Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu CORSIM

Bošnjak, Ivan

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:123:142153

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Bošnjak

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ivan Bošnjak

Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu CORSIM

Diplomski rad

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **IVAN BOŠNJAK**

BROJ INDEKSA: **589**

KATEDRA: **Katedra za prometnice**

PREDMET: **Prometna tehnika**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu CORSIM

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, 14.3.2017.

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 CORSIM

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, CORSIM

Functional analysis of Bruna Bušića and Poljička street intersection in CORSIM software

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, CORSIM,

Zahvala

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

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

Na kraju, najveća zahvala mojim roditeljima i obitelji koji su bili puni strpljenja, razumijevanja i neprekidna podrška posebno u periodu 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 20
   3.6. Određivanje potrebnog vremena za pješake 21
4. Software-ska analiza 24
   4.1. Default-ne vrijednosti 25
   4.2. Varijanta s malim pješačkim prometom 30
   4.3. Varijanta sa srednjim pješačkim prometom 35
   4.4. Varijanta sa stvarnim vrijednostima SULT i SH 39
   4.5. Varijanta sa stvarnim pješačkim prometom po privozima 44
5. Usporedba rezultata 51
6. Zaključak 53
7. Literatura 55

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 vozno-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 pometnice, 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 više važna. Svi transportni sistemi imaju nekoliko negativnih utjecaja na okoliš.

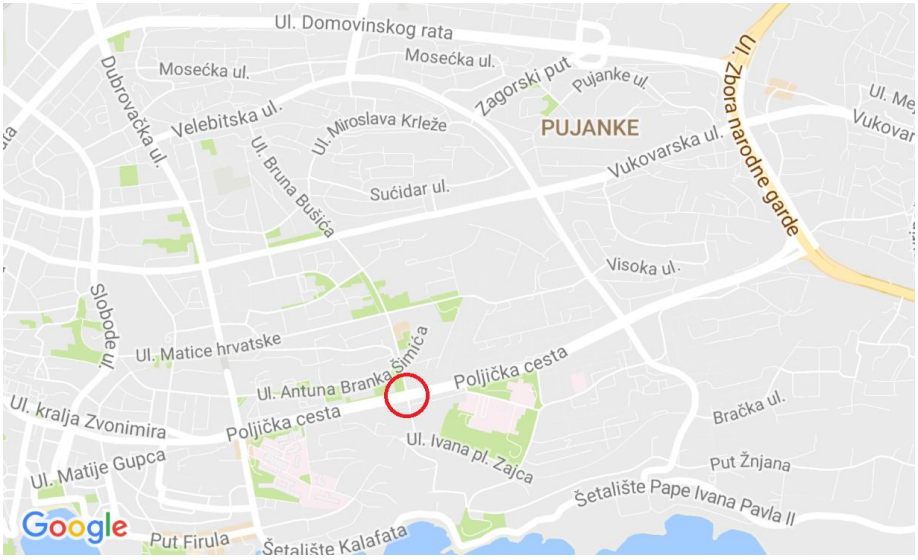
Prometni inženjer ima zadatak optimizirati navedene ciljeve i upotrebu javnih sredstava za gradnju, održavanje i korištenje objekata transportnog sustava.

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.

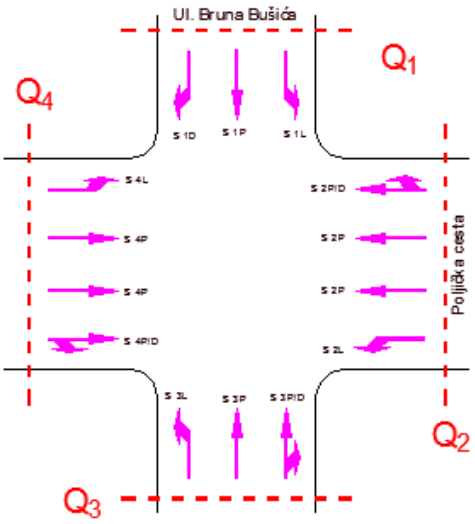
2. Postojeće stanje

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			DESNO				
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										
	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO				
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

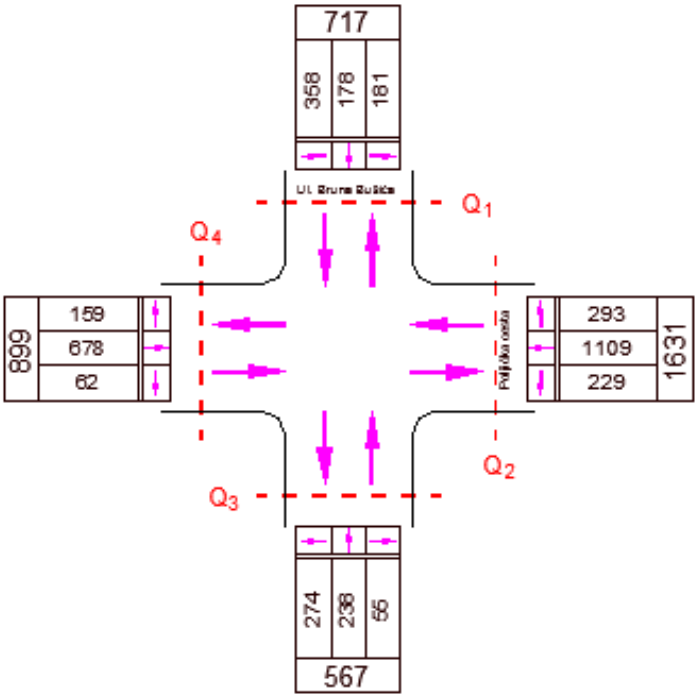
	SMJER Q3										
	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	46	1	0	44	0	0	6	0	0	97	43
7:30-7:45	70	0	2	57	0	1	12	0	0	142	71
7:45-8:00	89	1	2	88	0	0	20	0	0	200	90
8:00-8:15	61	0	2	47	0	1	17	0	0	128	48
Ukupno	266	2	6	236	0	2	55	0	0		

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



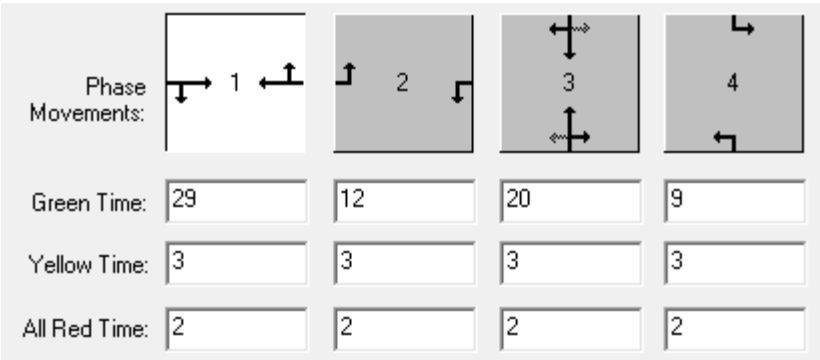
Slika 2.4. Prikaz količine prometa po pojedinom privozu i traku

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 PRAŽNJENJA – 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 softwareu CORSIM (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%

NON-COMMERCIAL LICENCE ONLY

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:

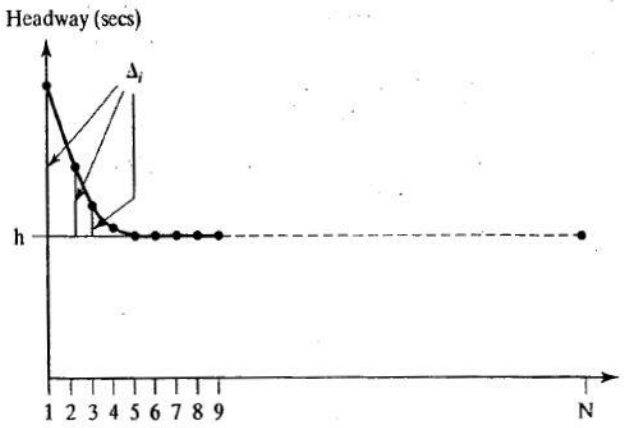
$$s = \frac{3600}{h} \tag{2.1.}$$

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 Δ_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):

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

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 mjerena 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

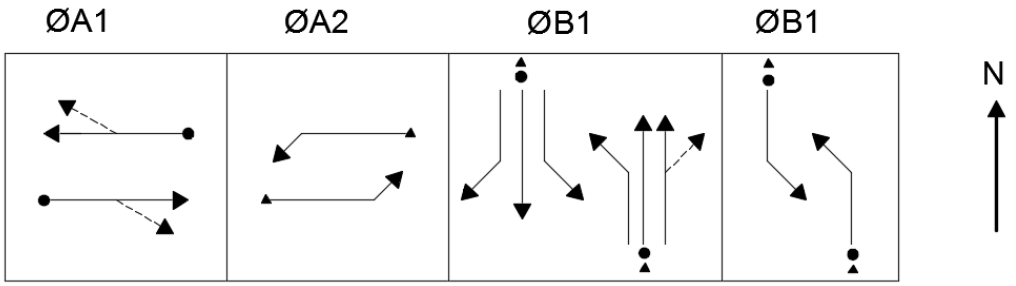
	SMJER Q4					
Manevar kretanja	**SH**	**SULT**	**TST**	**AST**	**TV**	**MQ**
LIJEVO	1,50	1,98	2,69	41,56	33	3
NAPRIJED (1.trak)	2,00	2,15	5,76	32,23	41	14
NAPRIJED (2.trak)	2,26	0,42	6,18	26,34	52	17
DESNO	2,09	0,95	7,47	47,34	29	9

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.
- ISPREKIDANA 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)

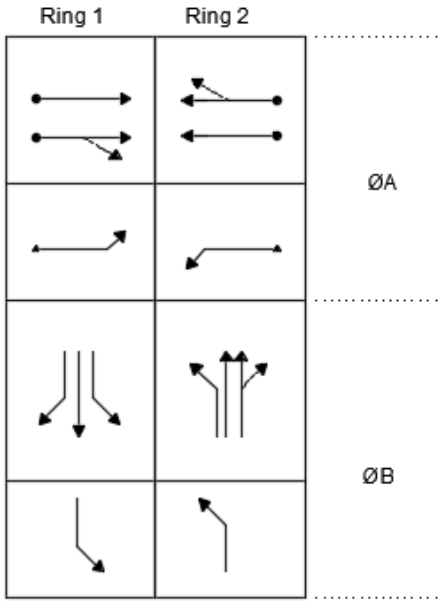
Phase dijagram prikazuje sve kretnje koje se dogode unutar jedne faze te ih sve zajedno smješta u jedan blok dijagrama.



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 prikazani 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 geometrij raskrižja. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa stvarnim vrijednostima i komentirani.

3.1. Provjera potrebe za zaštićenom fazom

Najvažija stavka cilkusa koja dovdi 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 zaštičena faza su:

$$v_{LT} \geq 200\ voz/h \tag{3.1.}$$

$$xprod = v_{LT} * (\frac{v_0}{N_0}) \tag{3.2.}$$

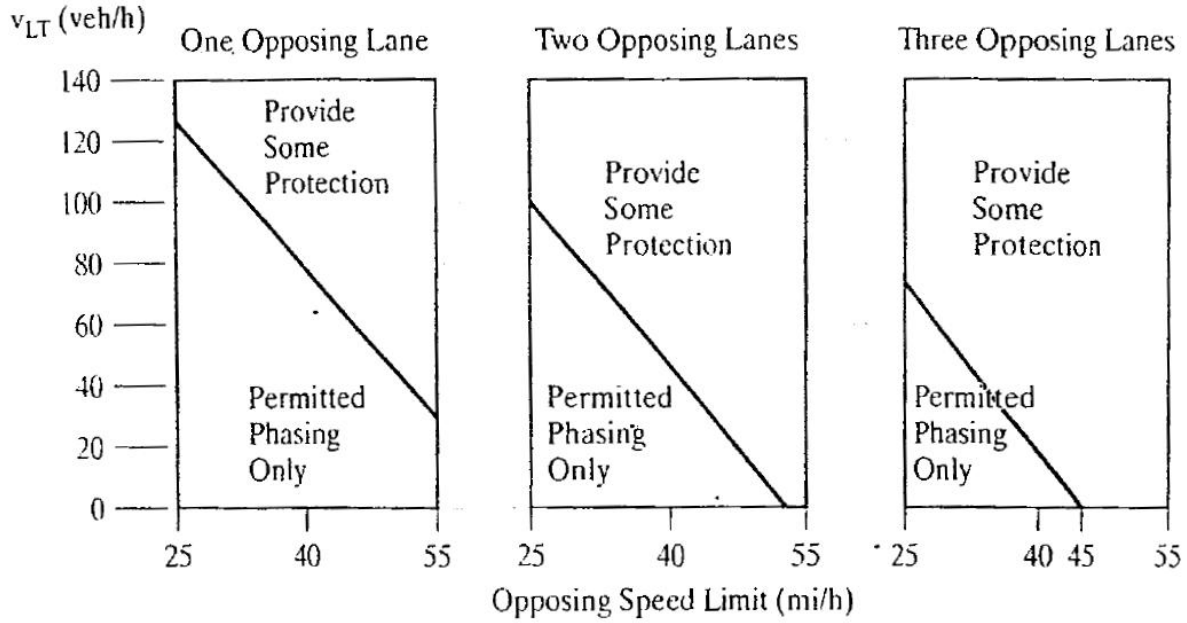
v_{LT} - broj lijevih skretača po satu (voz/h)

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:

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

$xprod = 351 * \left(\frac{263}{2}\right) = 41\,418 \ < 50\,000$ - 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:

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

$xprod = 217 * \left(\frac{613}{3}\right) = 44\,340 \ < 50\,000$ - 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 Q3:

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

$xprod = 266 * \left(\frac{173}{1}\right) = 46\,018\ < 50\,000$ - 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:

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

$xprod = 159 * \left(\frac{1109}{3}\right) = 58\,777\ > 50\,000$ - 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.

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:

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

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/sek^2)

G - uzdužni nagib u %

64.4 - dvostruka vrijednost ubrzanje uzrokovano gravitacijom, koja iznosi 32.2 stopa/sek^2

Interval trajanja sve crvenog svjetla određuje se prema sljedećim izrazima:

- za slučajeve kada nema pješačkog prometa

$$ar = \frac{W+L}{1.47S_{15}} \tag{3.3.}$$

- za slučajeve u kojem je značajan broj pješačkog prometa

$$ar = \frac{P+L}{1.47S_{15}} \tag{3.4.}$$

- za slučajeve u kojima postoji barem nekakav pješački promet

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

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 procjeniti kao:

$$S_{15} = S - 5 \tag{3.6.}$$

$$S_{85} = S + 5 \tag{3.7.}$$

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 raskižju 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 ft/s^2, G=0% te S_{85}=40mph:

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

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

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

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:

$$l_2 = Y - e \tag{3.8.}$$

$$Y = y + ar \tag{3.9.}$$

$$t_L = l_1 + l_2 \tag{3.10.}$$

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 podijelili 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 za naprijed zbog gore opisanih faktora. Volumeni lijevih i desnih skretača preračunavaju se u volumen kretanja pravo 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*
≥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 kretnju 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

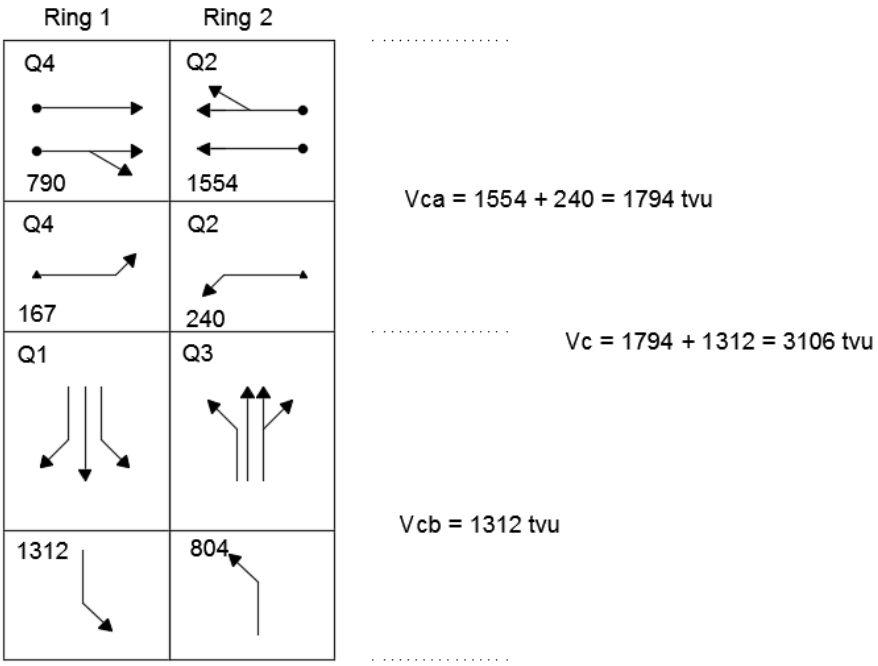
Traženje kritičnog volumena za fazni plan zahtijeva određivanje kritičnog puta unutar tog plana. To se radi na način da se unutar plana pronađe najveća moguća suma kritičnih volumena. Zbog toga što većina planova sadrži dva "kruga"(rings), alternativni putevi se suočavaju s ta dva potencijalna "kruga" 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. izračunata 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:

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

Iz rezultata je vidljivo da dobiveno trajanje ciklusa nije realno, što znači da se za postojeće prometno opterećenje i geometriju raskrižja 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:

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

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

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):

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

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

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 dulji 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:

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

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

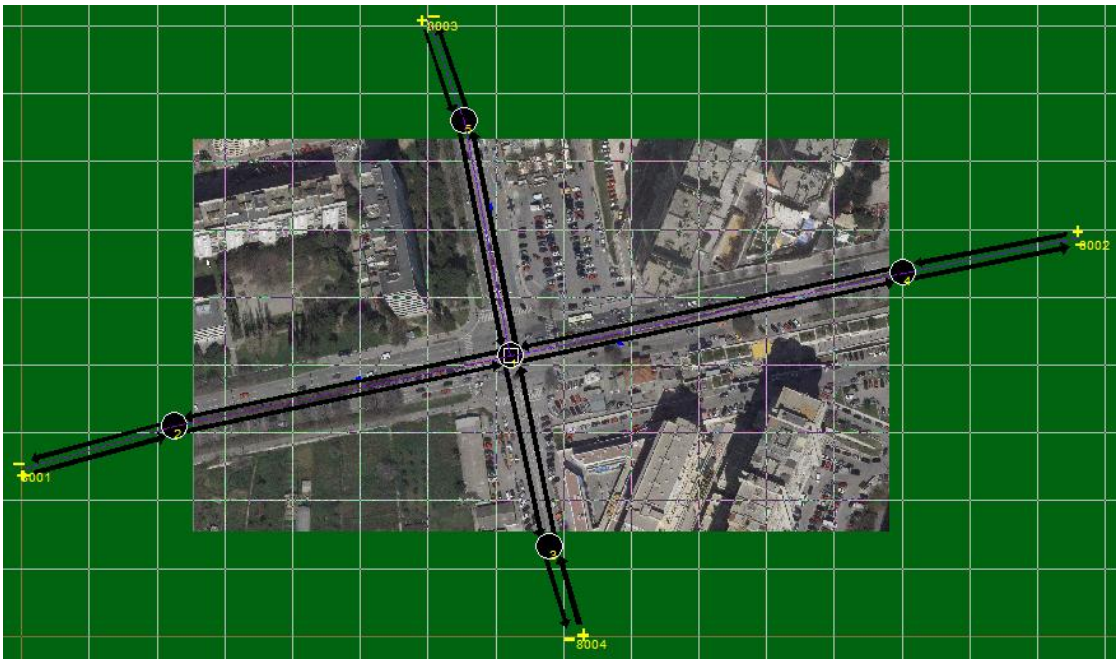
$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) = 6.31\ (s)$$

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

Software-ska analiza razmatranog raskrižja provedena je u simulacijskom programu CORSIM (CORridor-microscopic SIMulation program). CORSIM je simulacijska i modelirajuća jezgra TSIS (Traffic Software Integrated System) alatnog sustava.



Slika 4.1. Raskrižje u software-skom sučelju

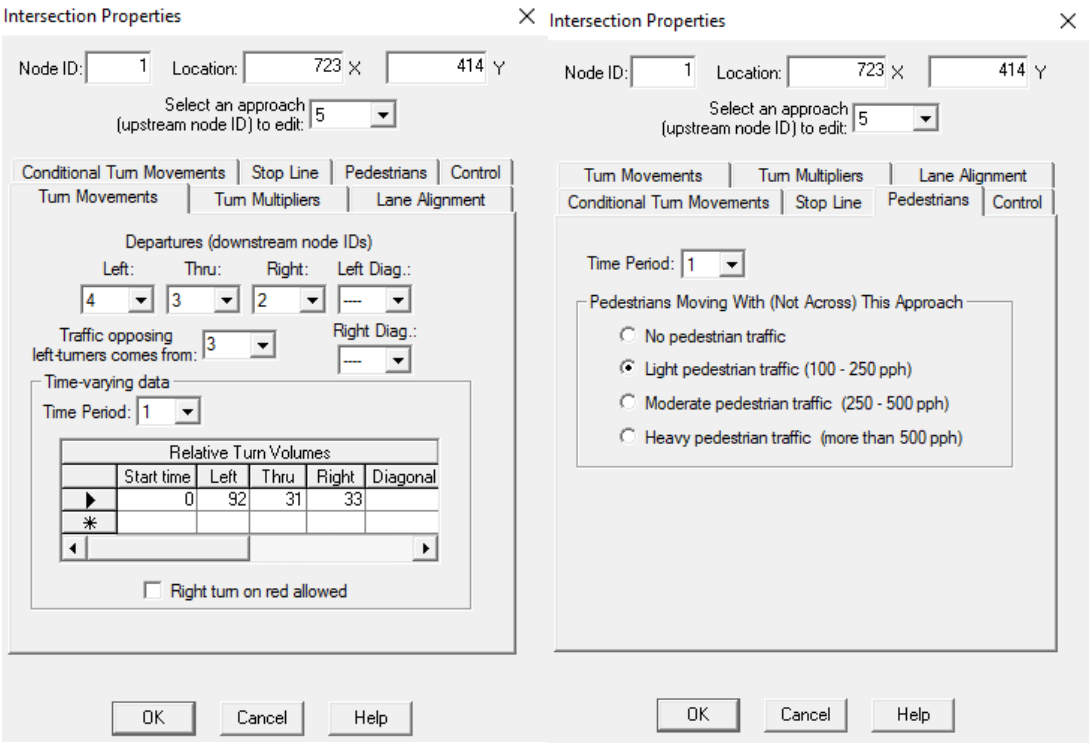
Analiza raskrižja rađena je u više faza, na način da su se postepeno unosili podatci koji utječu na funkcioniranje prometa unutar raskrižja, te su isti uspoređivani i komentirani. Sa stvarnim parametrima pokušalo se dobiti što realnija slika funkcioniranja promatranog raskrižja. Kao prvi parametri unesene su default-ne vrijednosti (količina prometa i ostavljene zadane vrijednosti SULT i SH) te su u svakoj sljedećoj varijanti oni nadopunjavani mjerenim vrijednostim default-nih parametara i unošenjem pješačkog prometa.

Korištene vrijednosti parametara detaljno su prikazani u sljedećim poglavljima.

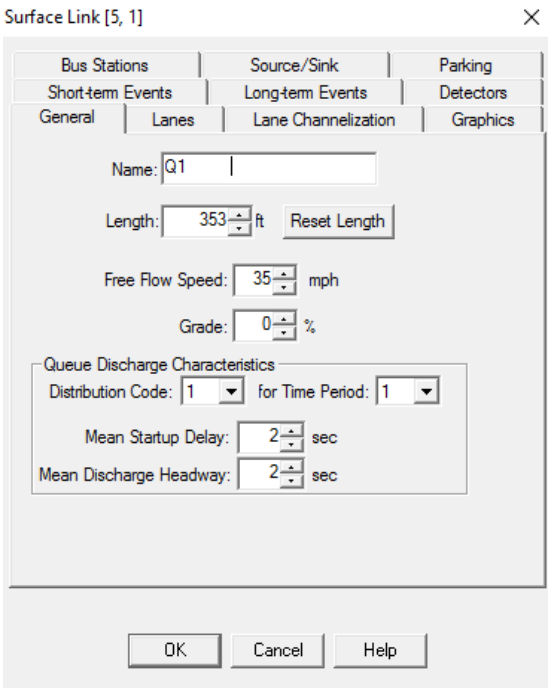
4.1. Default-ne vrijednosti

Kako je navedeno za defaultne vrijednosti unešeni su samo podatci količine prometa za svaku od radnji unutar privoza (lijevi, desni skretači i vozila koja prolaze ravno kroz raskižje), vrijednosti SULT i SH ostavljene su nedirnute, odnosno programske default-ne vrijednosti.

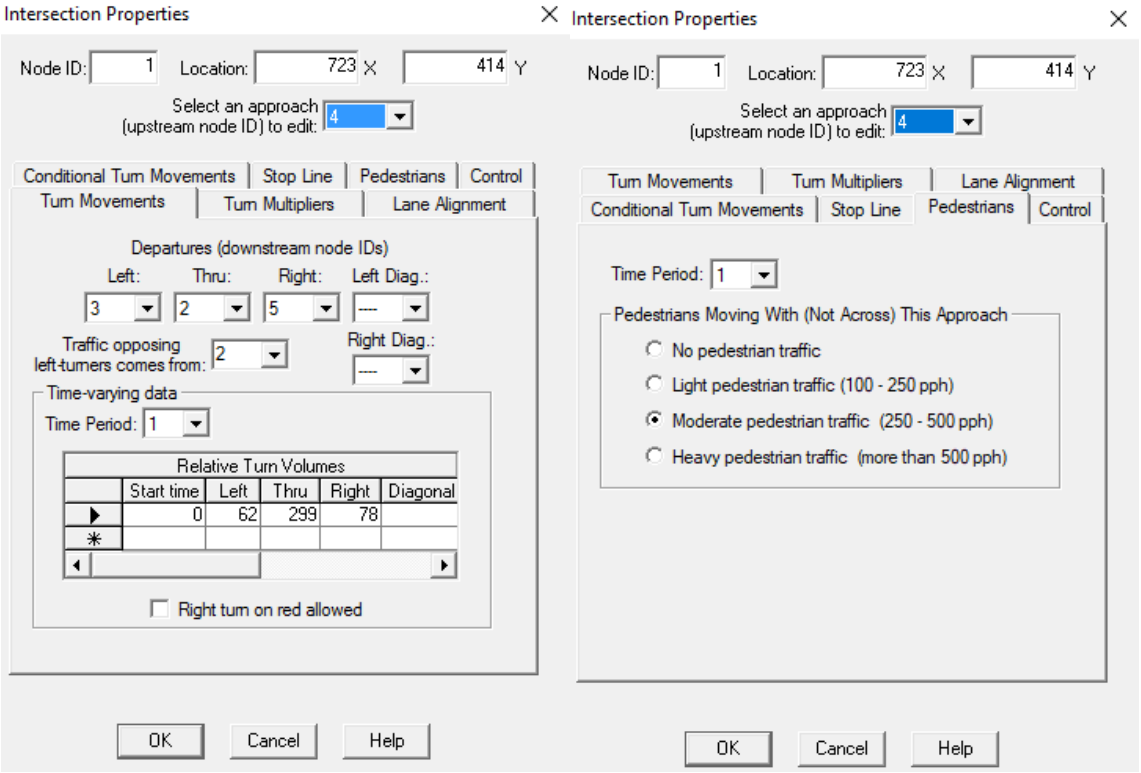
Napomena: količina pješačkog pormeta u slikama prikazana po smjerovima odnosi se na konfliktne pješake tog smjera. Za privoz Q1 konfliktni pješaci su oni koji prelaze privoz Q4, za privoz Q2 su oni koji prelaze preko privoza Q1, za privoz Q3 konfliktni su pješaci sa privoza Q2 i privoz Q4 ima konfliktne pješake u privozu Q3.



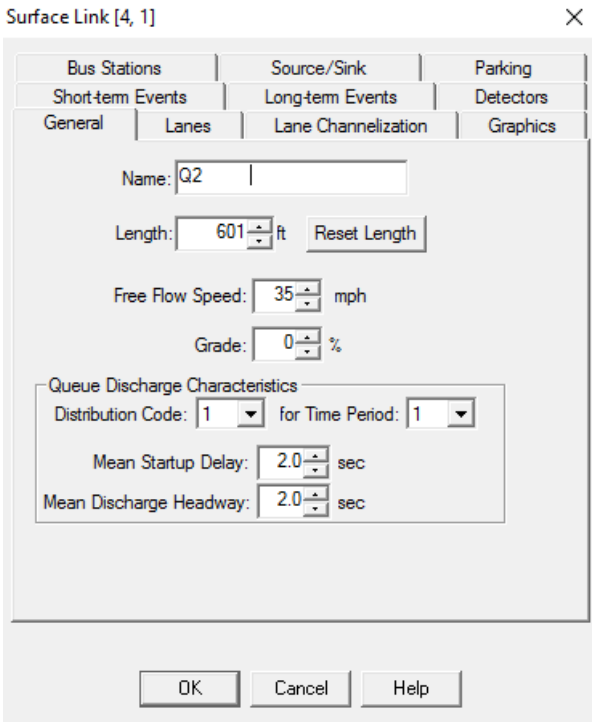
Slika 4.2. Prikaz default-nih vrijednosti za smjer Q1



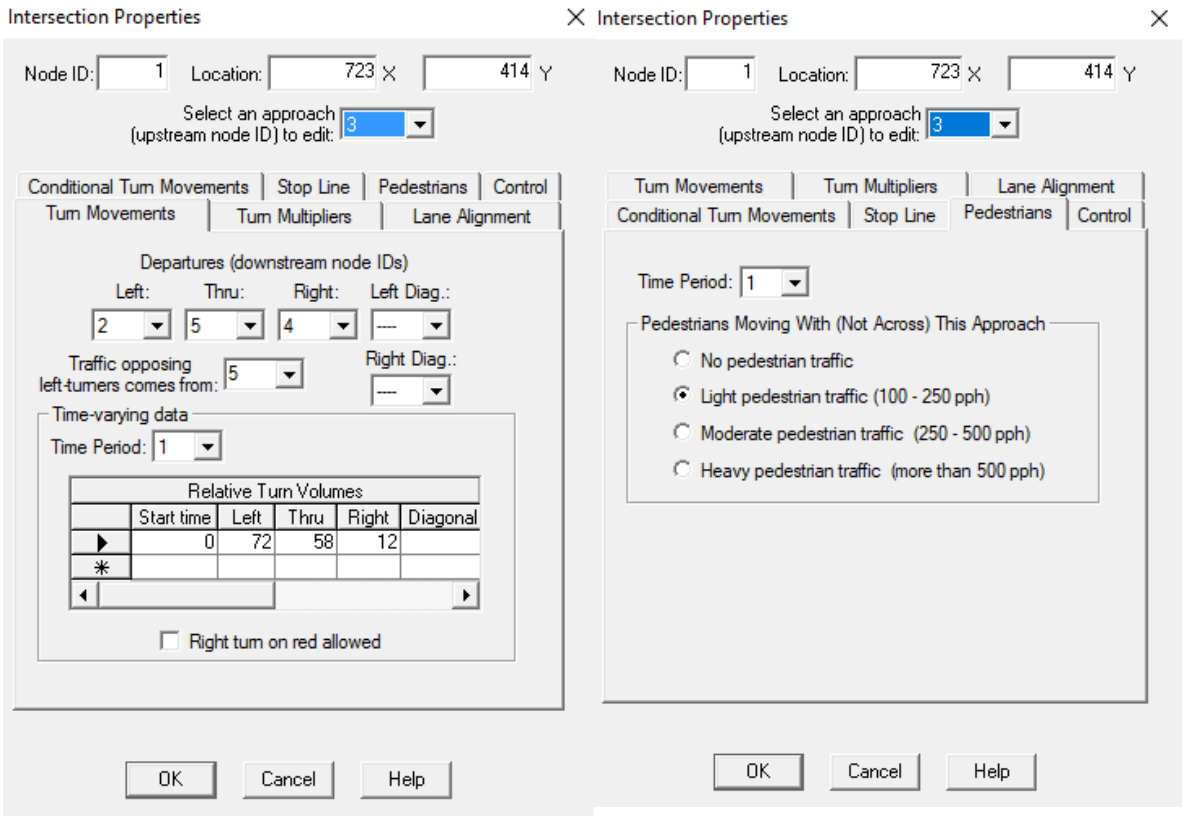
Slika 4.3. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q1



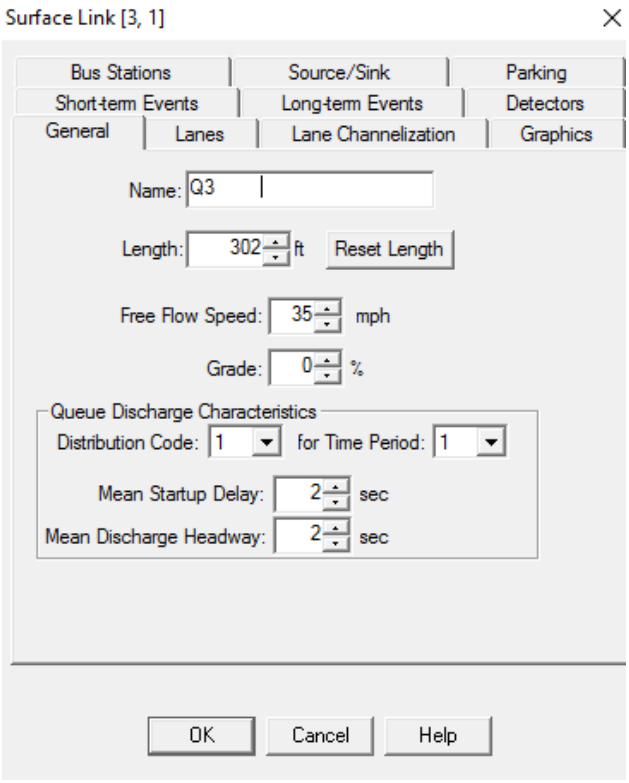
Slika 4.4. Prikaz default-nih vrijednosti za smjer Q2



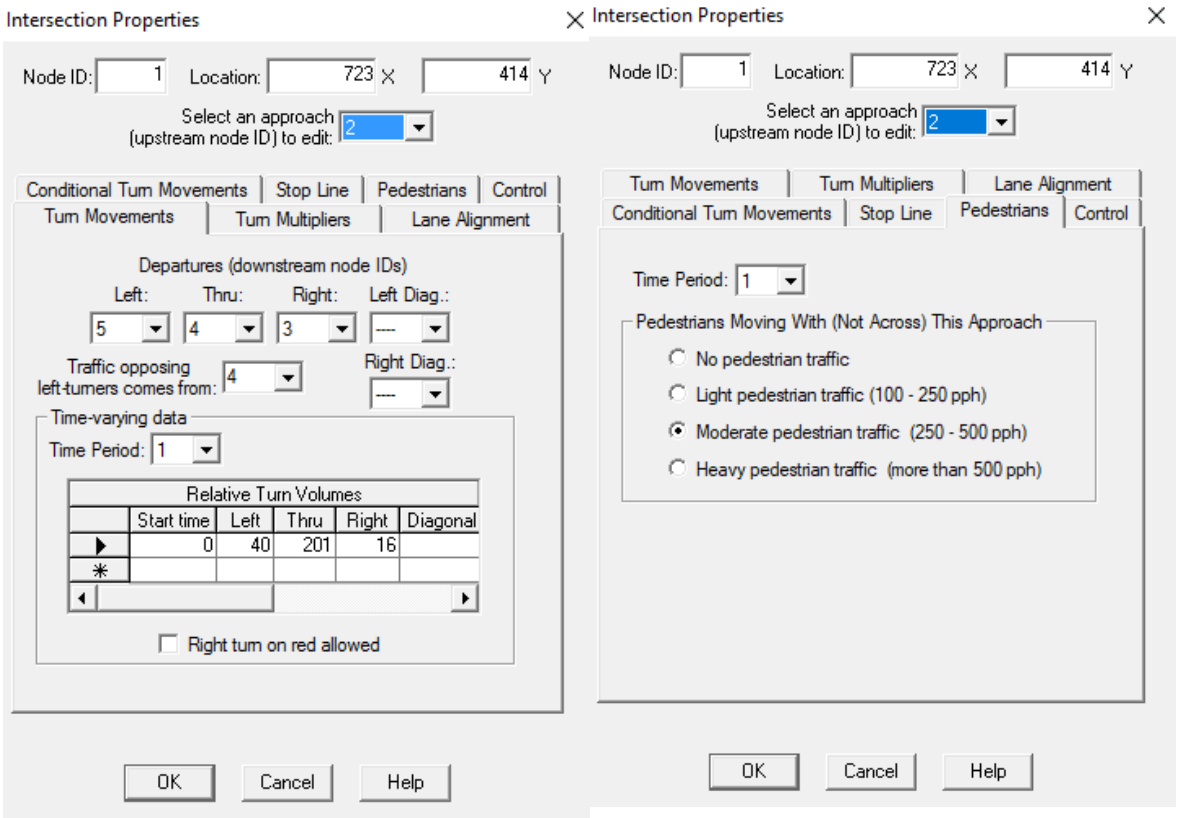
Slika 4.5. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q2



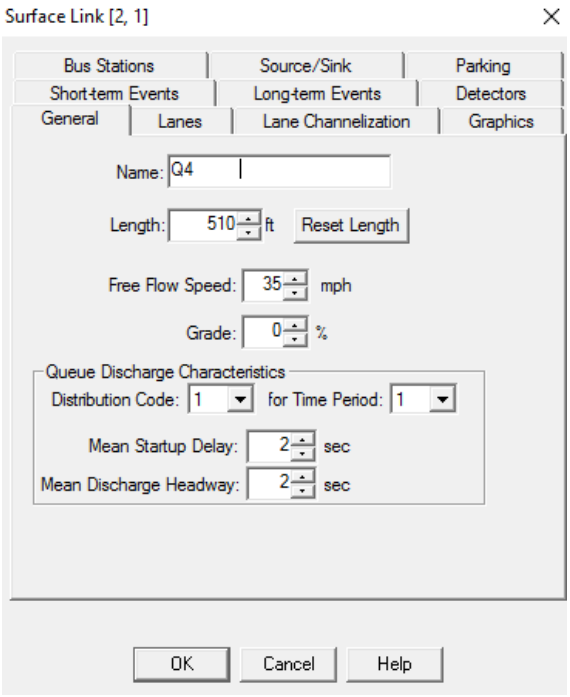
Slika 4.6. Prikaz default-nih vrijednosti za smjer Q3



Slika 4.7. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q3



Slika 4.8. Prikaz default-nih vrijednosti za smjer Q4



Slika 4.9. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q4

Za unešene parametre dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablica 4.1. i 4.2.)

Tablica 4.1. Control Dealy za prvu varijantu

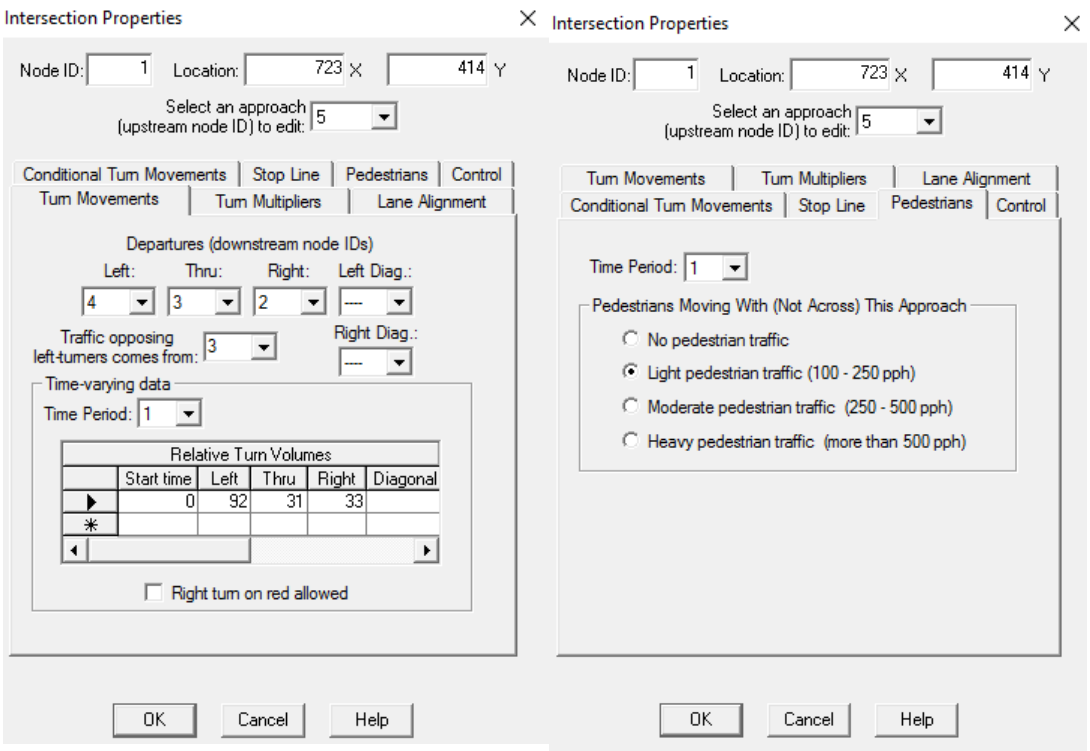
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST
Delay Control Per Vehicle Left (sec/veh)	44,16	45,49	50,78	44,04	25,03	29,94	37,48	41,56
Delay Control Per Vehicle Right (sec/veh)	31,92	30,21	45,43	50,25	39,84	296	26,56	47,34
Delay Control Per Vehicle Trough (sec/veh)	36,21	24,09	29,72	42,05	27,97	29,17	19,74	29,33

Tablica 4.2. Total Stopped Delay za prvu varijantu

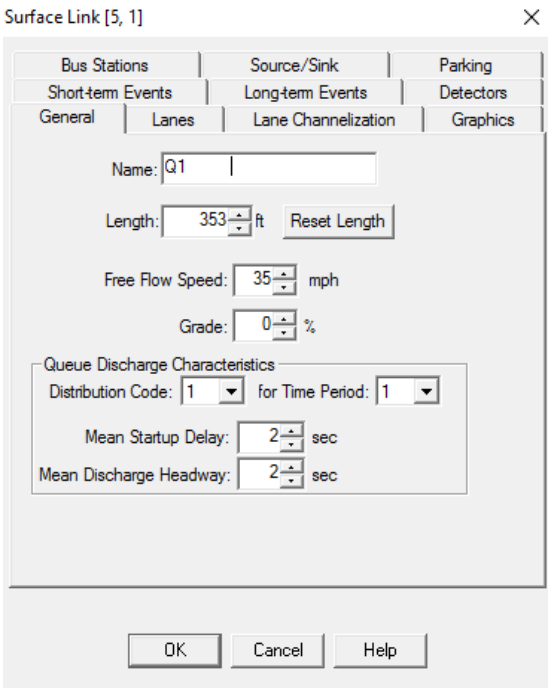
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST
Delay Stop Total Left (minutes)	80,23	62,16	53,16	46,3	27,83	37,4	24,61	26,9
Delay Stop Total Right (minutes)	19,49	13,6	47,31	56,8	6,79	12,83	7,23	74,7
Delay Stop Total Trough (minutes)	22,91	7,63	128,89	42,6	26,43	16,53	55,26	58,5

4.2. Varijanta s malim pješačkim prometom

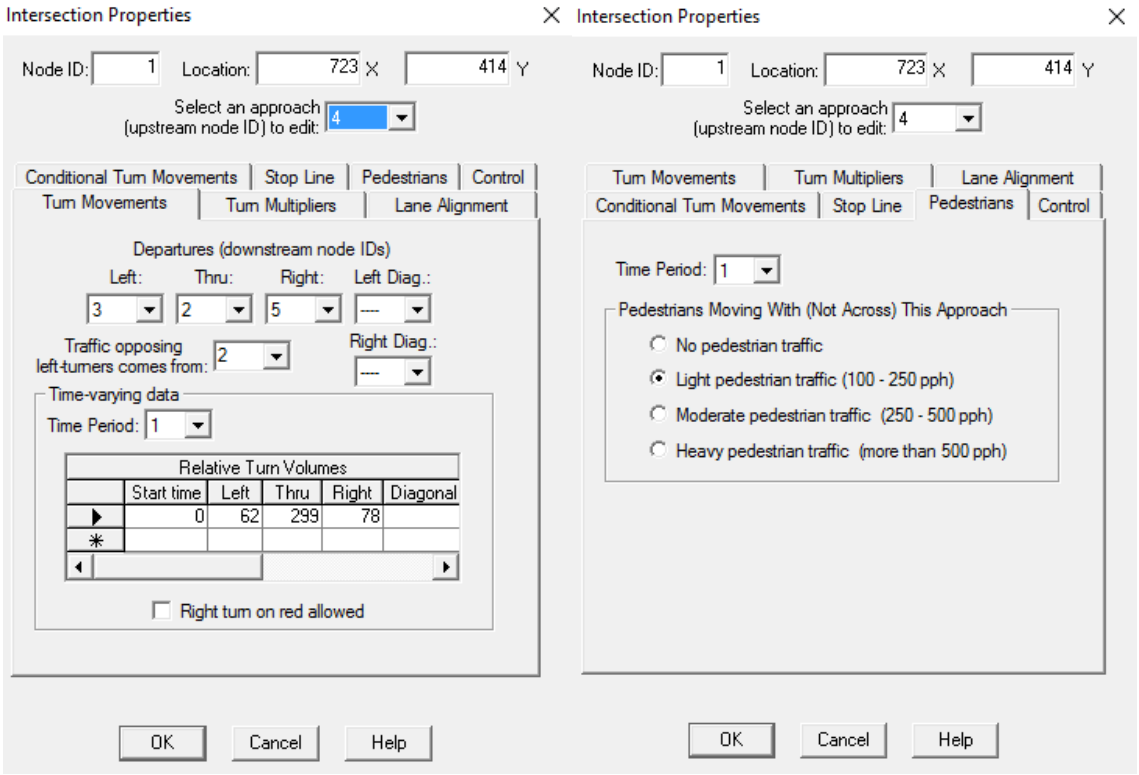
U ovoj varijanti prikazan je utjecaj pješačkog prometa na promatrane parametre. Zadan je mali pješački promet, u software-u navedeno kao "Light pedestrian traffic (100-250 pph)". Ostale vrijednsoti količine prometa SULT i SH ostaju u default-nim vrijednostima.



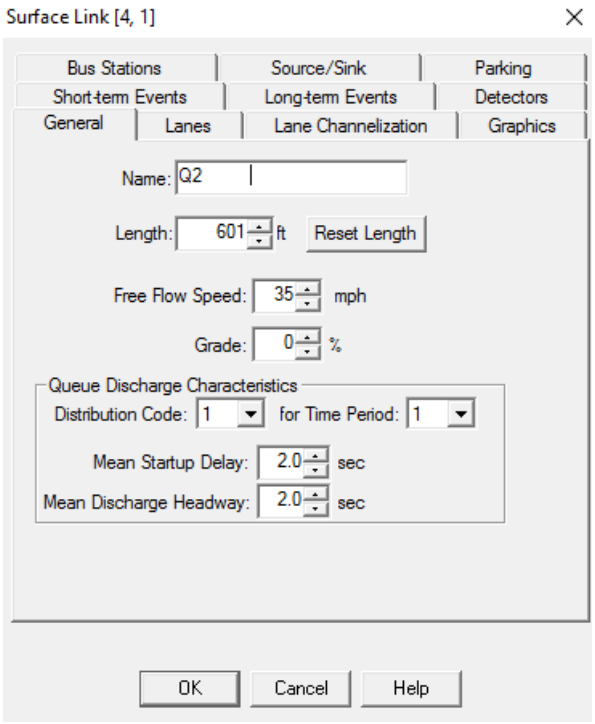
Slika 4.10. Prikaz vrijednosti za smjer Q1 (var.2)



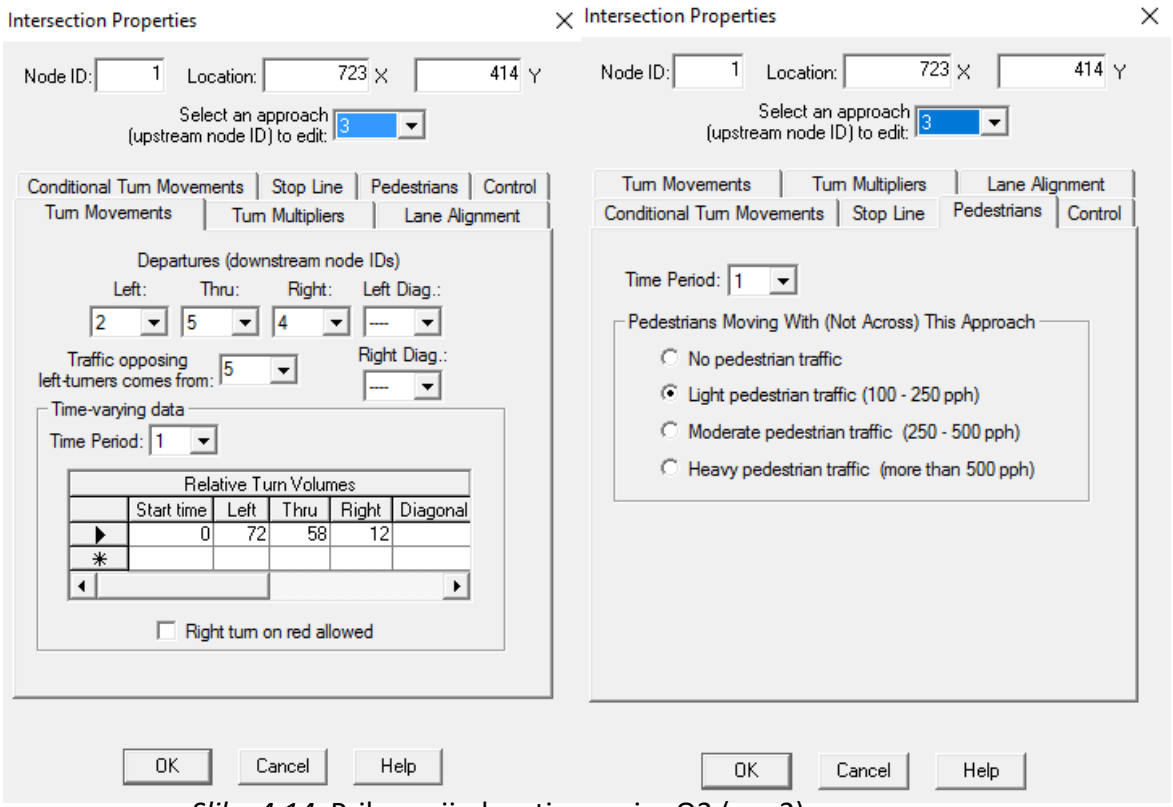
Slika 4.11. Vrijednosti SULT i SH za Q1 (var.2)



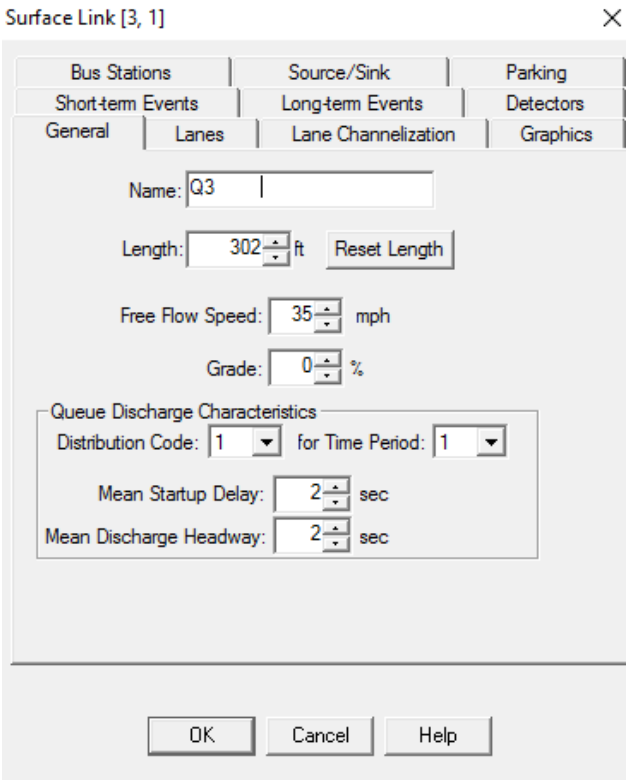
Slika 4.12. Prikaz vrijednosti za smjer Q2 (var.2)



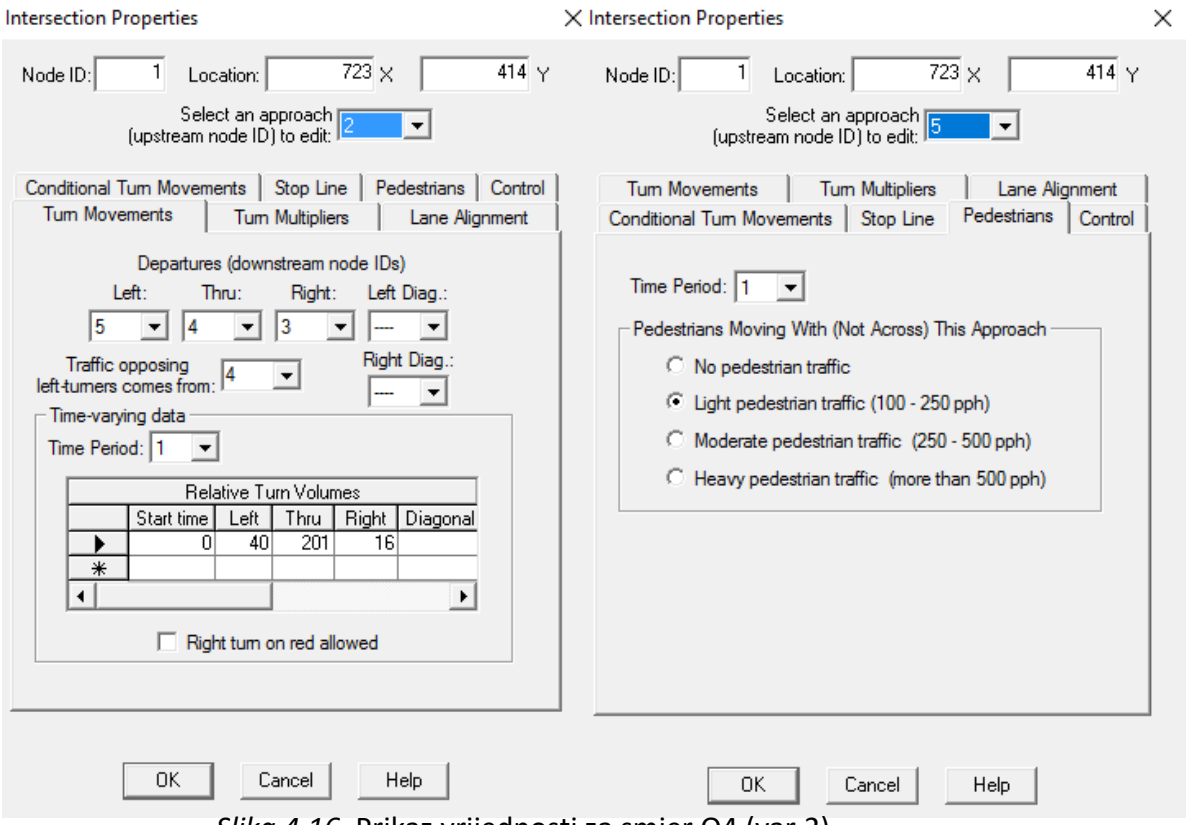
Slika 4.13. Vrijednosti SULT i SH za Q2 (var.2)



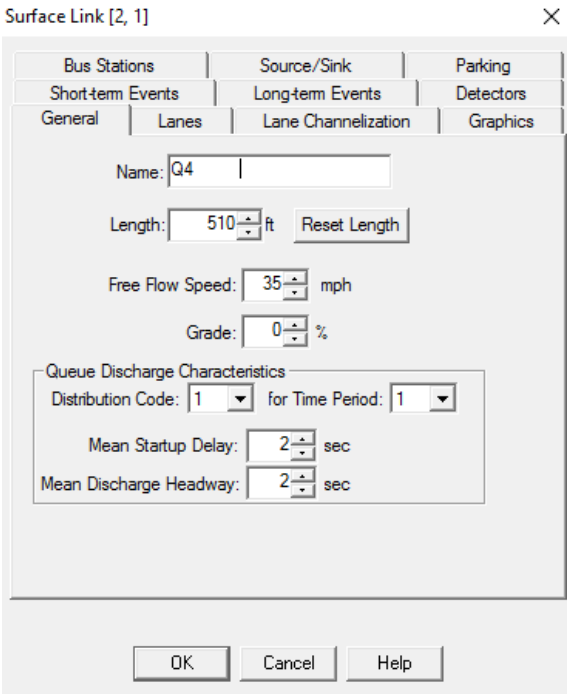
Slika 4.14. Prikaz vrijednosti za smjer Q3 (var.2)



Slika 4.15. Vrijednosti SULT i SH za Q3 (var.2)



Slika 4.16. Prikaz vrijednosti za smjer Q4 (var.2)



Slika 4.17. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q4

Za unešene parametre dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablica 4.3. i 4.4.).

Tablica 4.3. Control Dealy za drugu varijantu

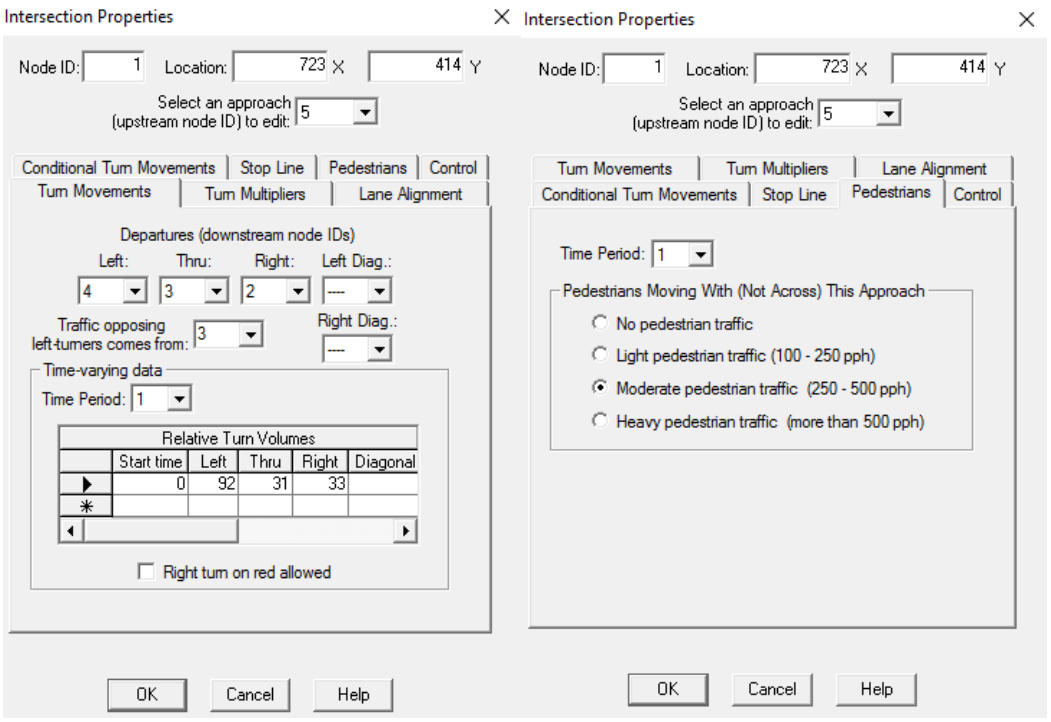
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST
Delay Control Per Vehicle Left (sec/veh)	43,8	45,49	55,59	44,04	26,83	29,94	37,93	41,56
Delay Control Per Vehicle Right (sec/veh)	33,48	30,21	31,94	50,25	38,7	296	24,46	47,34
Delay Control Per Vehicle Trough (sec/veh)	48,38	24,09	24,78	42,05	28,01	29,17	19,61	29,33

Tablica 4.4. Total Stopped Delay za drugu varijantu

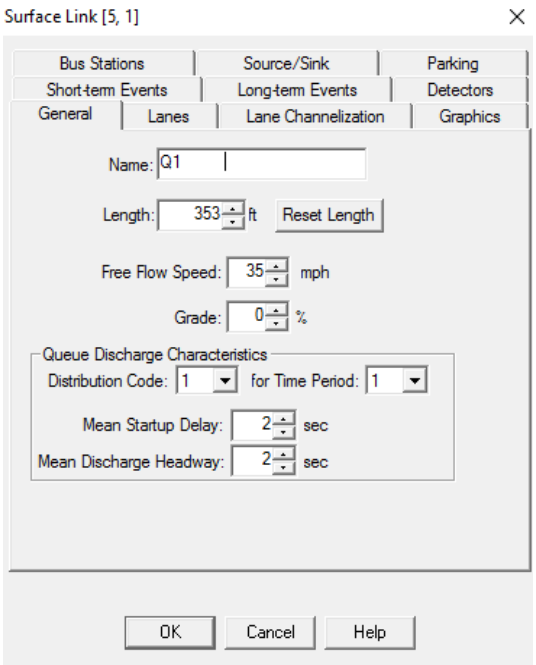
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST
Delay Stop Total Left (minutes)	77,34	62,16	62,43	46,3	28,96	37,4	26	26,9
Delay Stop Total Right (minutes)	20,79	13,6	29,08	56,8	8,03	12,83	5,77	74,7
Delay Stop Total Trough (minutes)	26,73	7,63	110,73	42,6	26,56	16,53	56,28	58,5

4.3. Varijanta sa srednjim pješačkim prometom

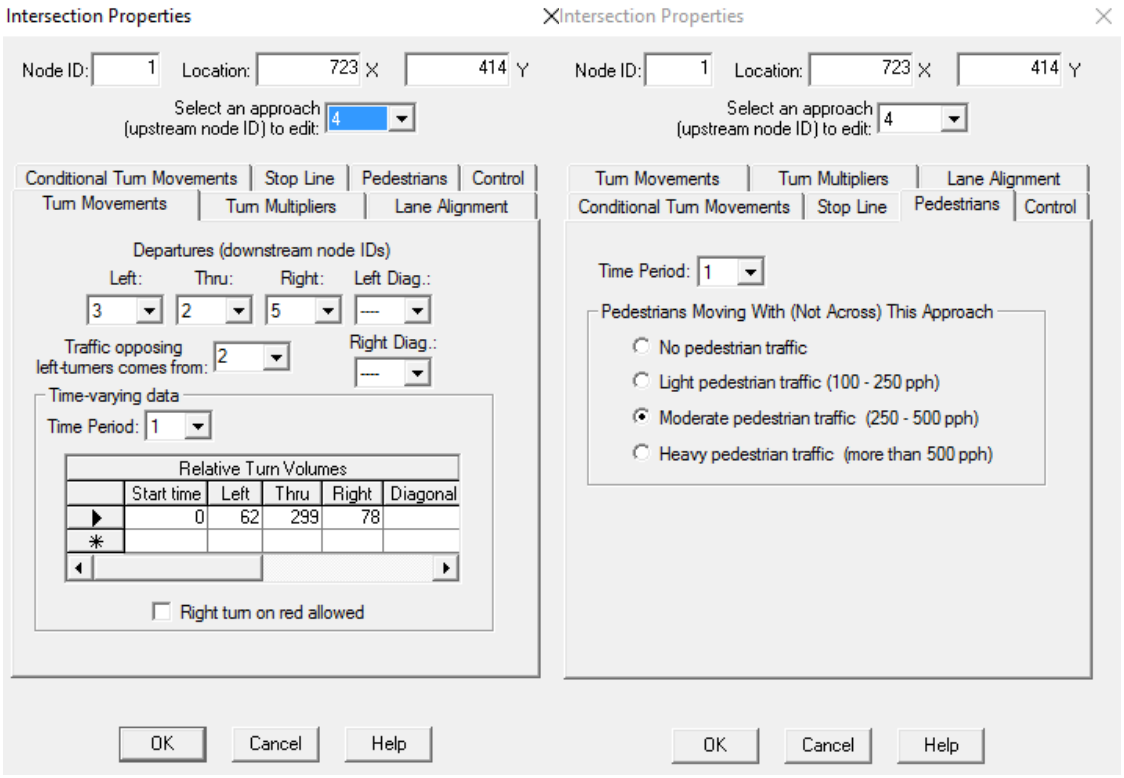
U ovoj varijanti za razliku od prethodne zadan je srednji pješački promet, u software-u navedeno kao "Moderate pedestrian traffic (250-500 pph)". Ostale vrijednsoti količine prometa SULT i SH ostaju u default-nim vrijednostima. Ovom vraijantom želi se vidjeti koliko povečanje pješačkog prometa utječe na promatrane parametre.



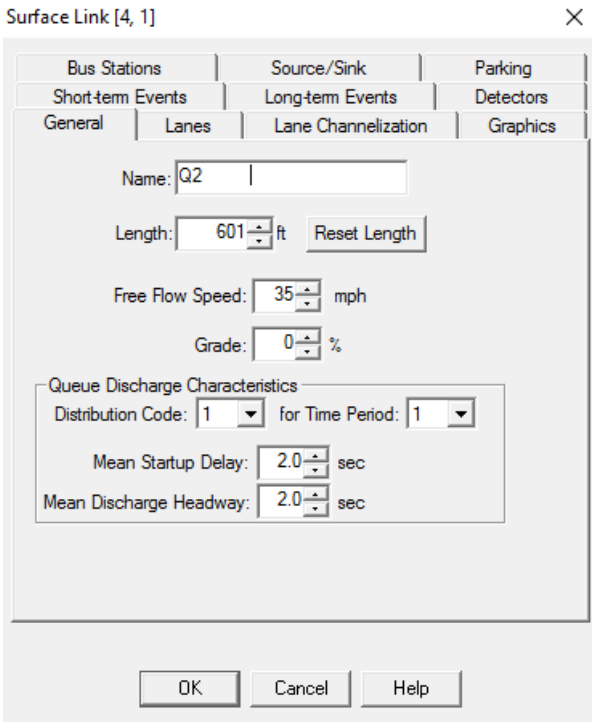
Slika 4.18. Prikaz vrijednosti za smjer Q1 (var.3)



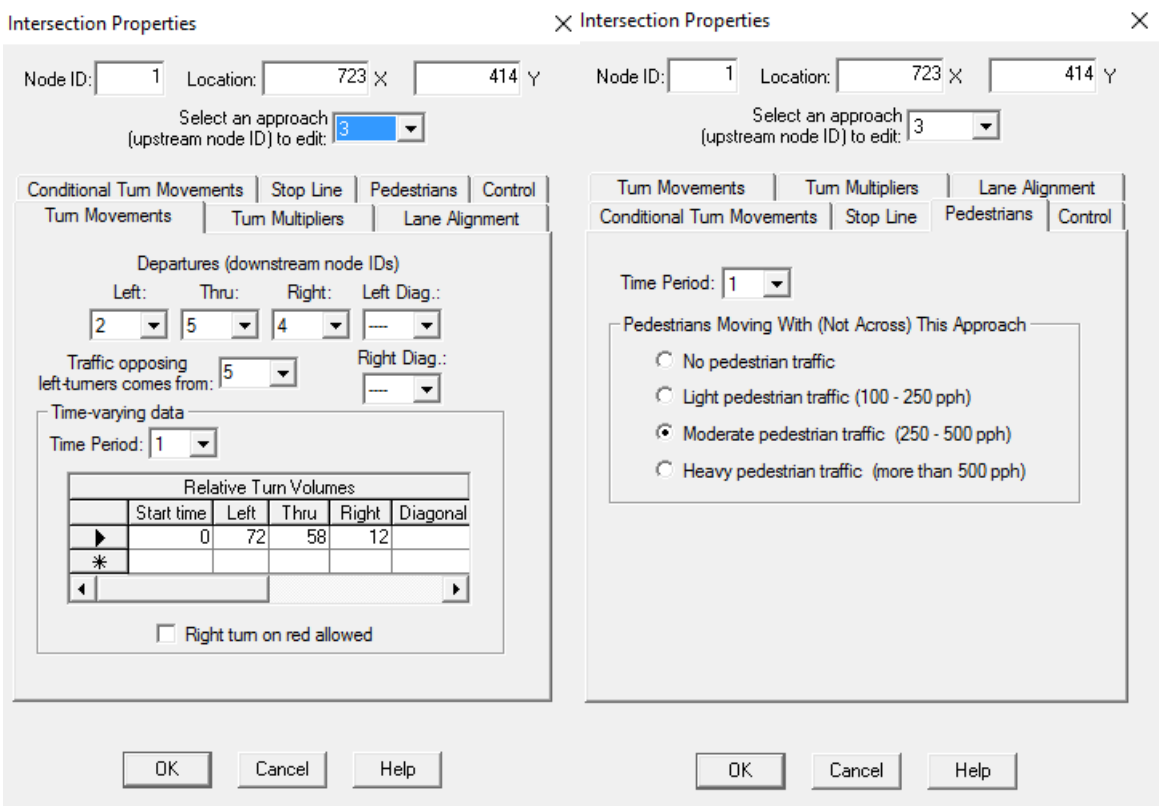
Slika 4.19. Vrijednosti SULT i SH za Q1 (var.3)



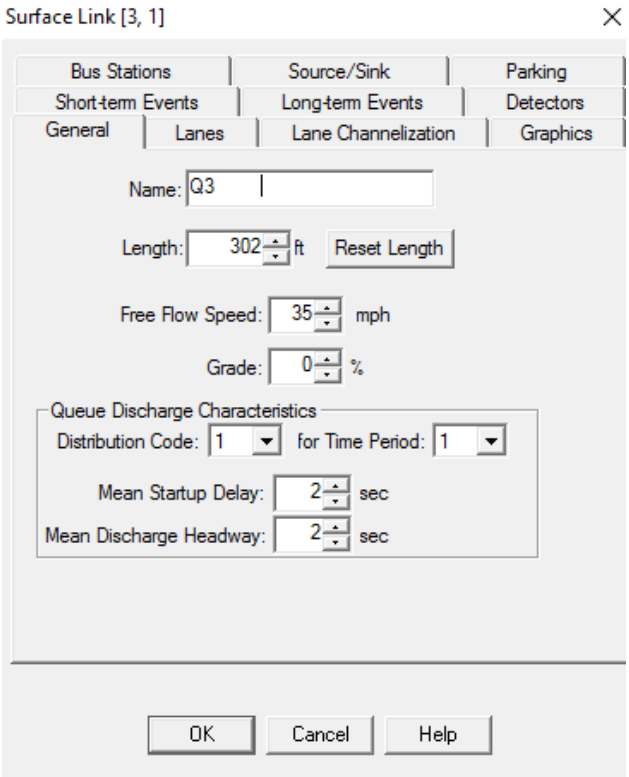
Slika 4.20. Prikaz vrijednosti za smjer Q2 (var.3)



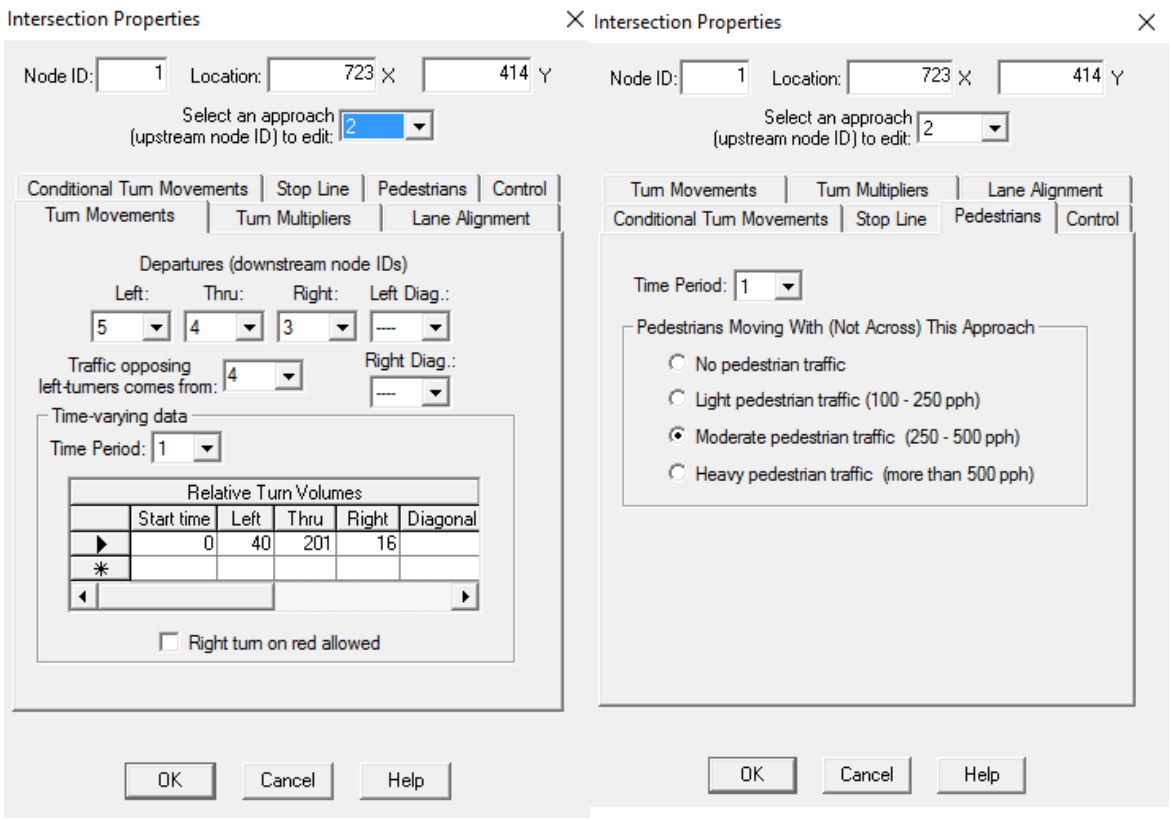
Slika 4.21. Vrijednosti SULT i SH za Q2 (var.3)



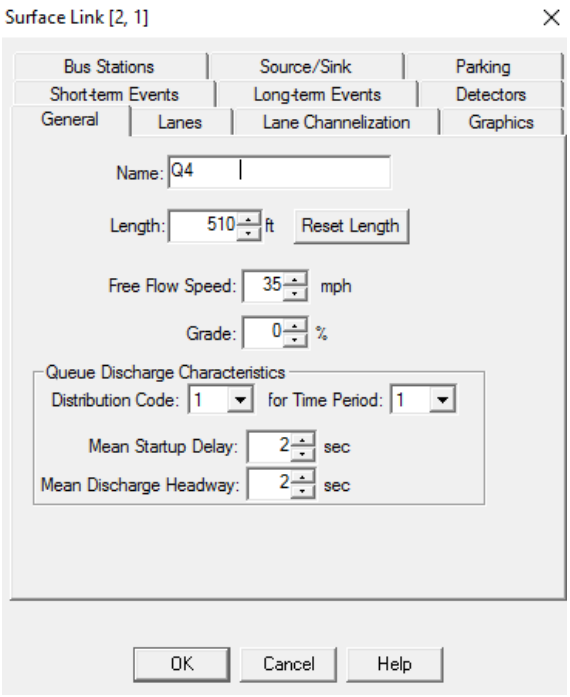
Slika 4.22. Prikaz vrijednosti za smjer Q3 (var.3)



Slika 4.13. Vrijednosti SULT i SH za Q3 (var.2)



Slika 4.24. Prikaz vrijednosti za smjer Q4 (var.3)



Slika 4.25. Defaultne vrijednosti SULT i SH za Q4

Za unešene parametre dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablica 4.5. i 4.6.).

Tablica 4.5. Control Dealy za treću varijantu

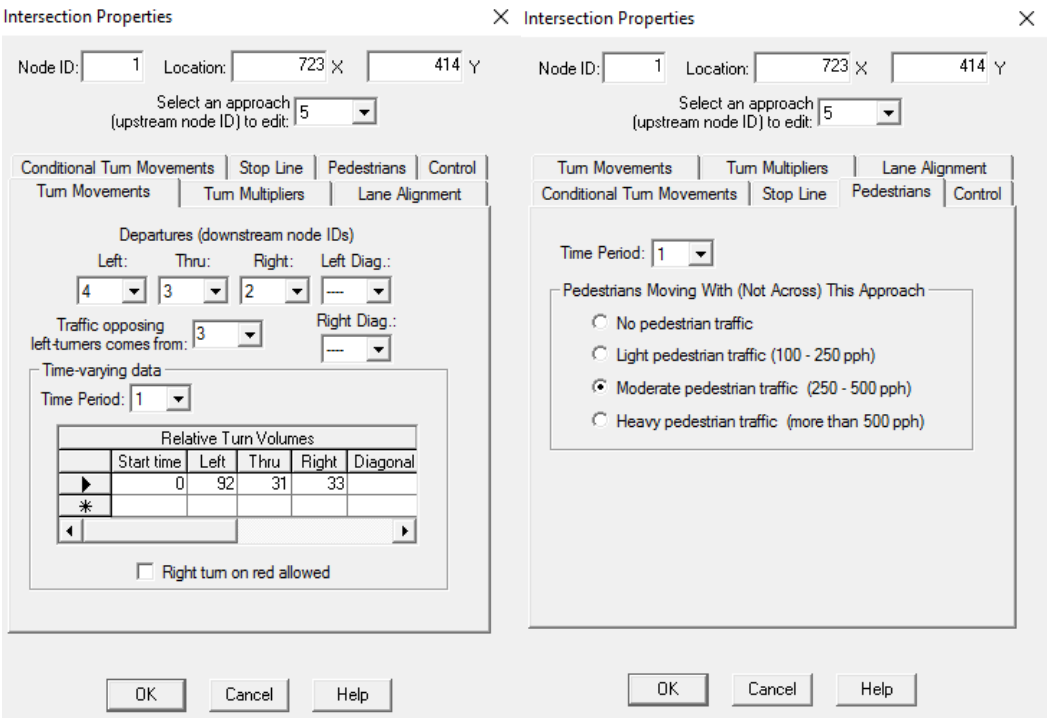
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST
Delay Control Per Vehicle Left (sec/veh)	44,38	45,49	51,24	44,04	4,65	29,94	36,76	41,56
Delay Control Per Vehicle Right (sec/veh)	96,08	30,21	53,64	50,25	43,57	296	31,68	47,34
Delay Control Per Vehicle Trough (sec/veh)	53,13	24,09	25,08	42,05	27,28	29,17	20,28	29,33

Tablica 4.6. Total Stopped Delay za treću varijantu

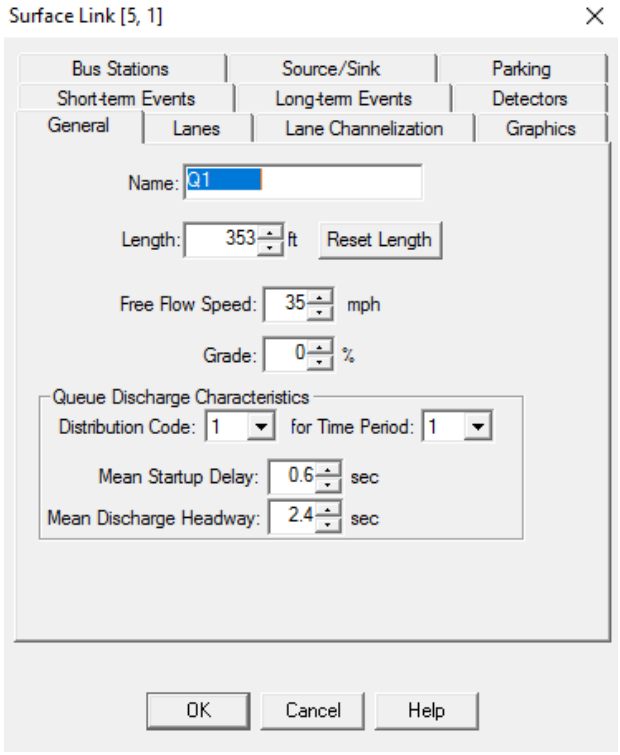
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST
Delay Stop Total Left (minutes)	77,08	62,16	56,77	46,3	27,19	37,4	24,18	26,9
Delay Stop Total Right (minutes)	64,87	13,6	58,85	56,8	8,54	12,83	6,91	74,7
Delay Stop Total Trough (minutes)	31,95	7,63	109,05	42,6	26,3	16,53	58,96	58,5

4.4. Varijanta sa stvarnim vrijednostima SULT i SH

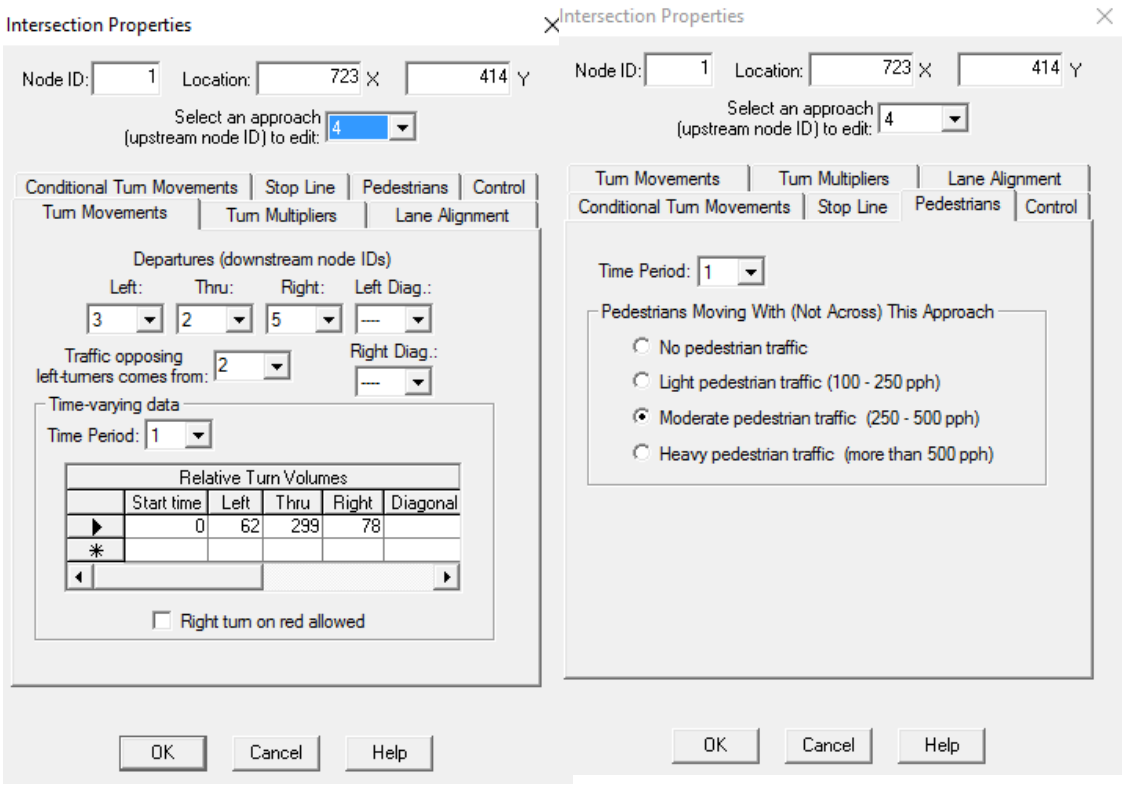
Ova varijanta nadopuna je na prethodu za vrijednosti Star-up lost time (SULT) i Saturated headway (SH) vremena čije su vrijendosti po privozima prikazane na slikama ispod. Pješački promet je ostavljen *"Moderate"* . Unešene vrijednosti SULT i SH su stvarne izmjerene vrijednosti na analiziranom raskrižju, čime se želi postići što realnija simulacijska slika funkcioniranja stvarnog raskrižja, odnosno da promatrani parametri budu što bliži onim izmjerenima.



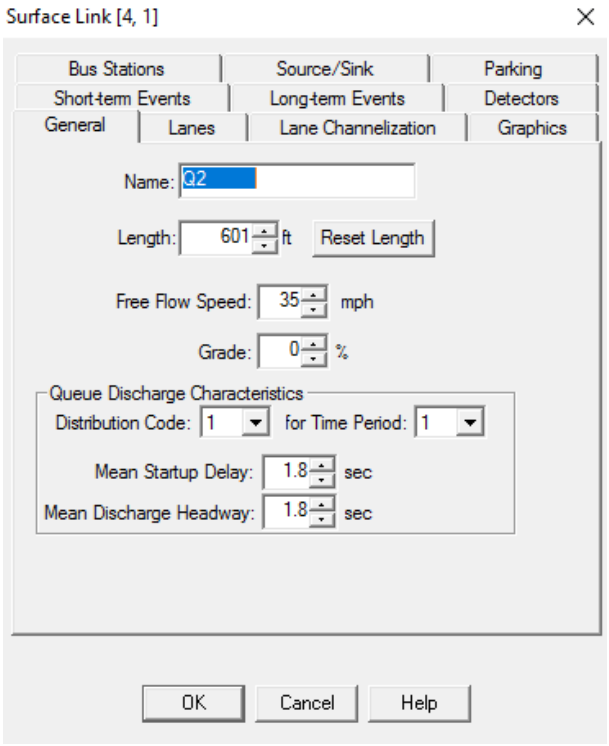
Slika 4.26. Prikaz vrijednosti za smjer Q1 (var.4)



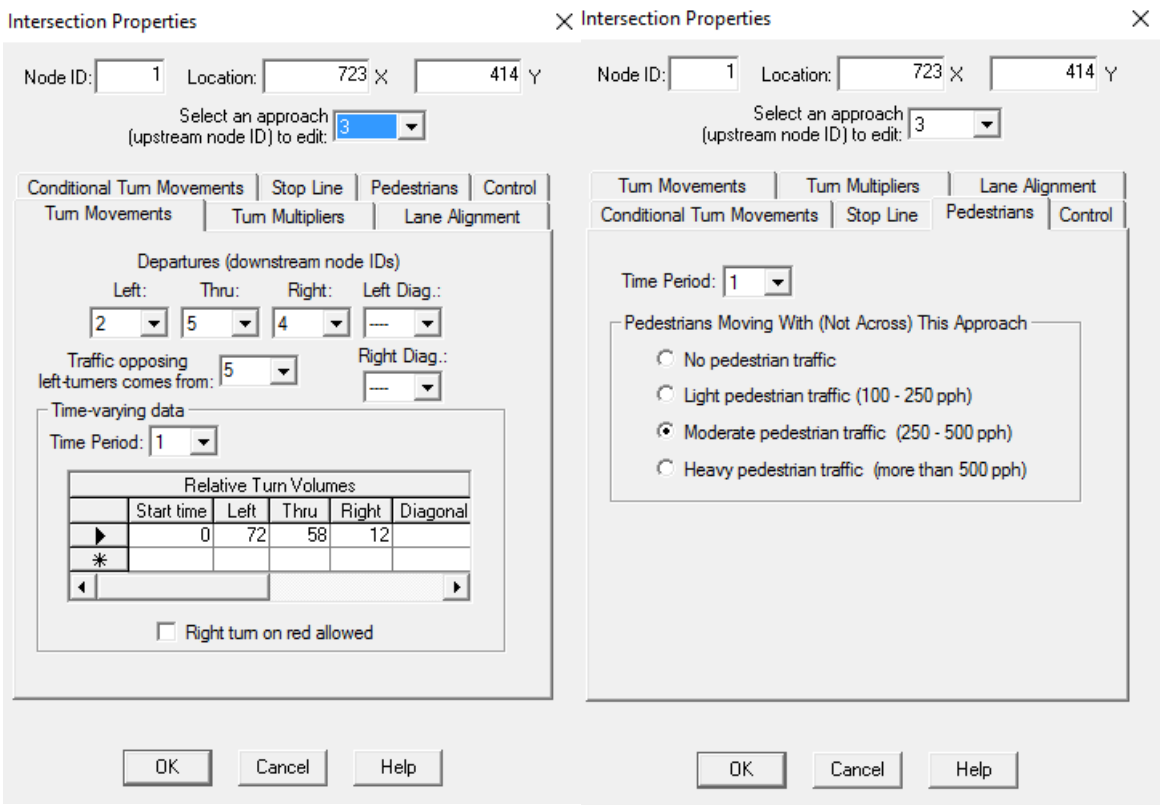
Slika 4.27. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q1



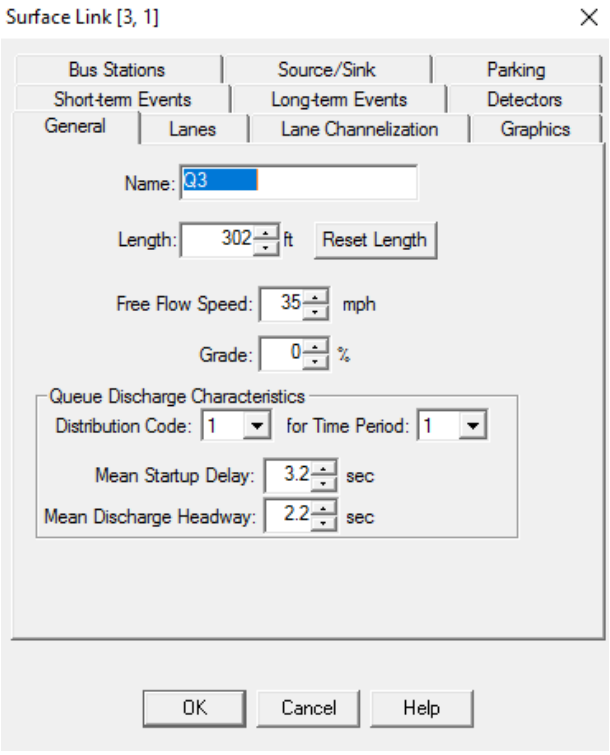
Slika 4.28. Prikaz vrijednosti za smjer Q2 (var.4)



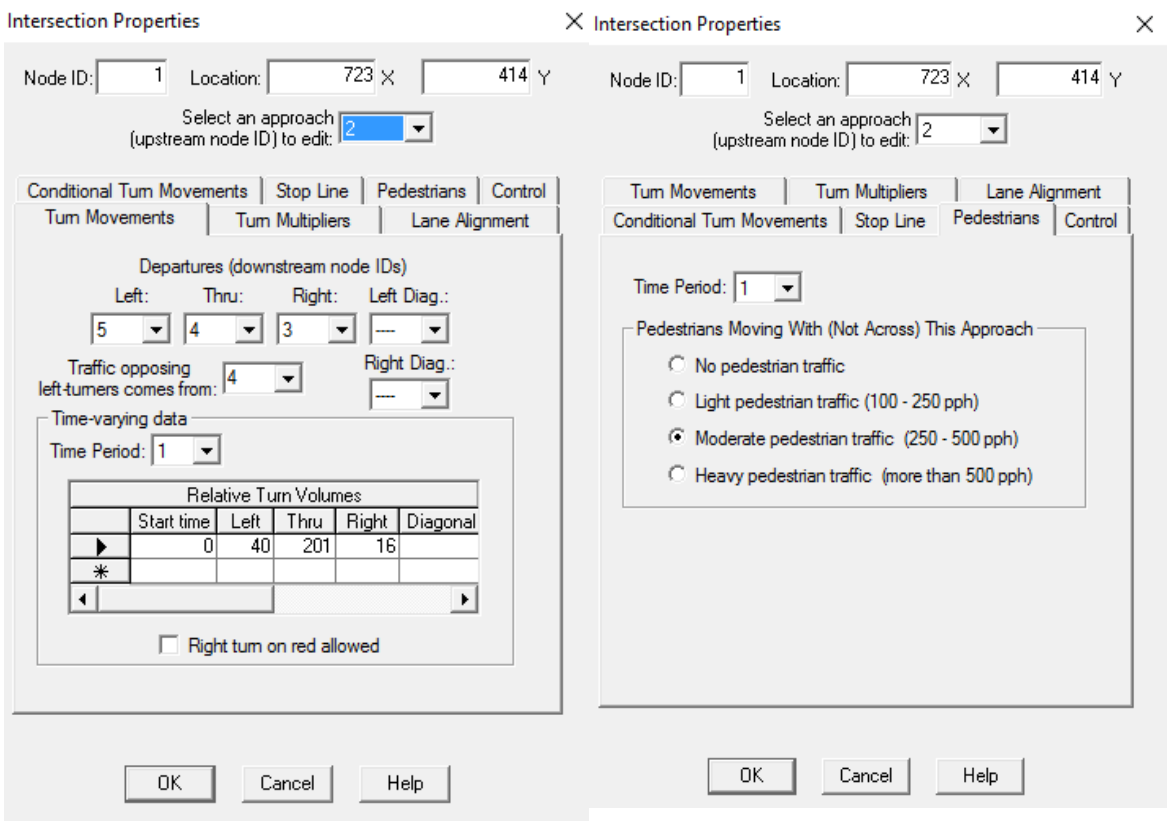
Slika 4.29. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q2



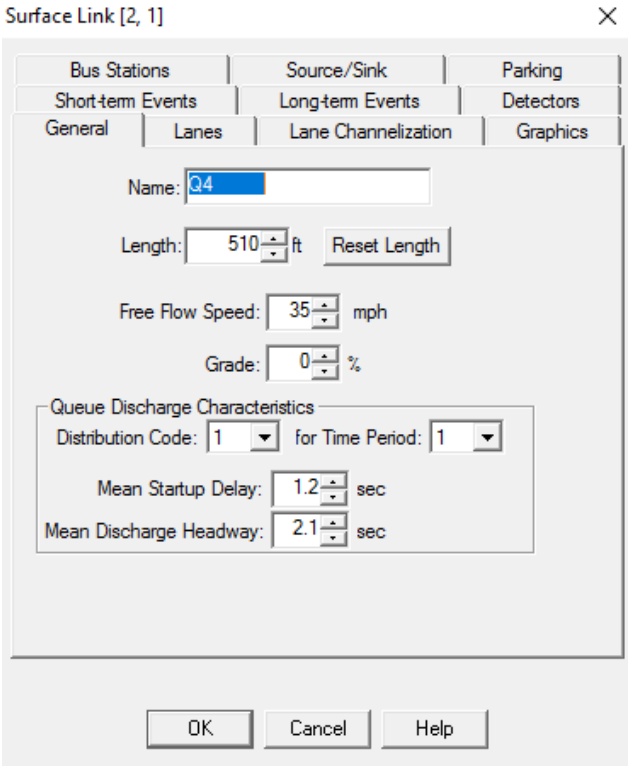
Slika 4.30. Prikaz vrijednosti za smjer Q3 (var.4)



Slika 4.31. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q3



Slika 4.32. Prikaz vrijednosti za smjer Q4 (var.4)



Slika 4.33. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q4

Za unešene parametre dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablica 4.7. i 4.8.).

Tablica 4.7. Control Dealy za četvrtu varijantu

	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST
Delay Control Per Vehicle Left (sec/veh)	40,55	45,49	53,96	44,04	26,44	29,94	37,3	41,56
Delay Control Per Vehicle Right (sec/veh)	67,4	30,21	33,22	50,25	33,24	296	28,07	47,34
Delay Control Per Vehicle Trough (sec/veh)	47,38	24,09	24,61	42,05	28,14	29,17	19,47	29,33

Tablica 4.6. Total Stopped Delay za četvrtu varijantu

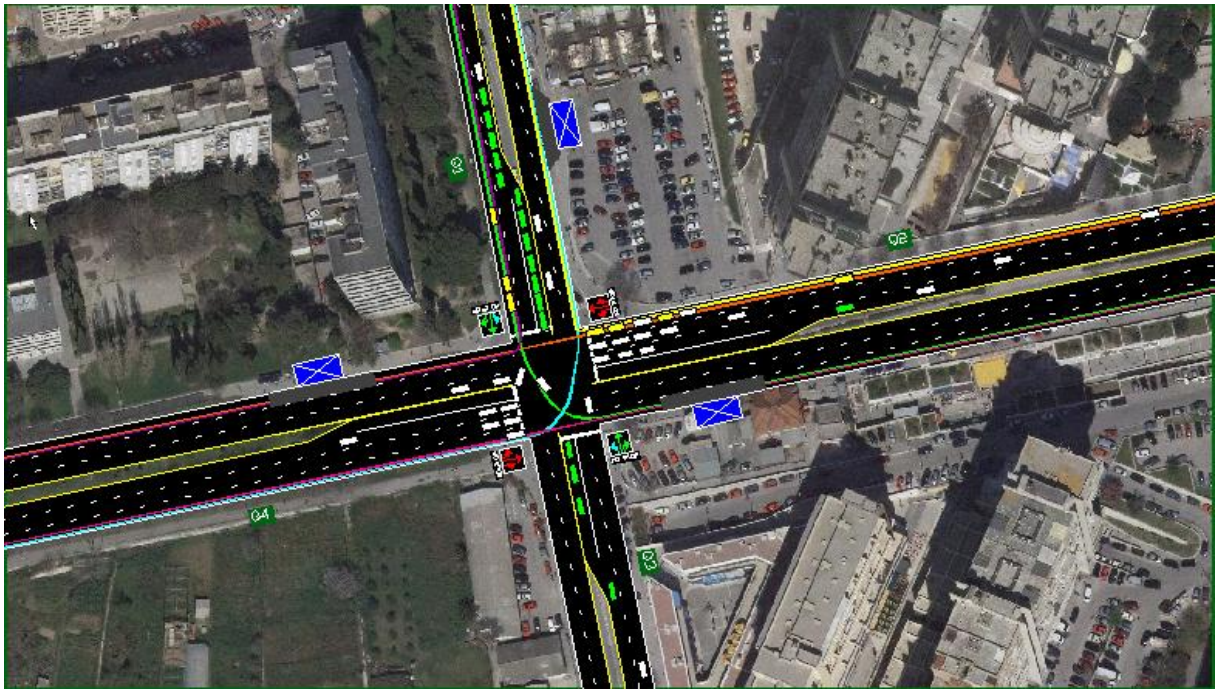
	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST
Delay Stop Total Left (minutes)	69,05	62,16	61,56	46,3	30,01	37,4	25,81	26,9
Delay Stop Total Right (minutes)	45,14	13,6	29,4	56,8	6,25	12,83	6,85	74,7
Delay Stop Total Trough (minutes)	26,88	7,63	109,6	42,6	26,27	16,53	54,878	58,5

4.5. Varijanta sa stvarnim pješačkim prometom po privozima

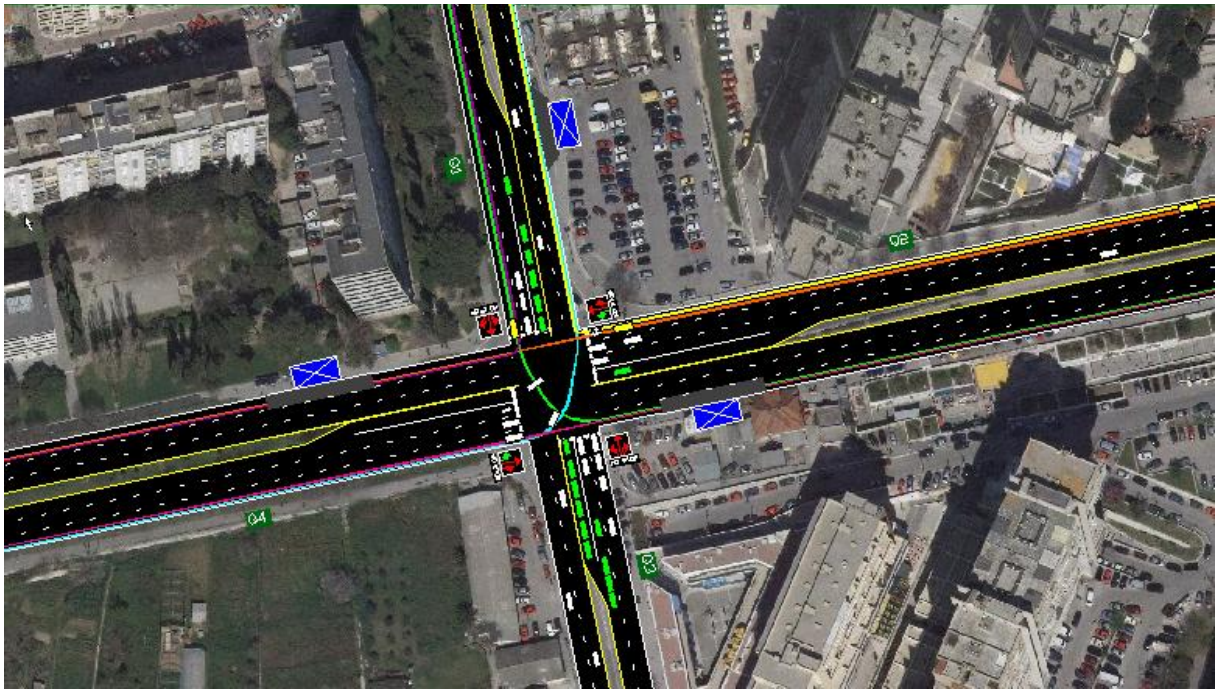
U ovoj se varijanti pješački promet oslanjao na stvarne količine prometa po privozima. Odnosno, mjenjane su u software-u vrijednosti između *"Light"* i *"Moderate"* količine pješačkog prometa(postavljene jednako kao i default postavkama, tj. prvoj varijanti). Za vrijednosti SULT i SH unešene su stvarne izmjerene vrijednosti, odnosno ostavljene su kao u prethodnoj varijanti. Ovom se nadopunom još više želi postići što realnija simulacijska slika raskrižja.

Pokretanjem simulacije uočio se problem kod privoza Q1. Lijevi skretači pune dodatni trak za lijevo skretanje, te kada se taj isti napuni kolona se nastavlja u srednjem traku koji je namjenjen za kretnju naprijed. Punjenjem srednjeg traka, u simulaciji se blokira promet vozila koji nemaju namjeru vršiti manevar lijevog skretanja, čime im se nerealno povećaju čekanja u raskrižju. U stvarnosti vozači koji imaju namjeru produžiti kroz raskrižje zaobilaze kolonu lijevih skretača i realna vremena čekanja su znatno manja. Kako bi se pokušalo prikazati što realnije funkcioniranje raskrižja u simulacijskom software-u, trak za lijevo

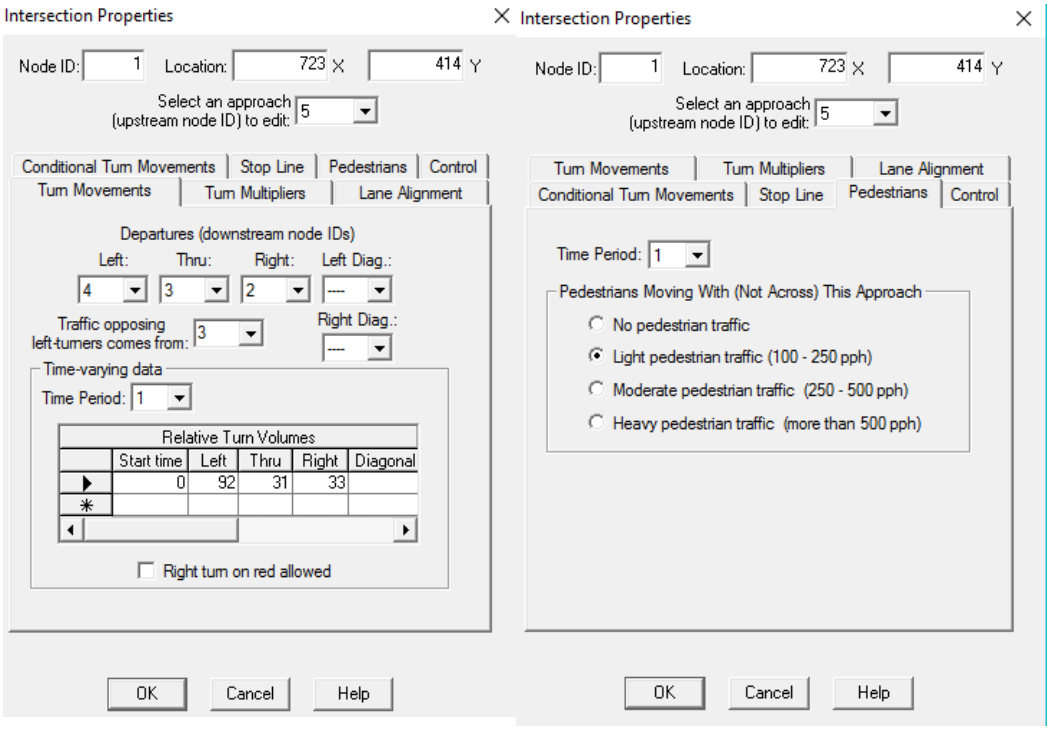
skretanje je produžen, te je duži nego što je u stvarnom slučaju. Ovaj problem i promjene rikazane su na sljedećim slikama.



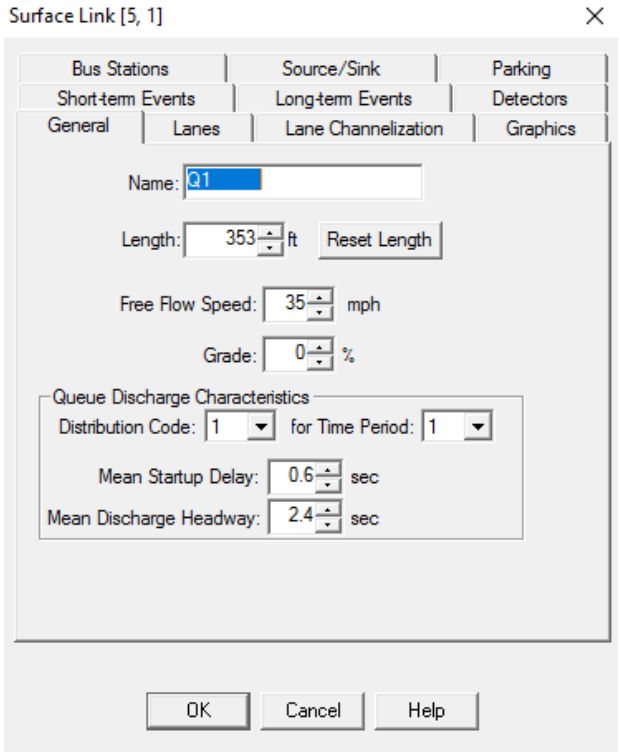
Slika 4.34. Prikaz problema na privozu Q1 (zelena vozila-lijevi skretači, bijela vozila- kretnja naprijed kroz raskrižje)



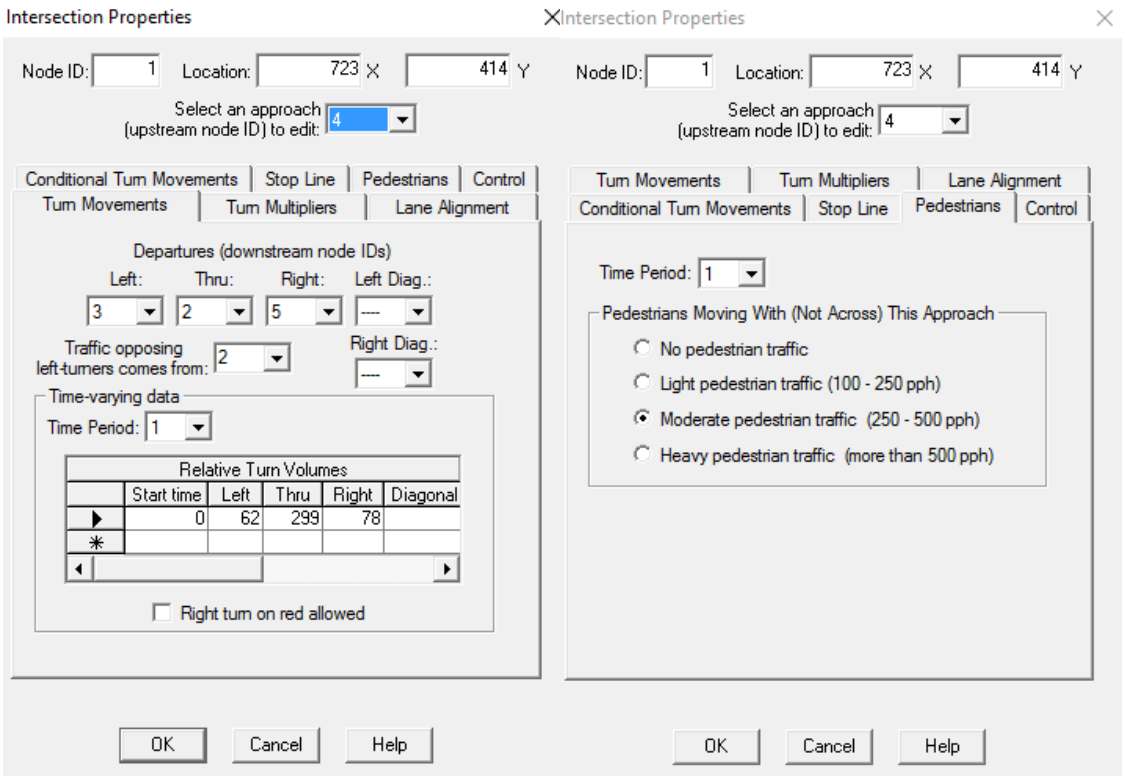
Slika 4.35. Prikaz produljenja lijevog traka na privozu Q1 (za 20m)



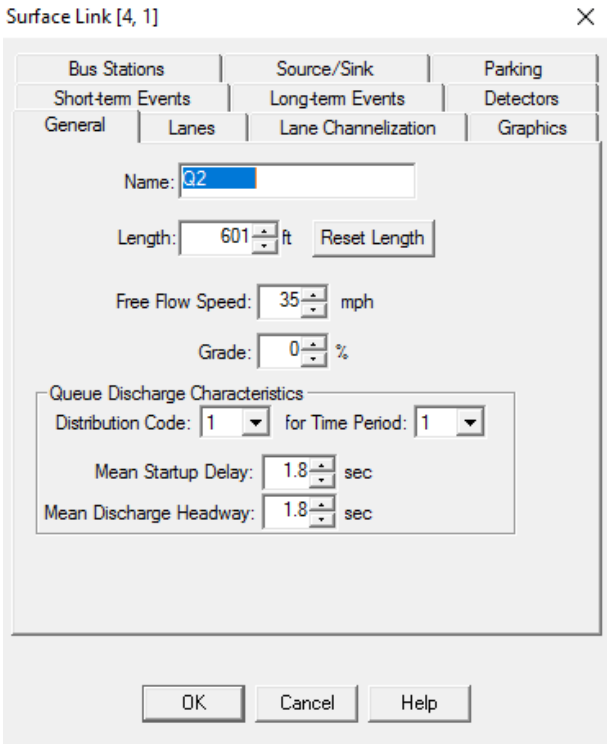
Slika 4.36. Prikaz vrijednosti za smjer Q1 (var.5)



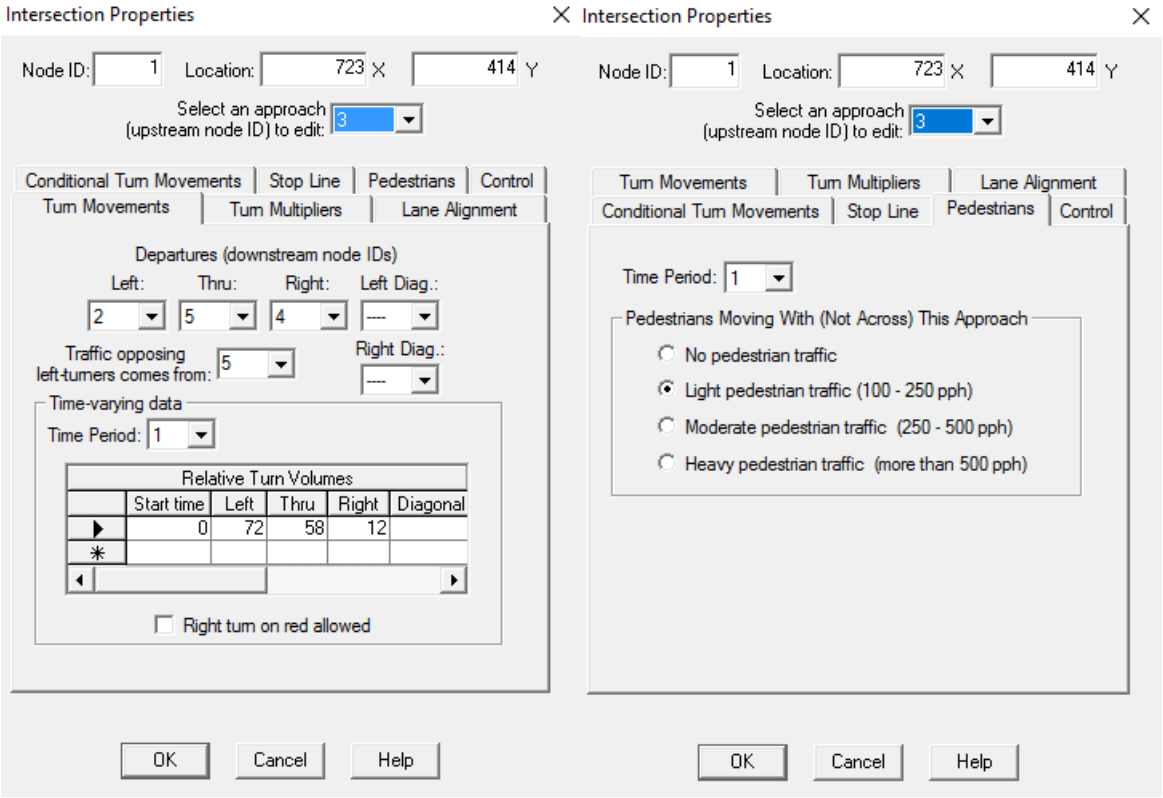
Slika 4.37. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q1



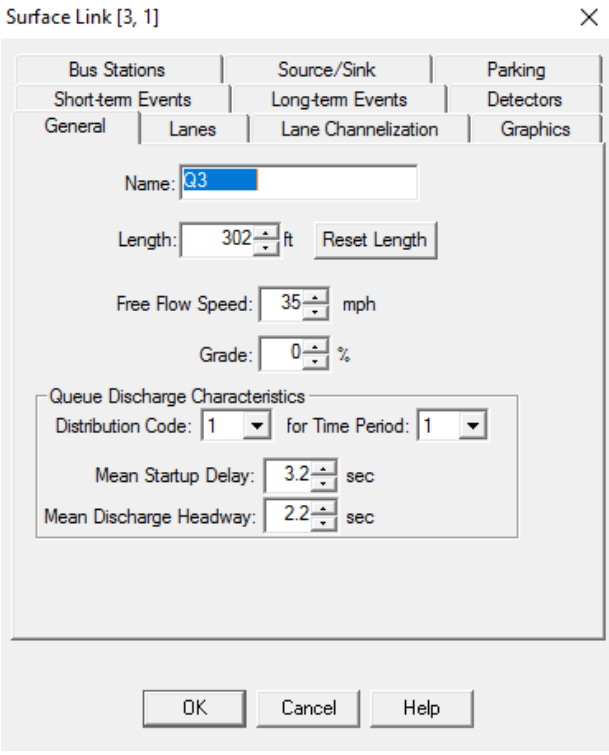
Slika 4.38. Prikaz vrijednosti za smjer Q2 (var.5)



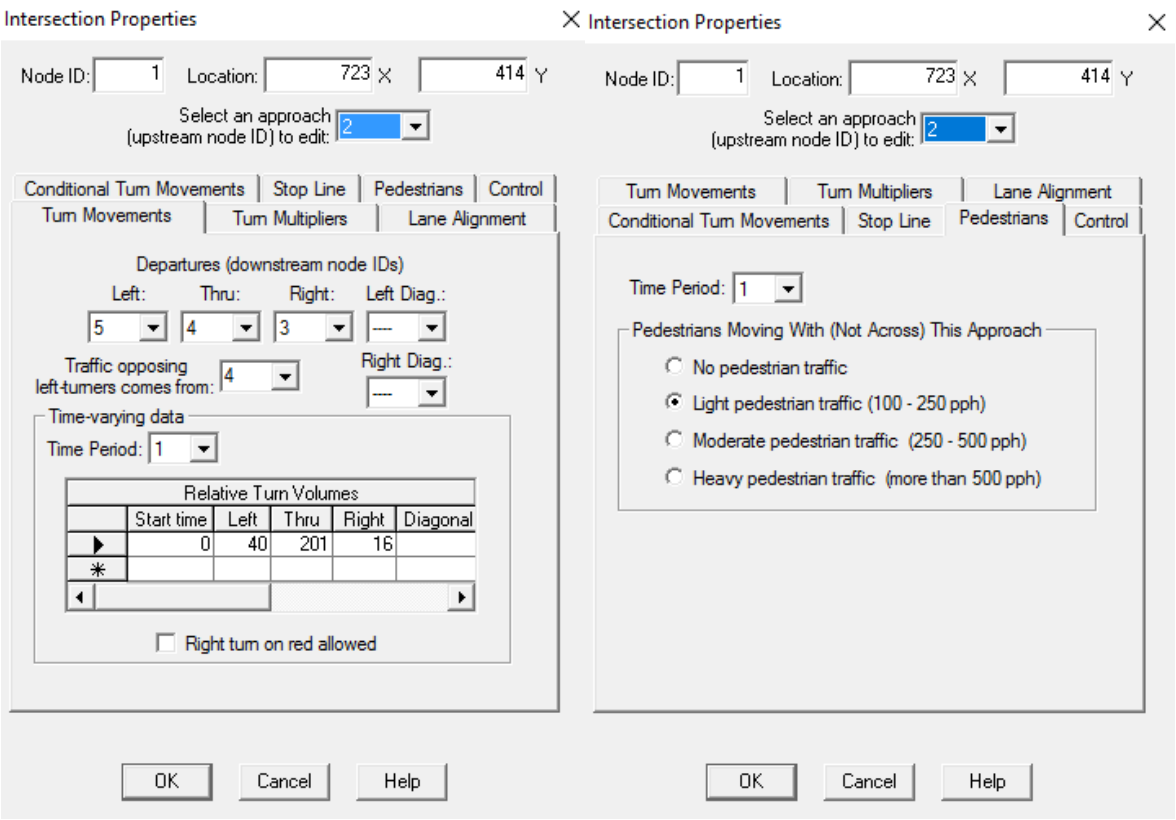
Slika 4.39. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q2



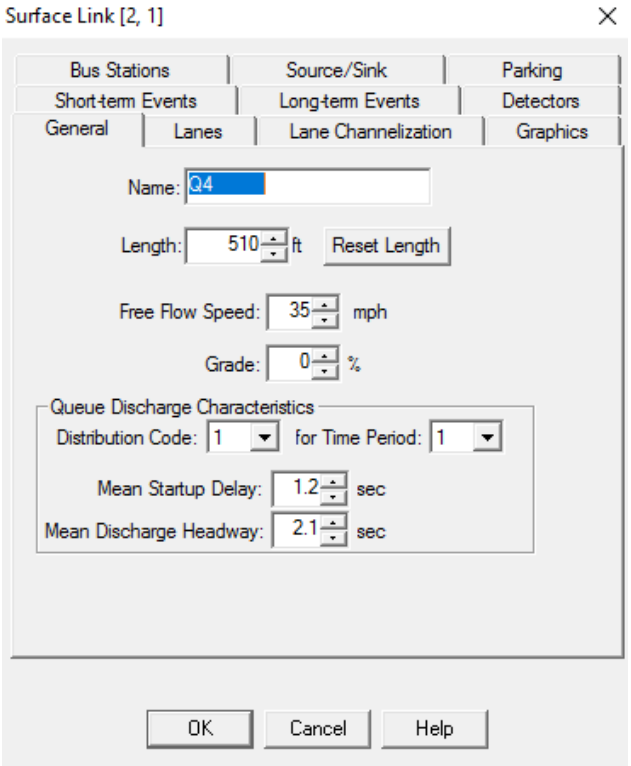
Slika 4.40. Prikaz vrijednosti za smjer Q3 (var.5)



Slika 4.41. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q3



Slika 4.42. Prikaz vrijednosti za smjer Q4 (var.5)



Slika 4.43. Stvarne vrijednosti SULT i SH za Q4

Za unešene parametre dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablica 4.9. i 4.10.).

Tablica 4.9. Control Dealy za petu varijantu

	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST	CORSIM	Izmjereno AST
Delay Control Per Vehicle Left (sec/veh)	45,56	45,49	45,14	44,04	25,79	29,94	35,87	41,56
Delay Control Per Vehicle Right (sec/veh)	30,09	30,21	39,64	50,25	33,53	296	28,32	47,34
Delay Control Per Vehicle Trough (sec/veh)	42,45	24,09	25,29	42,05	28,59	29,17	19,35	29,33

Tablica 4.10. Total Stopped Delay za petu varijantu

	Privoz Q1		Privoz Q2		Privoz Q3		Privoz Q4	
	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST	CORSIM	Izmjereno TST
Delay Stop Total Left (minutes)	80,49	62,16	48,89	46,3	30,38	37,4	23,49	26,9
Delay Stop Total Right (minutes)	18,81	13,6	40,3	56,8	5,58	12,83	6,7	74,7
Delay Stop Total Trough (minutes)	25,71	7,63	112,12	42,6	25,99	16,53	53,67	58,5

5. Usporedba rezultata

U ovom poglavlju uspoređeni su rezultati dobiveni software-skom analizom i mjereni stvarni parametri. Kako je prikazano u poglavlju "*3. Analiza raskrižja"*, računske vrijednosti ciklusa ne mogu se usporediti sa stvarnima, jer se na prikazani način (poglavlje 3.5) nisu mogli dobiti realne i zadovoljavajuće vrijednosti.

Prvo su međusobno uspoređeni rezultati software-ske analize za svih pet provedenih varijanti. Prikazani su u slijedećoj tablici (tablica 5.1 i 5.2).

Tablica 5.1. Usporedba rezultata dobivenih software-om

	Q1						Q2					
Varijanata	**DCPVL**	**DCPVR**	**DCPVT**	**DSTL**	**DSTR**	**DSTT**	**DCPVL**	**DCPVR**	**DCPVT**	**DSTL**	**DSTR**	**DSTT**
	(sec/veh)			**(min)**			**(sec/veh)**			**(min)**		
1.	44,16	31,92	36,21	80,23	19,49	22,91	50,78	45,43	29,72	53,16	47,31	128,89
2.	43,8	33,48	48,38	77,34	20,79	26,73	55,59	31,94	24,78	62,43	29,08	110,73
3.	44,38	96,08	53,13	77,08	64,87	31,95	51,24	53,64	25,08	56,77	58,85	109,53
4.	40,55	67,4	47,38	69,05	45,14	26,88	53,96	33,22	24,61	61,56	29,4	109,6
5.	45,56	30,09	42,45	80,49	18,81	25,71	45,14	39,64	25,29	48,89	40,3	112,12

Tablica 5.2. Usporedba rezultata dobivenih software-om

	Q3						Q4					
Varijanata	DCPVL	DCPVR	DCPVT	DSTL	DSTR	DSTT	DCPVL	DCPVR	DCPVT	DSTL	DSTR	DSTT
	(sec/veh)			(min)			(sec/veh)			(min)		
1.	25,21	29,84	25,54	72,24	30,52	117,11	37,481	27,33	1979	56,8	59,31	25,54
2.	26,83	38,69	28,01	28,96	8,02	26,56	37,93	24,46	19,61	26	5,766	56,28
3.	26,65	43,57	27,28	27,19	8,54	26,31	36,76	31,68	20,28	24,18	6,91	58,96
4.	26,44	33,24	28,14	30,01	6,24	26,27	37,3	28,07	19,47	25,81	6,85	54,88
5.	24,35	35,25	28,6	27,32	6,5	27,27	37,01	23,86	19,41	24,21	4,88	54,11

DCPVL - Delay Control Pre Vehicle Left

DCPVR - Delay Control Per Vehicle Right

DCPVT - Delay Control Per Vehicle Trough

DSTL - Delay Stop Total Left

DSTR - Delay Stop Total Right

DSTT - Delay Stopl Total Trough

Zatim je prikazana usporedba mjerenih i software-om dobivenih vrijednosti. Budući se na raskrižju mjerilo AST (Average Stopped Time) a software-om je dobiven rezultat DCPV, važno je napomenuti da to nisu isti parametri, ali su u svojim vrijednsotima približno jednaki te se mogu uspoređivati. Kao mjerodavna uzima se peta varijanta te se ona uspoređuje sa izmjerenim vrijednostima.

Control delay - vrijeme zakašnjenja čiji je uzrok kontrolni uređaj, semafor ili prometni znakovi. To vrijeme je približno jednako vremenu *time-in-queue delay* zbrojeno s zakašnjenjem uzrokovanim aklceleracijom/deakceleracijom.

Tablica 5.3. Usporedba izmjerenih i software-om dobivenih vrijenosti

	Q1			Q2				Q3			Q4			
	Lijevo	Desno	Ravno	Lijevo	Desno	Ravno 1	Ravno 2	Lijevo	Desno	Ravno	Lijevo	Desno	Ravno 1	Ravno 2
AST	45,49	30,21	24,09	44,04	50,16	40,254	43,849	29,94	29,6	29,17	41,557	47,34	32,23	26,34
DCPV	45,56	30,09	42,45	45,14	39,64	25,29		25,79	33,53	28,59	35,87	28,32	19,35	

6. Zaključak

Provedenom analizom promatranog raskrižja dobiveni su osnovni parametri koji su međusobno uspoređivani. Kako je prikazano računska analiza iz poglavlja 3.5 nije davala zadovoljavajuće i realne rezultate te je izostavljena iz usporedbe sa stvarnim stanjem i simulacijskom analizom.

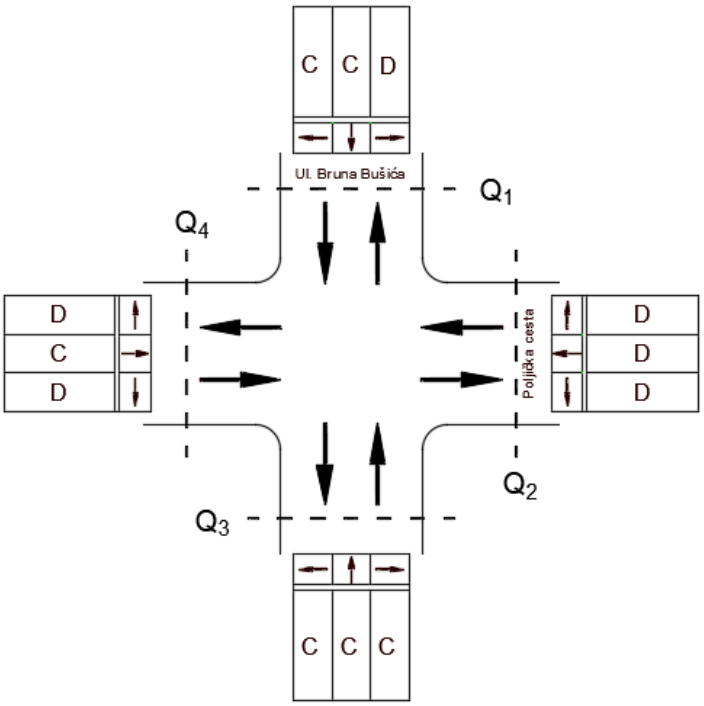
Stavrni rezultati kako je navedeno mjereni su na licu mjesta u vršnom jutarnjem satu od 7:15 do 8:15. Te izmjerene vrijednsoti korištene su kao simulacijski parametri u software-u CORSIM. Software-ska analiza izvršena je u više varijanti, odnosno postepeno se pokušavalo doći do realne slike funkcioniranja promatranog raskrižja. Tako je prva varijanta sadržavala samo defaultne vrijednosti (količinu prometa,ciklus signalizacije, i zadane parametre SULT i SH), čiji su rezultati bili neralni zbog izostanka ostalih faktora koji utječu na funkcioniranje raskrižja. Svaka sljedeća varijanta je bila proširenje na prethodnu. Tako su druga i treća varijanta dobile pješački promet, "lagani" i "srednji" redom, čime se želio prikazati utjecaj pješačkog prometa na funkcioniranje raskrižja. Četvrta varijanta nadopunjena je izmjerenim vrijednostima SULT i SH. S tom varijantom željelo se još više približiti realnoj slici raskrižja. U zadnjoj petoj varijanti, ispravljene su vrijednosti konfliktnog pješačkog prometa za pojedine privoze (mijenjani su između "light" i "moderate" vrijednosti). Također se uočio problem u privozu Q1 za lijeve skretače, naveden i objašnjen u petoj varijanti, a koji je uzrokovao produljenje dodatnog lijevog traka.

Na kraju uspoređena je peta varijanta s izmjerenim vrijednostima, gdje je vidljivo da su pojedini privozi dosta realno prikazani u software-u, dok kod nekih privoza se javljaju određena odstupanja po prikazanim parametrima, koja nisu toliko značajna.

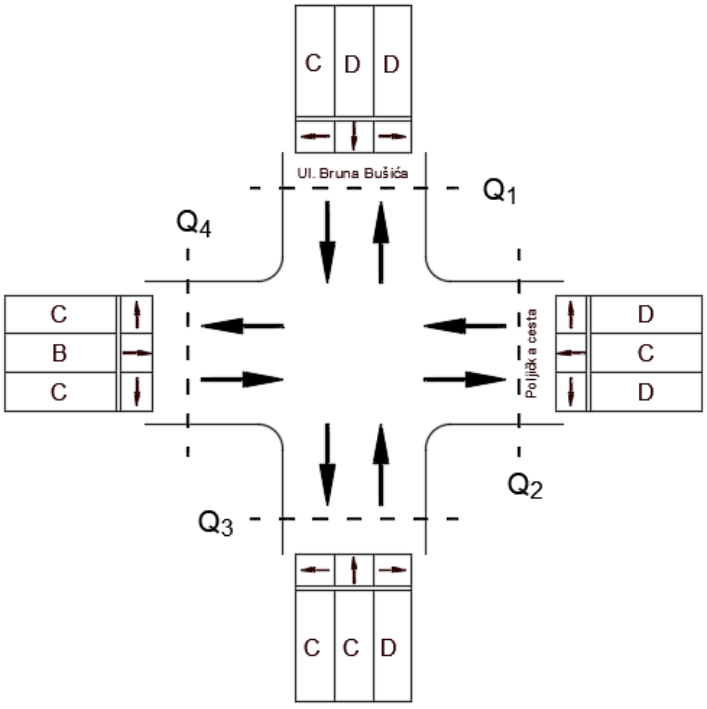
U tablici 6.1 prikazane su granice razina usluge za vrijednosti control delay-a, te su u slikama 6.1 i 6.2 prikazane razine usluge za stvarne izmjerene vrijednsoti i software-om dobivene u zadnjoj 5. varijanti.

Tablica 6.1 Kategorizacija razina usluge

RU	NESEMAFORIZIRANA RASKRIŽJA Control delay (veh/ sec)	SEMAFORIZIRANA RASKRIŽJA Control delay (veh/ sec)
A	0-10	<=10
B	>10-15	>10-20
C	>15-25	>20-35
D	>25-35	>35-55
E	>35-50	>55-80
F	>50	>80



Slika6.1. Razina usluge po privozu za izmjerene vrijednosti



Slika 6.2. Razina usluge po privozu za software-om dobivene vrijednosti (5. varijanta)

Iako u vršnim satima dolazi do preopterećenja raskrižja i stavranja kolona u svim smjerovima, njegova funkcionalnost je zadovoljavajuća. Kako bi se izbjegle vršne gužve potrebna bi bila adaptacija i dodatni zahvati na proširenju raskrižja (geometriji raskrižja) što nije isplativo. Ciklus signalizacije također zadovoljava potrebe. Eventualnim mjenjanjem trajanja ciklusa na postojećenm raskrižju povećalo bi se vremena zakašnjenja čime bi se povećale kolone, smanjio kapacitet i smanjila razina usluge.

7. Literatura

[1] Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane: Traffic Engineering, Fourth Edition

[2] CORSIM User Guide

[3] Internet