

Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA s parametrima HCM-a

Zekan, Jure

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:043714>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-03**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Jure Zekan

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Jure Zekan

**Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna
Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA s
parametrima HCM-a**

Diplomski rad

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: JURE ZEKAN

BROJ INDEKSA: 597

KATEDRA: Katedra za prometnice

PREDMET: Prometna tehnika

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA s parametrima HCM-a

Opis zadatka:

Izvršiti analizu funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste. Za potrebe rada potrebno je izvršiti snimanje prometa u vršnom jutarnjem satu. Iz snimke je potrebno odrediti prometno opterećenje vozila i pješaka u 15 minutnim intervalima za svaki trak posebno i ukupno po manevru kretanja. Dobivene rezultate prikazati na skici. Također treba zabilježiti trajanje ciklusa i vremenski slijed faza ciklusa.

Za zadani privoz i 15 minutni interval, sa snimke treba odrediti početno izgubljeno vrijeme (Start-Up Lost Time l_1) i zasićeno vrijeme slijeda (Saturation Headway h_0) za svaki trak posebno i prikazati na skici.

Zatim treba izmjeriti stopped-time delay po trakovima (vrijeme od kada je vozilo došlo u kolonu do vremena kad je napustilo stop crtu). Zatim treba izračunati prosječni delay po manevru kretanja i privozu.

Provjeriti da li za lijeva skretanja treba zaštićena faza (protected) ili može i složena faza od dopuštenih i zaštićenih vremena (compound). Skicirati phase dijagram i ring dijagram za postojeći vremenski slijed faza.

Za predmetno raskrižje odrediti potrebno trajanje žutog i sve crvenog svjetla. Odrediti ukupno izgubljeno vrijeme (Lost Time). Odrediti sumu kritičnih volumena po traku uzimajući u obzir faktore ekvivalencije za lijeve i desne skretače, te odrediti poželjnu duljinu ciklusa i vremensku razdiobu faza. Odrediti potrebno vrijeme za pješake.

Napraviti analizu funkcioniranja raskrižja u programu SIDRA (parametri po HCM-u) korištenjem defaultnih vrijednosti te postojećeg vremenskog slijeda faza. Prikazati dobivene rezultate (delay, LOS). Probati drugo trajanje ciklusa i vremenski slijed faza koji su dobiveni računom u prethodnom koraku.

Napraviti analizu funkcioniranja raskrižja za mjerene vrijednosti (Start-Up Lost Time i Saturation Headway) te usporediti mjereni delay s dobivenim. Po potrebi napraviti kalibraciju. Također usporediti zakašnjenje sa zadanim Start-Up-om i zasićenim tokom te s mjerenim i stvarnim zakašnjenjem.

U Splitu, 14.03.2017.

Voditelj diplomskog rada:

Prof.dr.sc. Dražen Cvitanić

Predsjednik Povjerenstva za

Završne i diplomske ispite:

Doc.dr.sc. Veljko Srzić

Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA s parametrima HCM-a

Sažetak:

Za potrebe rada izvršeno je brojanje prometa na križanju Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u jutarnjem vršnom satu od 7:15 do 8:15. Na temelju izmjerenih parametara (početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda i vrijeme zakašnjenja) i količine prometa provedena je softverska analiza funkcioniranja raskrižja. Prvo su unesene početne izmjerene vrijednosti (količina prometa, broj pješaka i ciklus rada semafora) te je time dobivena prva varijanta funkcioniranja raskrižja. Sljedeće varijante su nadogradnja prethodne na način da su u svakom idućem koraku uneseni dodatni izmjereni parametri kako bi se na kraju dobili rezultati što bliži stvarnom stanju. Za svaku varijantu su prikazani i međusobno uspoređeni rezultati kako bi se moglo utvrditi koji su parametri najkritičniji. Na samom kraju komentirani su rezultati i donesen je zaključak s prijedlozima mogućeg poboljšanja postojećeg stanja.

Ključne riječi: analiza raskrižja, početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda, vrijeme zakašnjenja, SIDRA, HCM

Functional analysis of Bruna Bušića and Poljička street intersection in SIDRA software with HCM parameters

Abstract:

At the begining of this work, traffic counting on Bruna Bušića and Poljička street intersection was conducted in the morning peak hour between 7:15 till 8:15AM. Software analysis of intersection functionality was done based on parameters that have been determined (Start-Up Lost Time, Saturation Headway and stopped-time delay). Default values (traffic volumes, pedestrian volumes and phase timing) were used to get first variant of intersection functionality. Every following variant is an upgrade of previous with additional measured parameters in order to get results that are closer to real situation. For every variant, results are presented and mutually compared to determine most critical parameters. In the end, results were discussed and conclusions with possible improvements were given.

Keywords: intersection analysis, Start-Up Lost Time, Saturation Headway, stopped-time delay, SIDRA, HCM

Zahvala

Zahvaljujem se svom mentoru, prof. dr. sc. Draženu Cvitaniću, na iznimnom strpljenju, pomoći i vodstvu prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Također se želim zahvaliti svim kolegama i prijateljima koji su ovaj period mog života učinili posebnim i nezaboravnim.

Na kraju, najveća zahvala mojim roditeljima koji su mi bili neprekidna podrška i zajedno sa mnom proživjeli svaki trenutak mog studiranja.

Sadržaj:

1. Uvod	1
1.1. Općenito o prometnom inženjerstvu	1
1.2. Ciljevi prometnog inženjerstva	1
1.3. Odgovornost u prometnom inženjerstvu	2
2. Postojeće stanje	3
2.1. Prometno opterećenje	4
2.2. Faze signalizacije	6
2.3. Saturation Headway i Start-Up Lost Time	7
2.4. Stopped-time delay	8
2.5. Phase dijagram i Ring dijagram	10
3. Analiza funkcioniranja raskrižja	11
3.1. Provjera potrebe za zaštićenom fazom	11
3.2. Određivanje sve crvenog i žutog svjetla	15
3.3. Određivanje izgubljenih vremena	17
3.4. Određivanje sume kritičnih volumena	18
3.5. Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa	21
3.6. Određivanje potrebnog vremena za pješake	22
4. Software-ska analiza	24
4.1. Prva varijanta: Default-ne vrijednosti	25
4.2. Druga varijanta: Basic Saturation Flow	30
4.3. Treća varijanta: Start Loss i End Gain	32
4.4. Četvrta varijanta: Bus stopping i Parking	35
4.5. Peta varijanta: Arrival Type	38
4.6. Šesta varijanta: Opposing pedestrian factor	41
4.7. Promjena Basic Saturation Flow-a	44
5. Usporedba rezultata	47
6. Zaključak	48
7. Literatura	49

1. Uvod

1.1. Općenito o prometnom inženjerstvu

Primarne značajke prometnog inženjerstva su tehnološki i znanstveni pristup planiranju, projektiranju, funkcionalnom uređenju, održavanju i upravljanju raznih oblika transporta u svrhu sigurnijeg, bržeg, udobnijeg, efikasnijeg, ekonomičnijeg i okolini prilagodljivog prijevoza ljudi i robe.

Prometno inženjerstvo je dio transportnog inženjerstva koji se bavi problemima planiranja, geometrijskim karakteristikama i prometnim operacijama na cestama, ulicama, autocestama.

1.2. Ciljevi prometnog inženjerstva

Primarni i osnovni cilj prometnog inženjerstva jest osiguranje cijelog prometnog sustava, što nije lagan zadatak. Smanjenje broja nesreća je odraz brojnih mjera za koje su uvelike zaslužni prometni inženjeri. Vremenom su postroženi prometni prekršajni zakoni, značajno poboljšana vožno-dinamička sposobnost i sigurnost samih vozila. Poboljšanja u projektiranju cesta, bolja i brža komunikacija kontrolnog prometnog sustava i nadzor prometa uvelike su doprinijeli smanjenju broja nesreća. Cilj sigurnog putovanja je uvijek na prvom mjestu i predstavlja nikad završen problem za prometnog inženjera.

Ostali ciljevi prometnog inženjerstva su:

- brzina
- udobnost
- korisnost
- ekonomičnost
- ekološka prilagodljivost

Navedeni ciljevi su očigledni prohtjevi putnika. Većina ih želi da putovanja budu što brža, udobnija, jeftinija i ekološki prihvatljivija. Svi ovi ciljevi su ujedno i relativni te moraju biti međusobno uravnoteženi i podređeni primarnom cilju sigurnosti.

Iako se traži što veća brzina putovanja, ona je ograničena transportnim zahtjevima, ljudskim karakteristikama i potrebom za provedbom sigurnosti. Udobnost je fizička karakteristika samih vozila i prometnica, te je pod utjecajem ljudskog poimanja sigurnosti. Korisnost se veže za lakoću kojom ostvarujemo svoja putovanja i sposobnost transportnog sustava da zadovolji sve potrebe u prihvatljivom vremenu.

Što se ekonomičnosti tiče, transportni sustav teško se može definirati kao "jeftin". Projektiranje, izrada, održavanje i operativni troškovi svega vezanog uz promet kulminiraju velikim novčanim iznosima. Tijekom vremena ekološka prilagodljivost postala je sve važnija. Svi transportni sistemi imaju nekoliko negativnih utjecaja na okoliš.

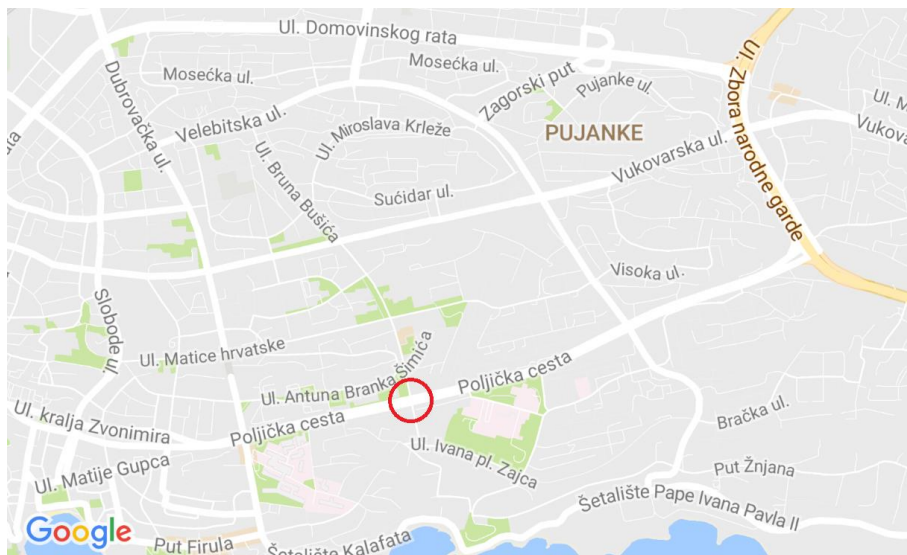
Prometni inženjer ima zadatak optimizirati navedene ciljeve i upotrebu javnih sredstava za gradnju, održavanje i korištenje objekata transportnog sustava.

1.3. Odgovornost u prometnom inženjerstvu

Prometni inženjer ima poseban odnos s javnošću u cijelosti. Možda više nego svi ostali inženjeri, on se suočava sa svakodnevnom sigurnošću velikog broja korisnika. Iako se može reći da svaki inženjer koji izrađuje nekakav projekt ima tu odgovornost, nekolicina inženjera izrađuju projekte koje korisnici upotrebljavaju svakodnevno i frekventno te ovise o njemu u potpunosti. Zbog toga prometni inženjer ima posebnu obvezu iskoristiti svo dostupno znanje, najmoderniju tehnologiju i resurse da se suoči s problemom ljudske sigurnosti.

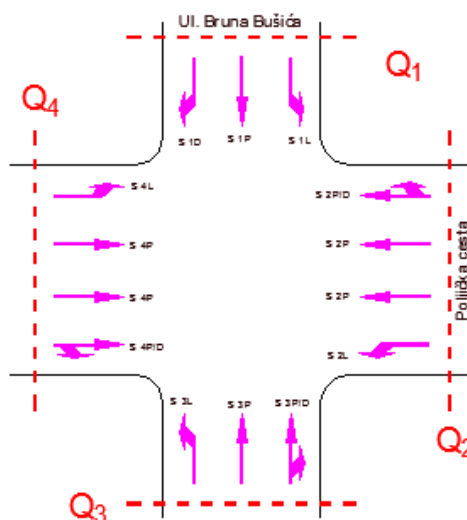
2. Postojeće stanje

Lokacija promatranog raskrižja nalazi se u Splitu, na križanju Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste (slika 2.1.). Poljička cesta je jedna od najvećih i najdužih prometnica u gradskoj mreži. Predstavlja jedan od dva glavna ulaza/izlaza iz grada Splita te kao takva je jedna od najopterećenijih prometnica.



Slika 2.1. Lokacija raskrižja

Smjer Q1 je sjeverni prilaz Ulice Bruna Bušića te se sastoji od 3 prometna traka (po jedan za lijevo i desno skretanje i jedan za naprijed). Smjer Q2 zapadni je prilaz Poljičke ceste koji se sastoji od 4 prometna traka (dva naprijed, jedan kombinirano desno i naprijed i jedan za lijevo skretanje). Smjer Q3 je južni prilaz Ulice Bruna Bušića i sastoji se od 3 prometna traka (jedan lijevo, jedan naprijed, jedan kombinirano desno i naprijed). Smjer Q4 je istočni prilaz Poljičke ceste te je isti kao i smjer Q3 što se prometnih trakova tiče. Svi smjerovi su zorno prikazani i vidljivi na skici (slika 2.2.) i satelitskom snimku (slika 2.3.).



Slika 2.2. Skica smjerova na raskrižju



Slika 2.3. Satelitski snimak raskrižja

Promatrano raskrižje je semaforizirano u četiri faze. Smjerovi Q1 i Q3 imaju jednake faze u kojima se pojavljuje kombinirana (compound) faza za lijeve skretače. Smjerovi Q2 i Q4 također imaju jednako trajanje faza, ali se kod njih pojavljuje potpuno zaštićena (fully-protected) faza za lijeve skretače.

2.1. Prometno opterećenje

Izvršeno je snimanje prometa na spomenutom raskrižju u vršnom jutarnjem satu od 7:15 do 8:15, datuma 14.ožujka 2017. Iz snimaka je urađeno brojanje količine vozila i pješaka iz svih smjerova. Dobivene vrijednosti za svaki manevar kretanja su prikazane u tablicama (2.1.-2.4.) i na slici (2.4.).

Tablica 2.1. Količina prometa za smjer Q1

SMJER Q1											
	LIJEVO			NAPRIJED			DESN0				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	75	0	0	25	0	1	46	0	2	149	46
7:30-7:45	90	0	2	30	0	1	31	1	1	156	96
7:45-8:00	91	1	2	68	0	1	53	2	1	219	76
8:00-8:15	95	1	1	50	0	2	39	2	3	193	47
Ukupno	351	2	5	173	0	5	169	5	7		

SMJER Q1	
Uk.vozila:	717
Uk.pješaka:	265

Tablica 2.2. Količina prometa za smjer Q2

	SMJER Q2										
	LJEVO			NAPRIJED			DESN0				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	48	0	3	216	7	4	44	1	0	323	34
7:30-7:45	57	0	5	284	9	6	75	2	1	439	55
7:45-8:00	58	0	2	265	7	18	88	0	5	443	93
8:00-8:15	54	0	2	272	4	17	73	1	3	426	51
Ukupno	217	0	12	1037	27	45	280	4	9		

SMJER Q2	
Uk.vozila:	1631
Uk.pješaka:	233

Tablica 2.3. Količina prometa za smjer Q3

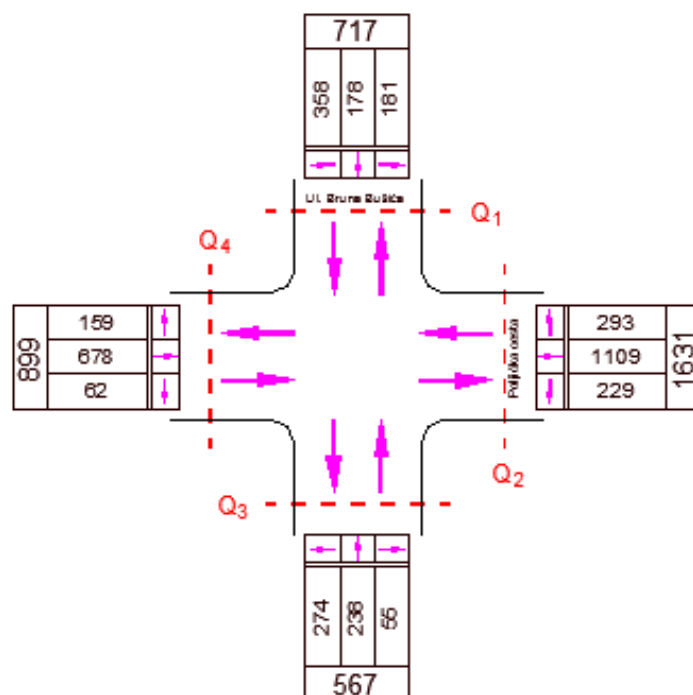
	SMJER Q3										
	LJEVO			NAPRIJED			DESNO				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	46	1	0	44	0	0	6	0	0	97	43
7:30-7:45	70	0	2	57	0	1	12	0	0	142	71
7:45-8:00	89	1	2	88	0	0	20	0	0	200	90
8:00-8:15	61	0	2	47	0	1	17	0	0	128	48
Ukupno	266	2	6	236	0	2	55	0	0		

SMJER Q3	
Uk.vozila:	567
Uk.pješaka:	252

Tablica 2.4. Količina prometa za smjer Q4

	SMJER Q4										
	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	24	2	1	136	5	8	9	3	1	189	31
7:30-7:45	39	0	1	169	6	16	8	2	1	242	54
7:45-8:00	49	0	4	157	3	13	20	0	2	248	68
8:00-8:15	39	0	0	151	9	5	14	2	0	220	47
Ukupno	151	2	6	613	23	42	51	7	4		

SMJER Q4	
Uk.vozila:	899
Uk.pješaka:	200



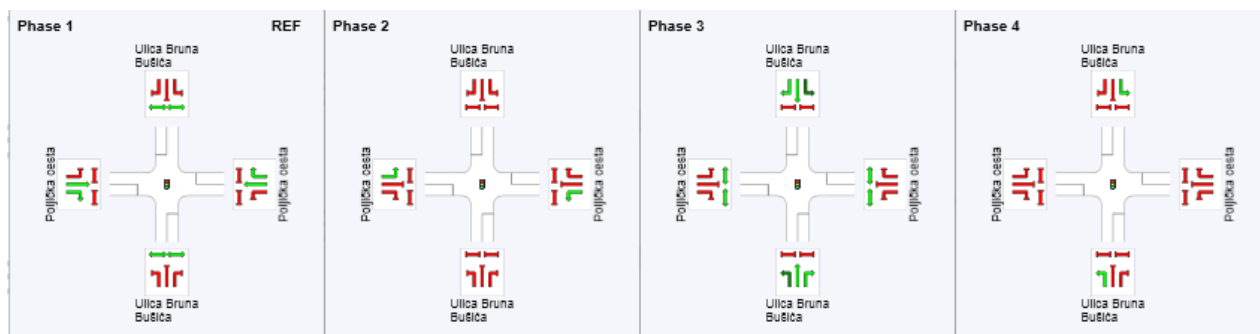
Slika 2.4. Prikaz količine prometa po pojedinom privozu i traku

2.2. Faze signalizacije

Signalizacija se sastoji od više komponenti koje zajedno u cjelini daju režim rada semafora. Navedene komponente se dijele na:

- **CIKLUS** – jedna kompletna rotacija svih faza rada semafora
- **TRAJANJE CIKLUSA** – vrijeme potrebno da se završi jedan puni ciklus svih faza rada semafora mjereno u sekundama
- **INTERVAL** – vrijeme u kojem ne dolazi do promjene faze unutar ciklusa. Postoji nekoliko tipova intervala:
 - INTERVAL PROMJENE – prijelaz iz zelenog u crveno svjetlo pomoću žutog svjetla, dok su na svim ostalim privozima upaljena crvena svjetla. To je vrijeme koje dopušta vozaču koji se ne može sigurno zaustaviti na promjenu zelenog svjetla da prođe kroz raskrižje legalno
 - VRIJEME PRAŽNJE – je također vrijeme prijelaza iz zelenog u crveno svjetlo tijekom kojeg je na svim prilazima upaljeno crveno svjetlo kako bi vozači koji su u raskrižju sigurno prošli kroz isto
 - ZELENI INTERVAL – tijekom zelenog intervala privozi kojima je dopušteno kretanje imaju zeleno svjetlo, dok ostali imaju crveno svjetlo
 - CRVENI INTERVAL – tijekom crvenog intervala privozi kojima je zabranjeno kretanje imaju crveno svjetlo, dok ostali imaju zeleno svjetlo. U pravilu se ovaj interval preklapa sa zelenim, žutim i sve crvenim intervalom
- **FAZA** – pojedina faza se sastoji od zelenog intervala zajedno s intervalima promjene i pražnjenja. To je skup intervala koji dozvoljava određenom manevru kretanju ili skupini kretanja da teku i da se sigurno zaustave prije puštanja konfliktne skupine kretanja.

Analizirano raskrižje sastoji se od četiri faze rada semafora. Prva faza je ona u kojoj vozila iz smjera Q2 i Q4 imaju dopušteno kretanje naprijed i desno. Iduća faza je faza dodatnog zaštićenog lijevog skretanja za vozila iz smjerova Q2 i Q4. Treća faza omogućava kretanje svih tipova iz smjerova Q1 i Q3, dok je četvrta faza dodatno lijevo skretanje iz navedenih smjerova. Opisane faze su prikazane u softveru SIDRA (slika 2.5.)



Slika 2.5. Faza rada semafora

Trajanje ukupnog ciklusa iznosi 90 sekundi, a trajanje svake pojedine faze prikazano je na slici 2.6.

Phase Timing Results				
Phase	1	2	3	4
Reference Phase	Yes	No	No	No
Phase Change Time (sec)	0	35	53	77
Green Time (sec)	31	13	19	8
Yellow Time (sec)	3	3	3	0
All-Red Time (sec)	2	2	2	4
Phase Time (sec)	35	18	24	13
Phase Split	39%	20%	27%	14%

Slika 2.6. Trajanje svake pojedine faze

2.3. Saturation Headway i Start-Up Lost Time

Idealno zasićeno vrijeme slijeda (Saturation Headway) određuje se kao prosječna vrijednost vremena slijeda od petog do zadnjeg vozila u koloni prije početka zelene faze ili do pojave vozila koje nije osobno (kamion, autobus,...). Ako svako vozilo potroši 'h' sekundi zelenog svjetla i ako je na semaforu *stalno* zeleno svjetlo, tada se može reći da 's' vozila može ući u raskrižje tokom jednog sata. Ovime možemo definirati *saturation flow rate* koji glasi:

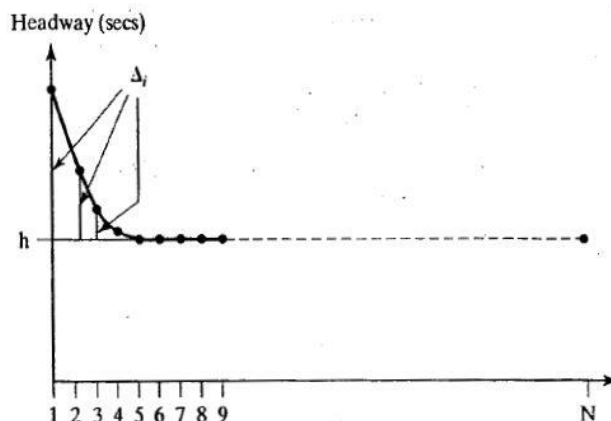
$$S = \frac{3600}{h} \quad (2.1.)$$

S – saturation flow rate, broj vozila po satu zelenog svjetla po traku

h – zasićeno vrijeme slijeda (sek/voz)

Povećavanjem broja trakova za određeni manevar kretanja omogućavamo da pojedini privoz ima veći kapacitet vozila u satu. Saturation flow rate zapravo predstavlja kapacitet traka/trakova u idealnom slučaju kada je na semaforu stalno upaljeno zeleno svjetlo.

Prosječno zasićeno vrijeme slijeda po vozilu je u principu veće od 'h' sekundi. Prva četiri vremena su skoro uvijek veća od 'h' sekundi, što je i ilustrirano na grafu (slika 2.7.) gdje je N broj vozila u koloni, a Δt_i predstavlja vremenski razmak svakom sljedećem vozilu da prijeđe stop liniju.



Slika 2.7. Graf ovisnosti zasićenog vremena slijeda i broja vozila u koloni

Iz grafa je vidljivo da prva četiri vremena uključuju i samu reakciju vozača te su samim time ta vremena i najveća. Što je veći broj vozila u koloni, ta vremena će postajati sve konstantnija. Kada se međusobno dodaju sva vremena Δ_i dobije se *početno izgubljeno vrijeme* (Start-Up Lost Time):

$$l_1 = \sum_i \Delta_i \quad (2.2.)$$

l_1 – Start-Up Lost Time (sek/faza)

Δ_i – vremenski razmak (iznad 'h' sekundi) za vozilo i (sek)

Može se reći da je početno izgubljeno vrijeme suma razlika vremena slijeda prva četiri vozila u koloni i zasićenog vremena slijeda.

2.4. Stopped-time delay

Najčešće korištena mjera za opis funkcioniranja signaliziranih raskrižja je *vrijeme zakašnjenja* (delay). Moguće ga je izmjeriti na terenu, iako je to težak proces zbog toga što različiti promatrači mogu dobiti veoma drukčije zaključke i rezultate mjerenja.

Delay se može odrediti na mnogo načina. U konkretnoj analizi korištena je jedna od najučestalijih formi, a to je *stopped-time delay*. On je definiran kao vrijeme od kada je vozilo došlo u kolonu, do vremena kad su mu zadnji kotači prešli stop liniju.

Izvršena su mjerenja u vremenskom razdoblju od 7:30 do 7:45. U tom 15-minutnom intervalu izmjenilo se 10 ciklusa rada semafora. Od 10 izmjerenih vrijednosti dobivena je prosječna vrijednost svakog parametra. Mjerenja su izvršena za svaki trak posebno, kao i za svaki manevar kretanja. Uzima se da je mjerodavan samo manevar kretanja naprijed, no izvršena su ipak sva mjerenja zbog bolje usporedbe rezultata.

U sljedećim tablicama dane su prosječne izmjerene vrijednosti početnog vremena slijeda, zasićenog vremena slijeda kao i vremena zakašnjenja za svaki pojedini trak u privozima:

Tablica 2.5. Legenda izmjerenih parametara

SH	saturation headway	sek
SULT	start-up lost time	sek
TST	total stopped time	min
AST	average stopped time	sek/vozilo
TV	total volume	br.vozila
MQ	max queue	br.vozila

*AST predstavlja zapravo stopped-time delay

Tablica 2.6. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q1

	SMJER Q1					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,83	2,80	62,16	45,49	82	14
NAPRIJED	2,43	0,60	7,63	24,09	19	3
DESNO	2,45	4,58	13,60	30,21	27	5

Tablica 2.7. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q2

	SMJER Q2					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,25	0,70	4,63	44,04	57	6
NAPRIJED (1.trak)	1,83	1,67	4,04	40,25	48	6
NAPRIJED (2.trak)	1,82	1,83	4,48	43,85	49	6
DESNO	3,55	-3,81	5,68	50,16	34	7

Tablica 2.8. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q3

	SMJER Q3					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,61	5,72	37,42	29,94	75	10
NAPRIJED	2,20	3,21	16,53	29,17	34	7
DESNO	2,16	2,46	12,83	29,60	26	5

Tablica 2.9. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q4

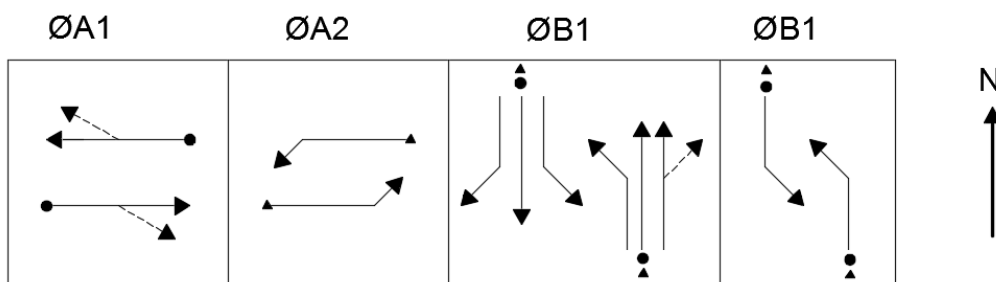
	SMJER Q4					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	1,50	1,98	2,69	41,56	33	3
NAPRIJED (1.trak)	2,00	2,15	7,54	32,23	41	14
NAPRIJED (2.trak)	2,26	0,42	7,46	26,34	52	17
DESNO	2,09	0,95	5,61	30,57	29	11

2.5. Phase dijagram i Ring dijagram

Plan svake pojedine faze unutar jednog ciklusa obično se prikazuje pomoću *phase* i *ring* dijagrama. Kod oba dijagrama dopuštena kretnja vozačima je prikazana pomoću strelice. Koriste se razni oblici strelica pošto su kretnje međusobno različite:

- PUNA STRELICA označava kretnju koja nema konfliktnu kretnju. Kod lijevih skretača bi to značilo da nema toka vozila iz suprotnog smjera, dok bi kod desnih skretača to značilo da nema konfliktnih pješaka.
- ISPREDIDANA STRELICA označava lijeva i desna skretanja koja imaju konflikte u vidu vozila iz suprotnog smjera ili pješaka
- SPOJENE STRELICE označavaju više mogućih kretnji iz jednog traka
- ODVOJENE STRELICE najčešće označavaju sve moguće kretnje koje su nastale iz jednog traka (npr. dodatni trak za lijeve skretače)

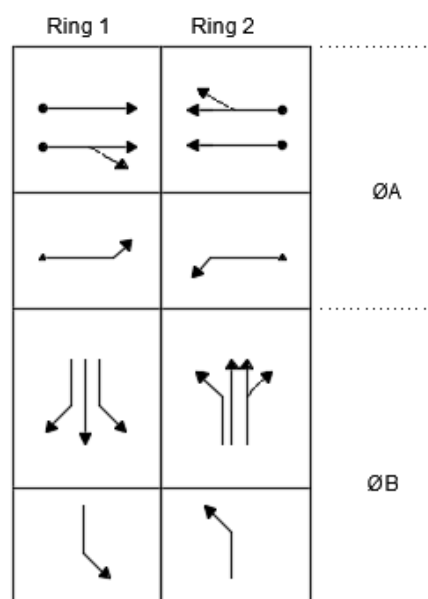
Phase dijagram prikazuje sve kretnje koje se dogode unutar jedne faze te ih sve zajedno smješta u jedan blok dijagrama.



Slika 2.8. Phase dijagram

Ring dijagram prikazuje koje su kretnje kontrolirane kojim "krugom" u signalnoj kontroli. "Krug" u signalnoj kontroli generalno predstavlja jednu grupu signalnih faza.

U *phase* dijagramu dva suprotna toka kretanja će biti prikazani u jednom bloku *phase* dijagrama, dok u *ring* dijagramu svaki od toka kretanja bit će prikazan razdvojeno unutar svog bloka *ring* dijagrama.



Slika 2.9. Ring dijagram

3. Analiza funkcioniranja raskrižja

U ovom poglavlju rad se dotiče računanja potrebnih vremenskih faza, određivanje potrebe za zaštićenom zelenom fazom lijevih skretača, određivanje idealnog ciklusa rada semafora (trajanje žutog, sve crvenog, potrebno trajanje svjetla za pješake i sl.) po privozu obzirom na prometno opterećenje i geometriju raskrižja. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa stvarnim vrijednostima i komentirani.

3.1. Provjera potrebe za zaštićenom fazom

Najvažnija stavka ciklusa koja dovodi do razvoja faznog plana jest tretman lijevih skretača. Lijeva skretanja mogu biti:

- DOPUŠTENA (premitted) - kada postoji konflikt s vozilima iz suprotnog smijera
- ZAŠTIĆENA (protected) - kada je konflikt izbjegnut, odnosno kada lijeva skretanja imaju zasebnu fazu u signalizaciji
- KOMBINIRANA (compound) - kombinacija zaštićene i dopuštene faze, gdje su lijevi skretači dijelom vrmena izloženi konfliktu suprotnih vozila a dijelom su u zaštićenoj fazi

Najjednostavniji ciklus se sastoji od dvije faze, po jedna za svaku ulicu u križanju. Dodatne faze mogu se dodati ukoliko želimo osigurati zaštićenu fazu lijevih skretača, no to povećava izgubljeno vrijeme unutar ciklusa.

Dva glavna uvjeta koja daju uvid da li je za određeno lijevo skretanje potrebna dijelom zaštićena faza su:

$$v_{LT} \geq 200 \text{ voz/h} \quad (3.1.)$$

$$x_{prod} = v_{LT} * \left(\frac{v_0}{N_0}\right) \quad (3.2.)$$

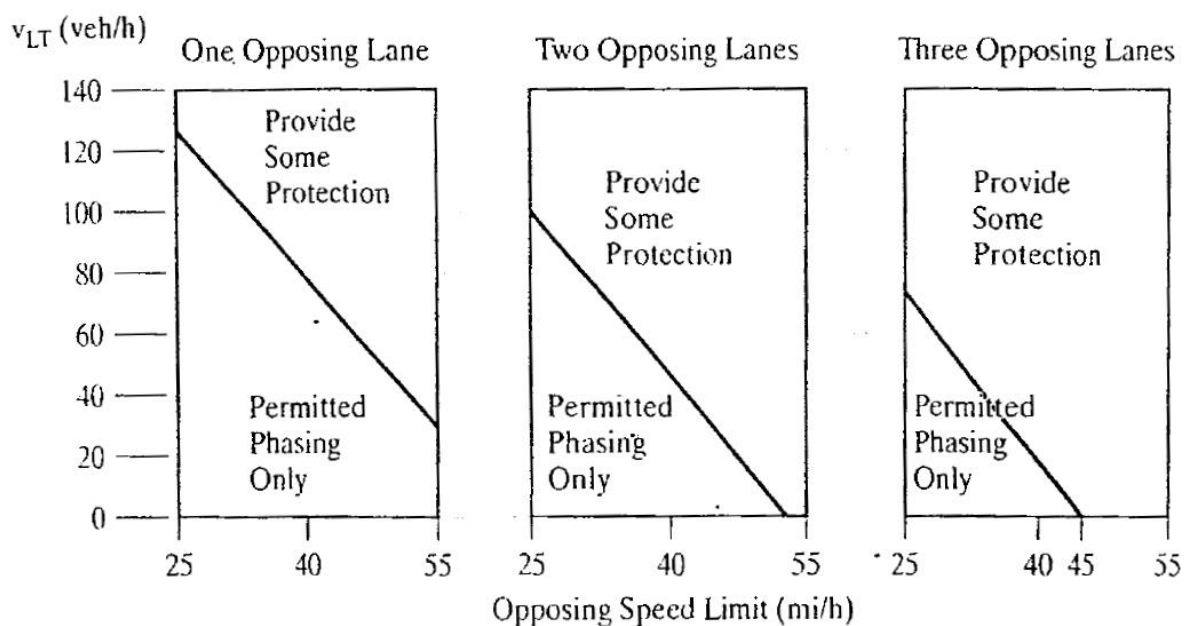
v_{LT} - broj lijevih skretača po satu (voz/h)

v_0 - broj vozila iz konfliktnog smijera (voz/h)

N_0 - broj traka konfliktnog smijera

Postoje i dodatni kriteriji koji se uzimaju u obzir kod određivanja zaštićene i dijelom zaštićene faze lijevih skretača:

1. Odnos zahtjevanog lijevog toka vozila unutar vršnog sata i brzine prometa iz konfliktnog smjera (graf na slici 3.1.)
2. Zadovoljena duljina preglednosti za lijeve skretače
3. Broj nesreća lijevih skretača koji se dogodio u zadnje tri godine manji od 8 (odnosi se na dopuštenu fazu)



Slika 3.1. Graf preporučenog odabira kriterija zaštite lijevih skretača

Ako je prethodnim kriterijima dobiveno da je nužna zaštita lijevih skretača, potrebno je odrediti vrstu zaštite, odnosno odabrati između potpuno zaštićenog i kombiniranog lijevog skretanja. Potpuno zaštićena faza se preporuča ukoliko su zadovoljena dva od sljedeća četiri kriterija:

- 1.1 Broj lijevih skretača je veći od 320 vozila po satu
- 1.2 Broj vozila iz konfliktnog smjera je veći od 1100 vozila po satu
- 1.3 Brzina vozila iz konfliktnog smjera je veća ili jednaka 70 km/h (45mph)
- 1.4 Postoje dvije ili više lijevih traka

Potpuno zaštićena faza također se preporučuje ako je barem jedan od sljedećih uvjeta ispunjen:

- 2.1 Postoje tri trake konfliktnog smjera i brzina prometa je veća ili jednaka 70 km/h (45mph)
- 2.2 Broj lijevih skretača je veći od 320 vozila po satu i postotak teških teretnih vozila je veći od 2.5%
- 2.3 Broj vozila iz konfliktnog smjera je veći od 1100 vozila po satu i postotak lijevih skretača je veći od 2.5%
- 2.4 Sedam ili više nesreća lijevih skretača se dogodilo unutar tri godine (odnosi se na kombiniranu fazu)
- 2.5 Prosječni stopped-delay lijevih skretača je prihvatljiv za potpuno zaštićenu fazu i prometni inženjer procjenjuje da će se dogoditi nesreće ako stavi dopuštenu fazu

Navedeni kriteriji pokazuju da se ne bi smjela primjeniti kombinirana faza. Preporuka je da se kombinirana faza uzima u obzir samo ako nijedan od navedenih kriterija nije ispunjen.

Za promatrano raskrižje dobiveni su slijedeći rezultati:

SMJER Q1:

$$v_{LT} = 351 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 351 * \left(\frac{263}{2}\right) = 41\,418 < 50\,000 \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

SMJER Q2:

$$v_{LT} = 217 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 217 * \left(\frac{613}{3}\right) = 44\,340 < 50\,000 \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za tri konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

SMJER Q3:

$$v_{LT} = 266 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 266 * \left(\frac{173}{1}\right) = 46\,018 < 50\,000 \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

SMJER Q4:

$$v_{LT} = 159 < 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 159 * \left(\frac{1109}{3}\right) = 58\,777 > 50\,000 \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za tri konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

Nakon što se za svaki privoz odredilo da je potrebna neka vrsta zaštite lijevih skretača, promatrani su prije navedeni kriteriji za potpuno zaštićenu fazu.

Smjer Q1 ispunjava samo kriterij 1.1. po čemu nije potrebna potpuno zaštićena faza, već kombinirana faza.

Smjer Q2 ne ispunjava kriterije potpuno zaštićene faze, ali zbog većeg broja konfliktnih traka i količine prometa koristi se zaštićena faza, kako bi se spriječio veći broj nesreća.

Smjer Q3 ne ispunjava navedene kriterije te se koristi kombinirana faza za lijeve skretače.

Smjer Q4 ne ispunjava navedene kriterije iako je veoma blizu da ispuni kriterij 2.3, te je zbog toga uzeta potpuno zaštićena faza.

3.2. Određivanje sve crvenog i žutog svjetla

Žuto svjetlo predstavlja tranziciju između zelenog i crvenog svjetla unutar svake faze. Sve crveno svjetlo je period unutar kojeg na svakom privozu gori crveno svjetlo. Žuto svjetlo i sve crveno objašnjeni su u poglavlju 2.2. *Faze signalizacije* pod pojmovima *interval promjene* i *interval pražnjenja*. Interval trajanja žutog svjetla se određuje prema sljedećem izrazu:

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a + (64.4 * 0.01G)} \quad (3.2)$$

y - trajanje žutog intervala (sek)

t - vrijeme reakcije vozača (sek)

S_{85} - brzina kojom se kreće 85% vozila kroz raskrižje (mph)

a - usporavanje vozila (stopa/sek²)

G - uzdužni nagib u %

64.4 - dvostruka vrijednost ubrzanje uzrokovano gravitacijom, koja iznosi 32.2 stopa/sek²

Interval trajanja sve crvenog svjetla određuje se prema sljedećim izrazima:

- za slučajeve kada nema pješačkog prometa

$$ar = \frac{W+L}{1.47S_{15}} \quad (3.3.)$$

- za slučajeve u kojem je značajan broj pješačkog prometa

$$ar = \frac{P+L}{1.47S_{15}} \quad (3.4.)$$

- za slučajeve u kojima postoji barem nekakav pješački promet

$$ar = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47S_{15}}\right), \left(\frac{P}{1.47S_{15}}\right)\right] \quad (3.5.)$$

ar - vrijeme sve crvenog svjetla (sek)

W - udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenije konfliktne trake (stope)

P - udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenijeg pješačkog prijelaza (stope)

L - duljina standardnog vozila, obično uzeta između 18-20 stopa

S_{15} - brzina kojom se kreće 15% vozila kroz raskrižje

Za postizanje optimalne sigurnosti, izrazi za žuto i sve crveno svjetlo koriste različite brzine. To su brzine kojima se kreće 85% i 15% vozila kroz raskrižje. Ako je poznata prosječna brzina dolaska, prethodne brzine mogu se procijeniti kao:

$$S_{15} = S - 5 \quad (3.6.)$$

$$S_{85} = S + 5 \quad (3.7.)$$

S_{15} - brzina kojom se kreće 15% vozila kroz raskrižje (mph)

S_{85} - brzina kojom se kreće 85% vozila kroz raskrižje (mph)

S - prosječna brzina (mph)

Gdje se ne mjere brzine dolaska u raskrižje, ali postoji ograničenja brzine, žuto i sve crveno svjetlo se određuju koristeći istu vrijednost brzine. To u praksi nije poželjno rješenje.

Na promatranom raskrižju na prethodno opisani način određena su trajanja žutog i sve crvenog svjetla. Žuto svjetlo je izračunato pomoću izraza 3.2. u kojem je $t=1s$, $a=10 \text{ ft/s}^2$, $G=0\%$ te $S_{85}=40\text{mph}$:

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a + (64.4 * 0.01G)} = 1 + \frac{1.47 * 40}{20 + (64.4 * 0)} = 3.94 (s)$$

Sve crveno svjetlo određeno je po izrazu 3.5. zbog postojanja umjerenog pješačkog prometa. Izmjeren je $W=90 \text{ ft}$, te $P=60 \text{ ft}$. Duljina standardnog vozila je $L=18 \text{ ft}$, dok je $S_{15}=30\text{mph}$:

$$ar = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47S_{15}}\right), \left(\frac{P}{1.47S_{15}}\right)\right] = \max\left[\left(\frac{108}{1.47*30}\right), \left(\frac{60}{1.47*30}\right)\right] = 2.45 (s)$$

3.3. Određivanje izgubljenih vremena

Izgubljena vremena ovise o trajanju žutog i sve crvenog svjetla unutar ciklusa. Preporuča se upotreba zadanih vrijednosti:

- Start-Up Lost Time, $l_1=2$ sek/fazi
- iskorištenost žutog i sve crvenog svjetla od strane vozača, $e=2$ sek/fazi

Koristeći ove zadane vrijednosti, izgubljeno vrijeme po fazi i izgubljeno vrijeme po ciklusu mogu biti pretpostavljeni kako slijedi:

$$l_2 = Y - e \quad (3.8.)$$

$$Y = y + ar \quad (3.9.)$$

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (3.10.)$$

l_1 - početno izgubljeno vrijeme (sek/fazi)

l_2 - vrijeme pražnjenja (sek/fazi)

t_L - ukupno izgubljeno vrijeme (sek/fazi)

y - trajanje žutog svjetla (sek)

ar - trajanje sve crvenog svjetla (sek)

Y - ukupno trajanje žutog i sve crvenog svjetla (sek)

U poglavlju 3.2. određeni su $y=3.94s$ i $ar=2,45s$. Sada je moguće odrediti ukupno izgubljeno vrijeme u fazi:

$$Y = y + ar = 3.94 + 2.45 = 6.39 (s)$$

$$l_2 = Y - e = 6.39 - 2 = 4.39 (s)$$

$$t_L = l_1 + l_2 = 2 + 4.39 = 6.39 (s)$$

Ukupno izgubljeno vrijeme po ciklusu je suma svih izgubljenih vremena unutar svake faze:

$$L = \sum_i^n t_{Li} = \sum_1^3 t_L = 19.17 (s)$$

L - ukupno izgubljeno vrijeme po ciklusu (sek)

t_{Li} - izgubljeno vrijeme po fazi i (sek)

n - broj faza unutar ciklusa

3.4. Određivanje sume kritičnih volumena

Kako bi mogli odrediti odgovarajuće trajanje ciklusa i podijeliti ga na odgovarajuća trajanja zelenog svjetla unutar svake faze, nužno je naći sumu kritičnih volumena za svaku pojedinu fazu unutar ciklusa.

Kritični volumen predstavlja količinu prometa po svakom traku koja kontrolira potrebno trajanje određene faze. Ovu definiciju kompliciraju dva faktora:

- Volumeni se ne mogu jednostavno usporediti. Teška teretna vozila trebaju više vremena od osobnih automobila, lijevi i desni skretači zahtijevaju više vremena od vozila koja idu naprijed, vozila koja dolaze iz privoza u padu zahtijevaju manje vremena od vozila na ravnom i u usponu kako bi prošla kroz raskrižje.
- Ako u faznom planu dolazi do preklapanja elemenata, ring dijagram mora biti pažljivo određen u svrhu određivanja kritičnog toka

Kod određivanja kritičnih volumena mjerodavan je manevar kretanja naprijed zbog gore opisanih faktora. Volumeni lijevih i desnih skretača preračunavaju se u volumen kretanja naprijed pomoću faktora ekvivalencije (tablice 3.1. i 3.2.).

Tablica 3.1. Faktori ekvivalencije za lijeve skretače, E_{LT}

Opposing Flow V_o (veh/h)	Number of Opposing Lanes, N_o		
	1	2	3
0	1.1	1.1	1.1
200	2.5	2.0	1.8
400	5.0	3.0	2.5
600	10.0*	5.0	4.0
800	13.0*	8.0	6.0
1,000	15.0*	13.0*	10.0*
$\geq 1,200$	15.0*	15.0*	15.0*
E_{LT} for all protected left turns = 1.05			

Tablica 3.2. Faktori ekvivalencije za desne skretače, E_{RT}

Pedestrian Volume in Conflicting Crosswalk, (peds/h)	Equivalent
None (0)	1.18
Low (50)	1.21
Moderate (200)	1.32
High (400)	1.52
Extreme (800)	2.14

Faktori ekvivalencije za lijeve skretače ovisi o konfliktnim vozilima V_0 , koja predstavljaju samo ona vozila koja produžuju ravno kroz raskrižje. Faktori ekvivalencije za desne skretače ovise o broju konfliktnog pješačkog prometa.

Jednom kad su odabrani faktori E_{LT} i E_{RT} , svi lijevi i desni skretni volumeni moraju biti pretvoreni u njihov ekvivalent volumena za kretanju naprijed:

$$V_{LTE} = V_{LT} * E_{LT} \quad (3.11.)$$

$$V_{RTE} = V_{RT} * E_{RT} \quad (3.12.)$$

V_{LTE} - volumen lijevih skretača prikazan kao ekvivalent vozila koja idu naprijed (voz/h)

V_{RTE} - volumen desnih skretača prikazan kao ekvivalent vozila koja idu naprijed (voz/h)

Izračunati ekvivalenti se dodaju volumenu vozila koji idu naprijed kako bi se dobio ukupni ekvivalentni volumen po privozu:

$$V_{EQ} = V_{LTE} + V_{TH} + V_{RTE} \quad (3.13.)$$

$$V_{EQL} = \frac{V_{EQ}}{N} \quad (3.14.)$$

V_{EQ} - ukupni volumen po privozu (voz/h)

V_{EQL} - ukupni volumen po traku (voz/h)

N - broj trakova

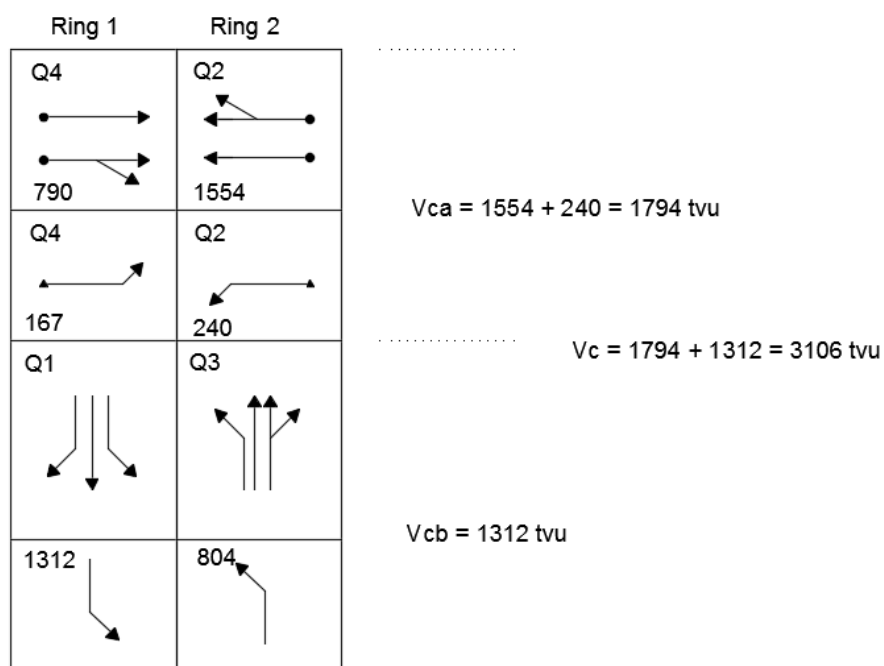
Traženje kritičnog volumena za fazni plan zahtijeva određivanje kritičnog puta unutar tog plana. To se radi na način da se unutar plana pronađe najveća moguća suma kritičnih volumena. Zbog toga što većina planova sadrži dva "kruga"(rings), alternativni putevi se suočavaju s ta dva potencijalna "kruga" za svaki dio faznog plana. Također treba napomenuti da kritični put može promijeniti "krug" na svakoj punoj faznoj granici.

U tablici 3.3. prikazani su odabrani faktori ekvivalencije te izračunati svi potrebni volumeni po privozu i svakom traku:

Tablica 3.3. Prikaz izračunatih ekvivalentnih kritičnih volumena

Privoz	Manevar kretanja	VOLUMEN (voz/h)	FAKTOR EKV.	EKV.VOLUMEN (voz/h)	VOLUMEN PO PRIVOZU (voz/h/priv)	VOLUMEN PO TRAKU (voz/h/trak)
SMJER Q1	LIJEVO	358	2,50	895	1312	437
	NAPRIJED	178	1,00	178		
	DESNO	181	1,32	239		
SMJER Q2	LIJEVO	229	1,05	240	1795	449
	NAPRIJED	1109	1,00	1109		
	DESNO	293	1,52	445		
SMJER Q3	LIJEVO	274	1,80	493	804	268
	NAPRIJED	238	1,00	238		
	DESNO	55	1,32	73		
SMJER Q4	LIJEVO	159	1,05	167	957	239
	NAPRIJED	688	1,00	688		
	DESNO	67	1,52	102		

Izračun kritičnog puta i ukupni ekvivalentni volumen ilustriran je na slici 3.2.



Slika 3.2. Određivanje kritičnog puta

Faza B ne može se razdvojiti u dvije podfaze zbog kombinirane (compound) faze lijevih skretača pa se računa kao jedna zasebna cjelina.

3.5. Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa

Zadovoljavajuće trajanje ciklusa dobiva se pomoću ekvivalentnih kritičnih volumena i zadane vrijednosti kapaciteta toka, koja iznosi 1615 vozila koja prođu naprijed kroz raskrižje unutar jednog sata trajanja zelenog svjetla. Ta vrijednost je dobivena na temelju širine trakova, postotka teških teretnih vozila, nagiba, prisutnosti parkinga, broju pješaka, kretnjama autobusa i geografskom području. Uobičajeno se ta vrijednost kreće u rasponu od 1500 do 1700, ovisno o postotku lijevih i desnih skretača. Nakon svega navedenog, trajanje ciklusa se može odrediti prema izrazu:

$$C_{des} = \frac{L}{1 - \left[\frac{V_c}{1615 * PHF * (\frac{v}{c})} \right]} \quad (3.15.)$$

C_{des} - zadovoljavajuće trajanje ciklusa (sek)

L - ukupno izgubljeno vrijeme u ciklusu (sek/ciklus)

PHF - faktor vršnog sata

$\frac{v}{c}$ - traženi omjer za kritične kretnje u raskrižju

Upotreba faktora vršnog sata osigurava da možemo promatrati period od vršnih 15 minuta unutar jednog sata. Omjer za kritične kretnje najčešće se kreće u rasponu od 0.85 do 0.95. Vrlo niske vrijednosti ovog omjera povećavaju zakašnjenje (delay) zbog toga što su vozači prisiljeni čekati dok neiskorišteno zeleno svjetlo završi. Vrijednosti ovog omjera veće od 0.95 pokazuju da su unutar ciklusa ili faze moguće pogreške te se zbog toga također povećava vrijeme zakašnjenje (delay).

U poglavlju 3.3. izračunata je ukupna vrijednost izgubljenog vremena $L=19.17s$, a u poglavlju 3.4. dobivena je suma kritičnih volumena $V_c=3106$ voz/h. Faktor vršnog sata PHF i omjer v/c imaju istu vrijednost koja iznosi 0.95. Za konkretnu analizu izračunata je vrijednost trajanja ciklusa:

$$C_{des} = \frac{L}{1 - \left[\frac{V_c}{1615 * PHF * (\frac{v}{c})} \right]} = \frac{19.17}{1 - \left[\frac{3106}{1615 * 0.95 * 0.95} \right]} = -16.95 \text{ (s)}$$

Iz rezultata je vidljivo da izračunato trajanje ciklusa nije realno, što znači da se za postojeću geometriju raskrižja i prometno opterećenje ne može dobiti zadovoljavajuće trajanje ciklusa. Ako bi se dodavali dodatni trakovi u privozima, rezultat bi bio bolji od sadašnjeg. Ipak, ta mjera se isplati samo kad je u pitanju najprometnijih 15 minuta vršnog sata.

3.6. Određivanje potrebnog vremena za pješake

Nakon izračunatih signalnih vremena za vozila, potrebno je isto napraviti i za pješake. Problem nastaje zbog toga što su potrebna vremena za vozila i za pješake često različita.

Za primjer možemo uzeti križanje jedne bitne gradske ceste i manje ulice. Prometno opterećenje veće je na gradskoj cesti, što rezultira dužim trajanjem zelenog svjetla u odnosu na manju ulicu. To je upravo suprotno od onoga što pješački promet zahtijeva. Tijekom kratkog zelenog svjetla pješaci prelaze širu gradsku cestu, dok tijekom dužeg zelenog svjetla prelaze manju ulicu. Dakle pješaci zahtijevaju duže trajanje zelenog svjetla tijekom kraćeg prometnog zelenog svjetla, te kraće zeleno svjetlo tijekom dužeg prometnog svjetla.

Predloženi su sljedeći izrazi za izračunavanje minimalnog potrebnog trajanja zelenog svjetla za pješake:

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E} \right) + \left(\frac{L}{S_p} \right) ; \text{ za } W_E > 10ft \quad (3.16.)$$

$$G_p = 3.2 + (0.27 * N_{ped}) + \left(\frac{L}{S_p} \right) ; \text{ za } W_E \leq 10ft \quad (3.17.)$$

G_p – minimalno potrebno trajanje zelenog svjetla za pješake (sek)

L – duljina pješačkog prijelaza (stopa)

S_p – prosječna brzina prelaska pješaka (stopa/sek)

N_{ped} – broj pješaka unutar jedne faze na jednom pješačkom prijelazu

W_E – širina pješačkog prijelaza (stopa)

U jednadžbama 3.16 i 3.17 vrijeme od 3.2 sekunde predstavlja minimalni *start-up time* za pješake. Pješaci koji tek kreću prelaziti na kraju intervala od 3.2 sekunde zahtijevaju dodatno vrijeme L/S_p kako bi sigurno prošli. Drugi dio jednadžbe odnosi se na *start-up time* baziran na količini pješaka koji žele preći pješački prijelaz.

Pomoću prva dva člana jednadžbi možemo izračunati minimalno potrebno vrijeme prelaska preko pješačkog prijelaza (WALK indication):

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E} \right) ; \text{ za } W_E > 10ft \quad (3.18.)$$

$$WALK_{min} = 3.2 + (0.27 * N_{ped}) ; \text{ za } W_E \leq 10ft \quad (3.19.)$$

Interval koji se mjeri od kraja sve crvenog svjetla za vozače jednak je vremenu L/S_p (DON'T WALK indication). WALK interval može biti duži od minimalno potrebnog vremena za pješake, ako je zeleno svjetlo za vozila dulje od potrebnog.

Na promatranom raskrižju izračunata su vremena minimalnog prelaska pješaka i minimalno trajanje zelenog svjetla pomoću izraza 3.16 i 3.18 ($W_E > 10ft$). Proračun je proveden za smjerove Q1 i Q3 te smjerove Q2 i Q4:

SMJER Q1 i Q3:

$$L = 65ft, S_p = 4.3ft/s, N_{ped} = 15, W_E = 13ft$$

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) + \left(\frac{65}{4.3}\right) = 21.43 (s)$$

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) = 6.31 (s)$$

SMJER Q2 i Q4:

$$L = 80ft, S_p = 4.3ft/s, N_{ped} = 15, W_E = 13ft$$

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) + \left(\frac{80}{4.3}\right) = 24.91 (s)$$

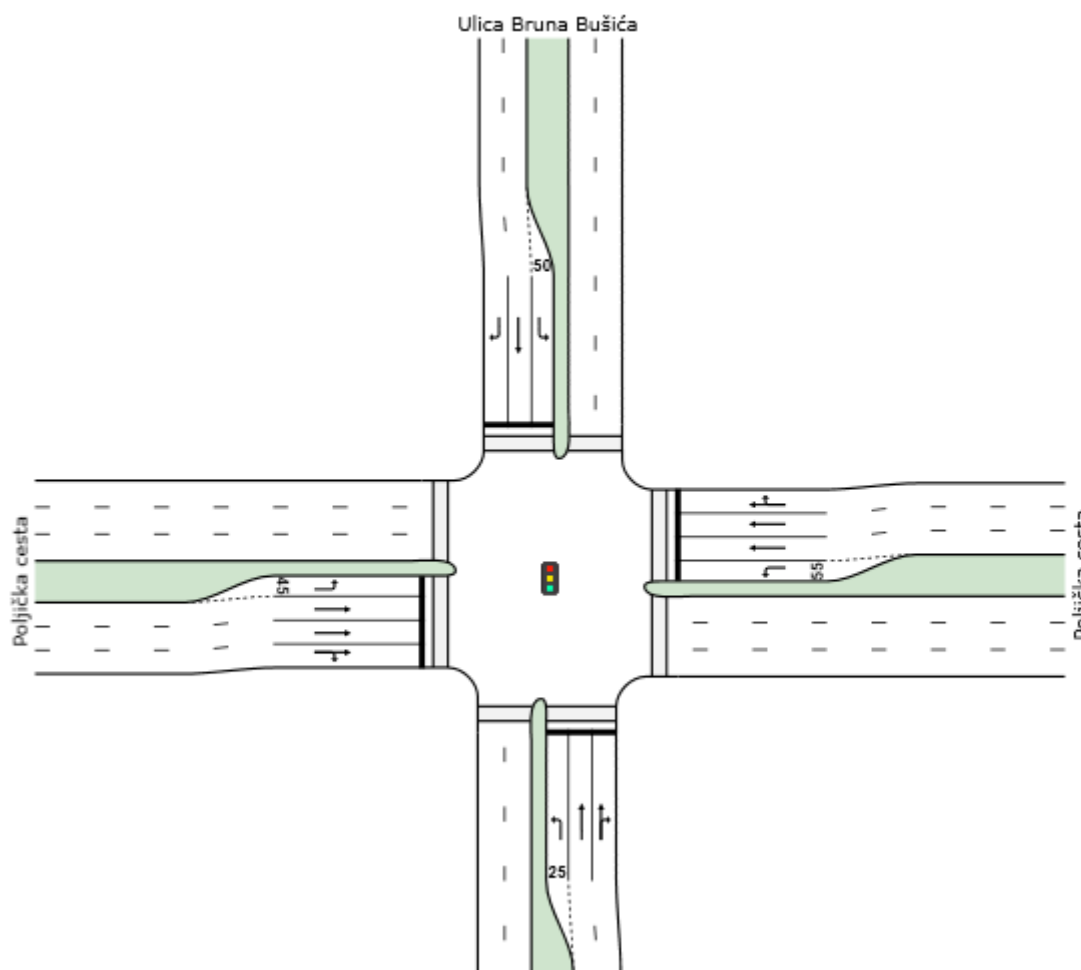
$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) = 6.31 (s)$$

Potrebe pješaka moraju biti uspoređene sa signalnim vremenima za vozila. Upotrebljen je najpovoljniji način za pješake, koji dopušta pješacima da prolaze pješačkim prijelazom tokom zelenog, žutog i sve crvenog svjetla.

Ipak taj korak nije moguće izvršiti zbog toga što trajanje ciklusa izračunato u poglavlju 3.5. *Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa* nije realno, te samim time nije bilo moguće izračunati trajanje zelenog svjetla za pojedinu fazu.

4. Software-ska analiza

Analiza je provedena u software-u SIDRA s time da je postavljeno da se proračun provodi s parametrima *Highway Capacity Manual-a* (HCM-a). Prvi korak predstavlja određivanje same geometrije raskrižja (broj trakova, širine trakova, duljine dodatnih trakova, moguće kretnje iz pojedinog traka i određivanje vrste pješačkih prijelaza) što je i prikazano na slici 4.1.:



Slika 4.1. Izgled analiziranog raskrižja u software-u SIDRA

U software-u je prvotno izvršena analiza s osnovnim parametrima. Zatim je provedena analiza s izmijenjenim parametrima. Ovaj način rada odabran je zbog što bolje usporedbe rezultata i što lakšeg otkrivanja najkritičnijih parametara koji utječu na funkcioniranje raskrižja. Sveukupno postoji 6 varijanti koje su detaljno opisane i prikazane u idućim poglavljima.

4.1. Prva varijanta: Default-ne vrijednosti

U prvoj varijanti unešeni su podaci o količini prometa u samom raskrižju, broju pješaka te trajanju svake pojedine faze unutar ciklusa.

Količina prometa je unešena na način da se odredio broj vozila u najopterećenijih 15 minuta unutar vršnog sata, te se taj broj pomnožio s 4 kako bi faktor vršnog sata (PHF) iznosio 100%. Također je izračunat postotak teških teretnih vozila i autobusa te unešen u proračun (slike 4.2.-4.5.).

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes
Volume Data Method	Total & %

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)			
From North to Exit:	E	S	W
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	376	276	224
Light Vehicles (%) *	96,49 %	98,53 %	94,65 %
Heavy Vehicles (%)	1,39 %	1,47 %	1,78 %
Buses (%)	2,12 %	0 %	3,57 %
Input Check	OK	OK	OK

Slika 4.2. Smjer Q1

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes
Volume Data Method	Total & %

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)			
From East to Exit:	S	W	N
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	240	1160	372
Light Vehicles (%) *	96,67 %	91,38 %	94,62 %
Heavy Vehicles (%)	3,33 %	6,21 %	5,38 %
Buses (%)	0 %	2,41 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK

Slika 4.3. Smjer Q2

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes
Volume Data Method	Total & %

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)			
From South to Exit:	W	N	E
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	368	352	80
Light Vehicles (%) *	96,77 %	100 %	100 %
Heavy Vehicles (%)	2,15 %	0 %	0 %
Buses (%)	1,08 %	0 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK

Slika 4.4. Smjer Q3

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes
Volume Data Method	Total & %

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)			
From West to Exit:	N	E	S
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	212	692	88
Light Vehicles (%) *	92,45 %	90,76 %	90,9 %
Heavy Vehicles (%)	7,55 %	7,51 %	9,1 %
Buses (%)	0 %	1,73 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK

Slika 4.5. Smjer Q4

Vidljivo je da je najopterećeniji smjer Q2 što je i logično jer je promatran jutarnji vršni sat, a tada najviše vozila Poljičkom cestom ide prema centru grada.

Brzina prelaska pješaka je uzeta kao standardna vrijednost od 1.1 m/s, a broj pješaka je unešen na identičan način kao i količina prometa što je i prikazano na slikama 4.6.-4.9.:

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data _____

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	384 ped	384 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2.0 %	2.0 %

Slika 4.6. Smjer Q1

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data _____

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	372 ped	372 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.7. Smjer Q2

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data _____

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	360 ped	360 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2.0 %	2.0 %

Slika 4.8. Smjer Q3

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

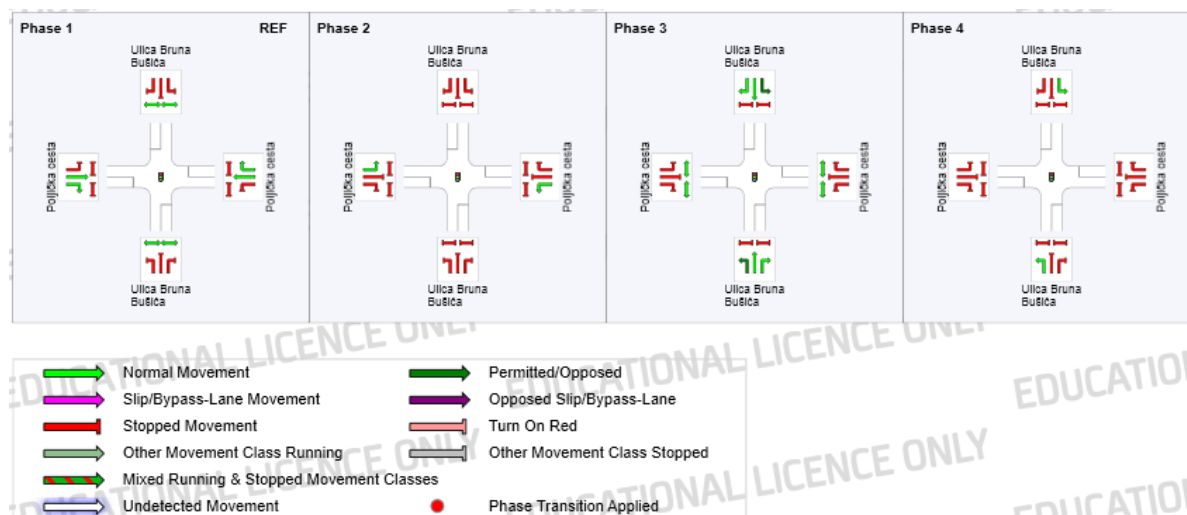
Volume Data _____

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	272 ped	272 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.9. Smjer Q4

Najviše pješaka prolazi na pješačkom prijelazu koji se nalazi na privozu Q1 zbog toga što su s obe strane prijelaza prisutne autobusne stanice koje su jako frekventne.

Nakon što su određeni prioriteti prolaska kroz raskrižje i konflikti koji se mogu dogoditi, dobiven je konačni izgled svih faza (slika 4.10.).



Slika 4.10. Prikaz svih faza i legenda kretnji unutar raskrižja

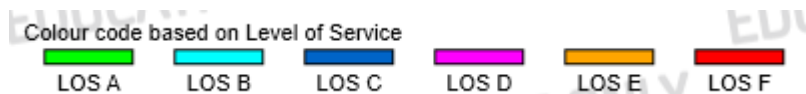
Trajanje ukupnog ciklusa te svake pojedine faze određeno je iz snimki. Ukupno vrijeme ciklusa je 90 sekundi, a podjela vremena unutar faza (zeleno, žuto i sve crveno svjetlo) je prikazana na slici 4.11.:

Phase:	1	2	3	4
Variable Phase	☐	☐	☐	☐
Reference Phase	☒	☐	☐	☐
Phase Time (optional)	35 sec	18 sec	24 sec	13 sec
Phase Frequency	Program ▾	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Yellow Time	3 sec	3 sec	3 sec	0 sec
All-Red Time	2 sec	2 sec	2 sec	4 sec
Dummy Movement Data:				
Dummy Movement Exists	☐	☐	☐	☐
Minimum Green Time				
Maximum Green Time				

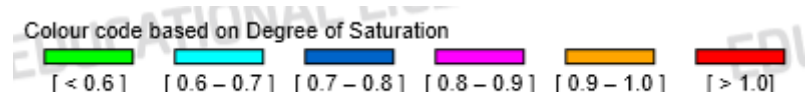
Slika 4.11. Prikaz trajanja svih faza

Zbog broja trakova i važnosti prometnih pravaca, smjerovi Q2 i Q4 imaju dulje trajanje zelenog svjetla (30 sek) te uz to imaju potpuno zaštićenu fazu za lijeve skretače.

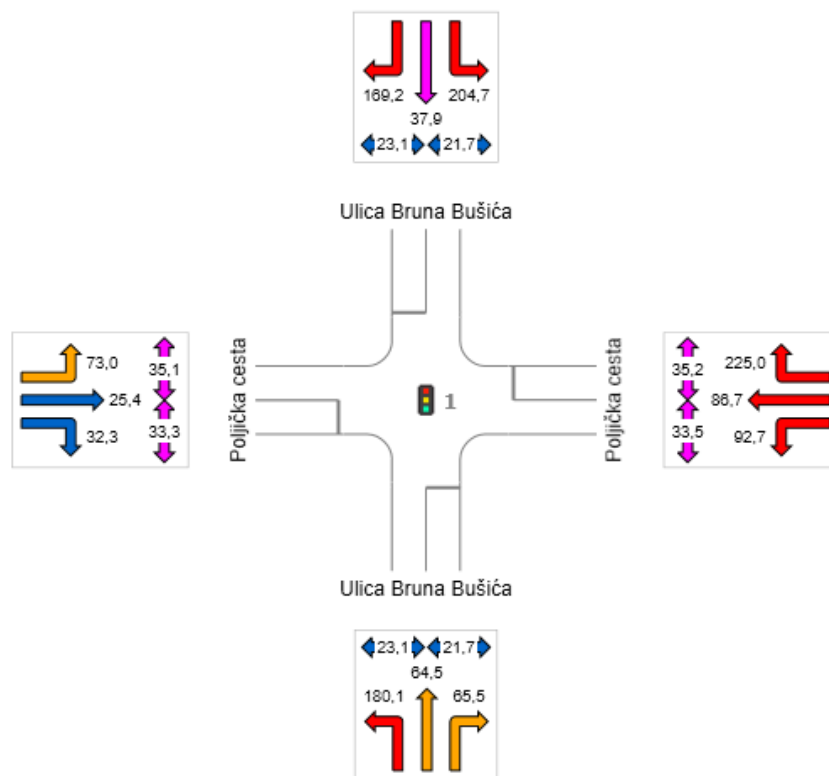
Nakon što smo unijeli sve gore navedene parametre, program je dao niz rezultata od kojih će biti prikazani samo oni najbitniji. To su vrijeme zakašnjenja (slika 4.14.), stupanj zasićenosti (slika 4.15.) i razinu usluge (slika 4.16.). Legende koje pokazuju ocjenu rezultata su prikazane na slikama 4.12. i 4.13.:



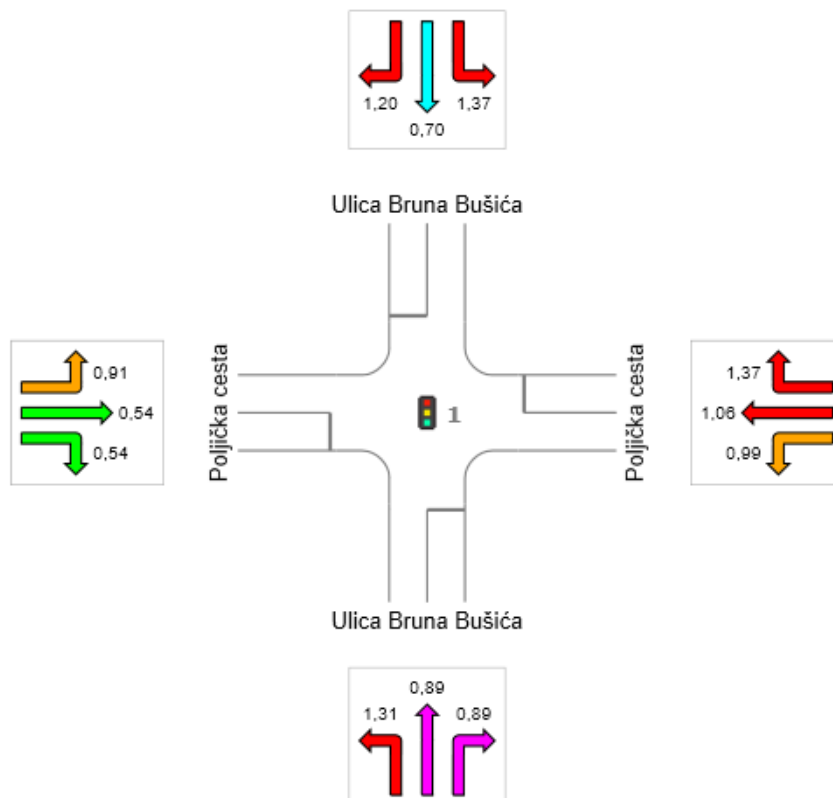
Slika 4.12. Ocjena rezultata za vrijeme zakašnjenja i razinu usluge



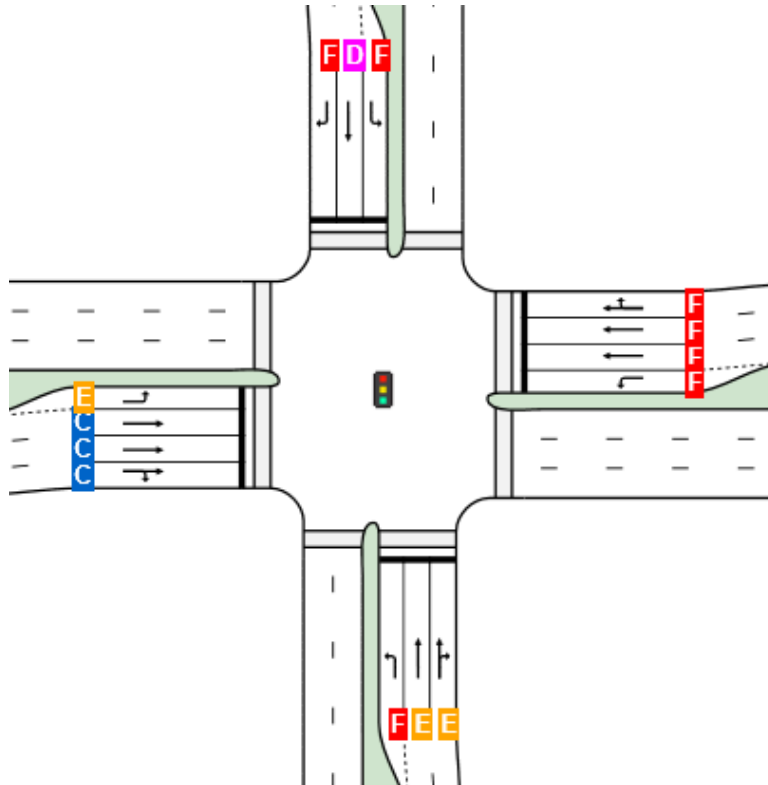
Slika 4.13. Ocjena rezultata za stupanj zasićenosti



Slika 4.14. Vrijeme zakašnjenja za prvu varijantu



Slika 4.15. Stupanj zasićenosti za prvu varijantu



Slika 4.16. Razina usluge za prvu varijantu

Tablica 4.1. Usporedba mjenog i programskog vremena zakašnjenja za prvu varijantu

1. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	204,70	44,04	92,70	29,94	180,10	41,56	73,00
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	37,90	42,10	86,70	29,17	64,50	29,28	25,40
DELAY ZA DESNO	30,21	169,20	50,16	225,00	29,60	65,50	30,57	32,30

Može se primjetiti da rezultati nisu realni jer je vrijednost $(v/c) > 1$, što u konkretnom slučaju nije očekivano zbog toga što su izbrojana samo ona vozila koja su prošla kroz raskrižje, a ne ona koja su ostala u raskrižju. Odmah se može zaključiti da će privoz Q2 i lijeva skretanja iz privoza Q1 i Q3 biti podosta kritični.

U idućim varijantama nastojat će se poboljšati rezultati da što bolje opisuju postojeće stanje (vremena zakašnjenja približno jednaka izmjerenim vrijednostima, stupanj zasićenosti manji od 1, bolja razina usluge).

4.2. Druga varijanta: Basic Saturation Flow

Default-na vrijednost bazičnog zasićenog toka po traku (Basic Saturation Flow) po parametrima HCM-a iznosi 1950 vozila koja prođu naprijed kroz raskrižje unutar jednog sata. Ta vrijednost je promijenjena pomoću najmanjeg izmjerenog zasićenog vremena slijeda (Saturation Headway) od svih trakova u kojima vozila idu naprijed, jer je taj manevar kretanja mjerodavan.

Iz tablice 2.7. (poglavlje 2.4. *Stopped-time delay*) vidljivo je da je najmanji izmjereni headway u privozu Q2 te iznosi 1.82 sekunde.

Potrebno je promatrati interval vremena od jednog sata (3600 sekundi) te se prema tome može izračunati:

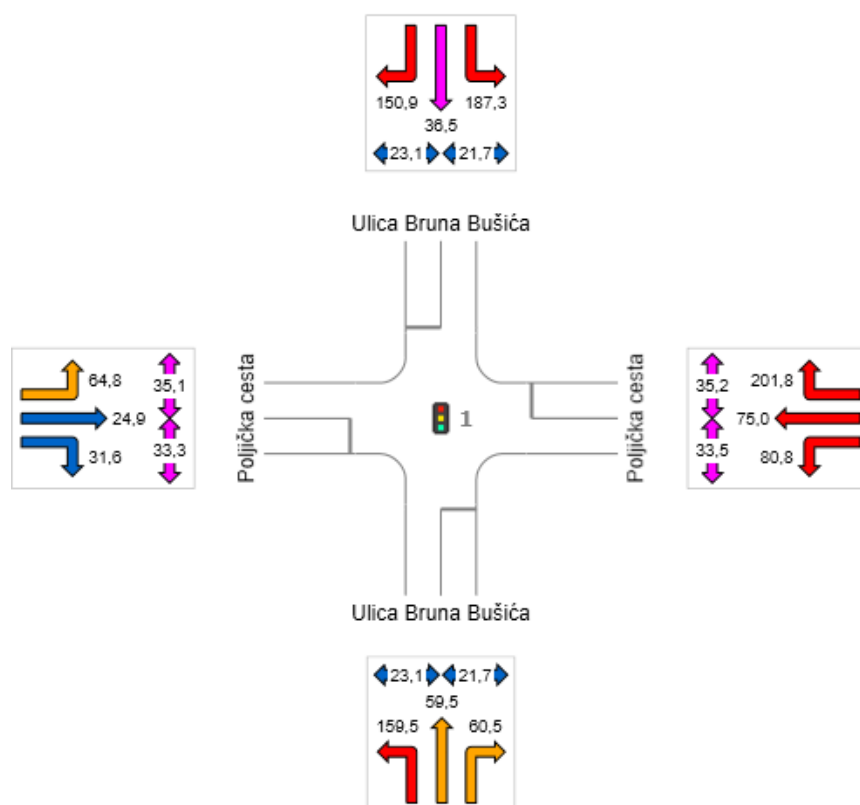
$$s = \frac{3600}{1.82} = 1978 \text{ voz/h}$$

Vrijednost od 1950 voz/h je zamijenjena dobivenom vrijednosti koja je unesena za svaki pojedini trak u svakom privozu (slika 4.17.).

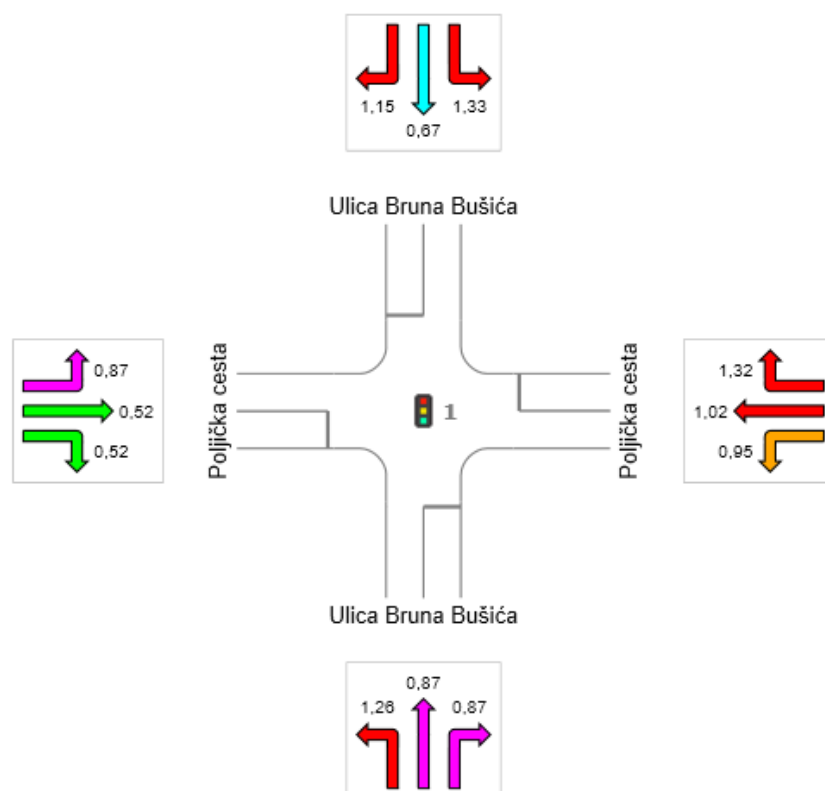
Basic Saturation Flow	1978 tcu/h
Lane Utilisation Ratio	Program ▼
Saturation Speed	Program ▼
Capacity Adjustment	0,0 %
☐ Use Given Capacity Adjustment Value for Network Analysis	

Slika 4.17. Unošenje nove vrijednosti kapaciteta toka

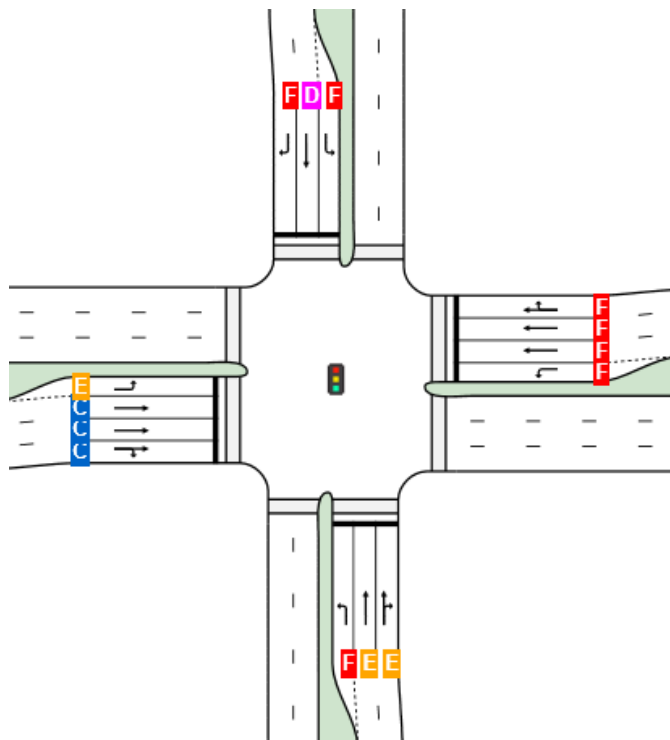
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni rezultati koji se nalaze na slikama 4.18.-4.20..



Slika 4.18. Vrijeme zakašnjenja za drugu varijantu



Slika 4.19. Stupanj zasićenosti za drugu varijantu



Slika 4.20. Razina usluge za drugu varijantu

Tablica 4.2. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za drugu varijantu

2. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	187,30	44,04	80,80	29,94	159,50	41,56	64,80
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	36,50	42,10	75,00	29,17	59,50	29,28	24,90
DELAY ZA DESNO	30,21	150,90	50,16	201,80	29,60	60,50	30,57	31,60

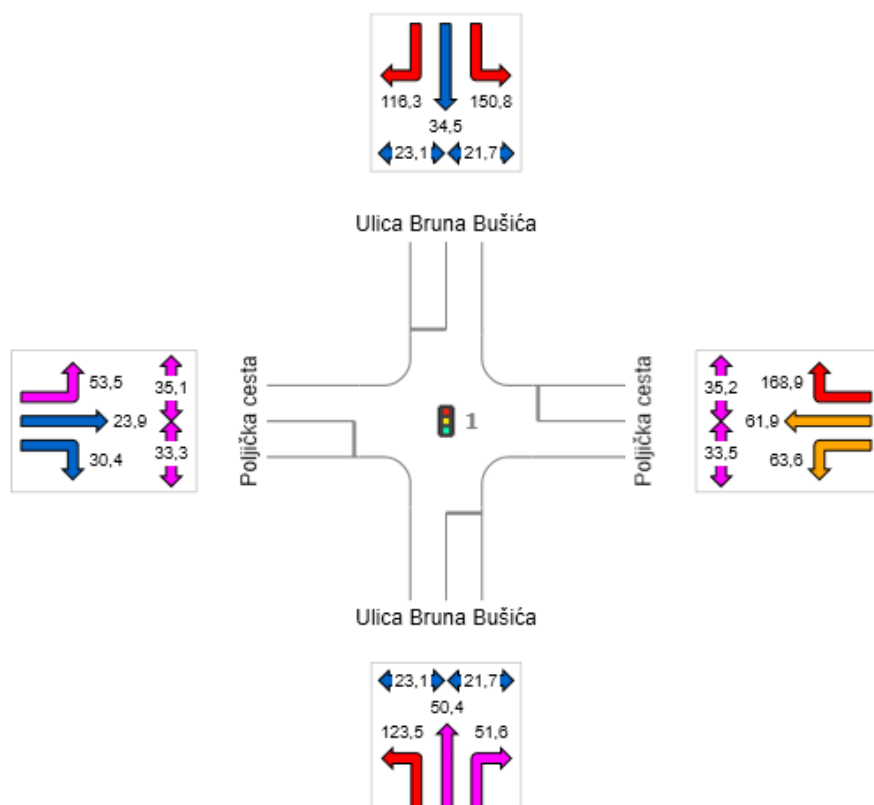
Ako se usporede rezultati prve i druge varijante, uočava se neznatan pad vrijednosti vremena zakašnjenja odnosno stupnja zasićenosti. Razina usluge je ostala nepromijenjena. Razlog tome je taj što nova vrijednost kapaciteta toka nije puno veća od početne.

4.3. Treća varijanta: Start Loss i End Gain

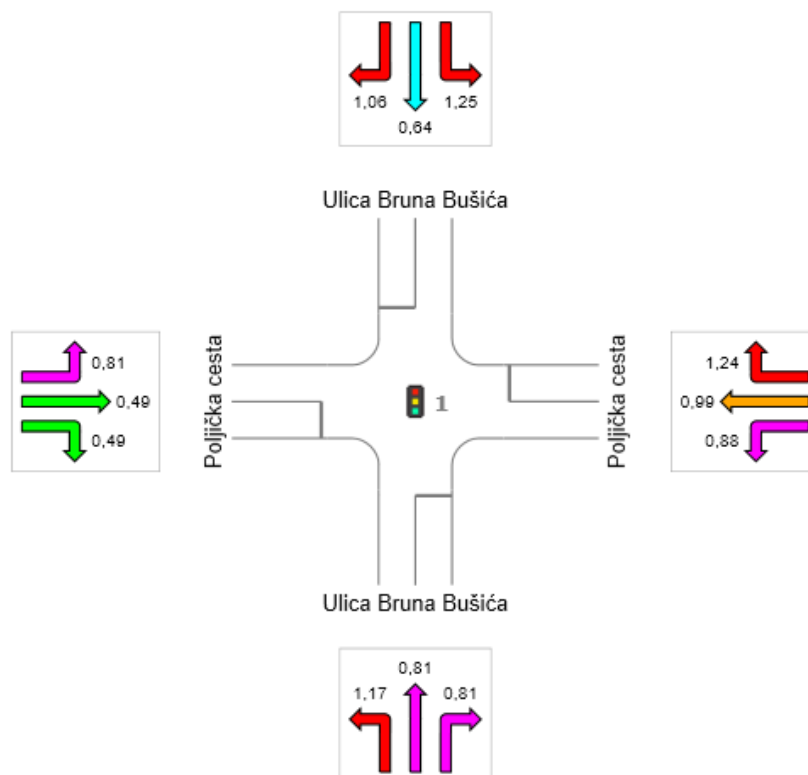
Vrijednost Start Loss-a od 2 sekunde se neće mijenjati s obzirom na njenu default-nu vrijednost iz software-a. Start Loss predstavlja zapravo prosječnu izmjerenu vrijednost Start-Up Lost Time-a koja u promatranom raskrižju iznosi približno 2 sekunde.

Default-na vrijednost End Gain-a u software-u također iznosi 2 sekunde, no ona je promijenjena. Uzeto je u obzir trajanje žutog svjetla unutar ciklusa rada semafora koje iznosi 3 sekunde, te je zbog toga zamijenjena vrijednost End Gain-a.

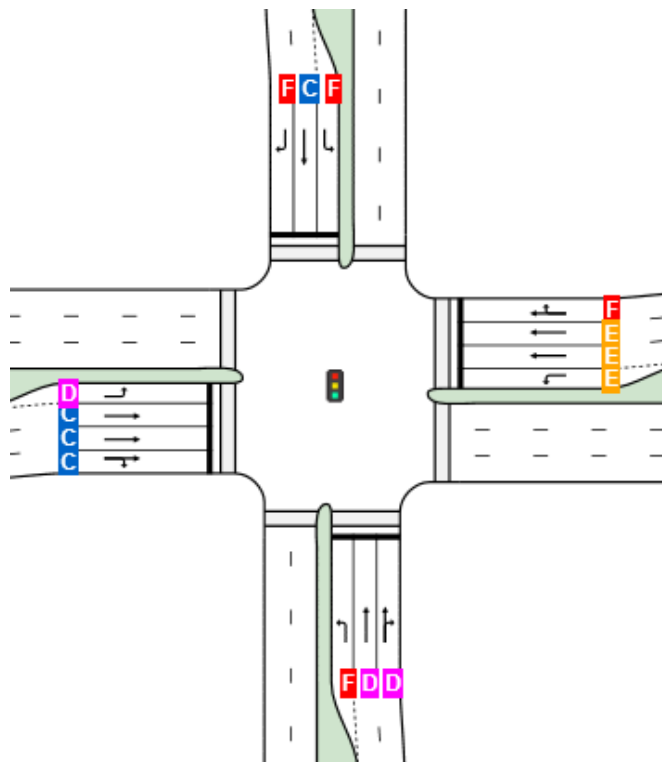
Iako je prisutna razlika u samo jednoj sekundi, u rezultatima možemo primjetiti da je ta promjena imala utjecaj na poboljšanje parametara:



Slika 4.21. Vrijeme zakašnjenja za treću varijantu



Slika 4.22. Stupanj zasićenosti za treću varijantu



Slika 4.23. Razina usluge za treću varijantu

Tablica 4.3. Usporedba mjerelog i programskog vremena zakašnjenja za treću varijantu

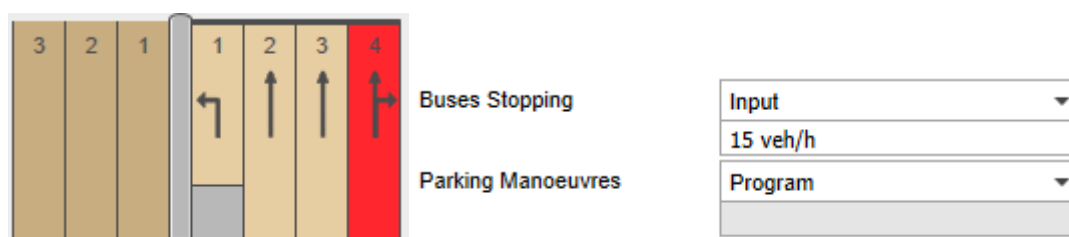
3. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	150,80	44,04	63,60	29,94	123,50	41,56	53,50
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	34,50	42,10	61,90	29,17	50,40	29,28	23,90
DELAY ZA DESNO	30,21	116,30	50,16	168,90	29,60	51,60	30,57	30,40

4.4. Četvrta varijanta: Bus stopping i Parking

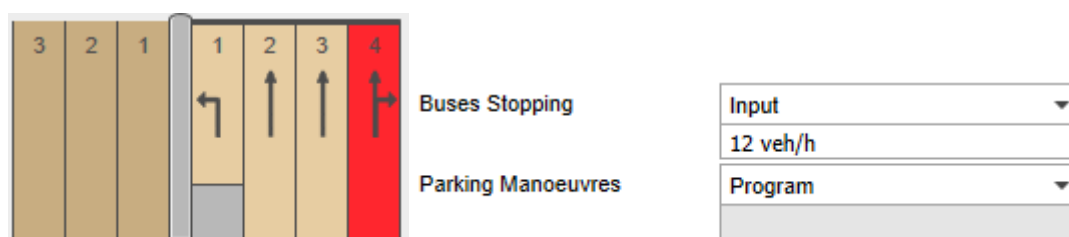
U ovoj varijanti promatrane su rute autobusa koje prolaze kroz raskrižje, te je određen broj autobusa koji se zaustavljaju na autobusnim stanicama. Parkinga koji bi utjecao na odvijanje prometa unutar raskrižja nema. Podaci su unešeni samo u geometriju onih trakova na kojima se nalazi autobusna stanica, ali nakon prolaska kroz raskrižje (slike 4.24.-4.26.):



Slika 4.24. Smjer Q1



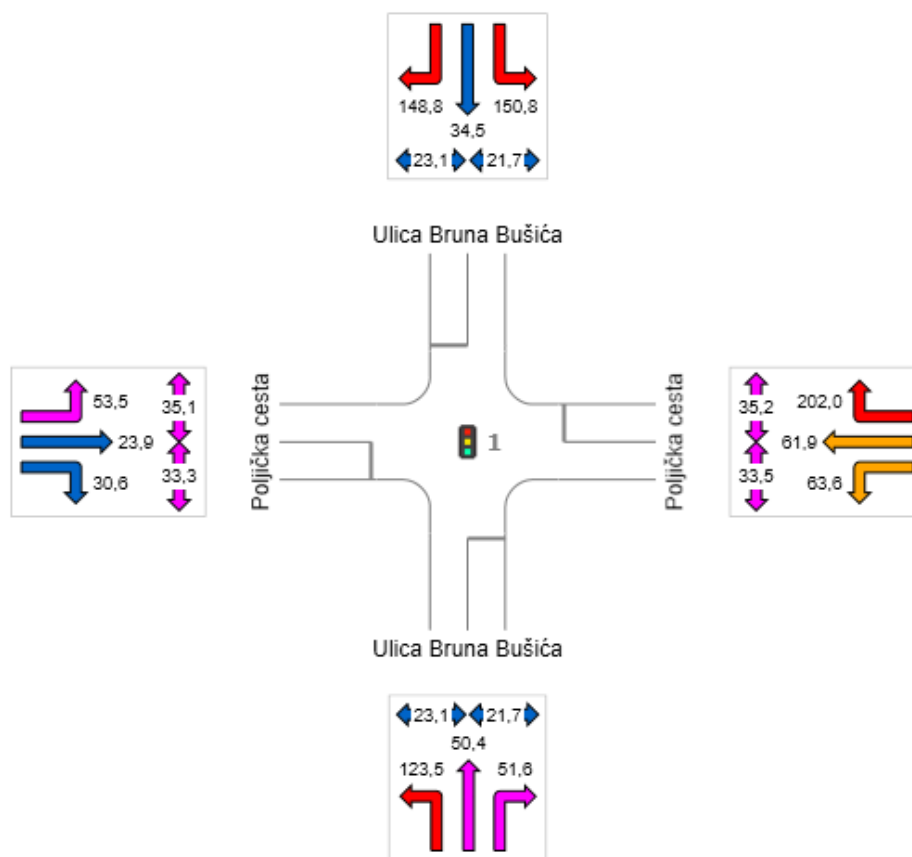
Slika 4.25. Smjer Q2



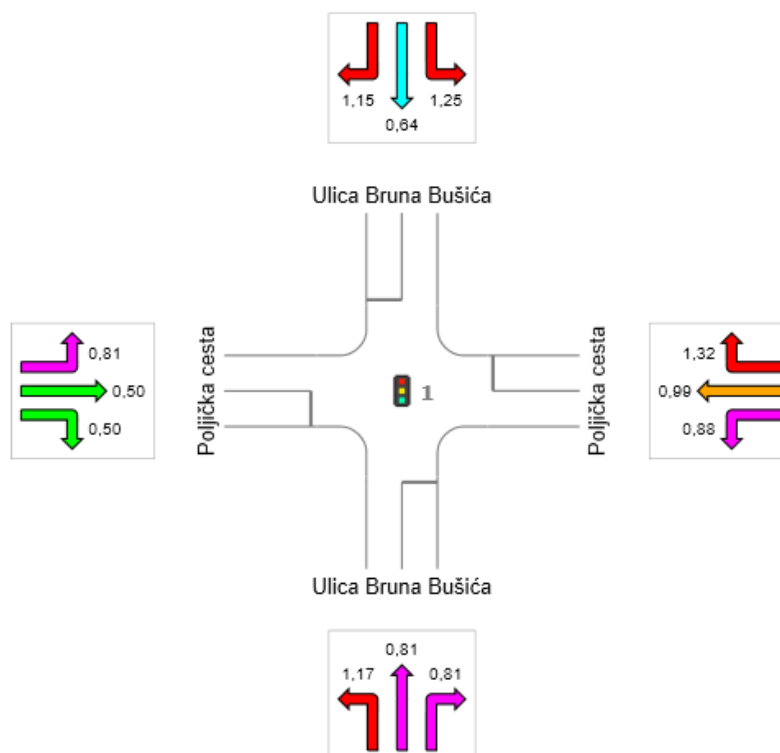
Slika 4.26. Smjer Q4

Nakon što su uneseni gore navedeni podaci i pokrenut program, dobiveni su rezultati koji su pogoršali stanje u samom raskrižju, a posebno u trakovima za desne skretače iz smjera Q1 i Q4. Autobusne stanice usporavaju promet jer nisu uvučene nego se stajalište nalazi na prometnom traku.

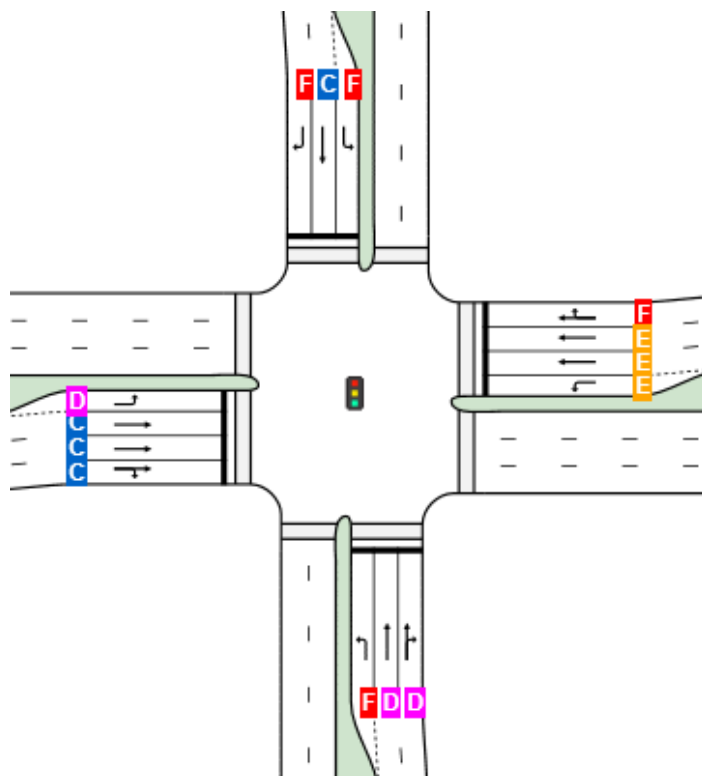
Rezultati su vidljivi na slikama 4.27.-4.29.:



Slika 4.27. Vrijeme zakašnjenja za četvrtu varijantu



Slika 4.28. Stupanj zasićenosti za četvrtu varijantu



Slika 4.29. Razina usluge za četvrtu varijantu

Tablica 4.4. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za četvrtu varijantu

4. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	150,80	44,04	63,60	29,94	123,50	41,56	53,50
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	34,50	42,10	61,90	29,17	50,40	29,28	23,90
DELAY ZA DESNO	30,21	148,80	50,16	202,00	29,60	51,60	30,57	30,60

4.5. Peta varijanta: Arrival Type

Tip dolaska u raskrižje (arrival type) urađen je na način da je izvršeno mjerenje postotka vozila koja dođu u pojedini privoz dok traje zeleno svjetlo.

Tu su uračunata sva ona vozila koja se nisu nalazila u kolonama te nisu čekala paljenje zelenog svjetla. Sva ta vozila su prošla kroz raskrižje približno istom brzinom kojom su i došla u pojedini privoz.

Pregled unosa navedenih podataka nalazi se na idućim slikama:

From North to Exit:	E	S	W
	 L2	 T1	 R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	53,0 %	25,0 %	31,0 %

Slika 4.30. Smjer Q1

From East to Exit:	S	W	N
	 L2	 T1	 R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	22,0 %	61,0 %	52,0 %

Slika 4.31. Smjer Q2

From South to Exit:	W	N	E
	 L2	 T1	 R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	36,0 %	58,0 %	25,0 %

Slika 4.32. Smjer Q3

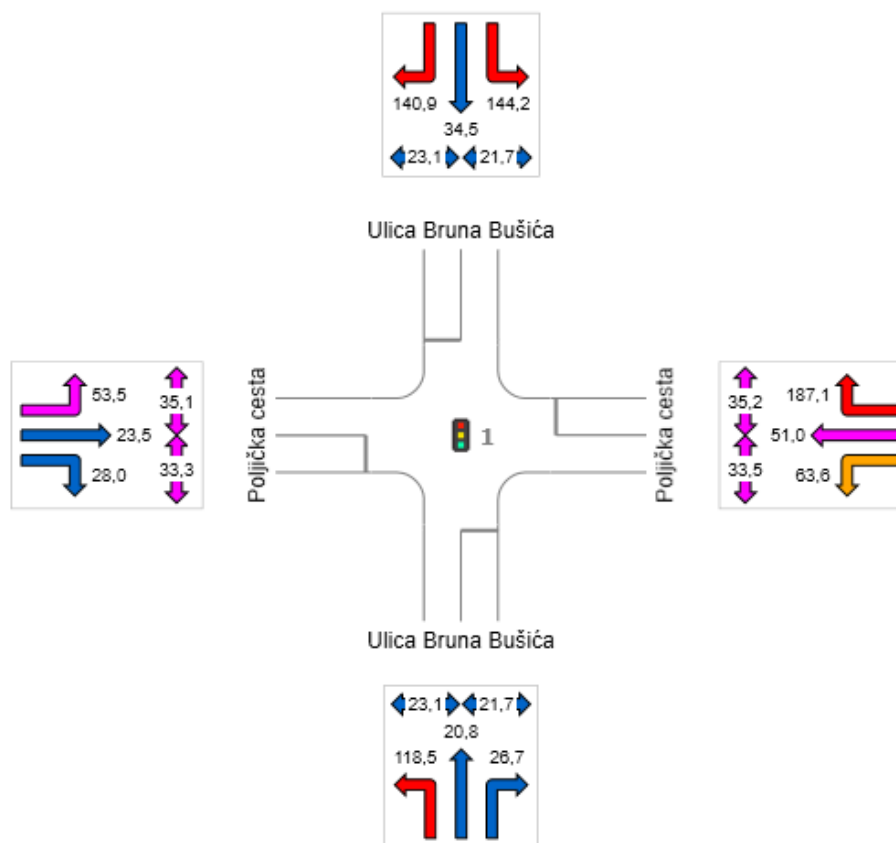
From West to Exit:	N	E	S
	 L2	 T1	 R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	23,0 %	39,0 %	33,0 %

Slika 4.33. Smjer Q4

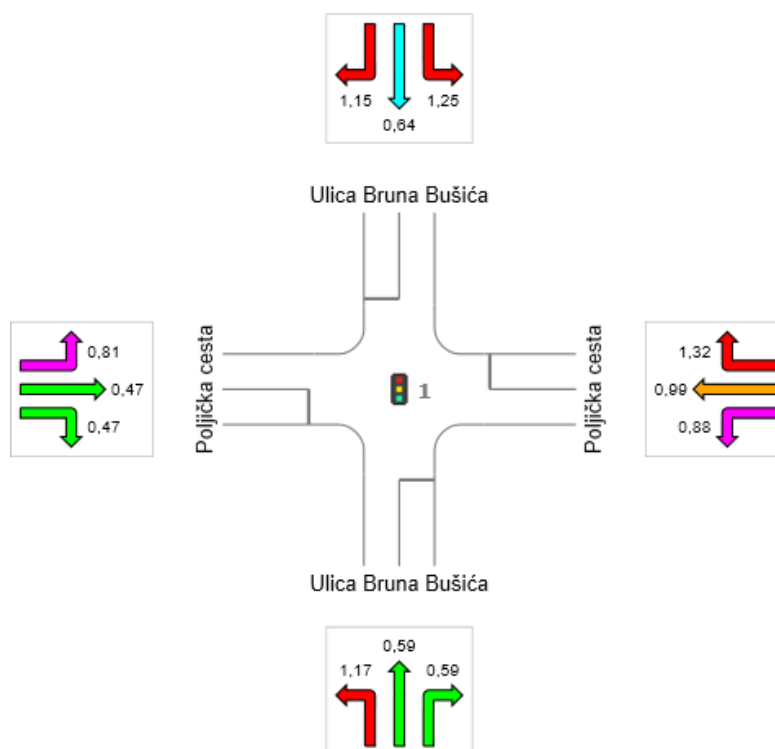
Nakon procesuiranja u programu dobiveni su rezultati pete varijante proračuna. Sve tri glavne promatrane vrijednost lagano opadaju no i dalje nije moguće reći da su dobivene vrijednosti približno jednake izmjerenim.

Ono što se može ustvrditi nakon urađenih pet varijanti je to da su najkritičniji trakovi oni za desne skretače u privozima Q1 i Q2, te za lijeve skretače u privozima Q1 i Q3.

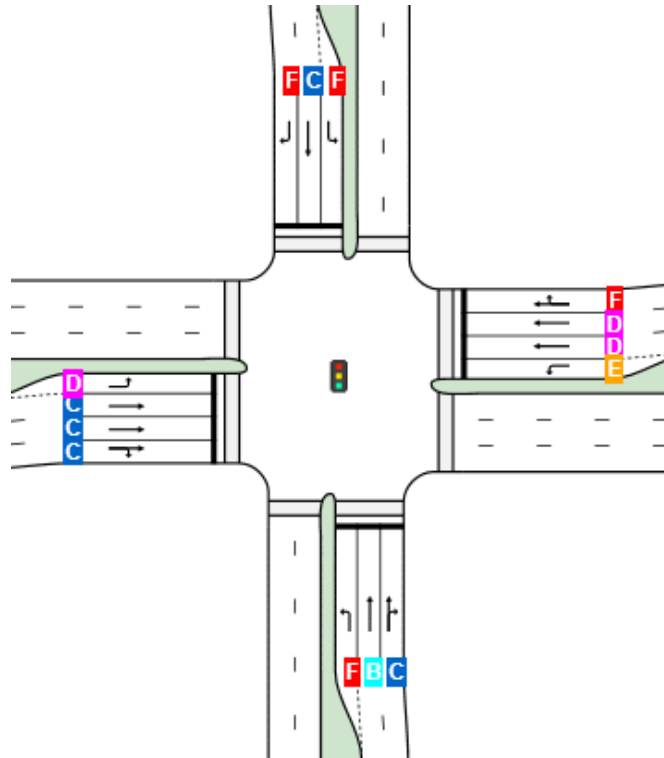
Prikaz rezultata pete varijante nalazi se na slikama 4.34.-4.36..



Slika 4.34. Vrijeme zakašnjenja za petu varijantu



Slika 4.35. Stupanj zasićenosti za petu varijantu



Slika 4.36. Razina usluge za petu varijantu

Tablica 4.5. Usporedba mjerelog i programskog vremena zakašnjenja za petu varijantu

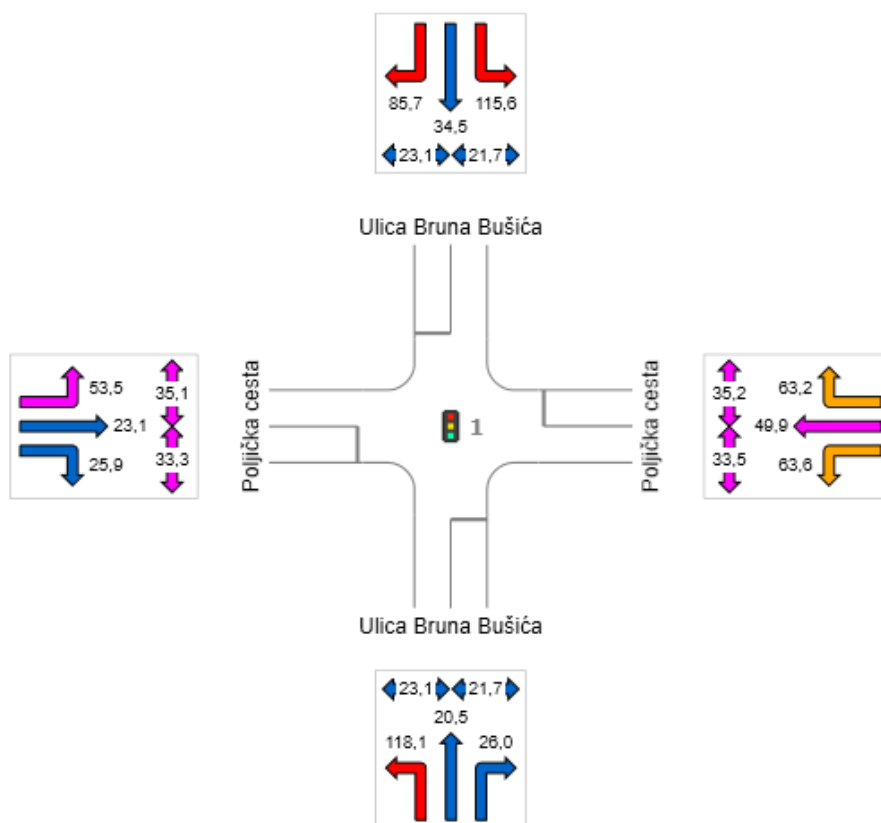
5. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	144,20	44,04	63,60	29,94	118,50	41,56	53,50
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	34,50	42,10	51,00	29,17	20,80	29,28	23,50
DELAY ZA DESNO	30,21	140,90	50,16	187,10	29,60	26,70	30,57	28,00

4.6. Šesta varijanta: Opposing pedestrian factor

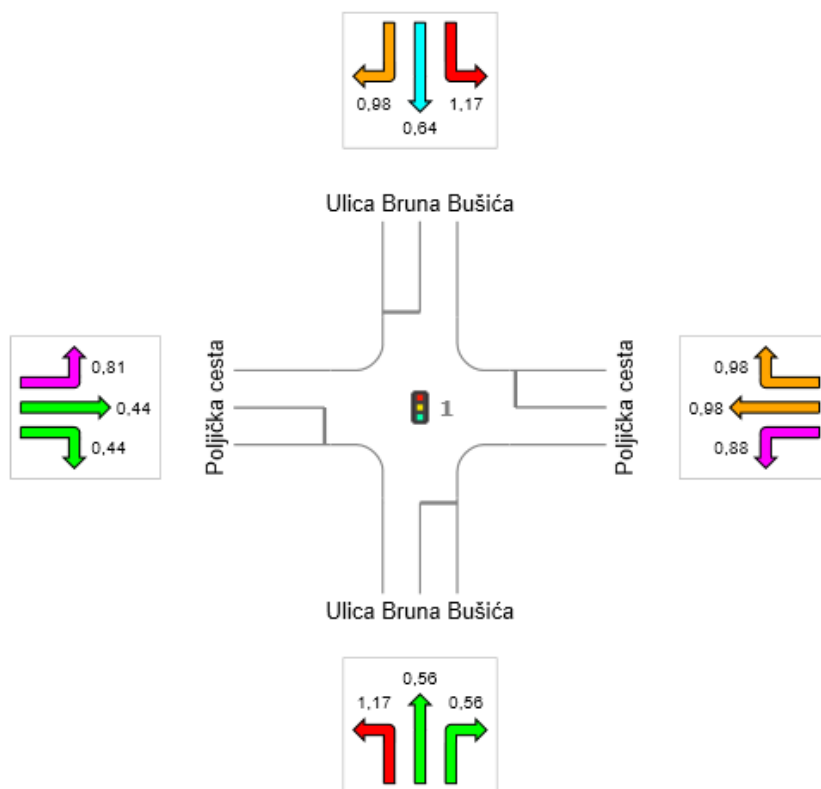
U posljednjoj varijanti proračuna u program je unesen faktor koji je vezan uz prelazak konfliktnih pješaka. Njegova početna vrijednost je bila 1. To bi značilo da će svi vozači koji skreću morati čekati svakog pješaka gdje god se on nalazio na pješačkom prijelazu. U realnosti to nije slučaj, te je određen faktor vrijednosti 0,5, što bi značilo da vozači ne moraju čekati pola pješaka koji prolaze prijelazom (npr. ako se pješak nalazi na suprotnoj strani pješačkog prijelaza, nema potrebe da ga vozač čeka da prođe cijeli prijelaz).

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Movement ID	8P1	8P2
Crossing Distance	Program ▾	Program ▾
Opposing Pedestrian Factor	0,5	0,5
Practical Degree of Saturation	Program ▾	Program ▾
Saturation Flow Rate	12000 ped/h	12000 ped/h
Walking Speed (Average)	1,3 m/sec	1,3 m/sec
Approach Travel Distance	10,0 m	10,0 m
Downstream Distance	10,0 m	10,0 m
Queue Space	1,0 m	1,0 m

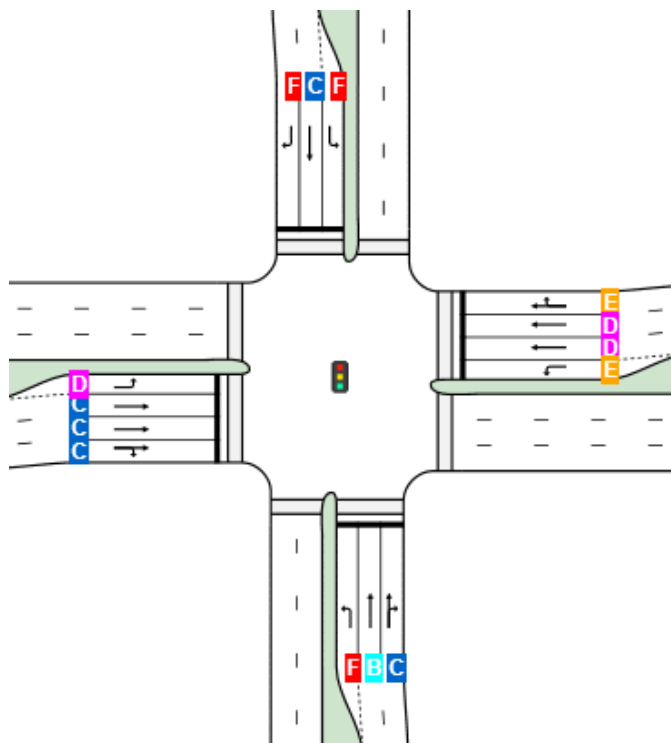
Slika 4.37. Unos faktora za konfliktne pješake



Slika 4.38. Vrijeme zakašnjenja za šestu varijantu



Slika 4.39. Stupanj zasićenosti za šestu varijantu



Slika 4.40. Razina usluge za šestu varijantu

Tablica 4.6. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za šestu varijantu

6. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	115,60	44,04	63,60	29,94	118,10	41,56	53,50
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	34,50	42,10	49,90	29,17	20,50	29,28	23,10
DELAY ZA DESNO	30,21	85,70	50,16	63,20	29,60	26,00	30,57	25,90

U rezultatima je uočljivo da je promjena faktora iznimno pozitivno utjecala na desne skretače iz smjerova Q1 i Q2, koji su u prijašnjoj varijanti bili kritični. Smanjene su i vrijednosti parametara lijevih skretača iz smjera Q1. Ipak, i dalje se može reći da su oni zajedno s lijevim skretačima iz smjera Q3 nepovoljni.

Teži se da vrijednosti vremena zakašnjenja (delay) budu što bliža izmjerenim, a da stupanj zasićenosti bude manji od 1 za svaki prometni trak. Stupanj zasićenosti veći od 1 pokazuje da postojeći kapacitet premašuje kapacitet prometnog traka.

Nakon što su analizirane sve varijante proračuna, prikazani i komentirani svi rezultati, ostaje još samo mogućnost eventualne promjene nekih od prijašnjih parametara u svrhu poboljšanja stanja u raskrižju. Parametar koji ćemo promijeniti je basic saturation flow. Opis, rezultati i komentar promjene dati su u idućem poglavlju.

4.7. Promjena Basic Saturation Flow-a

Navedena vrijednost je detaljnije opisana u poglavlju 4.2. *Druga varijanta: Basic Saturation Flow*, gdje je proračunom dobivena njegova nova vrijednost s obzirom na mjereno zasićeno vrijeme slijeda.

Vrijednost od 1978 voz/h nije bila puno veća od početne vrijednosti od 1950 voz/h, te je zbog toga odlučeno da će se postaviti vrijednost od 2450 voz/h jer ta vrijednost rezultira značajnim smanjenjem vrijednosti (v/c) ≈ 1 . Time će se smanjiti i vrijednosti promatranih parametara (vrijeme zakašnjenja, stupanj zasićenosti i razina usluge).

To bi teoretski značilo da bi zasićeno vrijeme slijeda trebalo biti manje za 0.35 sekundi i iznositi 1.47 sekunde, jer smo za prosječnu izmjerenu vrijednost od 1.82 sekunde dobili vrijednost basic saturation flow-a od 1978 voz/h.

The screenshot shows a software interface with the following fields:

- Basic Saturation Flow:** 2450 tcu/h
- Lane Utilisation Ratio:** Program (dropdown menu)
- Saturation Speed:** Program (dropdown menu)
- Capacity Adjustment:** 0,0 %
- ☐ Use Given Capacity Adjustment Value for Network Analysis

Slika 4.41. Unos promijenjene vrijednosti kapaciteta toka u software

Prikaz krajnjih dobivenih rezultata vremena zakašnjenja, stupnja zasićenosti i razine usluge za raskrižje u cijelosti se nalazi da slikama 4.42.-4.44., dok su pojedinačni rezultati za svaki trak prikazani na slikama 4.45.-4.47.:

	South	East	North	West	Intersection
Delay (Control)	40,4	26,3	48,9	26,3	33,3
LOS	D	C	D	C	C

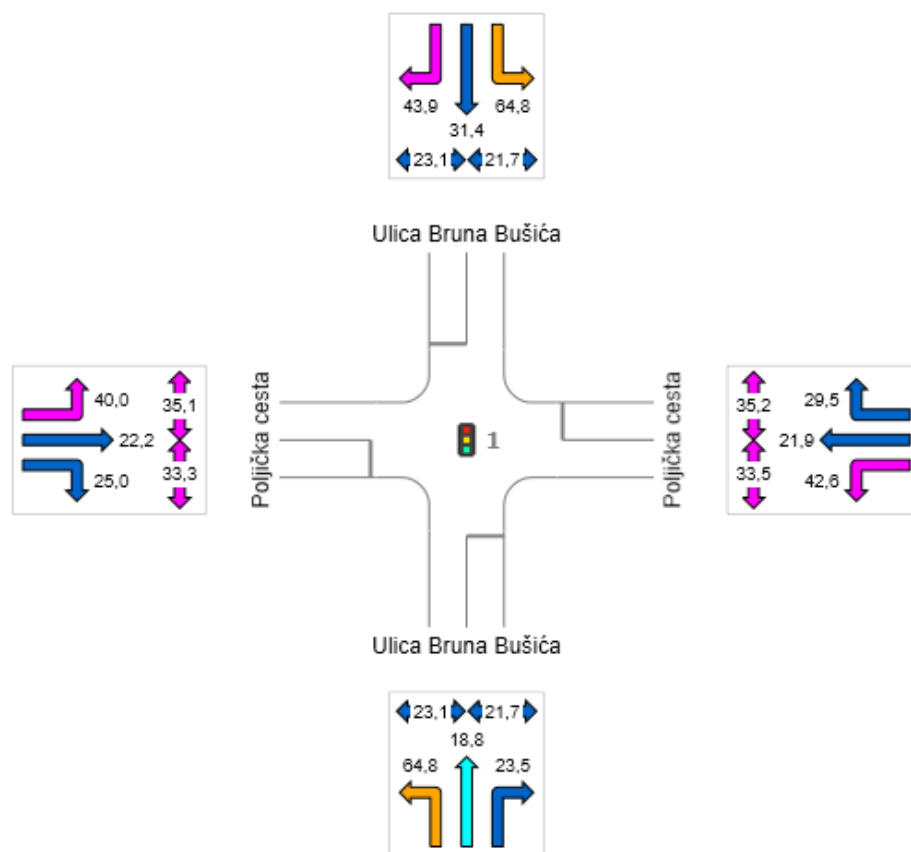
Slika 4.42. Prosječne vrijednosti vremena zakašnjenja za svaki privoz i cijelo raskrižje

	South	East	North	West	Intersection
Degree of Saturation	0,97	0,80	0,99	0,65	0,99

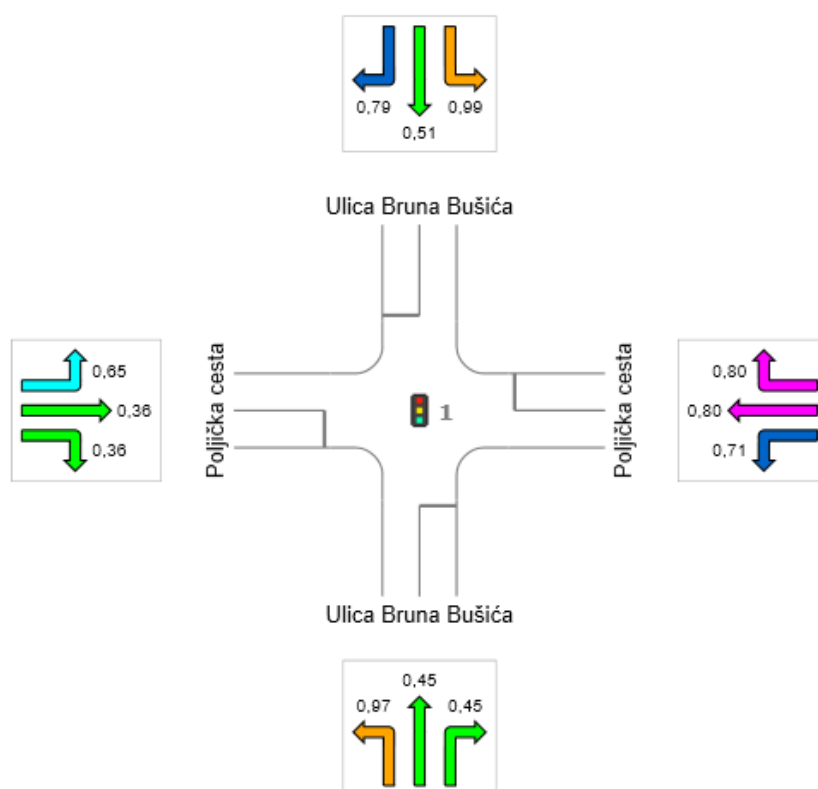
Slika 4.43. Prosječne vrijednosti stupnja zasićenosti za svaki privoz i cijelo raskrižje

	South	East	North	West	Intersection
LOS	D	C	D	C	C

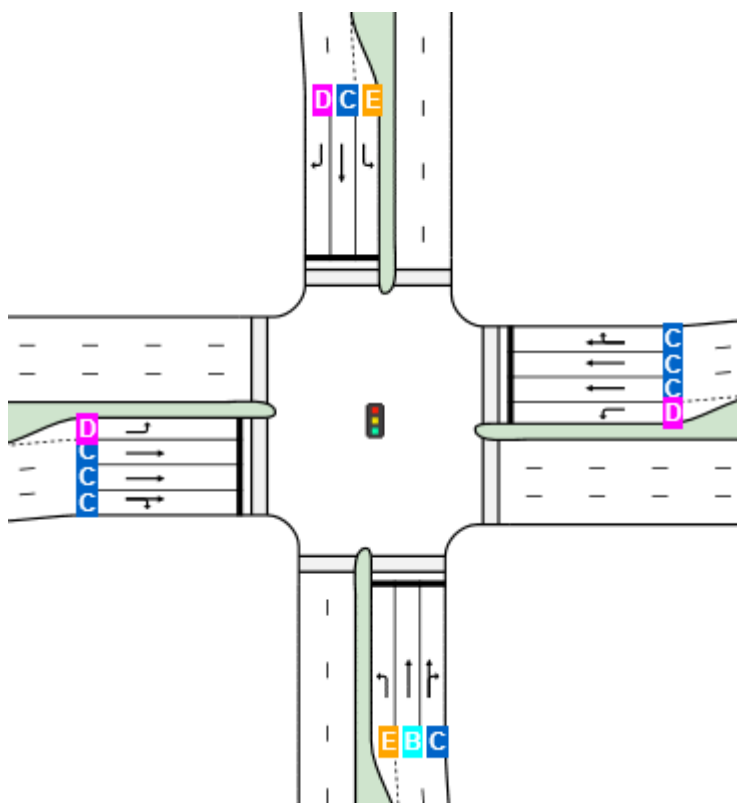
Slika 4.44. Razina usluge za svaki privoz i cijelo raskrižje



Slika 4.45. Vrijeme zakašnjenja nakon promjene basic saturation flow-a



Slika 4.46. Stupanj zasićenosti nakon promjene basic saturation flow-a



Slika 4.47. Razina usluge nakon promjene basic saturation flow-a

Tablica 4.7. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja nakon promjene BSF-a

PROMJENA BSF	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45,49	64,80	44,04	42,60	29,94	64,80	41,56	40,00
DELAY ZA NAPRIJED	24,09	31,40	42,10	21,90	29,17	18,80	29,28	22,20
DELAY ZA DESNO	30,21	43,90	50,16	29,50	29,60	23,50	30,57	25,00

Iz prikazanih rezultata može se primjetiti da su tek sada za svaki pojedini prometni trak dobiveni stupnjevi zasićenosti manji od 1. Ipak, ova posljednja analiza je napravljena samo kako bi se dobio uvid što bi se trebalo promijeniti kako bi funkcioniranje raskrižja unutar software-a SIDRA u potpunosti mogli nazvati dobrim.

5. Usporedba rezultata

U ovom poglavlju uspoređeni su rezultati dobiveni software-skom analizom s mjerenim vremenima zakašnjenja (stopped-time delay).

U tablici 5.1. prikazana su vremena zakašnjenja za svaku pojedinu varijantu, za svaki privoz te za svaki manevar kretanja. Vidljivo je postupno smanjenje vrijednosti promatranog parametra, osim u četvrtoj varijanti gdje se povećao delay u manevrima kretanja gdje su prisutna zaustavljanja autobusa.

Nakon promjene bazičnog zasićenog toka može se utvrditi da su programski rezultati vrlo blizu mjerenim vrijednostima.

Tablica 5.1. Usporedba svih mjerenih vremena zakašnjenja s vremenima zakašnjenja dobivenim u programu SIDRA za svaki manevar kretanja

	SMJER Q1			SMJER Q2			SMJER Q3			SMJER Q4		
DELAY	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno
1.VARIJANTA	204,70	37,90	169,20	92,70	86,70	225,00	180,10	64,50	65,50	73,00	25,40	32,30
2.VARIJANTA	187,30	36,50	150,90	80,80	75,00	201,80	159,50	59,50	60,50	64,80	24,90	31,60
3.VARIJANTA	150,80	34,50	116,30	63,60	61,90	168,90	123,50	50,40	51,60	53,50	23,90	30,40
4.VARIJANTA	150,80	34,50	148,80	63,60	61,90	202,00	123,50	50,40	51,60	53,50	23,90	30,60
5.VARIJANTA	144,20	34,50	140,90	63,60	51,00	187,10	118,50	20,80	26,70	53,50	23,50	28,00
6.VARIJANTA	115,60	34,50	85,70	63,60	49,90	63,20	118,10	20,50	26,00	53,50	23,10	25,90
PROMJENA BSF	64,80	31,40	43,90	42,60	21,90	29,50	64,80	18,80	23,50	40,00	22,20	25,00
MJERENO	45,49	24,09	30,21	44,04	42,10	50,16	29,94	29,17	29,60	41,56	29,28	30,57

6. Zaključak

Rezultati analize provedene u programu SIDRA na samom početku su se veoma razlikovali od izmjerenih vrijednosti, no postupnom promjenom parametara se došlo do situacije koja je bolja. Nakon šest varijanti proračuna ne može se u potpunosti reći da su postignuti zadovoljavajući rezultati.

Kroz opise i komentare rezultata varijanti već je spomenuto da su najkritičniji rezultati za lijeve skretače u privozima Q1 i Q3. Tome je razlog to što program SIDRA pretpostavlja da je lijevi trak prezasićen prometom i da će se kolona, nakon što popuni cijeli dodatni lijevi trak, produljiti na susjedni desni trak. U realnosti to nije slučaj jer vozači iz tog susjednog traka zaobiđu lijeve skretače jer nema potrebe da ih čekaju. Zbog ovog razloga stopped-time delay i stupanj zasićenosti poprimaju velike iznose koji se ne mogu smatrati realnima. Razina usluge u tim trakovima je samim time određena kao najgora.

Tek nakon što smo promijenili basic saturation flow (zasićeni tok), vrijednost stupnja zasićenosti pala je ispod 1 u svim trakovima i vrijednosti delaya su došle bliže mjerenim. Dobivena situacija se može smatrati najrealnijom s obzirom na ostale koje su nastale u programu SIDRA.

Na kraju ovog rada može se utvrditi da je funkcioniranje samog raskrižja u realnosti zadovoljavajuće, bez obzira na to što je program negdje dao loše rezultate. Pojava kolona u jutarnjem vršnom satu je očekivana, ali kolike god one bile u raskrižju ne dolazi do zakrčenja prometa. Također se može zaključiti, ponajviše iz snimki, da je jedan od bitnijih parametara sama reakcija vozača.

7. Literatura

- [1] Roger P.Roess, Elena S.Prassas, William R.McShane: Traffic Engineering; Fourth Edition
- [2] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual;Volume 3: Interrupted Flow
- [3] <https://maps.google.com>