmerilo več časov sledenja. Resolucija video posnetkov je tudi manjša od priporočene in je zato algoritmu programskega orodja težje zaznati objekte. Priporočena resolucija s strani razvijalcev programa je HD oziroma 1080p, pridobljeni video posnetki za analize pa so bili v resoluciji 720p. Za potrebe izdelave prometnih študij se štetja prometa izvajajo na križiščih, ki so običajno zelo obremenjena. Ta križišča so v veliki meri že preoblikovana v semaforizirana križišča ali v krožna križišča. Iz tega lahko sklepamo, da so preostala križišča (nesemaforizirana) manj obremenjena in smo zaradi tega dobili manj podatkov.

6.2 Naslednji koraki

Na grafikonu 19 so prikazani deleži pridobljenih podatkov za izračun t_c in t_f različnih manevrov s pomočjo video detekcije objektov. Razvidno je, da se je pridobilo največ podatkov za manever SPS_leva ter za manever vključevanja v krožni tok. Delež podatkov za manevre GPS_leva, SPS_ravno ter SPS-desno je precej nižji od ostalih dveh. To lahko doprinese k slabšim rezultatom, saj statistični vzorec ni reprezentativen ter lahko večja odstopanja majhnih vzorcev pokavarijo končni rezultat.

Grafikon 19: Delež pridobljenih podatkov za izračun t_c in t_f za različne manevre



Za manevre, kjer je pridobljeno premalo podatkov, bi bilo potrebno dobljene vrednosti parametrov potrditi tudi z izračunom na večjem vzorcu. To pomeni, da bi morali analizirati dodatne video posnetke. Priporočljivo bi bilo postaviti kamere po priporočilih, ki so primerna

za analizo s DataFromSky LIGHT na dodatnih nesemaforiziranih križiščih v slovenskem prostoru. Pridobljeni video posnetki niso bili ustrezno posneti za tovrstne analize, saj so bili namenjeni štetju prometa. Priporočljivo bi bilo, da se v nadaljno raziskavo vključi več štirikrakovih nesemaforiziranih križišč, saj se bo s tem lahko analiziralo vse manevre v nesemaforiziranih križiščih. Križišča bi lahko bila analizirana tudi po različnih regijah v Sloveniji, tako bi se lahko ob dovolj velikem vzorcu primerjalo časovne razmake po različnih statističnih regijah. Za tako obsežno raziskavo bi bila potrebna finančna sredstva, saj so reprezentativni rezultati za slovenski prostor v interesu vseh udeleženi v novogradnji ali rekonstrukciji križišč. Ob ustrezni izbiri križiščih, kjer je prometni tok na GPS nasičen, lahko z naprednimi orodji (v našem primeru DataFromSky TrafficSurvey) natančno analiziramo velike količine video posnetkov ekonomično in v kratkem času. Tako bi dobili ustrežnejše kritične razmake t_c in čase sledenja t_f v slovenskem prostoru, ki bi lahko zamenjali uporabljene parametre po HCM. S tem bi pripomogli k ustrežnejšemu dimenzioniranju križišč v prihodnosti. Smiselno bi bilo v prihodnosti primerjati izmerjene parametre v slovenskem prostoru tudi s parametri modelov, uporabljenimi v drugih programskih orodjih za kapacitetne analize križišč, še posebej tistimi, ki so v uporabi pri slovenskih inženirjih stroke.

VIRI

AKCELIK & ASSOCIATES PTY LTD, 2020. SIDRA INTERSECTION 9 user guide: 936 str.

Faith Ginos, B. 2009. Parameter Estimation for the Lognormal Distribution: 111 str.

Gavulová, A. 2012. Use of statistical techniques for critical gaps estimation: 7 str.

Gazzarri, A., Martello, M. T., Pratelli, A., Souleyrette, R. R. 2012. Estimation of gap acceptance parameters for HCM 2010 roundabout capacity model applications: 14 str.

Jenjiwattanakul , T. 2011. Effect of Waiting Time on the Gap Acceptance Behavior of U-turning Vehicles at Midblock Median Openings: 13 str.

Logar, D. 2003. Določitev kritičnih razmakov za ovirane prometne tokove na nesemaforiziranem križišču. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Logar): 44 f.

Logar, D. 2006. Določitev parametrov kritičnega razmaka za ovirane prometne tokove na krožnem križišču. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Logar): 62 f.

Mohan , M., Chandra, S. 2016. Review and Assessment of Techniques for Estimating Critical Gap at Two-way Stop-controlled Intersections: 19 str.

Ognyan, N. 2011. A simple procedure to estimate gap-acceptance parameters for calibration and validation of micro-models: 22 str.

PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2016. M02 Tomšiceva-Jenkova - TMC: 8 str.

PNZ svetovanjeprojektiranje d.o.o. 2019. Pokopališka – TMC: 8 str.

Pohar Perme, M. 2014. Verjetnost in statistika z nalogami: 117 str.

Pravilniku o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005: 3896.

RCE SYSTEMS S.R.O., 2019. DataFromSky VIEWER user guide: 100 str.

Tapio Luttinen, R. 2004. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections: 214 str.

Transportation Research Board. 2010. Highway Capacity Manual 2010, National Research Council, Washington, DC, USA: 1475 str.

Troutbeck, R., Brilon, W. 1997 UNSIGNALIZED INTERSECTION THEORY BY: 49 str.

Troutbeck, R.J. 2014. Estimating the Mean Critical Gap: 9 str.

Tupper, S., Knodler, M., Fitzpatrick, C., Hurwitz, D. 2013. Estimating Critical Gap - A Comparison of Methodologies Using a Robust, Real- World Data Set: 19 str.

Wu, N. 2012. Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections Based on Equilibrium of Probabilities: 25 str.

Zong, Z., Troutbeck, R., Kyte, M., brilon, W., Vandehey, M., kittelson, W., Robinson, B. 2000. A Further Investigation on Critical Gap and Follow-Up Time: 13 str.

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: SEZNAM ANALIZIRANIH KRIŽIŠČ

PRILOGA A: SEZNAM ANALIZIRANIH KRIŽIŠČ

V prilogi so v preglednici evidentirani vsi video posnetki, katere smo uporabili pri oceni kritičnih razmakov t_c in časov sledenja t_f . V prvem stolpcu je prikazana oznaka križišča. V drugem in tretjem stolpcu sta označeni koordinati križišča. Nato sledita datum in ura snemanja križišča. V zadnjem stolpcu je označena dolžina analiziranega video posnetka.

STATISTIČNA REGIJA	KOORDINATE KRIŽIŠČA		DATUM SNEMANJA	URA SNEMANJA	DOLŽINA POSNETKA
OBALNO-KRAŠKA					
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_01 - STRUNJAN - KROŽ - 1_01	45.525189	13.610785	5.8.1017	9:00	1:59:59
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_01 - STRUNJAN - KROŽ - 1_02	45.525189	13.610785	4.8.2017	15:00	2:00:00
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_02 - IZOLA - KROŽ - 1_01	45.531346	13.666469	3.8.2016	7:00	1:59:58
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_02 - IZOLA - KROŽ - 1_02	45.531346	13.666469	3.8.2016	15:00	1:59:59
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_03 - KOPER - KROŽ - 1	45.536703	13.737439	10.6.2016	12:00	3:00:02
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_04 - SEŽANA - NESEM - 1	45.704752	13.855933	16.10.2017	7:00	5:59:55
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_05 - SEŽANA - NESEM - 2_01	45.705191	13.858611	17.10.2017	8:00	1:59:58
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_05 - SEŽANA - NESEM - 2_02	45.705191	13.858611	17.10.2017	16:00	1:59:59
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_06 - SEŽANA - NESEM - 3	45.706434	13.866134	17.10.2017	8:00, 16:00	3:59:34
01_OBAL_KRAŠ - VIDEO_07 - SEŽANA - NESEM - 4	45.707514	13.869853	17.10.2017	8:00, 16:00	3:59:46
GORIŠKA					
02_GORIŠ - VIDEO_01 - N_GORICA - KROŽ - 1	45.958501	13.652394	11.6.2019	8:00, 16:00	3:59:57
02_GORIŠ - VIDEO_02 - N_GORICA - KROŽ - 2	45.95493	13.652829	12.9.2016	7:00	1:59:58
02_GORIŠ - VIDEO_03 - KROMBERK - NESEM - 1_01	45.956785	13.678396	11.6.2019	8:00	1:59:59
02_GORIŠ - VIDEO_03 - KROMBERK - NESEM - 1_02	45.956785	13.678396	11.6.2019	16:00	1:59:59
PRIMORSKO-NOTRANJSKA					
03_PRIM_NOTR - VIDEO_01 - POSTOJNA - KROŽ - 1	45.772088	14.199156	18.10.2016	16:00	1:59:53
03_PRIM_NOTR - VIDEO_02 - POSTOJNA - NESEM - 1	45.774513	14.212624	19.10.2016	16:00	0:40:03
03_PRIM_NOTR - VIDEO_03 - POSTOJNA - NESEM - 2_01	45.777474	14.215894	17.10.2016	7:00	1:59:58
03_PRIM_NOTR - VIDEO_03 - POSTOJNA - NESEM - 2_02	45.777474	14.215894	17.10.2016	15:00	2:59:58

OSREDNJSLOVENSKA					
04_OSRED_SLO - VIDEO_01 - LJUBLJANA - KROŽ - 1	46.066774	14.526727	5.12.2019	7:00, 15:00	4:59:53
04_OSRED_SLO - VIDEO_02 - DOMŽALE - NESEM - 1	46.136004	14.580032	9.5.2017	6:00, 14:00	5:59:58
04_OSRED_SLO - VIDEO_03 - DOMŽALE - NESEM - 2	46.140439	14.612169	10.5.2017	6:00, 14:00	5:30:55
04_OSRED_SLO - VIDEO_04 - VODICE - NESEM - 1	46.185159	14.486364	14.11.2019	14:00	2:59:58
04_OSRED_SLO - VIDEO_05 - VODICE - NESEM - 2	46.189727	14.499309	14.11.2019	7:00, 15:00	3:59:57
04_OSRED_SLO - VIDEO_06 - GROSUPLJE - NESEM - 1	45.952245	14.655561	13.10.2017	15:00	2:59:58
GORENJSKA					
05_GOREN - VIDEO_01 - BLED - NESEM - 1	46.368337	14.114663	26.9.2018	7:00	3:59:56
05_GOREN - VIDEO_02 - LESCE - NESEM - 1	46.361053	14.159253	15.8.2016	14:00	2:59:58
05_GOREN - VIDEO_03 - LESCE - KROŽ - 1	46.353421	14.166955	6.9.2016	6:00, 14:00	5:59:58
05_GOREN - VIDEO_04 - BRNIK - NESEM - 1	46.236174	14.432319	19.1.2017	11:00	6:28:17
JUGOVZHODNA SLOVENIJA					
06_JUG_VZH - VIDEO_01 - RIBNICA - NESEM - 1	45.73728	14.729603	8.9.2016	7:00, 14:00	4:59:57
06_JUG_VZH - VIDEO_02 - TREBNJE - NESEM - 1	45.907723	15.005771	15.11.2017	6:15, 14:15	5:59:54
06_JUG_VZH - VIDEO_03 - TREBNJE - NESEM - 2	45.911594	14.974412	15.11.2017	14:45	2:59:59
POSAVSKA					
07_POSAV - VIDEO_01 - SEVNICA - NESEM - 1	46.007347	15.294277	14.6.2016	14:00	2:59:58
07_POSAV - VIDEO_02 - SEVNICA - NESEM - 2	46.009198	15.303213	13.6.2016	6:00, 15:00	5:59:56
07_POSAV - VIDEO_03 - SEVNICA - NESEM - 3	46.005775	15.312107	14.6.2016	14:00	2:59:59
ZASAVSKA					
08_ZASAV - VIDEO_01 - HRASTNIK - NESEM - 1	46.14914	15.084856	21.9.2016	14:00	2:59:58
08_ZASAV - VIDEO_02 - HRASTNIK - NESEM - 2	46.146565	15.084536	21.9.2016	14:00	2:59:57
08_ZASAV - VIDEO_03 - HRASTNIK - NESEM - 3	46.125095	15.093151	21.9.2016	6:00	5:59:52
08_ZASAV - VIDEO_04 - ŠMART_LITIJI - NESEM - 1	46.048053	14.843384	21.10.2016	7:30, 14:00	4:29:48
08_ZASAV - VIDEO_05 - ŠMART_LITIJI - KROŽ - 1	46.044023	14.844819	21.10.2016	14:00	2:59:58

SAVINJSKA					
09_SAVINJ - VIDEO_01 - CELJE - KROŽ - 1	46.250602	15.260817	12.3.2020	6:00	2:59:59
09_SAVINJ - VIDEO_02 - CELJE - NESEM - 1	46.234393	15.295729	10.3.2020	7:00	2:59:58
09_SAVINJ - VIDEO_03 - TEHARJE - KROŽ - 1	46.229125	15.30213	10.3.2020	6:00	2:59:59
09_SAVINJ - VIDEO_04 - LETUŠ - NESEM - 1	46.31652	15.021108	24.9.2019	7:00	2:59:57
09_SAVINJ - VIDEO_05 - PARIŽLJE - NESEM - 1	46.280126	15.056081	24.9.2019	15:00	2:59:57
09_SAVINJ - VIDEO_06 - VELENJE - KROŽ - 1_01	46.36474	15.088805	19.9.2019	7:00	2:59:58
09_SAVINJ - VIDEO_06 - VELENJE - KROŽ - 1_02	46.36474	15.088805	19.9.2019	14:00	3:59:58
09_SAVINJ - VIDEO_07 - VELENJE - KROŽ - 2	46.357159	15.112687	19.9.2019	7:00, 16:01	5:57:50
09_SAVINJ - VIDEO_08 - VELENJE - NESEM - 1	46.362281	15.110602	6.6.2016	6:30, 14:30	5:59:05
KOROŠKA					
10_KOROŠ - VIDEO_01 - SLOV_GRADEC - KROŽ - 1	46.507684	15.077088	23.6.2016	14:30	3:00:01
10_KOROŠ - VIDEO_02 - SLOV_GRADEC - NESEM - 1	46.517083	15.083917	2.6.2016	9:15, 11:16	3:58:16
PODRAVSKA					
11_PODRAV - VIDEO_01 - LENART - NESEM - 1	46.582366	15.838048	12.12.2018	14:00	2:35:01
11_PODRAV - VIDEO_02 - LENART - KROŽ - 1	46.576775	15.831658	12.12.2018	14:00	2:59:56
11_PODRAV - VIDEO_03 - LENART - KROŽ - 2	46.576071	15.830323	12.12.2018	14:00	2:30:15
POMURSKA					
12_PREKM - VIDEO_01 - MURS_SOBOTA - KROŽ - 1	46.665436	16.174613	12.12.2016	14:00	2:59:29