Analiza funkcionalnosti raskrižja Ulice Hrvatske mornarice i Ulice Slobode za različite načine rada i slijed faza signala semaforskog uređaja

Ružević, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:123:298056

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Antonio Ružević

Split, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Antonio Ružević

Analiza funkcionalnosti raskrižja Ulice Hrvatske mornarice i Ulice Slobode za različite načine rada i slijed faza signala semaforskog uređaja

Diplomski rad

Split, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Antonio Ružević

BROJ INDEKSA: 725

KATEDRA: **Katedra za prometnice**

PREDMET: Prometna tehnika

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza funkcionalnosti različitih načina rada i slijeda faza signala semaforskog uređaja

Opis zadatka:
Zadatak

Izvršiti analizu funkcioniranja raskrižja Ulice hrvatske mornarice i Ulice slobode za različite načine rada (unaprijed programirani, automatski) i slijed faza semaforskog uređaja. Usporediti prednosti i mane pojedinih načina rada i slijeda faza uređaja.
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 privoz po manevru kretanja. Dobivene rezultate prikazati na skici. Također treba zabilježiti trajanje ciklusa i vremenski slijed faza ciklusa. Skicirati dijagram faza i ring dijagram za analizirane načine rada signala. Za zadane privoze (srednji trakovi za kretanje pravo), sa snimke treba odrediti početno izgubljeno vrijeme (start up lost time l_1), i zasićeno vrijeme slijeda (saturating headway h_o).
Za predmetno raskrižje odrediti potrebno trajanje žutog i sve crvenog svjetla. Odrediti potrebno vrijeme za pješake. Izvršiti optimizaciju rada semafora u programu SIDRA za različite načine rada i slijed faza te prikazati i usporediti rezultate (delay, V/C, LOS).

U Splitu, ožujak, 2020.g

Voditelj Diplomskog rada:

Prof.dr.sc. Dražen Cvitanić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc.dr.sc. Ivo Andrić

Analiza funkcionalnosti raskrižja Ulica Hrvatske mornarice i Ulice Slobode za različite načine rada i slijed faza signala semaforskog uređaja

Sažetak:

Za potrebe rada izvršeno je brojanje prometa na križanju Ulice Hrvatske mornarice i Ulice Slobode u jutarnjem vršnom satu od 7:30 do 8:30. Na temelju izmjerenih parametara (početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda i vrijeme zakašnjenja) i veličine prometa provedena je softverska analiza funkcioniranja raskrižja u programu SIDRA. Prvo su unesene početne izmjerene vrijednosti (veličina prometa, broj pješaka i ciklus rada semafora) te je time dobivena prva varijanta funkcioniranja raskrižja. U sljedećim varijantama mijenjan je redoslijed faza semafora 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, faze semafora, početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda, vrijeme zakašnjenja, SIDRA

Functional analysis of the intersection of street Hrvatske mornarice and street of Slobode for different modes of operation and for sequence of signal phases of the traffic light device

Abstract:

At the begining of this work traffic counting on street of Hrvatske Mornarice and street of Slobode, intersection was conducted in the morning peak hour between 7:30 till 8:30AM. 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. In following variants the order of the traffic light phases is changed 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, signal phases of traffic light, Start-Up Lost Time, Saturation Headway, stopped-time delay, SIDRA

Sadržaj:

1.Uvod……..….1
1.1 Definicija prometa..... 1
2. Općenito o semaforskim uređajima 3
2.1 Povijest semaforskih uređaja 3
2.2 Primjena semaforskog uređaja 4
2.3 Faze signalizacije semaforskog uređaja 6
2.4 Vrste semafora 7
2.5 Prednosti i mane semafora 9
2.6 Načini vođenja lijevih skretača na raskrižju: 10
3. Analiza postojećeg stanja..... 14
3.1 Prometno opterećenje..... 17
3.2 Vremenski slijed faza ciklusa i trajanje ciklusa 20
3.3 Phase i Ring dijagram 21
3.4 Saturation Headway i Start Up-Lost Time..... 23
3.4 Određivanje žutog i sve crvenog svjetla 27
3.5 Određivanje potrebnog vremena za pješake 30
4. Software-ska analiza 33
4.1 Prva varijanta: Postojeće stanje..... 34
4.2 Druga varijanta: Leading Left-turn Phasing 41
4.3 Treća varijanta: Lagging Left-turn Phasing..... 46
4.4 Četvrta varijanta: Lead-Lag Left-turn phasing 51
4.5 Peta varijanta: Split Phasing 56

5. Usporedba rezultata..... 62

6. Zaključak..... 63

1.Uvod

1.1 Definicija prometa

Promet u najširem značenju predstavlja integralni dio funkcioniranja društva i direktno je povezan s poviješću civilizacije, načinom i kvalitetom života kakav danas živimo te lokacijom i intezitetom proizvodnih i drugih aktivnosti.

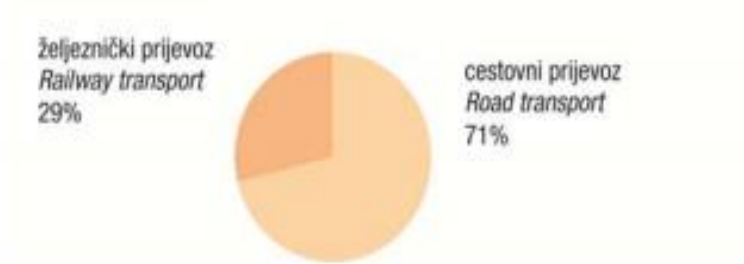
Promet definiramo kao gospodarsku djelatnost koja se bavi prijevozom robe i ljudi te prijenosom informacija s jednog mjesta na drugo.

Promet sačinjavaju:

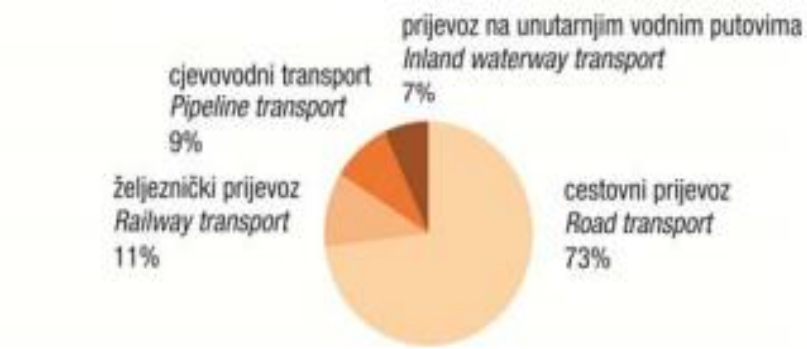
1. infrastruktura (ceste, željeznička pruga, aerodromi, luke,...)
2. prijevozna sredstva (cestovna vozila, vlakovi, zrakoplovi, brodovi,...)
3. tehnologija
4. organizacija

Promet se dijeli na kopneni, zračni i vodeni promet. U kopneni promet spadaju cestovni i željeznički a u vodni pripadaju riječni i pomorski promet. Pritom je cestovni promet jedan od glavnih čimbenika u suvremenom životu čovjeka te je najrazvijenija grana prometa kako u Republici Hrvatskoj tako i u čitavom svijetu.

U nastavku su prikazani neki od podataka strukture kopnenog putničkog prijevoza prema vrsti prijevoza iz 2015.g za Republiku Hrvatsku: (izvor: Državni Zavod za statistiku)



Slika 1. Struktura kopnenog prijevoza u RH



Slika 2. Struktura kopnenog prijevoza robe u RH

Reference:

1) Promet – Wikipedija
2) Državni zavod za statistiku – Transport i komunikacije u 2015.g

2. Općenito o semaforskim uređajima

2.1 Povijest semaforskih uređaja

Prvi semafor u svijetu dizajnirao je 1868.g željeznički inženjer John Peak Knight i postavljen je u blizini zgrade engleskog parlamenta u Londonu. On je svoje iskustvo u radu sa željezničkim semaforima iskoristio za dizajn cestovnog semafora.

Prvom inačicom semafora upravljalo se ručno a dizajn je bio vrlo jednostavan: dvije semaforske strelice koje su se kretale u okomitoj ravnini. Postojala je također i vodoravna strelica koja je označavala zahtjev za zaustavljanjem.

Međutim prva inačica semafora nije previše zaživjela prvenstveno zbog toga što je trebala u svakom trenutku biti prisutna osoba koja će njime upravljati.

Prvi automatski semafor izumio je Lester Weir iz Utaha 1912.godine.Ovaj semafor radio je na struju i imao je dvije okrugle svjetiljke, zelene i crvene boje.

Semafori kakve danas poznajemo u klasičnoj trobojnoj shemi pojavili su se tek 1920.g na ulicama New Yorka i Detroita a izumili su ga John F. Harris i William Potts.



Slika 3.

Prva inačica semafora



Slika 4.

Prvi automatski semafor



Slika 5. Današnji semafori za vozila

te za pješake

2.2 Primjena semaforskog uređaja

Osnovni zadatak semafora je da napravi vremensku raspodjelu korištenja zajedničkih površina za različite oblike prometa (pješake i motorna vozila). Semafor se koristi kod raskrižja sa križanjem prometnih pravaca kao sredstvo za vremensku preraspodjelu različitih tipova prijevoza s davanjem prioriteta prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza.

Kriteriji za uvođenje semaforskog uređaja su:

- **prometno opterećenje**
- **stupanj sigurnosti**
- **ometanje sporednih tokova**
- **tokova pješaka**
- **vođenje tokova**

1. Prometno opterećenje izraženo je u broju vozila koja prođu raskrižjem u jednom satu. Veličina prometnog opterećenja bitno utječe na gubitke vremena na raskrižju. Osnovni cilj je da se osigura odgovarajući nivo usluge i za glavni i za sporedni pravac u zoni raskrižja. Uvjet za uvođenje semafora na raskrižju je ispunjen ukoliko se na glavnom i na sporednom pravcu jave opterećenja veća od onih prikazanih na slici 6.

broj voznih traka[a] prometno opterećenje[b] (vozila/sati)

glavni pravac(GP)		sporedni pravac(SP)				
GP		SP	≤ 64[c] [km/h]	> 64[c] [km/h]	≤ 64[c] [km/h]	> 64[c] [km/h]
1	1		≥ 750	≥ 425	≥ 75	≥ 45
≥ 2	1		≥ 900	≥ 630	≥ 75	≥ 45
≥ 2	≥ 2		≥ 900	≥ 630	≥100	≥ 70

Slika 6. Kriterij prometnog opterećenja za uvođenje semafora na raskrižju

(a) broj voznih traka u jednom smjeru u zoni postrojavanja
(b) ulazni pravac sa najvećim opterećenjem, GP u oba smjera, SP u jednom smjeru
(c) dozvoljena brzina na glavnom pravcu

2. Stupanj sigurnosti definira se na temelju podataka o prometnim nesrećama na postojećem raskrižju bez svjetlosne signalizacije. Uvođenje svjetlosne signalizacije je opravdano ako se, bez svjetlosne signalizacije dogodi više od 5 prometnih nesreća tokom jedne godine.

3. Ometanje sporednih tokova javlja se u situaciji kad mali broj vozača ima velike gubitke na raskrižju pošto se na glavnom toku ne stvaraju potrebne vremenske praznine sa prihvatljivom učestalošću.

4. Tokovi pješaka su jedan od ozbiljnijih kriterija kod uvođenja svjetlosne signalizacije. Bitan parametar je dužina puta pješaka tj. širina kolnika, koju pješak mora prijeći. Širina se razlikuje ako prometnica ima razdjelnu traku ili razdjelni otok između dva prometna pravca koja pješacima osigurava siguran prijelaz u slučaju ako kolnik ima više prometnih traka.

5. Vođenje tokova se kao kriterij javlja kada je potrebno osigurati brzo kretanje vozila javnog gradskog prometa kroz raskrižje. Svjetlosna signalizacija se tada uvodi na svim raskrižjima neovisno o tome da li ispunjavaju prethodno navedene kriterije.

2.3 Faze signalizacije semaforskog uređaja

Signalizacija se sastoji od više komponenti koje zajedno u cjelini daju režim rada semafora.

Navedene komponente se dijele na:

- **ciklus**
- **trajanje ciklusa**
- **interval**
- **faza**

1) ***Ciklus*** je jedna kompletna izmjena svih faza rada semafora.
2) ***Trajanje ciklusa*** je vrijeme, mjereno u sekundama, potrebno da se završi jedan puni ciklus svih faza rada semafora
3) ***Interval*** je određeni period vremena u kojem nema promjene faze semafora. Razlikujemo nekoliko tipova intervala unutar ciklusa rada semafora:

a) interval promjene – označava prijelaz iz zelenog svijetla u crveno, pomoću žutog svijetla, dok je na svim ostalim privozima crveno svjetlo. To je vrijeme koje dopušta vozaču koje se ne može sigurno zaustaviti na promjenu zelenog svjetla da legalno i sigurno prođe kroz raskrižje.
b) interval pražnjenja – označava također prijelaz iz zelenog svijetla u crveno. Tijekom vremena pražnjenja na svim ostalim privozima je upaljeno crveno svijetlo na semaforu. To je vrijeme potrebno svim onim vozilima koji su za vrijeme žutog svjetla ušli u raskrižje da sigurno iz njega izađu prije nego se na ostalim privozima upali zeleno svijetlo
c) zeleni interval – interval koji dopušta kretanje svim vozilima na privozu kod kojih je upaljeno zeleno svijetlo, dok je na ostalim privozima crveno svijetlo.
d) crveni interval – interval kod kojeg je zabranjeno kretanje svim vozilima na privozu kod kojih je upaljeno crveno svijetlo, dok je na ostalim privozima zeleno svijetlo. Crveni interval se u pravilu preklapa sa zelenim, žutim i sve crvenim intervalom

4) ***Faza*** se sastoji od zelenog intervala zajedno sa intervalom promjene i intervalom pražnjenja koji slijede nakon njega. To je skup intervala koji dopušta vozilima na privoz(ima)u da se slobodno kreću i sigurno zaustave prije puštanja konfliktne skupine vozila sa ostalih privoza na raskrižju.

2.4 Vrste semafora

U današnjem cestovnom prometu postoji nekoliko različitih podjela s obzirom na vrstu semafora. Prometnim inženjerima je najvažnija podjela s obzirom na način rada prometnog signala. Samo raskrižje može se kontrolirati neovisno ili uz mogućnost sinkronizacije više raskrižja u koordiniranom radu. S obzirom na način rada prometnog signala, semafore dijelimo na:

- **fiksni način rada (u unaprijed određenom vremenu)**
- **aktivirani (adaptirani) način rada**
- **kordinirani način rada**

1.) ***Fiksni način rada*** semafora funkcionira na principu da je sve definirano za unaprijed određeno vrijeme bez obzira na potražnju u prometu. Slijed faza je također fiksiran i faze se nemogu preskakati. Zbog toga će se svaki put prikazati potpuni slijed indikacija signala tj. ciklus.

2.) ***Aktivirani način rada*** semafora funkcionira na principu detektora koji prati promet na raskrižju te se time određuje trajanje faza i samog ciklusa. Slijed faza je za svaki određeni plan fiksiran ali se određene faze mogu preskočiti ako prometna potražnja tako zahtjeva što može eventualno dovesti do promjenjive duljine ciklusa.

Aktivirani način rada semafora može funkcionirati kao potpuno aktivirani ili poluaktivirani način rada, ovisno o kretnjama u prometu koje se analiziraju detektorima.

Kod potpuno aktiviranog rada, detekcija se pruža u svim fazama na raskrižju. Ovaj način idealno je prilagođen za raskrižja gdje postoji manja prometna potražnja na svim prilazima.

Kod poluaktiviranog rada, detekcija se pruža samo u fazama koje kontroliraju sporedna kretanja na raskrižju dok se glavni pokreti na raskrižju pokreću bez aktiviranja.

3.) ***Koordinirani način rada*** semafora funkcionira tako da se više signaliziranih raskrižja sinkronizira radi bolje protočnosti vozila u jednom ili u više smjerova. Ovako unaprijed određena koordinacija omogućuje bolji napredak sa stajališta vozača ali napredak se ne postiže dosljedno.

2.5 Prednosti i mane semafora

Prednosti primjene semafora:

1. omogućuju pravilno kretanje prometnih tokova
2. povećavaju kapacitet raskrižja ako su postavljeni na pravim lokacijama uz obvezu ažuriranja faza ciklusa barem jednom u 2 godine (radi eventualnih promjena gustoće prometa, stanja prometnice,...)
3. smanjuju broj i težinu sudara
4. moguće usklađivanje sa susjednim semaforima na prometnicama koje se križaju (zeleni val) što omogućuje kontinuiran tok prometa uz vrlo ugodnu vožnju
5. poboljšavaju uvjete prometovanja prekidanjem intezivnih tokova, kako bi se omogućilo i pješacima i vozilima iz sporednih tokova uključivanje u promet

Mane primjene semafora:

1. mogu povećati prosječno zakašnjenje vozila, osobito u glavnom toku te loše postavljenim fazama mogu gušiti promet na glavnoj prometnici
2. lošom geometrijom ili programiranjem faza mogu dovesti do povećanja broja pojedinih vrsta sudara
3. mogu nepotrebno ograničiti slobodu sudionika u prometu

2.6 Načini vođenja lijevih skretača na raskrižju:

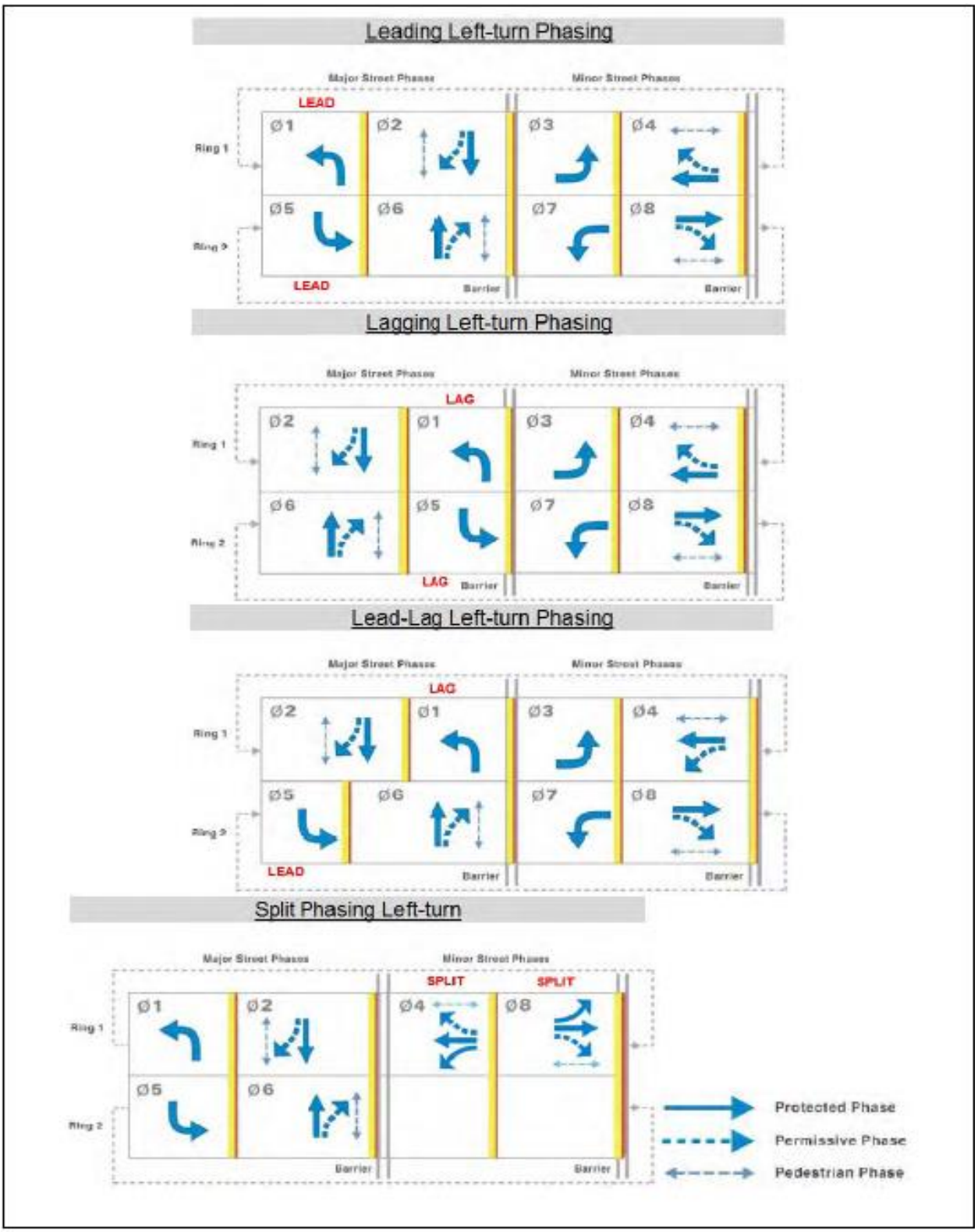
- **Vodeći lijevi skretači** – zaštićena faza lijevog skretanja koristi se prije osnovnog kretanja prilazom. Korištenje zaštićene faze za lijevo skretanje za oba prilaza u istoj ulici, najčešća je vrsta operacije.

- **Zaostali lijevi skretači** – zaštićena faza lijevog skretanja koristi se nakon osnovnog kretanja prilazom. Ova vrsta operacije gdje faza za lijevo skretanje zaostaje u oba smjera u istoj ulici, najčešće se koristi u koordiniranim sustavima s usko raspoređenim presjecima.

- **Vodećo-zaostajajući lijevi skretači** – tijekom ove operacije omogućuje se vodeće lijevo skretanje i zaostajanje u lijevoj fazi na suprotnim prilazima iste ulice, te tako stvara neovisnost između faza. Ovakva vrsta operacije poželjna je u koordiniranim sustavima te za smještaj vodova koji dolaze iz svakog smjera u različito vrijeme.

- **Fazna raspodjela lijevih skretača** – tijekom ove operacije, prvo se omogućuju svi pokreti određenog pristupa, nakon toga slijede svi pokreti suprostavljenog pristupa. Ova operacija se obično za koristi kod manjih i sporednih ulica koja djeluje pod razdvojenim faznim lijevim zavojima na raskrižju s geometrijskim ograničenjima i sl. Lijevi zavoji u faznoj podjeli su obično manje učinkovitiji od standardnih osmofaznih operacija kada su prometi na suprotnim prilazima iste ulice dobro uravnoteženi i postoji potreba za zaštitom kod skretanja ulijevo. Zato se ova operacija više preporuča u situacijama kada u istoj ulici jedan pristup obavlja znatno više prometa od drugog pristupa.

Na slici 6. prikazani su svi načini vođenja lijevih skretača:



Slika 6. Skica načina vođenja lijevih skretača

Iako ne postoji standardizirana metoda za odabir redoslijeda faza za lijeve skretače, sam odabir se može zasnovati na njihovim prednostima i nedostatcima:

	Prednosti	Nedostatci
Vodeći lijevi skretači	-vozači imaju tendenciju brže reagirati na zelenu strelicu nego li na zaostalo lijevo skretanje -minimiziraju se sukobi između lijevog skretanja i suprostavljenog mu kretanja -minimiziraju se sukobi između skretanja ulijevo i pomicanja na istom pristupu kada volumen zavoja nema raspoloživu duljinu ležišta	-potencijalna zamka na žutom svjetlu za lijeve skretače -vozila koja skreću liijevo mogu nastaviti skretati nakon što se završi prikaz zelene strelice -mogući sukobi s pješacima na početku faze skretanja ulijevo zbog očekivanja pješaka
Zaostali lijevi skretači	-pruža operativne prednosti kada je traka za skretanje lijevo blokirana od strane ostalih proemtnih traka -vozila koja skreću lijevo mogu očistiti raskrižje tijekom dozvoljene faze i time povećati učinkovitost raskrižja -smanjuje pješačke konflikte	-potencijalna zamka na žutom svjetlu za lijeve skretače -vozači najčešće sporije reagiraju na zaostalo skretanje ulijevo nego li na vodeće skretanje ulijevo

Vodećo-zaostajajući lijevi skretači	-koristan je jer u koordiniranom sustavu pruža veću širinu pojasa -sadrži prilaze koji nemaju trake za skretanje ulijevo	-potencijalna zamka na žutom svjetlu za lijeve skretače
Fazna raspodjela lijevih skretača	-eliminira konfliktne točke kada se suprotne trake za skretanje ulijevo sijeku zbog geometrije sjecišta -omogućuje korištenje dijeljenih traka (lijevo/ravno) na raskrižjima s velikim lijevim zavojem -obuhvaća pristupe kojima nedostaje trake za lijevo skretanje	-povećana koordinirana duljina ciklusa, posebno ako obe podjeljene faze imaju istodobne faze za pješake - od svih ostalih načina vođenja ima najmanju učinkovitost

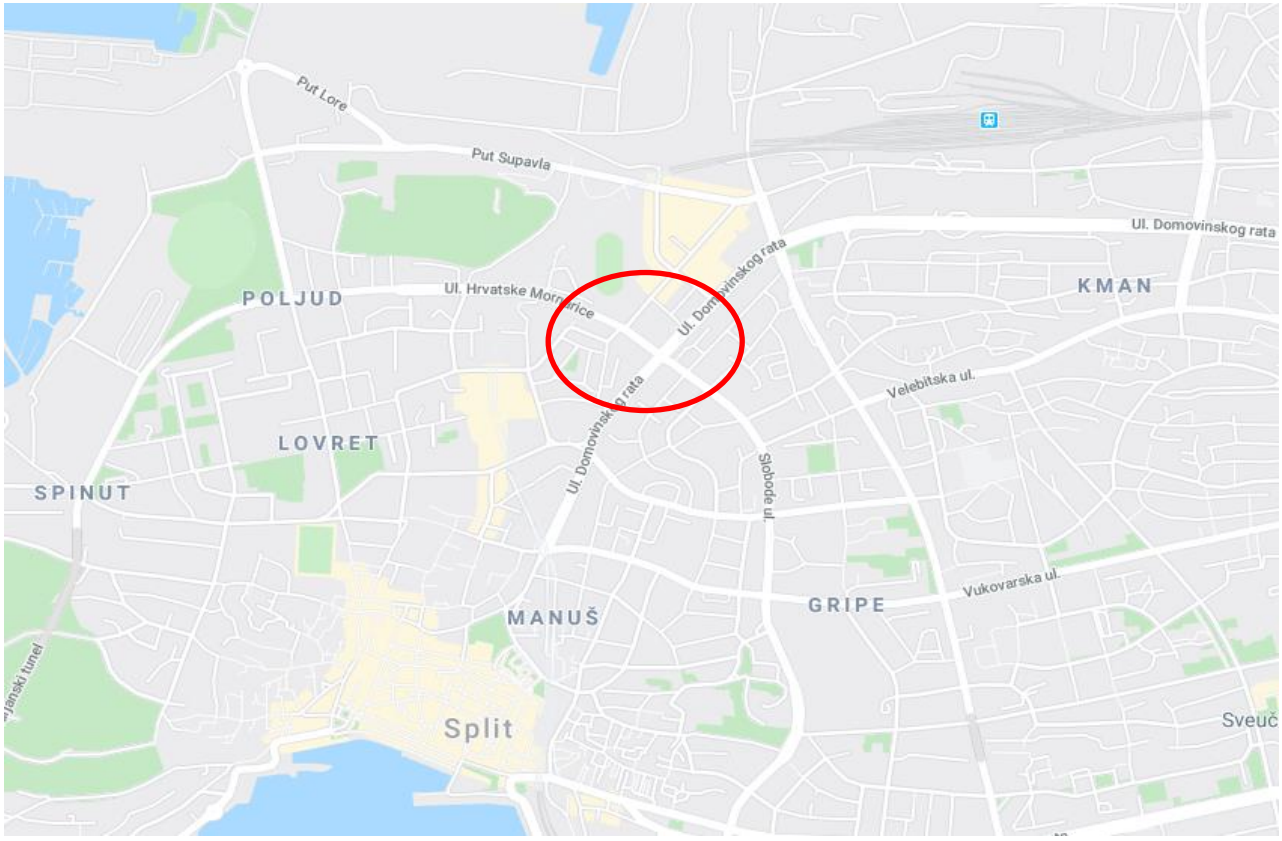
Tablica 1. Prednosti i nedostatci načina vođenja lijevih skretača

Reference:

1.) Traffic engineering – Fourth edition (Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane)
2.) TDOT – Traffic Design Manual Report _Chapter 7
3.) Planiranje i projektiranje saobraćajnica u gradovima – Mihailo Maletin
4.) Znanstveni rad UPRAVLJANJE PROMETOM NA RASKRIŽJU POMOĆU PROMETNIH SVJETALA – Veleučilište “Nikola Tesla“ u Gospiću

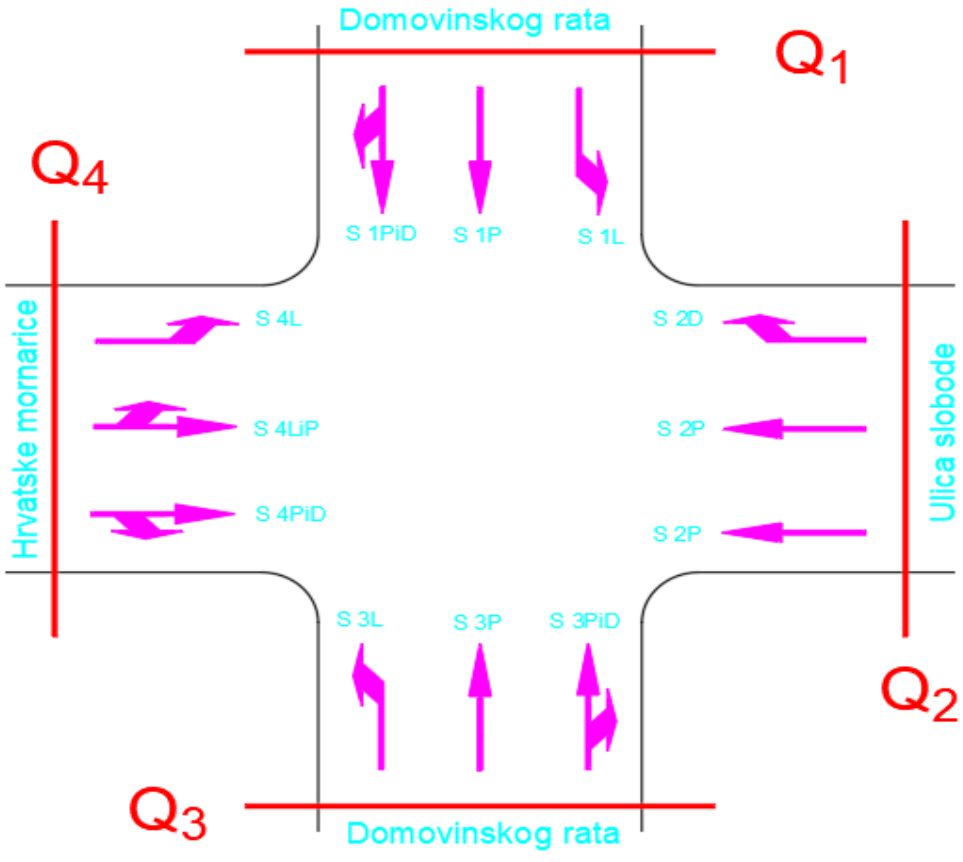
3. Analiza postojećeg stanja

Lokacija promatranog raskrižja nalazi se na križanju ulice Hrvatske Mornarice i ulice Slobode te ulice Domovinskog rata (slika 9.). Ulica Domovinskog rata jedna je od najdužih prometnica u gradskoj mreži grada Splita. Predstavlja jedan od dva glavna ulaza/izlaza iz grada Splita te kao takva jedna od najopterećenijih prometnica. Sama činjenica koliko je ovo križanje od važnosti za gradsku mrežu je i ulica Hrvatske Mornarice, koje direktno spaja veći dio zapadnog dijela grada sa centrom grada Splita te se na ovom križanju direktno priključuje na jedan od izlaza iz grada Splita.



Slika 9. Lokacija raskrižja

Smjer Q1 je sjeverni prilaz ulice Domovinskog rata koja se sastoji od 3 prometna traka (po jedna traka za kretanje ravno i lijevo i jedna traka za kombinirano kretanje ravno-desno). Smjer Q2 je istočni prilaz ulice Slobode koja se sastoji od 3 prometna traka (2 trake su predviđene za kretanje ravno i jedna traka za kretanje desno). Smjer Q3 je južni prilaz ulice Domovinskog rata koja se sastoji od 3 prometne trake (po jedna traka je za kretanje lijevo i ravno a jedna traka je za kombinirano kretanje ravno-desno). Smjer Q4 je zapadni prilaz ulice Hrvatske mornarice i sastoji se također od 3 prometne trake (jedna traka je za kretanje isključivo lijevo te po jedna traka za kombinirano kretanje ravno-lijevo te za kretanje ravno-desno). Svi smjerovi su zorno prikazani i vidljivi na skici (slika 10.) i na satelitskom snimku (slika 11.)



Slika 10. Skica smjerova na raskrižju



Slika 11. Satelitski snimak raskrižja

Promatrano raskrižje je semaforizirano u 4 faze. Smjerovi Q1,Q3 i Q4 imaju jednake faze u kojima se pojavljuje kombinirana (compound) faza za lijeve skretače. Kombinirana faza za lijeve skretače je tip faze u kojem je lijevim skretačima pored dodatne faze za lijevo skretanje dozvoljeno i kretanje osnovnom fazom ali prvo moraju propustiti konfliktan tok iz suprotnog smjera prije nego se mogu početi kretati raskrižjem. Smjer Q2 ima različito trajanje faza od potonjih faza te je na ovom privozu zabranjeno skretanje ulijevo.

3.1 Prometno opterećenje

Na spomenutom raskrižju izvršeno je snimanje prometa u vršnom jutarnjem satu od 7:30 do 8:30 sati, datuma 11.kolovoza 2020. godine. Iz snimaka je izvršeno brojanje vozila i pješaka za svaki pojedini privoz. Podatci o količini vozila i pješaka na svakom od privoza kao i po svakom manevru kretanja, prikazani su u tablicama (3.1–3.4) te na slici 12.

Tablica 3.1. Količina prometa za smjer Q1

	Smjer pritoka	SMJER Q1 (SJEVER)										
	Pravac kretanja	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO			Ukupno:	
	Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Vozila	Pješaci
1. kvartal	7:30- 7:45	29	0	2	148	6	6	48	0	2	241	21
2.kvartal	7:45 - 8:00	24	0	1	144	12	4	59	0	2	246	26
3.kvartal	8:00 - 8:15	26	0	1	114	8	3	49	1	1	203	40
4.kvartal	8:15 - 8:30	25	0	0	147	7	5	54	1	3	242	25
	Ukupno:	104	0	4	553	33	18	210	2	8	932	112

Tablica 3.2. Količina prometa za smjer Q2

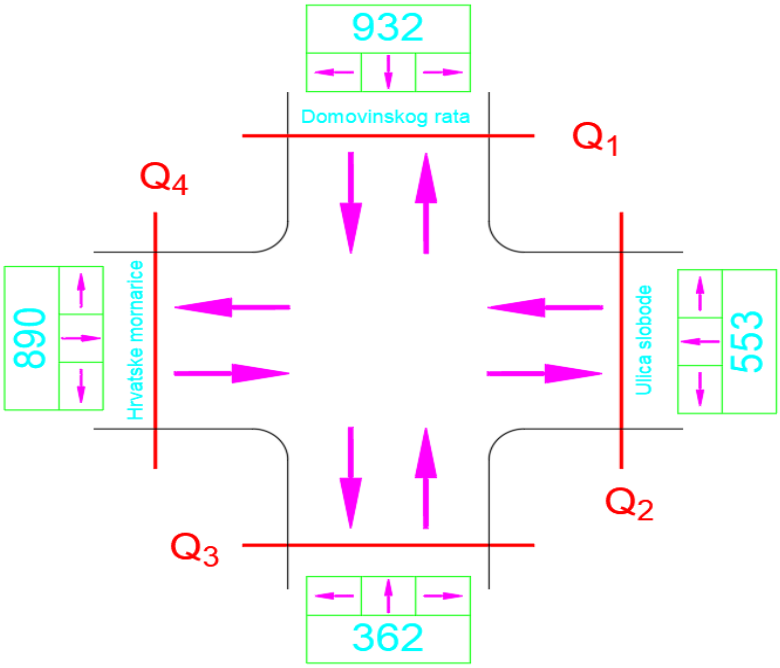
	Smjer pritoka	SMJER Q2 (ISTOK)										
	Pravac kretanja	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO			Ukupno:	
	Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Vozila	Pješaci
1. kvartal	7:30- 7:45				106	0	3	26	0	2	137	57
2.kvartal	7:45 - 8:00				127	0	2	23	0	0	152	48
3.kvartal	8:00 - 8:15				106	0	3	18	0	1	128	65
4.kvartal	8:15 - 8:30				101	0	1	32	0	2	136	42
	Ukupno:	0	0	0	440	0	9	99	0	5	553	212

Tablica 3.3. Količina prometa za smjer Q3

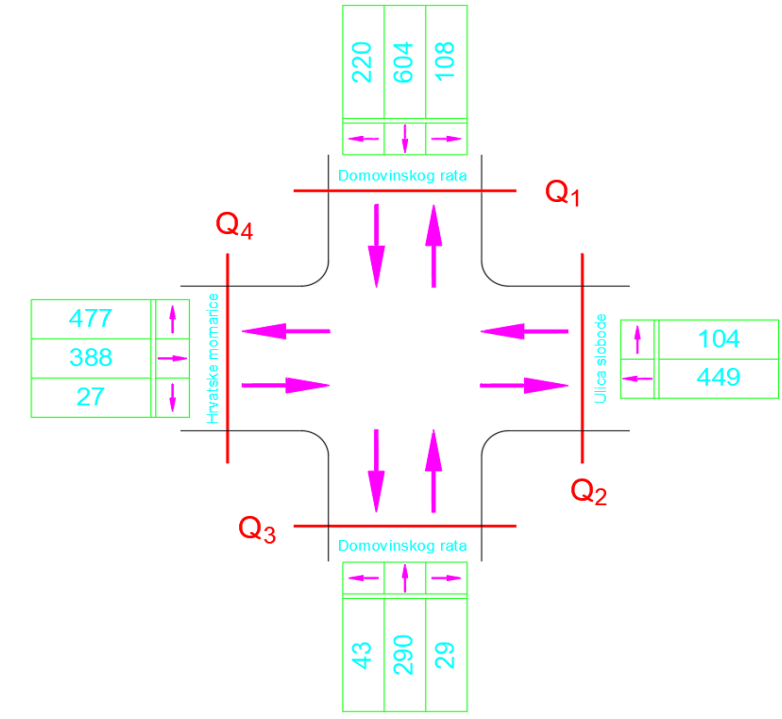
	Smjer pritoka	SMJER Q3 (JUG)										
	Pravac kretanja	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO			Ukupno:	
	Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Vozila	Pješaci
1. kvartal	7:30- 7:45	8	1	1	75	5	5	10	0	0	105	27
2.kvartal	7:45 - 8:00	11	1	1	58	4	5	7	0	0	87	29
3.kvartal	8:00 - 8:15	8	0	1	74	6	1	8	0	0	98	21
4.kvartal	8:15 - 8:30	10	1	0	51	2	4	3	0	1	72	23
	Ukupno:	37	3	3	258	17	15	28	0	1	362	100

Tablica 3.4. Količina prometa za smjer Q4

	Smjer pritoka	SMJER Q4 (ZAPAD)										
	Pravac kretanja	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO			Ukupno:	
	Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Vozila	Pješaci
1. kvartal	7:30- 7:45	114	1	3	100	0	2	2	1	1	224	56
2.kvartal	7:45 - 8:00	112	1	3	92	0	5	5	0	1	219	66
3.kvartal	8:00 - 8:15	115	1	3	95	0	2	3	1	2	222	69
4.kvartal	8:15 - 8:30	117	3	2	90	0	2	11	0	0	225	50
	Ukupno:	458	6	11	377	0	11	21	2	4	890	241



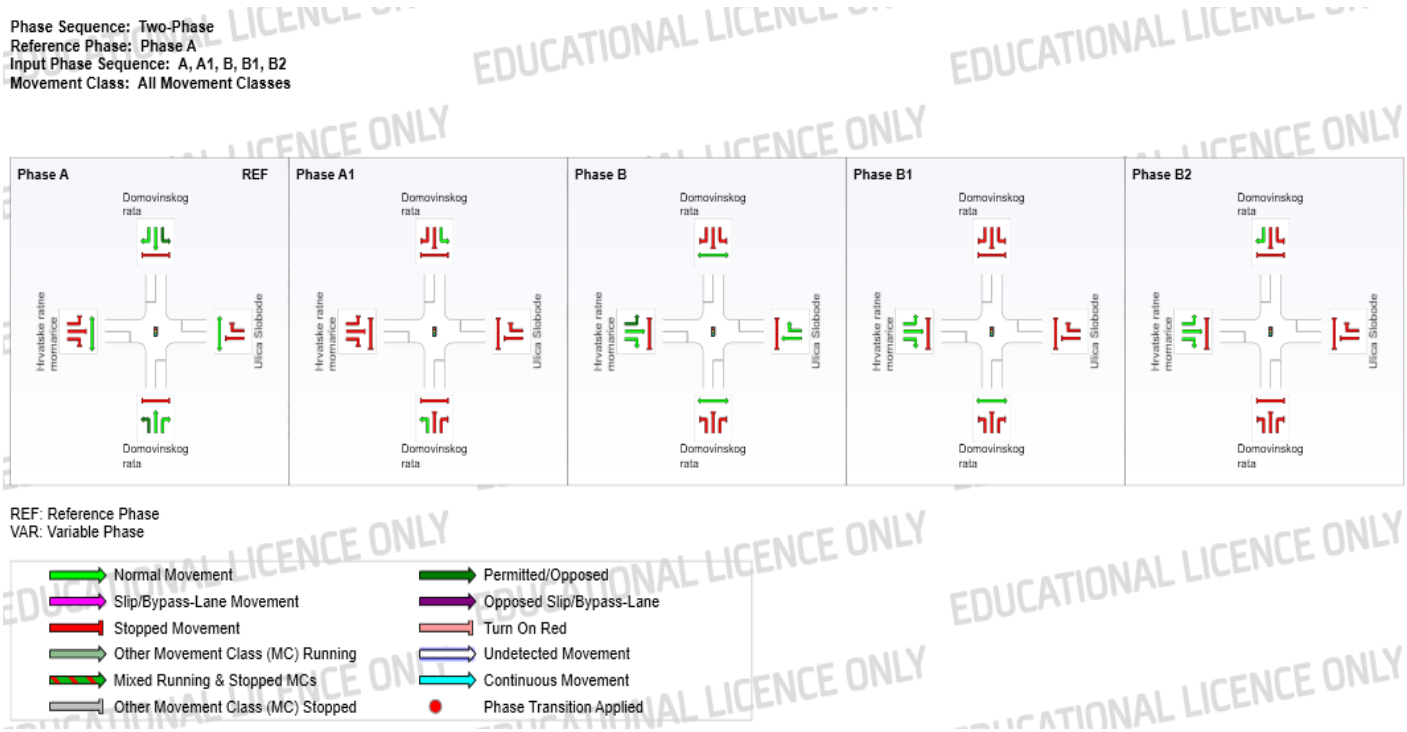
Slika 12. Prikaz količine prometa po pojedinom privozu



Slika 13. Prikaz količine prometa po manevru kretanja

3.2 Vremenski slijed faza ciklusa i trajanje ciklusa

Promatrano raskrižje sastoji se od 2 osnovne faze rada semafora te od dodatnih vremena za lijeva skretanja. Faza A je ona u kojoj je dozvoljeno kretanje vozila iz privoza Q1 i Q3 za smjer ravno i desno te je dozvoljeno kretanje pješaka sa privoza Q2 i Q4. Faza A1 je faza kombiniranog lijevog skretanja za vozila koja se kreću iz privoza Q1 i Q3. Faza B je faza u kojoj je dozvoljeno kretanje vozila ravno i desno iz privoza Q2 i Q4 te kretanje pješaka iz privoza Q1 i Q3 dok je faza B1 faza u kojoj je i dalje dozvoljeno kretanje ravno i desno iz privoza Q4 zbog toga što zeleno svjetlo traje duže nego li na semaforu privoza Q2, tzv. faza čišćenja. U fazi B2 dozvoljeno je kombinirano lijevo skretanje isključivo iz privoza Q4 pošto je iz privoza Q2 zabranjeno skretanje lijevo te dopunsko skretanje desno iz privoza Q1. Vremenski slijed faza ciklusa prikazan je na slici 16. u software-u SIDRA INTERSECTION.



Slika 14. Vremenski slijed faza ciklusa

Ukupno trajanje ciklusa na promatranom raskrižju iznosi 89 sekunde a trajanje svake pojedine faze prikazano je na slici 15.

Phase:	A	A1	B	B1	B2
Variable Phase	☐	☐	☐	☐	☐
Reference Phase	◉	○	○	○	○
Phase Time (optional)	37 sec	10 sec	18 sec	5 sec	19 sec
Phase Frequency	Program	Program	Program	Program	Program
Yellow Time	3 sec	3 sec	3 sec	0 sec	3 sec
All-Red Time	2 sec	2 sec	2 sec	0 sec	2 sec

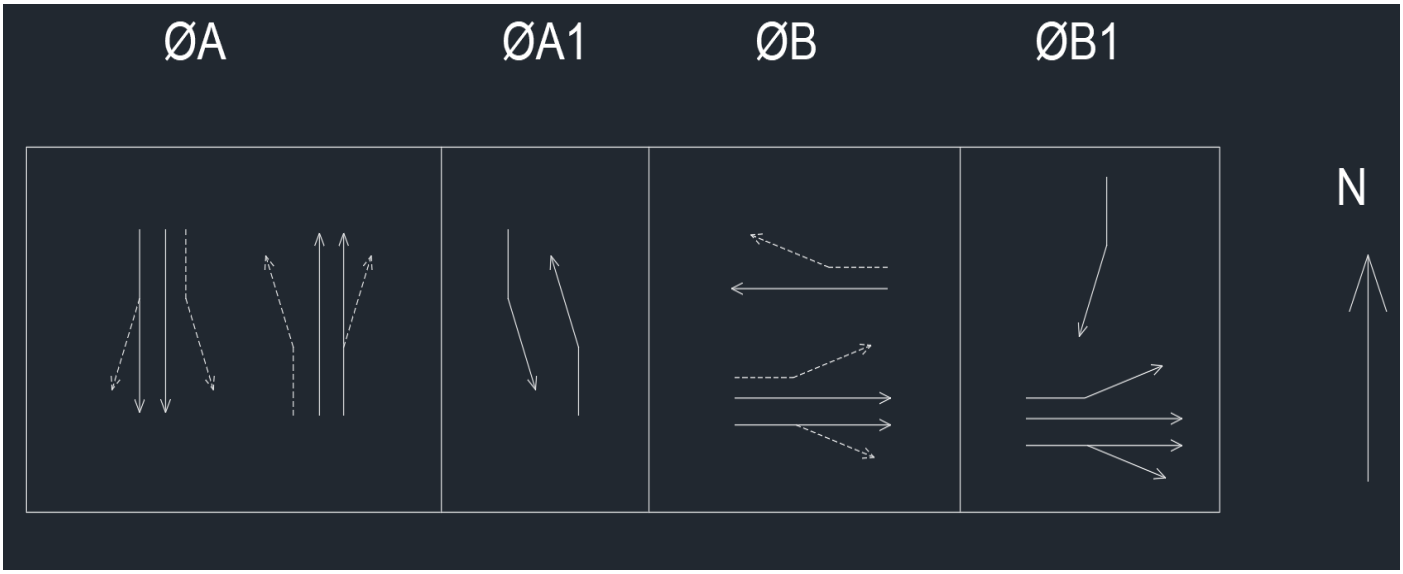
Slika 15. Trajanje ciklusa

3.3 Phase i Ring dijagram

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

- ***Puna strelica*** označava kretnju koja za sobom ne povlači nikakvu konfliktnu kretnju. Za lijeve skretače to bi značilo da nema toka vozila iz suprotnog smjera. Za desne skretače bi značilo da nema konfliktnih pješaka.
- ***Isprekidana strelica*** označava lijeva i desna skretanja koja imaju konfliktne kretnje u vidu pješaka ili vozila iz suprotnog smjera.
- ***Spojene strelice*** označavaju više mogućih kretnji iz jednog traka
- ***Odvojena strelica*** najčešće označava sve moguće kretnje koje mogu nastati iz jednog traka (npr. dodatni trak za lijeve skretače).

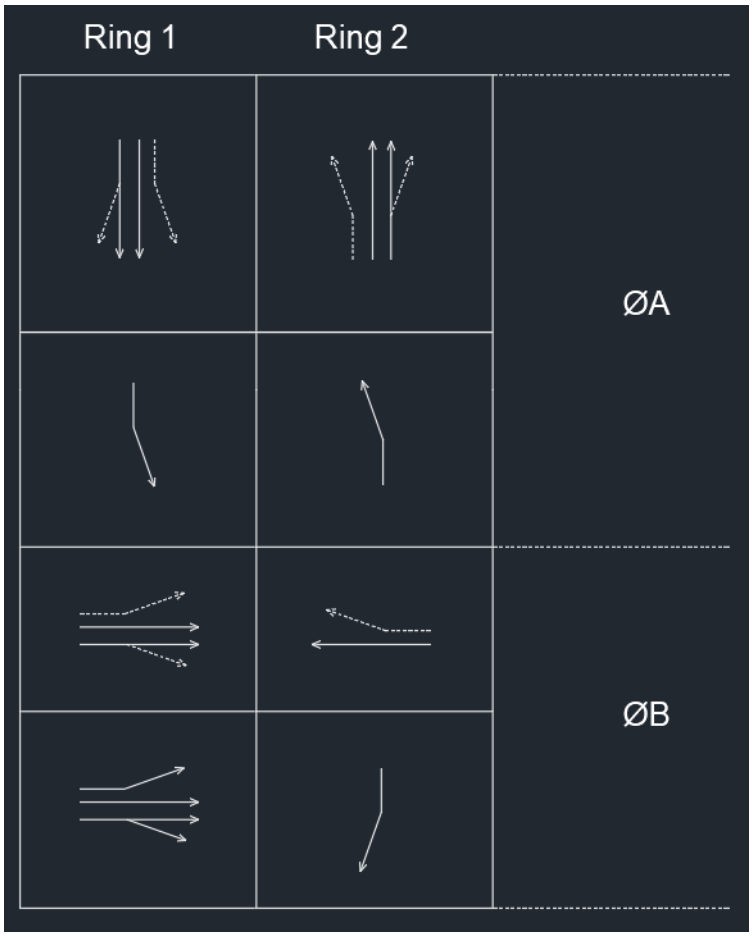
Phase dijagram prikazuje sve kretnje koje se dogode unutar jedne faze te ih zajedno smješta u jedan blok dijagrama.



Slika 16. Phase dijagram

Ring dijagram prikazuje koje su kretnje prikazane kojim ″krugom″ u signalnoj kontroli. Generalno gledano, u signalnoj kontroli ″krug″ predstavlja jednu grupu signalnih faza.

U phase dijagramu dva suprotna toka kretanja bit će prikazana u jednom bloku phase dijagrama, dok će u ring dijagramu svaki tok kretanja biti prikazan odvojeno unutar svog bloka ring dijagrama.



Slika 17. Ring dijagram

3.4 Saturation Headway i Start Up-Lost Time

Saturation headway ili u prijevodu idealno zasićeno vrijeme slijeda definira se kao prosječna vrijednost slijeda vremena od petog do zadnjeg vozila u koloni po traku prije početka zelene faze ili do pojave vozila koje nije osobno (autobus, kamion, ...). Ako vozilo potroši ´h` sekundi zelenog svijetla i pod pretpostavkom da je na semaforu stalno zeleno svijetlo tada možemo reći da tokom jednog sata u raskrižje može ući `s´ vozila. Zato ovom definicijom možemo definirati saturation flow rate koji glasi:

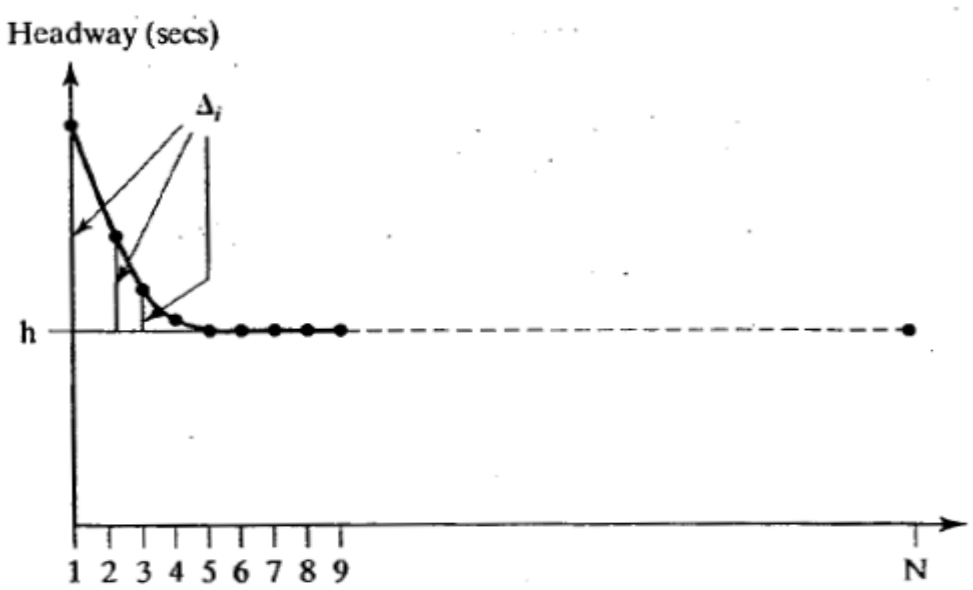
$$S = \frac{3600}{h} \quad (3.1)$$

S – saturation flow rate, broj vozila tokom zelene faze po jednom traku

h – zasićeno vrijeme slijeda (sek/voz)

Povećanjem broja trakova za određeni manevar kretanja omogućavamo da pojedini privoz ima veći kapacitet vozila u jednom satu. Saturation flow rate zapravo predstavlja broj vozila po traku/trakovima u idealnom slučaju da imamo stalno upaljeno zeleno svijetlo na semaforu.

Prosječno zasićeno vrijeme slijeda po vozilu u pravilu je veće od 'h' sekundi. Prva četiri vremena vozila su uvijek veća od 'h' sekundi što je i zorno vidljivo na grafu (slika.18) gdje je N broj vozila u koloni a Δi predstavlja vrijeme potrebno svakom sljedećem vozilu da prijeđe stop liniju.



Slika 18. Graf ovisnosti zasićenog vremena slijeda i broja vozila u koloni

Iz grafa je vidljivo da su prva četiri vremena i najveća jer uključuju i samu reakciju vozača na pojavu zelenog svjetla na semaforu. Što je broj vozila u koloni veći, to će preostala vremena biti sve konstantnija. Kada se međusobno zbroje sva vremena Δi, dobije se početno izgubljeno vrijeme (Start-Up Lost Time) koje se definira kao:

$$l_1 = \Sigma i * \Delta i \quad (3.2)$$

l_1 – Start-Up Lost Time (sek/faza)

Δi – vremenski razmak (iznad 'h' sekundi) za vozila (sek)

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

Za proračun Saturation Headway-a i Start-Up Lost Time-a uzeto je razdoblje od 7:30 – 7:45 sati. U tom 15-minutnom intervalu zabilježeno je 10 punih ciklusa semafora. Pomoću tih 10 ciklusa dobivene su prosječne vrijednosti parametara. Parametri su se računali na svakom od privoza samo za srednje trake za kretanje pravo pošto je to kretanje najmjerodavnije.

Na privozu Q4 nije mjeren Start-Up Lost Time i Saturation Headway zbog toga što na tom privozu ne postoji traka isključivo za kretanje ravno pa samim time proračun tih parametara ne bi dao relevantne vrijednosti. Prikaz dobivenih parametara prikazani su na slikama od 20.-22.

SH	saturation headway	sek
SULT	start-up lost time	sek

Slika 19. Legenda izmjerenih parametara

	SMJER Q1	
Manevar kretanja	SH	SULT
NAPRIJED	0,97	3,1

Slika 20. Prosječne izmjerene vrijednost za smjer Q1

	SMJER Q2	
Manevar kretanja	SH	SULT
NAPRIJED (1.trak)	1,25	5,48
NAPRIJED (2.trak)	1,23	4,3

Slika 21. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q2

	SMJER Q3	
Manevar kretanja	SH	SULT
NAPRIJED	1,65	4,93

Slika 22. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q3

3.4 Određivanje žutog i sve crvenog svjetla

Žuto svijetlo predstavlja tranziciju između zelenog i crvenog intervala na semaforu unutar svake faze. Sve crveno predstavlja period unutar kojeg svaka faza na semaforu pokazuje crveno svjetlo. Detaljnije i podobrnije objašnjenje ovih dvaju pojmova dano je u poglavlju 2.3 –Faze signalizacije semaforskog uređaja- pod pojmovima interval promjene i interval pražnjenja.

Interval trajanja žutog svjetla na semaforu određuje se prema izrazu:

$$y = t + \frac{1.47 * S_{85}}{2a + (64.4 * 0.01G)} \quad (3.3)$$; gdje je:

y – trajanje žutog intervala (sek)

t – vrijeme reakcije vozača (sek)

S_{85} – brzina kojom se kreće 85% vozila kroz raskrižje (m/s)

a – usporavanje vozila (m/s^2)

G – uzdužni nagib u %

19,62 – dvostruka vrijednost ubrzanja uzrokovanog gravitacijom koje iznosi 9,81 m/sek^2

Interval trajanja sve crvenog svjetla određuje se prema izrazima:

- **za slučajeve kada nema pješačkog prometa**

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

- **za slučajeve u kojem je značajan broj pješačkog prometa**

$$\text{ar} = \frac{P+L}{1.47*S_{15}} \quad (3.5)$$

- **za slučajeve u kojima postoji barem nekakav pješački promet**

$$\text{ar} = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47*S_{15}}\right), \left(\frac{P+L}{1.47*S_{15}}\right)\right] \quad (3.6)$$

ar – vrijeme sve crvenog svijetla (sek)

W – udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenije

konfliktne trake (m)

P – udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenijeg pješačkog prijelaza (m)

L – duljina standardnog vozila, u praksi se uzima duljina između 5-6 metara

S_{15} – brzina vozila kojom se kreće 15% vozila kroz raskrižje (m/s)

Kako bi osigurali optimalnu sigurnost, izrazi za žuti i sve crveni interval koriste različite brzine: S_{85} i S_{15}- brzine kojima se kreće 85% i 15% vozila kroz raskrižje. Ako nam je poznata prosječna nadolazeća brzina vozila, tada ove izraze definiramo:

S_{15}= S – 5 (m/s) (3.7)

S_{85}= S + 5 (m/s) (3.8)

S – prosječna nadolazeća brzina (m/s)

Tamo gdje se nadolazeća brzina ne mjeri i gdje ne postoji ograničenje brzine, prilikom određivanja žutog i sve crvenog intervala, upotrijebiti će se ista vrijednost brzine što načelno u praksi i nije sretno rješenje.

Kod ovakvog slučaja, vozaču neće biti ponuđena tzv. "zona dileme" koja se javlja kada različita duljina intervala promjene i intervala pražnjenja nije dovoljna vozaču da se sigurno zaustavi kad je već žuto na semaforu.

Na promatranom raskrižju pomoću prethodno opisanih načina određeni su intervali žutog i sve crvenog svjetla. Potrebni podatci za izračun intervala žutog svjetla su:

t =1 s ; S_{85}= 12,5 m/s ; a = 3 m/s^2 ; G= +2,5%

$$y = t + \frac{1.47*S_{85}}{2a+(19{,}62*0.01G)} = 1 + \frac{1.47*12{,}5}{2*3+(19{,}62*0.01*2.5)} = 2{,}68 \text{ sek}$$

Sve crveno svjetlo, zbog slučaja u kojem postoji barem nekakav pješački promet odrediti ćemo prema izrazu:

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

Potrebni podatci su: W=42 metra i P= 36 metara. Duljina standardnog vozila je 5 metara dok je S_{15}=9,7 m/s.

$$ar = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47*S_{15}}\right), \left(\frac{P}{1.47*S_{15}}\right)\right] = \max\left[\left(\frac{42+5}{1.47*9{,}7}\right), \left(\frac{36}{1.47*9{,}7}\right)\right] = \max(3{,}29 ; 2{,}52) = 3{,}29 \text{ sek}$$

3.5 Određivanje potrebnog vremena za pješake

Nakon što smo izračunali potrebna signalna vremena za vozila, sada isto to moramo napraviti i za pješake. Prometni signal trebao bi osigurati dovoljno vremena za siguran prolazak pješaka pješačkim prijelazom te adekvatan interval promjene i interval pražnjenja koji ovisi o brzini prolaska pješaka kroz raskrižje. Problem nastaje zbog toga što se vremena prolaska pješaka i vozila kroz raskrižje bitno razlikuju.

Za primjer ćemo uzeti križanje dviju cesta bitno različitog prometnog opterećenja, primjerice bitne gradske ceste i manje ulice. Prometni zahtjevi vozača na cesti većeg prometnog opterećenja su zasigurno veći i intezivniji od onih na cesti sa manjim opterećenjem. A to je upravo suprotno od onoga što promet pješaka zahtjeva. Za vrijeme kraćeg prometnog zelenog svijetla, pješaci moraju prijeći dužu ulicu, a za vrijeme dužeg prometnog svijetla kraću ulicu. Pješaci zahtijevaju duže trajanje zelenog svjetla za vrijeme kraćeg prometnog zelenog svijetla i obrnuto.

Kako bi se riješio taj problem, predloženi su izrazi za izračun minimalno potrebnog trajanja zelenog svjetla za pješake:

$$Gp = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e} \right) + \left(\frac{L}{S_p}\right), \text{ za } W_e > 3m \quad (3.9)$$

$$Gp = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e} \right) + \left(\frac{L}{S_p}\right), \text{ za } W_e \leq 3m \quad (3.10)$$

Gp – minimalno potrebno trajanje zelenog svijetla za pješake (s)

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

We – širina pješačkog prijelaza (m)

L – duljina pješačkog prijelaza (m)

Sp – prosječna brzina pješaka (m/s)

U prethodno navedenim jednadžbama, vrijeme od 3.2 sekunde predstavlja minimum start-up time za pješake. Ako pješak počne prelaziti ulicu na kraju ovog perioda, onda on zahtijeva dodatno vrijeme

(L/S_p) kako bi sigurno prošao ulicom. Drugi dio jednadžbe (L/S_p) zapravo predstavlja dodatni start-up time za pješake koji se bazira na volumenu pješaka koji trebaju proći ulicom. U konačnici ova jednadžba osigurava minimalno potrebno zeleno svijetlo za pješake (WALK indication):

$$WALK_{min} = 3.2 + (2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}) \text{ za } W_e > 3m \quad (3.11)$$

$$WALK_{min} = 3.2 + (0,27 * N_{ped}) \text{ za } W_e \leq 3m \quad (3.12)$$

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 zeleno svijetlo za vozače traje dulje od potrebnog.

S obzirom da je na promatranom raskrižju širina pješačkog prijelaza na svim privozima $W_e > 3m$ vrijeme minimalno potrebno za prelazak pješaka te minimalno potrebno zeleno svjetlo za pješake odrediti ćemo prema izrazima 3.9 i 3.11. Proračun je proveden posebno za smjerove Q1,Q3 te za smjerove Q2 i Q4.

<u>Smjer Q1</u>

$N_{ped} = 3$, We = 4 m, L = 17 m, Sp = 1,2 m/s

$$Gp = 3.2 + (2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}) + (\frac{L}{S_p}) = 3.2 + (2.7 * \frac{3}{4}) + (\frac{17}{1,2}) = 19,39 \text{ s}$$

$$WALK_{min} = 3.2 + (2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}) = 3.2 + (2.7 * \frac{3}{4}) = 4,41 \text{ s}$$

Smjerovi Q2 i Q4

N_{ped} = 6, We = 4,5 m, L = 16 m, Sp = 1,2 m/s

$$Gp = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{6}{4,5}\right) + \left(\frac{16}{1,2}\right) = 20,13 \text{ s}$$

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{6}{4,5}\right) = 6,8 \text{ s}$$

Smjer Q3

N_{ped} = 3, We = 5,5 m, L = 17 m, Sp = 1,2 m/s

$$Gp = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{3}{5,5}\right) + \left(\frac{17}{1,2}\right) = 18,84 \text{ s}$$

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_e}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{3}{5,5}\right) = 4,67 \text{ s}$$

Reference:

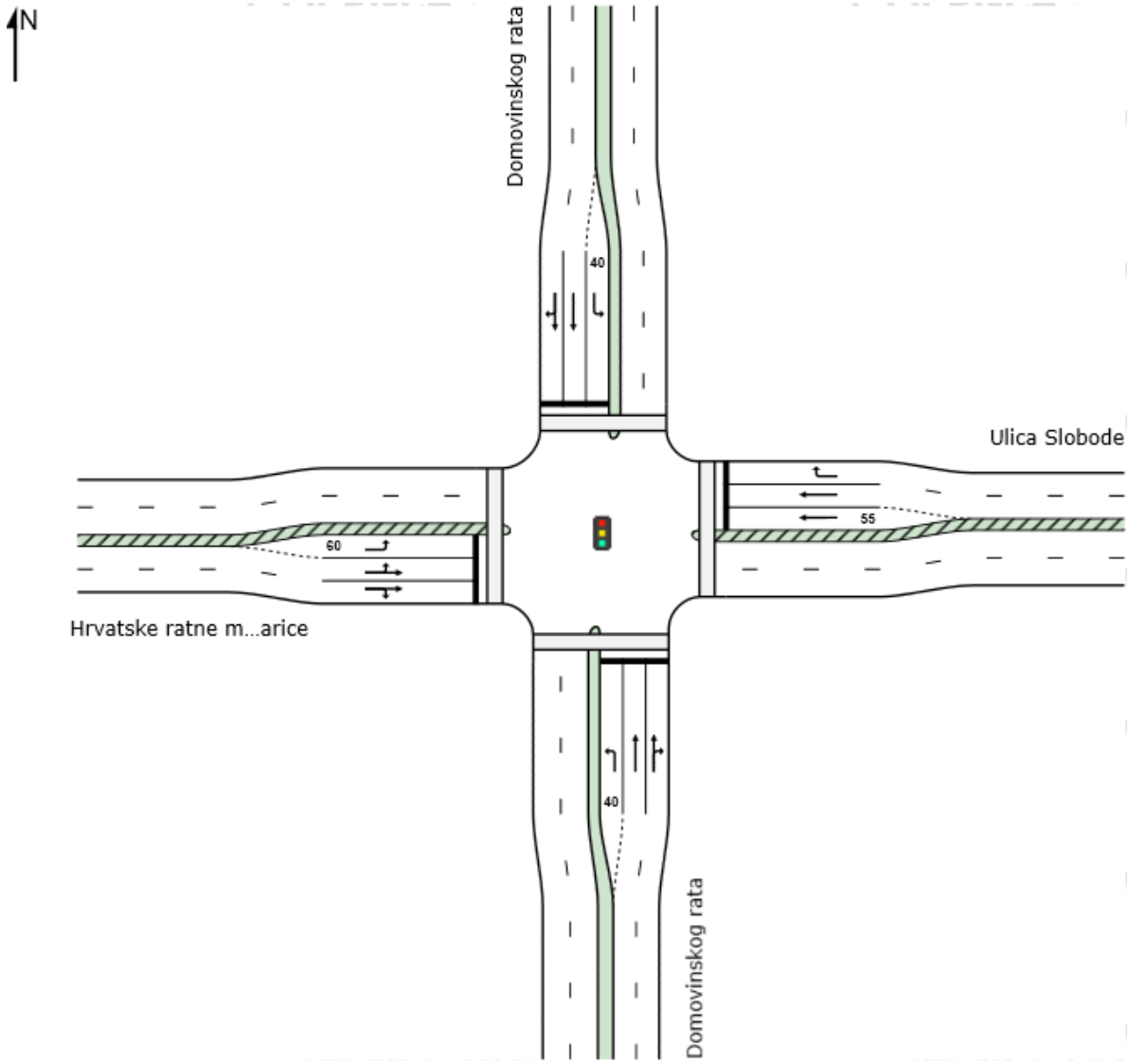
1.) Traffic engineering – Fourth edition (Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane)

2.) Sidra Intersection 8

3.) Microsoft Excel, AutoCad Civil 3D, Google Maps

4. Software-ska analiza

Analiza je provedena u software-skom programu SIDRA. Prvi korak predstavlja definiranje same geometrije raskrižja (broj trakova, širine trakove, moguće kretnje iz pojedinih trakova, postojanje prometnih otoka, definiranje pješačkih prijelaza,...) kao što je prikazano na slici



Slika 23. Izgled analiziranog raskrižja u software-u SIDRA

Nakon što smo definirali samu geometriju raskrižja, provesti ćemo analizu samog prometa na raskrižju pomoću programa SIDRA. Prva varijanta analize će biti analiza sa podatcima izmjerenima na licu mjesta (default-ne vrijednosti). Sveukupno ćemo napraviti 5 varijanti sa različitim parametrima kako bi ustanovili najkritičnije parametre i vrijednosti potrebne za funkcioniranje raskrižja.

4.1 Prva varijanta: Postojeće stanje

U prvoj varijanti unešeni su podaci o količini prometa na svakom privozu unutar raskrižja, broj pješaka koji je prošao raskrižjem kao i postojeće vremensko trajanje pojedine faze semafora unutar ciklusa.

Količina prometa je dobivena na način da se broj vozila sumirao po 15-minutnim intervalima. Interval s najvećom količinom prometa se pomnoži s 4 te podjeli sa ukupnim brojem vozila koji je prošao raskrižje kako bi se dobio **faktor vršnog sata (PHF)**.

PHF(faktor vršnog sata)		Smjer Q1	Smjer Q2	Smjer Q3	Smjer Q4	Ukupan broj vozila po kvartalu
1. kvartal	7:30- 7:45	241	137	105	224	707
2.kvartal	7:45 - 8:00	246	152	87	219	704
3.kvartal	8:00 - 8:15	203	128	98	222	651
4.kvartal	8:15 - 8:30	242	136	72	225	675
					Suma svih vozila:	2737

Slika 24. Prikaz broja vozila po intervalima

$$PHF = \frac{V_{60}}{4 * V_{15max}} = \frac{2737}{4 * 707} * 100\ \% = 96{,}78\ \%$$

Također je izračunat i postotak teških teretnih vozila te je i on unešen u proračun (slike 21.-24.)

Volume Data Settings for Site

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)	108	604	220
Light Vehicles (%) *	96 %	91 %	95 %
Heavy Vehicles (%)	4 %	9 %	5 %
Input Check	OK	OK	OK

* LV (%) values are calculated from other volumes specified

Slika 25. Smjer Q1

Volume Data Settings for Site

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:	W	N
	T1	R2
Total (veh)	449	104
Light Vehicles (%) *	98 %	95 %
Heavy Vehicles (%)	2 %	5 %
Input Check	OK	OK

* LV (%) values are calculated from other volumes specified

Slika 26. Smjer Q2

Volume Data Settings for Site

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)	43	290	29
Light Vehicles (%) *	86 %	89 %	97 %
Heavy Vehicles (%)	14 %	11 %	3 %
Input Check	OK	OK	OK

* LV (%) values are calculated from other volumes specified

Slika 27. Smjer Q3

Volume Data Settings for Site

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)	475	388	27
Light Vehicles (%) *	96 %	97 %	78 %
Heavy Vehicles (%)	4 %	3 %	22 %
Input Check	OK	OK	OK

* LV (%) values are calculated from other volumes specified

Slika 28. Smjer Q4

Količina pješaka je unesen na isti način kao i količina vozila, a brzina pješaka kroz raskrižje je po default-u uzeto 1,2 m/sec.

Volume Data

	Full Crossing
Movement ID	6P
Volume (Per 60 Minutes)	112 ped
Peak Flow Factor	92,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %

Slika 29. Smjer Q1

Volume Data

	Full Crossing
Movement ID	8P
Volume (Per 60 Minutes)	212 ped
Peak Flow Factor	92,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %

Slika 30. Smjer Q2

Volume Data

	Full Crossing
Movement ID	2P
Volume (Per 60 Minutes)	100 ped
Peak Flow Factor	92,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %

Slika 31. Smjer Q3

Volume Data

	Full Crossing
Movement ID	4P
Volume (Per 60 Minutes)	241 ped
Peak Flow Factor	92,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %

Slika 32. Smjer Q4

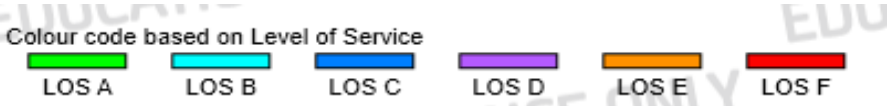
Kao što se može vidjeti iz priloženih slika, najveća količina pješaka se kreće pješačkim prijelazom na smjeru Q4 zbog toga što se u neposrednoj blizini nalazi trgovački centar, hoteli i sl.

Nakon što su određeni svi smjerovi kretanja vozila i pješaka te moguće konfliktne kretnje unutar raskrižja, dobiven je konačan izgled svih faza (slika 33.).

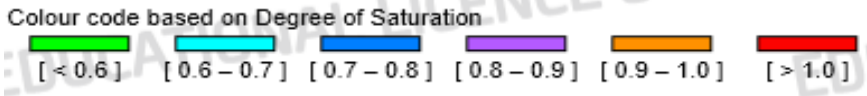


Slika 33. Prikaz svih faza ciklusa i mogućih kretnji unutar raskrižja

Nakon što smo unijeli sve potrebne parametre, software SIDRA nam je izbacio rezultate analize, od kojih ćemo mi uzeti u obzir samo one najbitnije. To su vrijeme zakašnjenja (slika 36.), stupanj zasićenosti (slika 37.) i razina usluge (slika 38.) Legende koje pokazuju ocjene rezultata prikazane su na slikama 34. i 35.

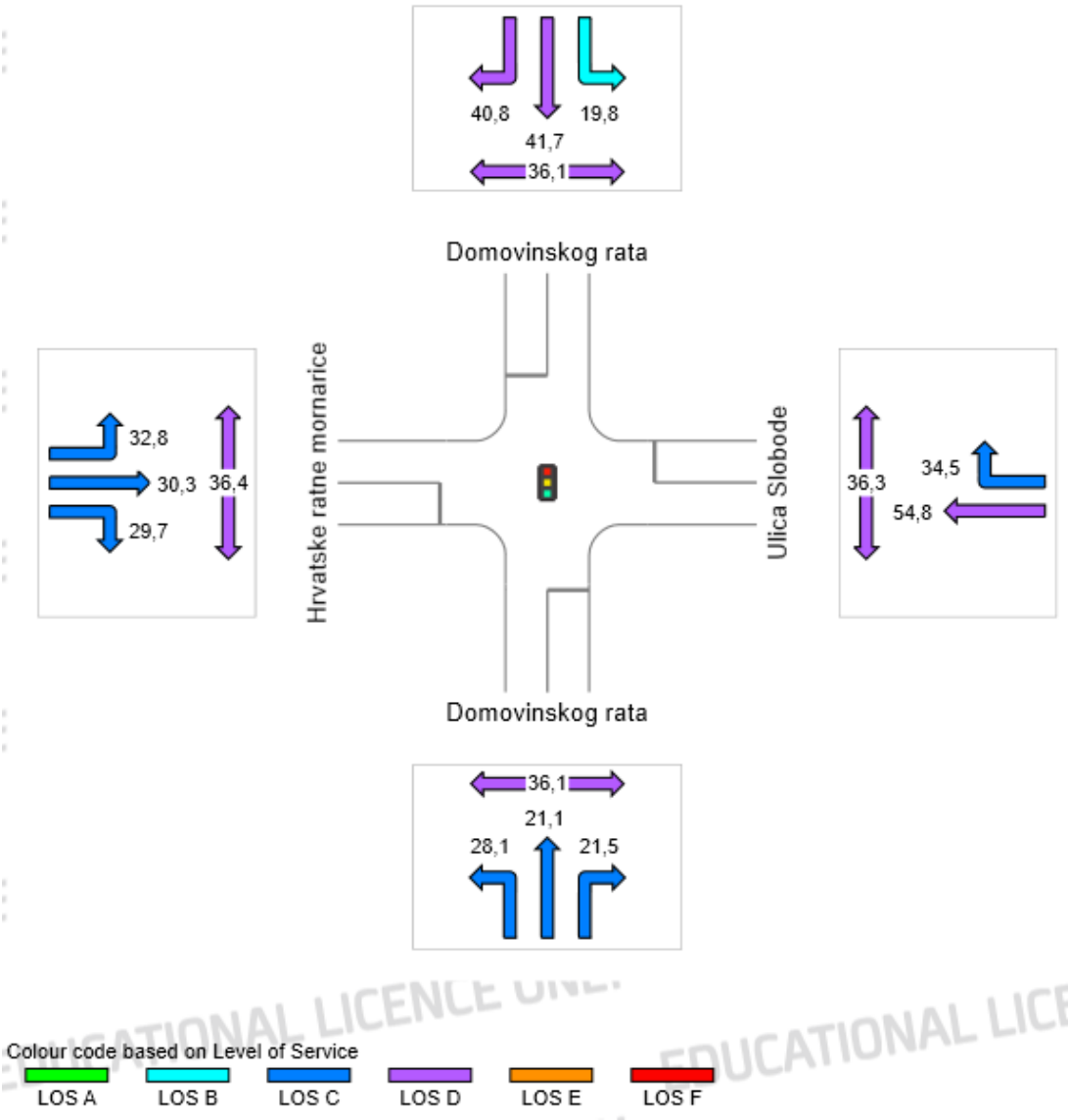


Slika 34. Ocjena rezultata za vrijeme zakašnjenja i razinu usluge



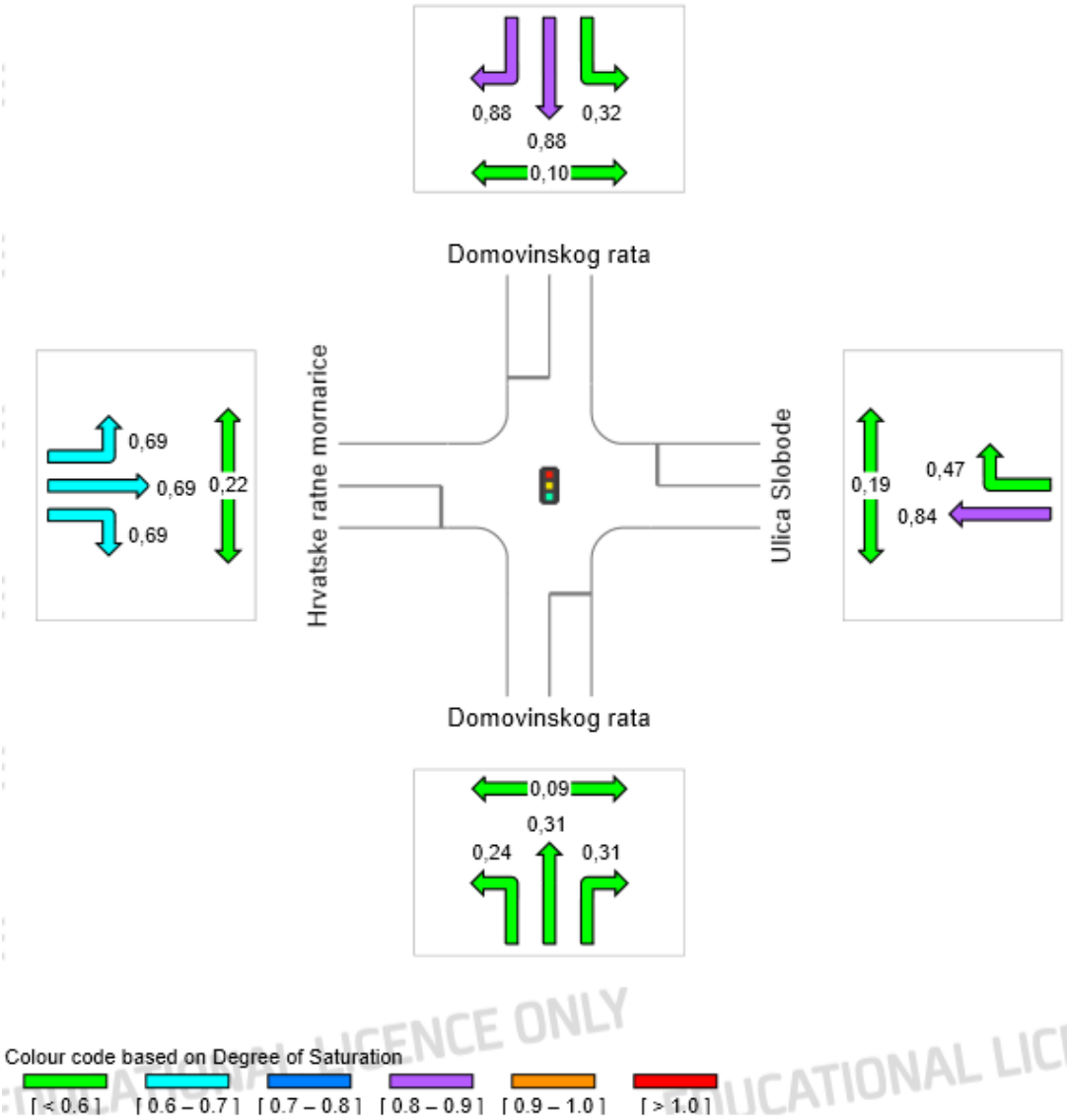
Slika 35. Ocjena rezultata za stupanj zasićenosti

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Delay (Control)	22,0	51,0	38,9	31,6	36,7
LOS	C	D	D	C	D

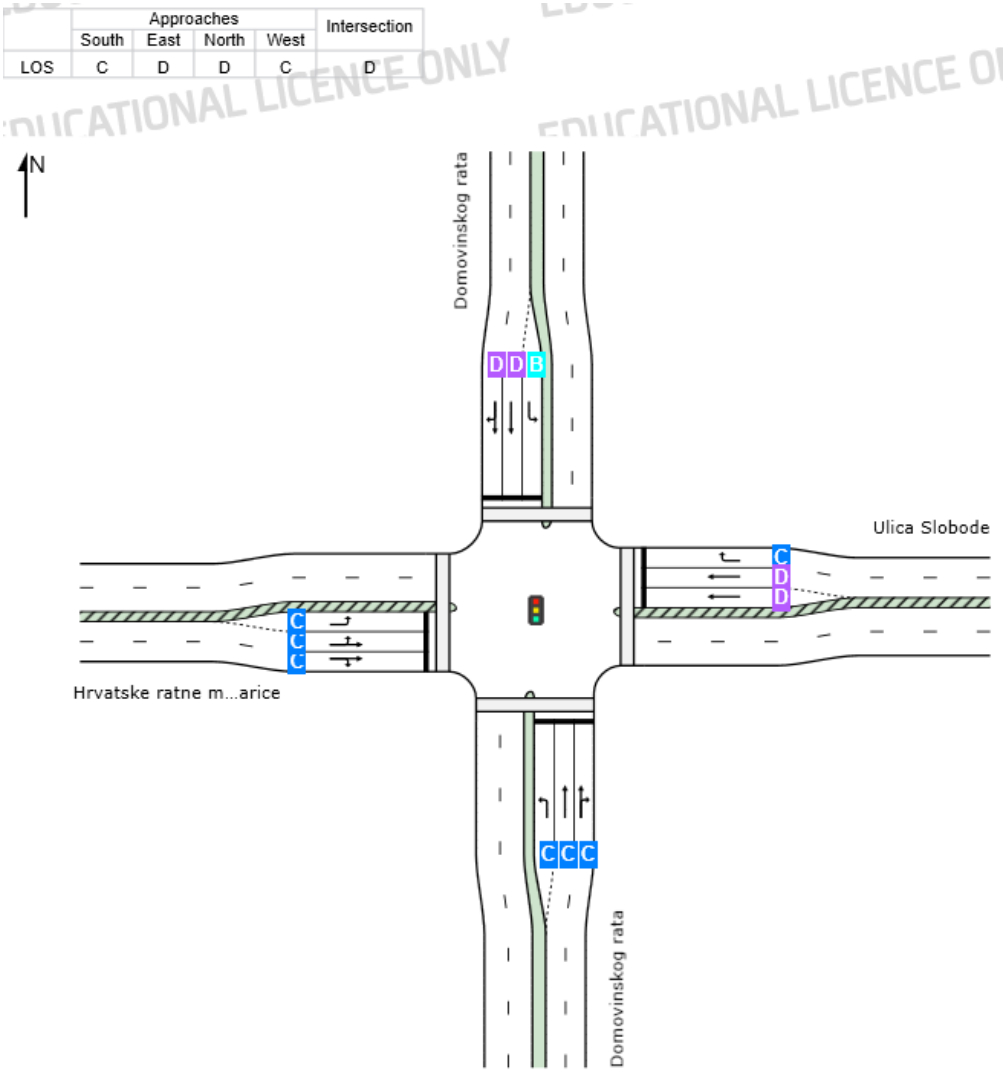


Slika 36. Vrijeme zakašnjenja za svaki trak

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Degree of Saturation	0,31	0,84	0,88	0,69	0,88



Slika 37. Stupanj zasićenosti za svaki trak



Slika 38. Razina usluge za svaki trak

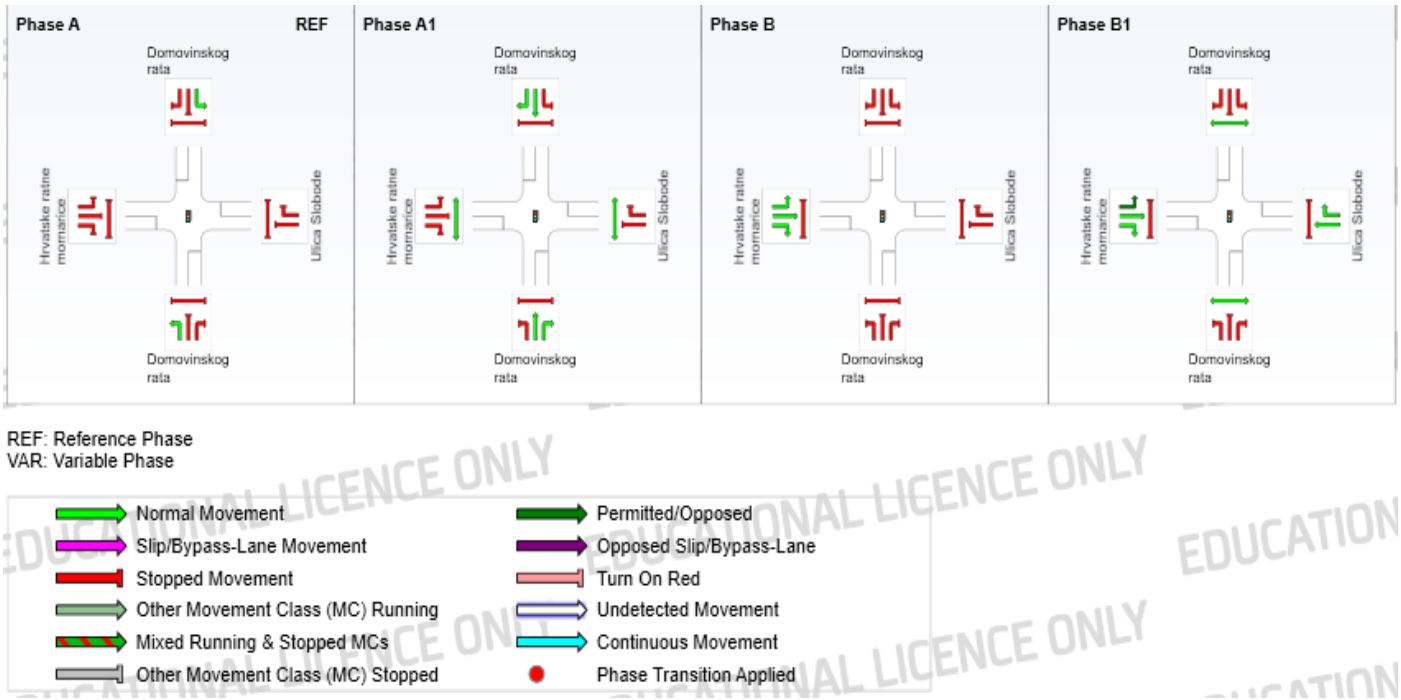
Može se primjetiti kako je vrijeme zakašnjenja na cijelom raskrižju srednje kvalitete (razina C i D) kao i na pješačkom prijelazu (razina D).Stupanj zasićenosti je na većini raskrižja izvrstan (razina A i B) dok je na nekolicini trakova nešto lošije kvalitete (razina D) i ide blizu rubne vrijednosti koja iznosi 1. Kad je stupanj zasićenosti (v/c) >1, to nije realno. To se događa zbog toga što su izbrojana samo ona vozila koja su prošla kroz raskrižje a ne i ona koja su ostala u raskrižju. Razina usluge se raspodjelila tako što je na dvama privozima razina usluge C a na ostatku raskrižja pretežito razina D.

U idućim varijantama nastojat će se poboljšat određeni rezultati tako što ćemo optimizirati rad semafora za različite načine rada i slijed faza.

4.2 Druga varijanta: Leading Left-turn Phasing

U drugoj varijanti koristi se leading left turn phasing uz genetsku optimizaciju rada semafora na način da će raskrižjem prvo prolaziti vozila iz zaštićene faza lijevog skretanja iz nasuprotnih smjerova pa tek onda vozila iz osnovne faze kretanja. Objašnjenje definicije vodeći lijevi skretači kao i svi ostali načini vođenja lijevih skretača koji će se analizirati u narednim varijantama detaljno je objašnjeno i skicama prikazano u poglavlju 2.6 –Načini vođenja lijevih skretača na raskrižju-.

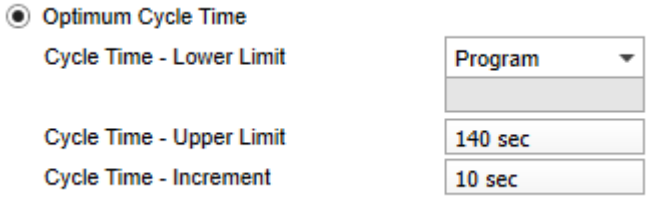
Kao što je spomenuto u prethodnom odlomku, promijenjen je redoslijed faza semafora kao što je prikazano na slici 39.



Slika 39. Prikaz svih faza ciklusa

i mogućih kretnji unutar raskrižja

U ovoj kao i u svim slijedećim varijantama nismo zadavali trajanje intervala promjene i pražnjenja kao i ukupno trajanje faza već smo u programu SIDRA optimizirali rad semafora tako što smo postavili u Optimum Cycle Time zadali gornju vrijednost ukupnog trajanja ciklusa a sam program će proračunati potrebno trajanje faza. U ovoj varijanti postavili smo gornju granicu na 140 sekundi, što je i prikazano na slici 40.



Slika 40. Gornja i donja vrijednost trajanja ciklusa

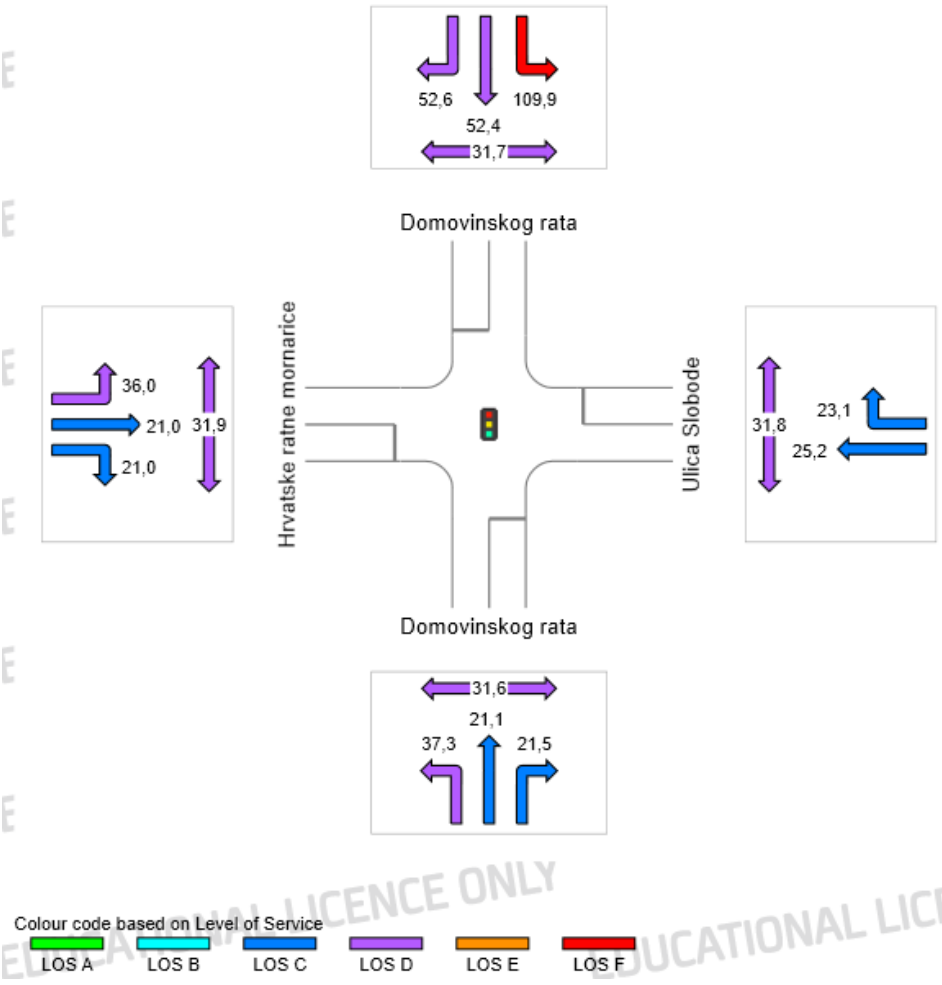
Programskim proračunom prikazati ćemo trajanje svake pojedine faze te ćemo analizirati dobiveno vrijeme zakašnjenja, stupanj zasićenosti (v/c) i razinu usluge za nove zadane parametre:

Phase Timing Summary

Phase	A	A1	B	B1
Phase Change Time (sec)	0	11	42	53
Green Time (sec)	6	26	6	22
Phase Time (sec)	11	31	11	27
Phase Split	14 %	39 %	14 %	34 %

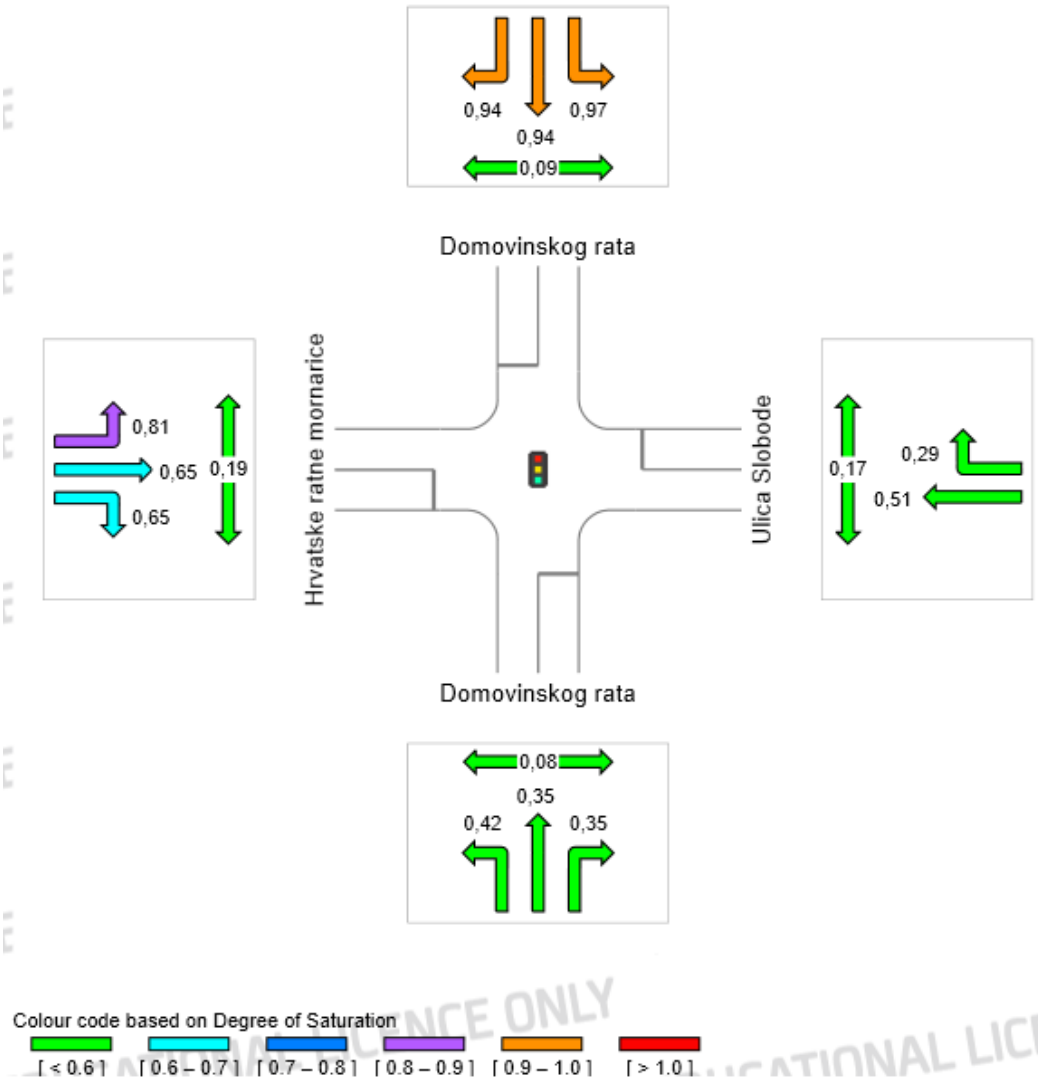
Slika 41. Trajanje svake pojedine faze u 2.varijanti

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Delay (Control)	23,1	24,8	59,1	29,0	37,6
LOS	C	C	E	C	D

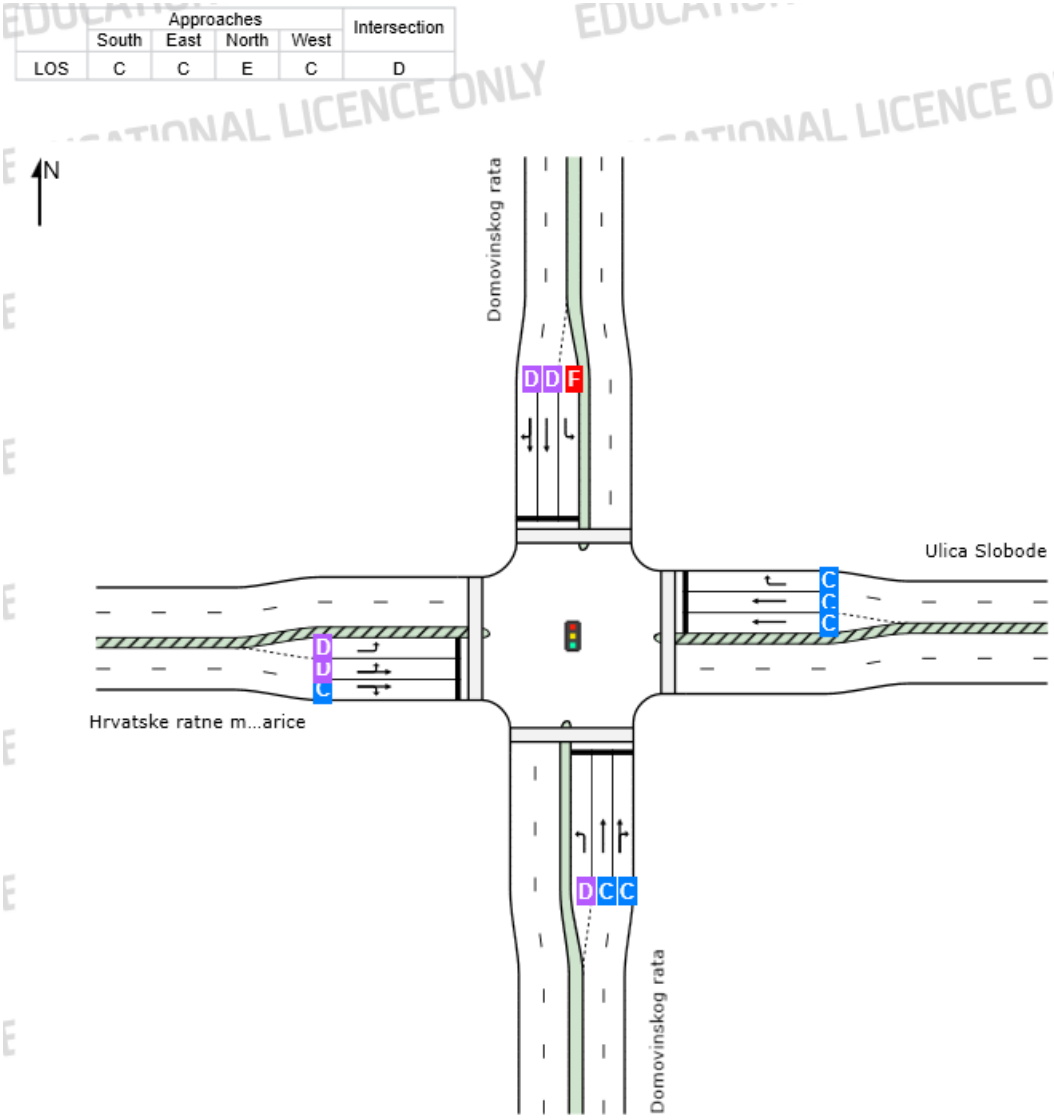


Slika 42. Vrijeme zakašnjenja za drugu varijantu

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Degree of Saturation	0,42	0,51	0,97	0,81	0,97



Slika 43. Stupanj zasićenosti za drugu varijantu



Slika 44. Razina usluge za drugu varijantu

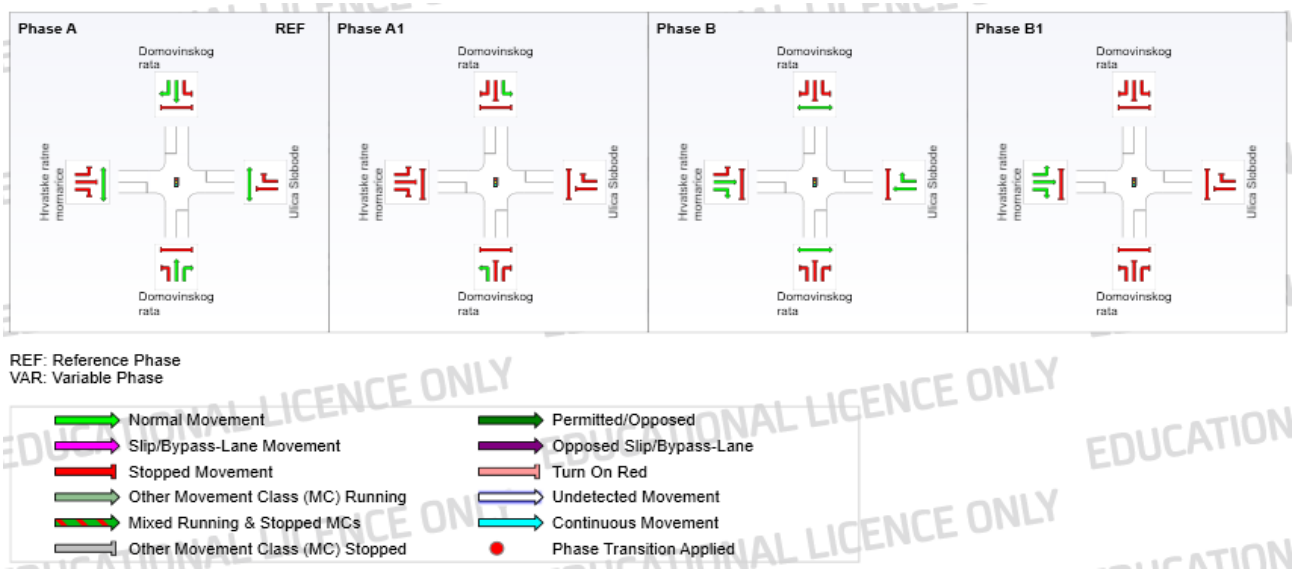
Dobiveni rezultati dali su srednju razinu usluge (razina C i D) za vrijeme zakašnjenja, jedino traka za lijevo skretanje iz privoza Q1 nam je dala najlošiju razinu usluge. To možemo opravdati većoj količini vozila koja idu ravno iz privoza Q3 pa vozila iz konfliktnog smjera gube dosta vremena dok sva vozila ne prođu raskrižjem. Ti rezultati bi se vjerovatno poboljšali promjenom karakteristika faze koja uključuje lijeve skretače iz Q1.

Stupanj zasićenosti je na većini raskrižja jako dobar dok je jedino na privozu Q1 vrlo blizu graničnim vrijednostima (0,94-0,97). To se događa zbog većeg priliva vozila koji ne stignu proći raskrižjem za vrijeme zelene faze pa svojim zaustavljanjem dodatno zasićuju tok a sam program uzima u obzir samo ona vozila koja su prošla raskrižjem, ne i ona koja su u njemu i ostala. Software je za zadane parametre odredio optimalno trajanje ciklusa od 80 sekundi.

Dobiveni rezultati vrlo su slični vrijednostima za postojeće stanje što u konačnici potkrepljuje činjenicu da je ovakva vrsta operacije dosta sigurna jer u glavnom smjeru nema dopuštenih lijevih skretanja. Međutim raspodjelom vremena pogoršava se razina usluge lijevog skretanja iz privoza Q1, Q3 i Q4 što je i jedna od najvećih mana ovog tipa vođenja lijevih skretača.

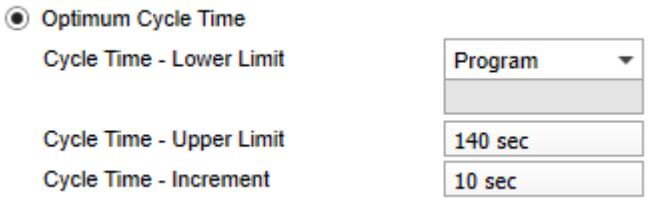
4.3 Treća varijanta: Lagging Left-turn Phasing

U trećoj varijanti promijeniti ćemo redoslijed faza tako što će prvo prednost prolaska imati osnovna faza kretanja pa tek onda faza dopunskih skretanja. Ciklus se sastoji od 4 faze: A, A1, B, B1. U fazi A dozvoljeno je kretanje vozilima koje se kreću ravno i desno iz privoza Q1 i Q3 te pješacima na privozu Q2 i Q4. Faza A1 je faza dopunskog lijevog skretanja iz privoza Q1 i Q3. U fazi B dozvoljeno je kretanje ravno i desno iz privoza Q2 i Q4 dok su u fazi B1 pored dopunskog skretanja lijevo dopušteni i svi ostali manevri kretanja na privozu Q4 zbog veće količine vozila koji dolaze iz smjera zapada. Ova faza se ne odnosi na Q2 zbog toga što je iz tog smjera zabranjeno skretanje lijevo. Prikaz svih faza i manevara kretanja prikazan je na slici 43.



Slika 45. Prikaz faza ciklusa u trećoj varijanti

Kao i u prethodnoj varijanti, donju vrijednost trajanja ciklusa software će na temelju zadanih parametara sam odrediti dok smo gornju granicu postavili na 140 sekundi.



Slika 46. Gornja i donja vrijednost trajanja ciklusa

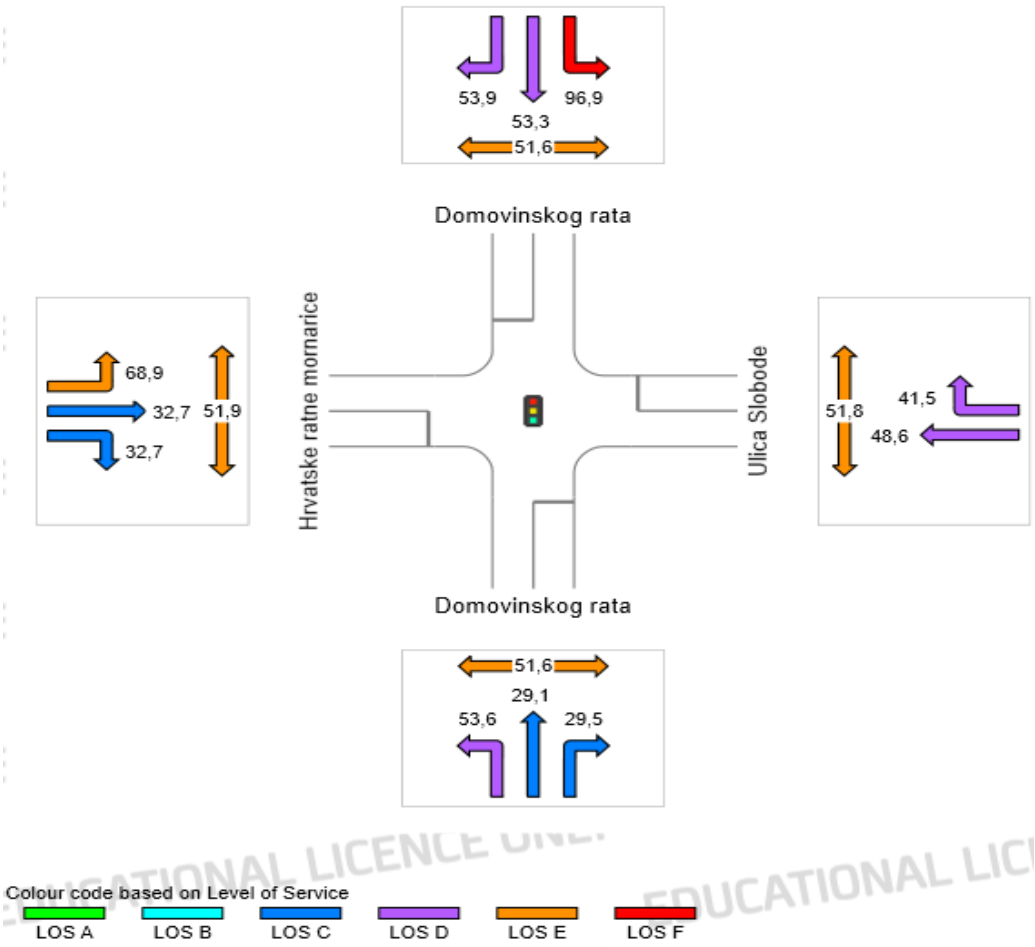
Programskim proračunom prikazati ćemo trajanje svake pojedine faze te ćemo analizirati dobiveno vrijeme zakašnjenja, stupanj zasićenosti (v/c) i razinu usluge za nove zadane parametre:

Phase Timing Summary

Phase	A	A1	B	B1
Phase Change Time (sec)	0	47	62	92
Green Time (sec)	42	10	25	23
Phase Time (sec)	47	15	30	28
Phase Split	39 %	13 %	25 %	23 %

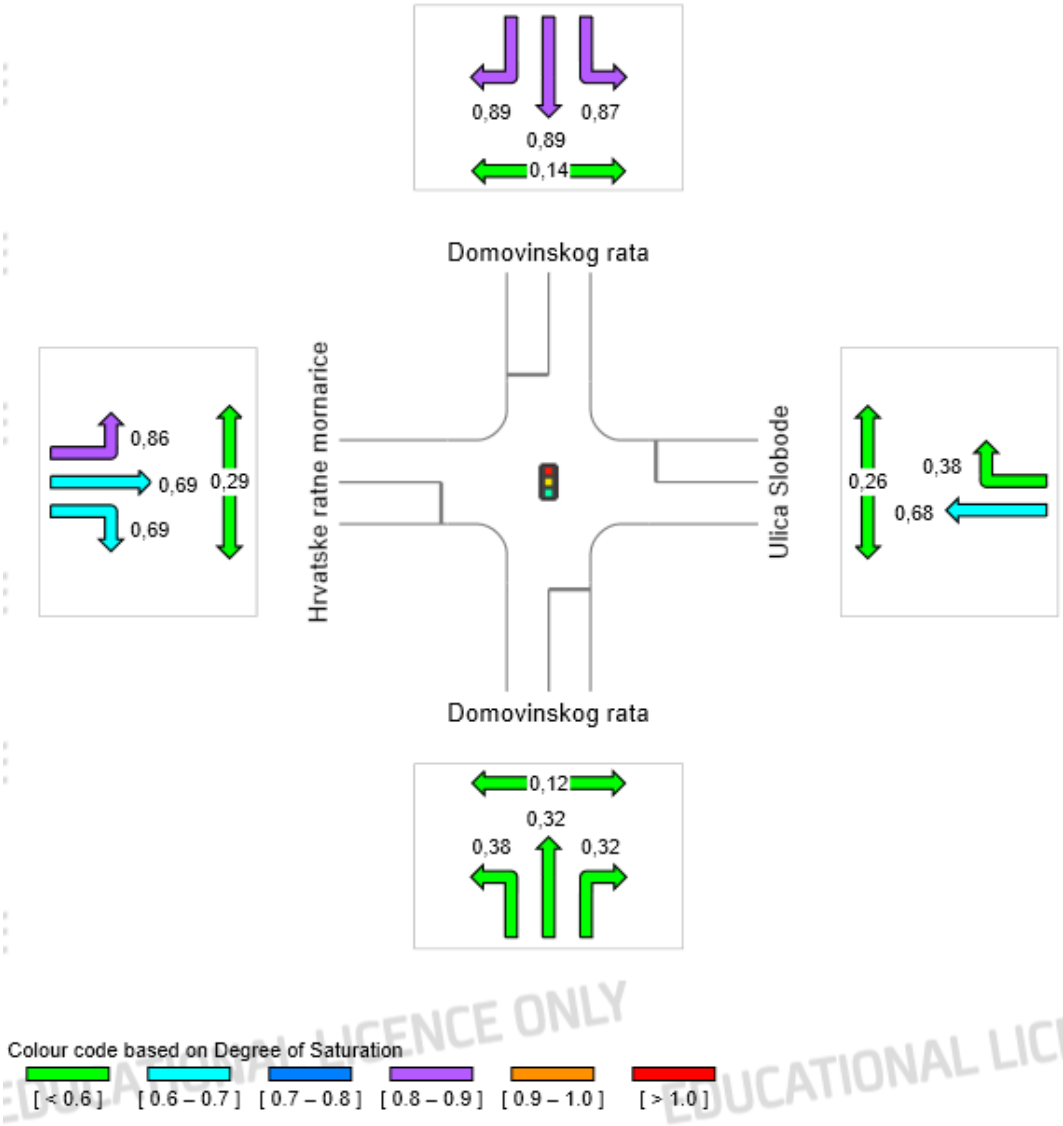
Slika 47. Trajanje svake pojedine faze u 3.varijanti

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Delay (Control)	32,0	47,3	58,5	52,0	50,6
LOS	C	D	E	D	D

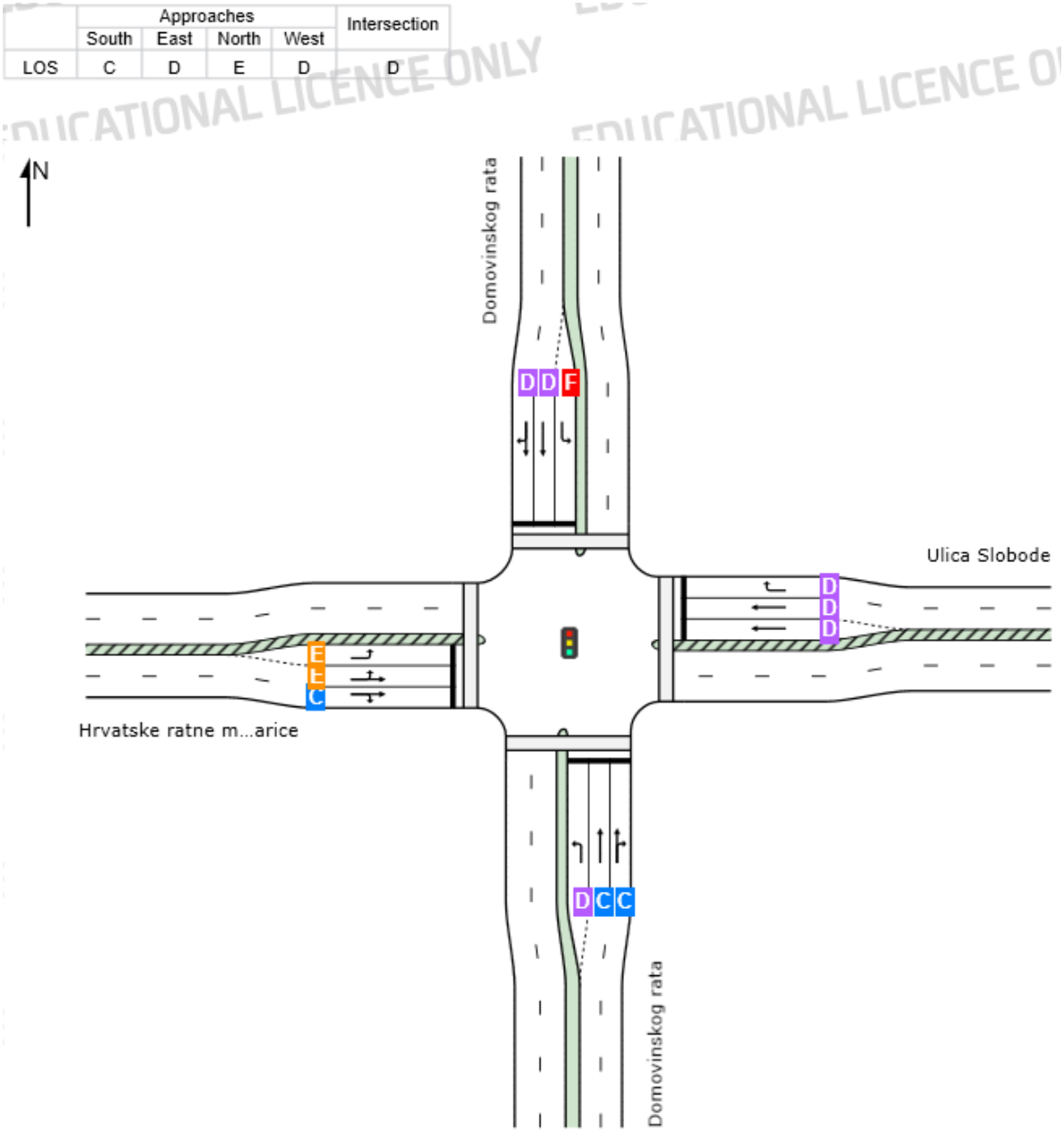


Slika 48. Vrijeme zakašnjenja za treću varijantu

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Degree of Saturation	0,38	0,68	0,89	0,86	0,89



Slika 49. Stupanj zasićenosti za treću varijantu



Slika 50. Razina usluge za treću varijantu

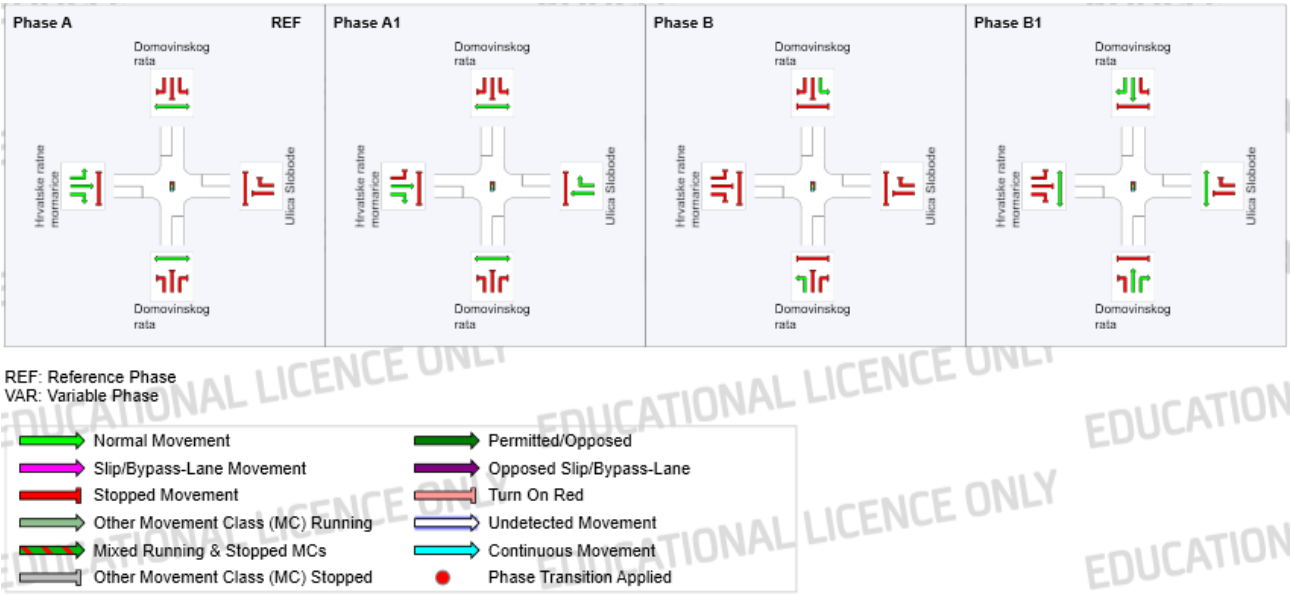
Usporedbom dobivenih rezultata sa rezultatima iz prethodne varijante, uočavamo neznatne promjene. Vrijeme zakašnjenja pješaka pogoršalo se i palo je za stepenicu niže (razina E). Stupanj zasićenosti se na jedinom privozu (Q1) na kojem nije davao dobre rezultate popravio na razinu D. Razina usluge se pogoršala na privozima Q2 i Q4 zbog toga što je sumirano na tim privozima došlo do povećanja vremena zakašnjenja. Optimalno trajanje ciklusa iznosi 120 sekundi.

Suprotno očekivanjima, ova varijanta nije baš pokazala pretjerano dobre rezultate s obzirom na vrlo čestu primjenu u usko raspoređenim presjecima kao što je i sam ovaj slučaj. Problem je i količine prometa i činjenice da dosta vozila posebice lijevih skretača na privozima Q1 i Q4 ne uspijevaju ući u raskrižje za vrijeme zelenog intervala pa time stvaraju kolone vozila i automatski dolazi do slabije protočnosti što je u konačnici i dovelo do lošije razine usluge.

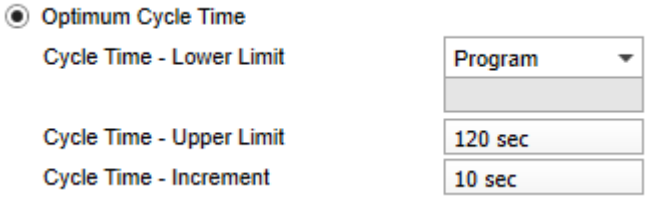
4.4 Četvrta varijanta: Lead-Lag Left-turn phasing

U ovoj varijanti proanalizirati ćemo kako će tip operacije tzv. vodećo-zaostajajućih lijevih skretača utjecati na poboljšanje ili eventualno pogoršanje kvalitete prometa na raskrižju. Osnovna ideja ovakve raspodjele faza je da se privozu u kojem cirkulira najveći broj vozila te njegovom nasuprotnom privozu omogući povećano trajanje faze radi što bolje protočnosti. Ciklus se opet sastoji od 4 faze: A, A1, B i B1. U fazi A pravo na kretanje imaju vozila iz privoza Q4 za sve manevre kretanja zbog povećanog prometa iz tog smjera. U fazi A1 pravo na kretanje imaju kretanja pravo i desno iz privoza Q2 i Q4. Faza B se odnosi na dopunske lijeve skretače iz privoza Q1 i Q3 dok u fazi B1 pravo na kretanje imaju manevri kretanja pravo i desno iz istih privoza. Prikaz svih faza i manevara kretanja prikazan je na slici 51.

Kao i u prethodnoj varijanti, donju vrijednost trajanja ciklusa software će na temelju zadanih parametara sam odrediti dok smo gornju granicu postavili na 120 sekundi.



Slika 51. Prikaz faza ciklusa u četvrtoj varijanti



Slika 52. Gornja i donja vrijednost trajanja ciklusa

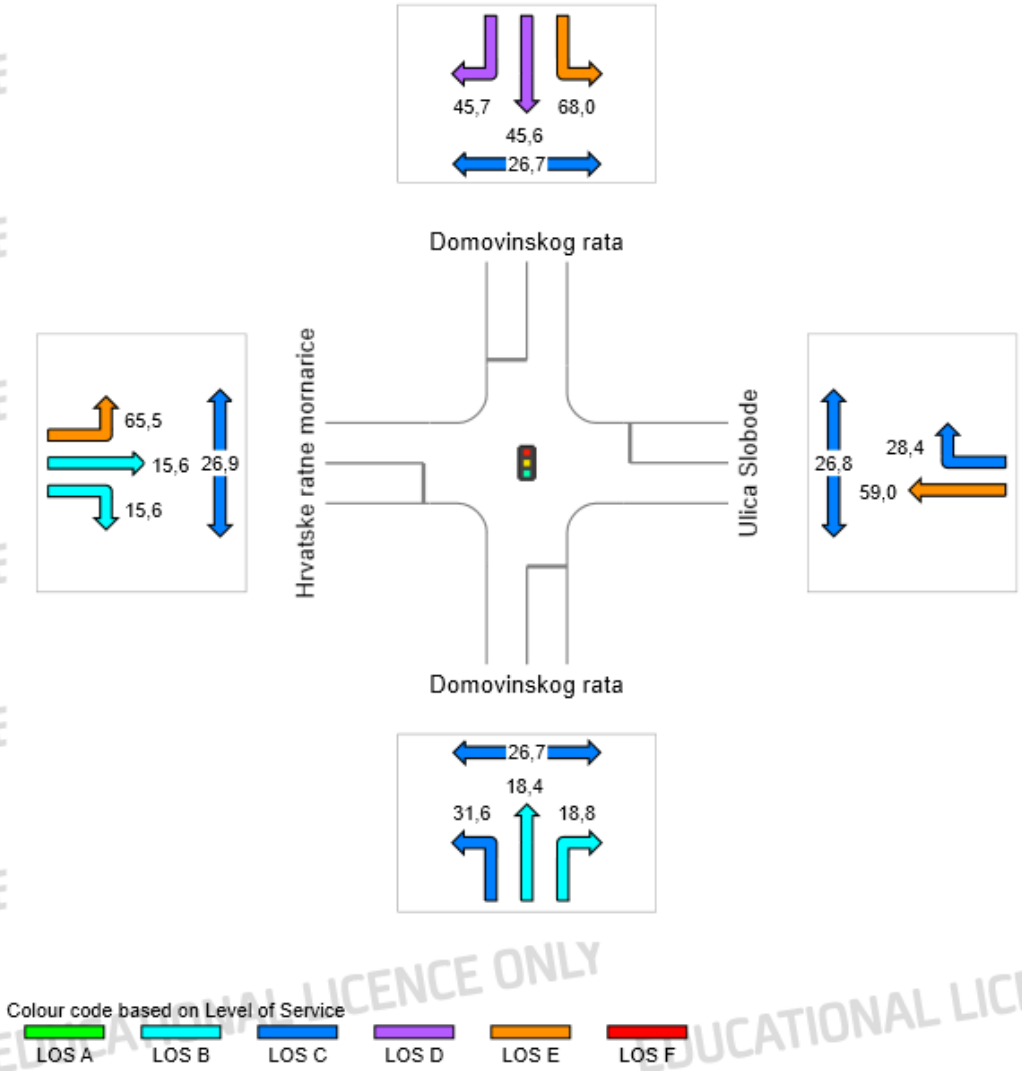
Phase Timing Summary

Phase	A	A1	B	B1
Phase Change Time (sec)	0	25	41	47
Green Time (sec)	20	11	6	23
Phase Time (sec)	25	11	6	28
Phase Split	36 %	16 %	9 %	40 %

Slika 53. Trajanje svake pojedine faze u 4.varijanti

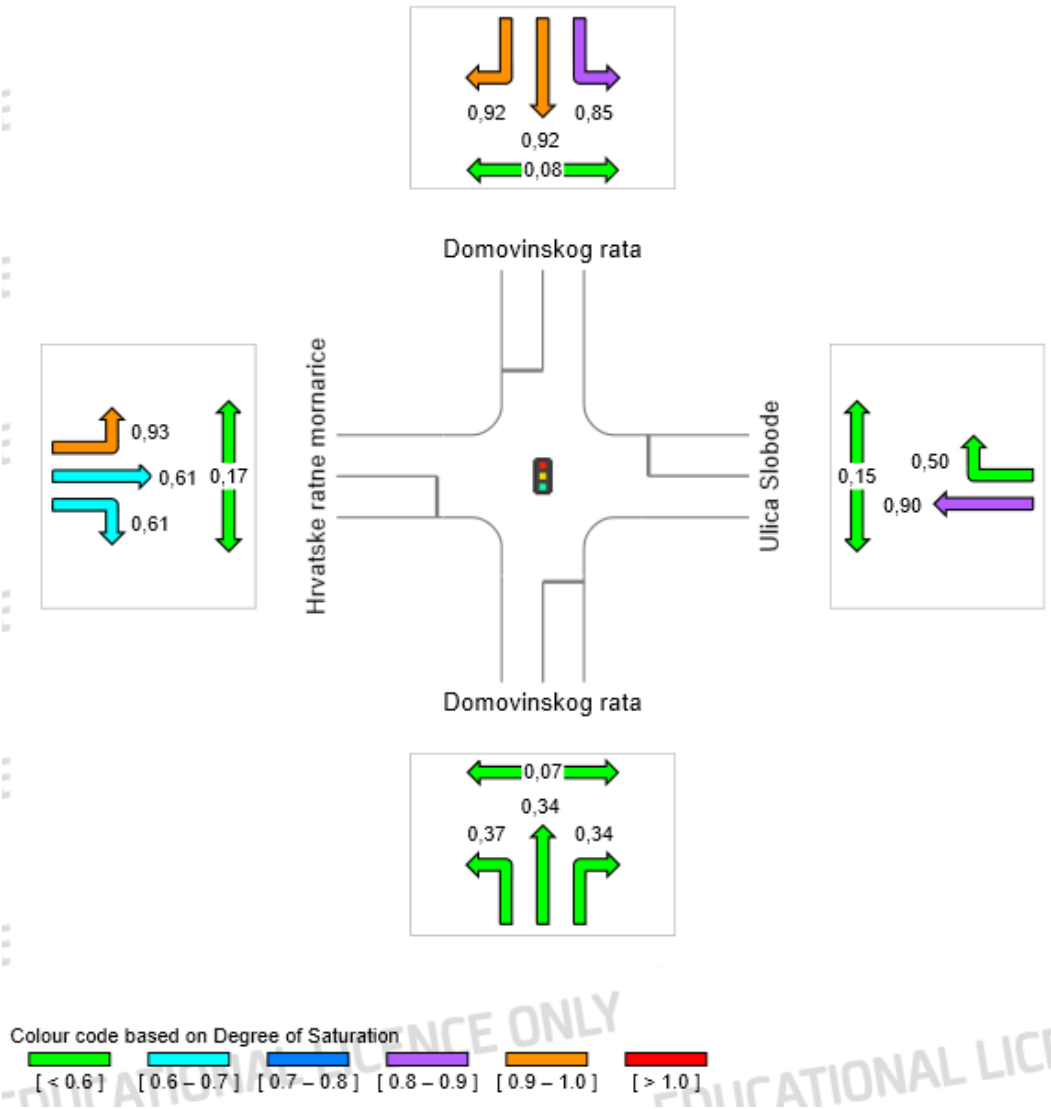
S prethodno zadanim parametrima, program nam je dao sljedeće rezultate:

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Delay (Control)	20,0	53,3	48,2	42,2	43,6
LOS	B	D	D	D	D

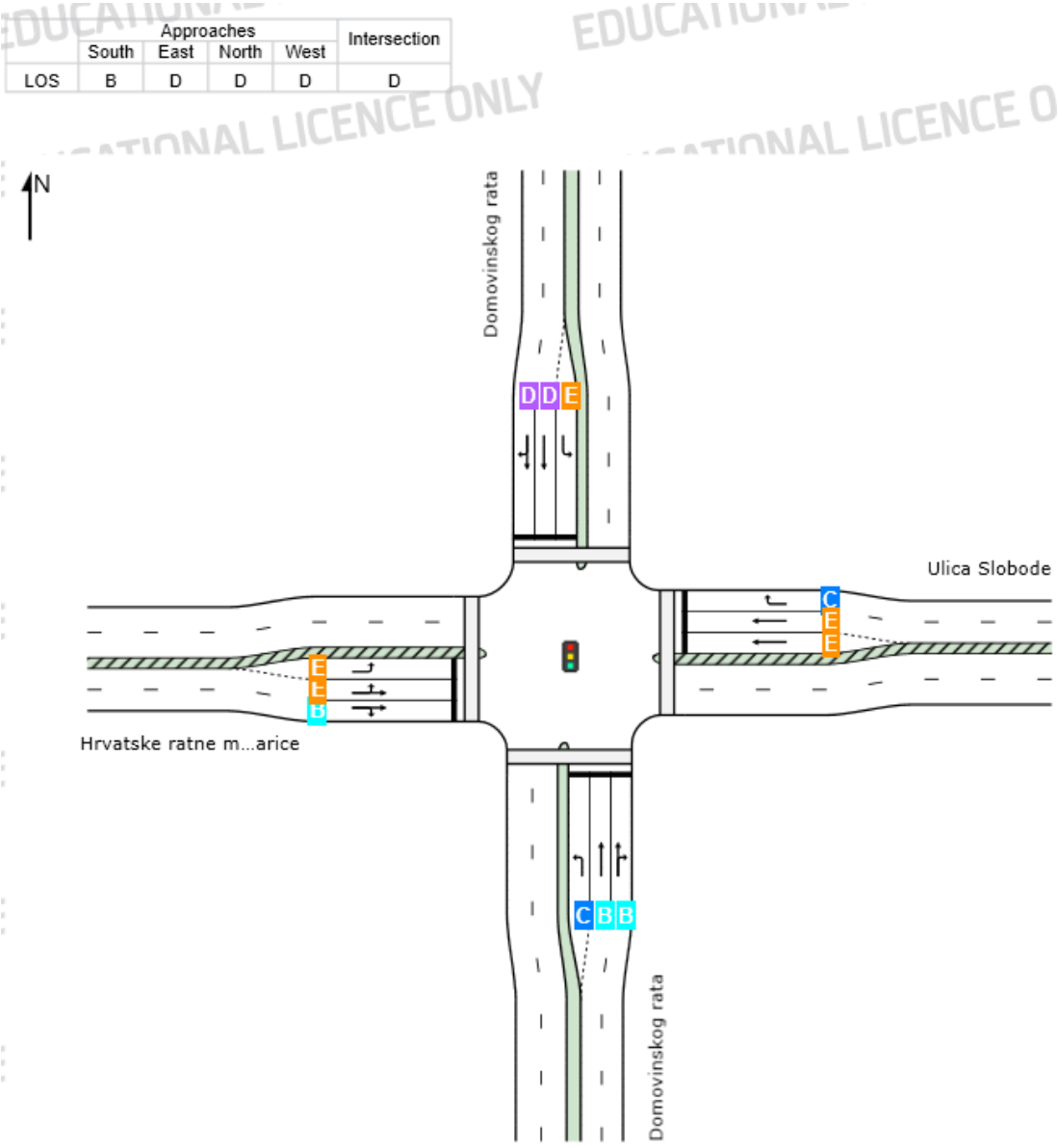


Slika 54. Vrijeme zakašnjenja za četvrtu varijantu

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Degree of Saturation	0,37	0,90	0,92	0,93	0,93



Slika 55. Stupanj zasićenosti za četvrtu varijantu



Slika 56. Razina usluge za četvrtu varijantu

Usporedbom rezultata sa rezultatima iz prethodne varijante, primjetno je kako su rezultati puno bolji. Vrijeme zakašnjenja se skoro na svim privozima značajno popravilo ili ostalo isto. Posebice veliko poboljšanje u zakašnjenju je vidljivo kod pješaka gdje je razina usluge skočila sa razine E na razinu C.

Što se tiče stupnja zasićenosti, on je ostao praktički nepromjenjen gledajući ga kroz prijašnje rezultate. Jedino značajno povećanje stupnja zasićenosti vidljivo u traci za kretanje pravo iz privoza Q2. Razlog tomu je što je software tu fazu u kojoj se nalazi ovaj manevar kretanja optimizirao na trajanje zelenog intervala od samo 11 sekundi što je manje i od trajanja po default-nim vrijednostima. Zbog toga se i razina usluge u toj traci smanjila na razinu niže dok se povećala na cijelom privozu Q3 i na lijevom skretanju u privozu Q1. Optimalno trajanje ciklusa iznosi 70 sekundi.

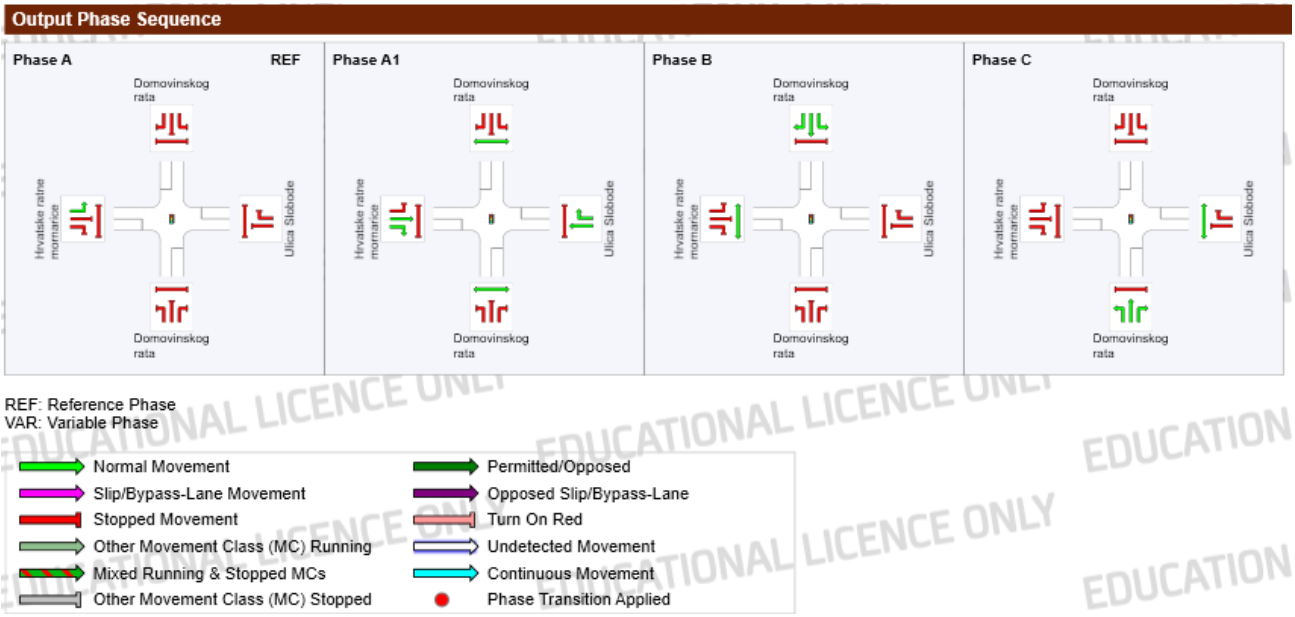
Ovakav način rada semafora i nije dao očekivana rješenja prvenstveno zbog loše razine usluge na najfrekventnijim privozima. Samim time, implementiranjem ovakvog rada semafora ne bi postigli zadovoljavajuću protočnost a time i sigurnost na nivou cijelog raskrižja.

4.5 Peta varijanta: Split Phasing

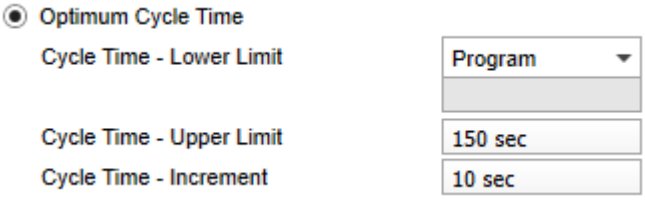
U ovoj varijanti prikazat ćemo funkcioniranje raskrižja kad je rad semafora optimiziran kroz faznu raspodjelu lijevih skretača. Karakteristika ovakvog tipa operacije je da najfrekventnijem privozu i njemu nasuprotnom privozu, osigura osnovnu fazu kretanja i dopunsku fazu bilo za lijeva ili desna skretanja, dok ostala 2 privoza imaju po jednu odvojenu fazu u kojima se smještaju svi manevri kretanja tog privoza.

Ciklus je podjeljen u 4 faze: A, A1, B i C. Faza A je osigurana samo za dopunska skretanja ulijevo za privoze Q2 i Q4 ali kako je na Q2 zabranjeno skretanje lijevo, cijela faza je isključivo za lijevi manevar kretanja na privozu Q4. Faza A1 je faza u kojoj su dopušteni svi ostali manevri kretanja na već spomenutim privozima uz prolaz pješaka na privozu Q1 i Q3. Faza B je faza u kojoj je dopušteno kretanje svih vozila na privozu Q1 uz prolaz pješaka na privozu Q4 dok se faza C odnosi na kretanje svih vozila iz Q3 uz prolaz pješaka na Q2.

Donja vrijednost trajanja ciklusa će biti programski proračunata a gornju vrijednost smo postavili na 150 sekundi. Prikaz svih faza i manevara kretanja prikazani su na slici 57.



Slika 57. Prikaz faza ciklusa u petoj varijanti



Slika 58. Donja i gornja vrijednost trajanja ciklusa

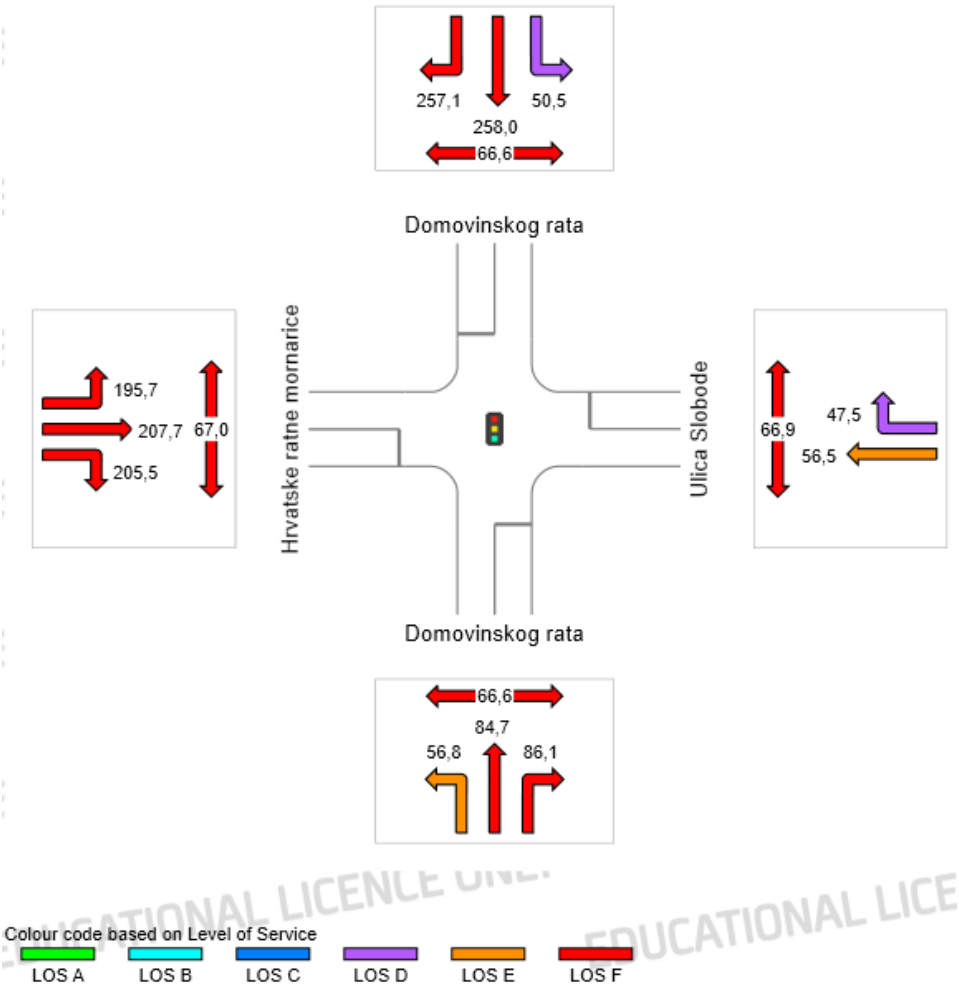
Phase Timing Summary

Phase	A	A1	B	C
Phase Change Time (sec)	0	45	86	123
Green Time (sec)	40	36	32	22
Phase Time (sec)	45	41	37	27
Phase Split	30 %	27 %	25 %	18 %

Slika 59. Trajanje svake pojedine faze u 5.varijanti

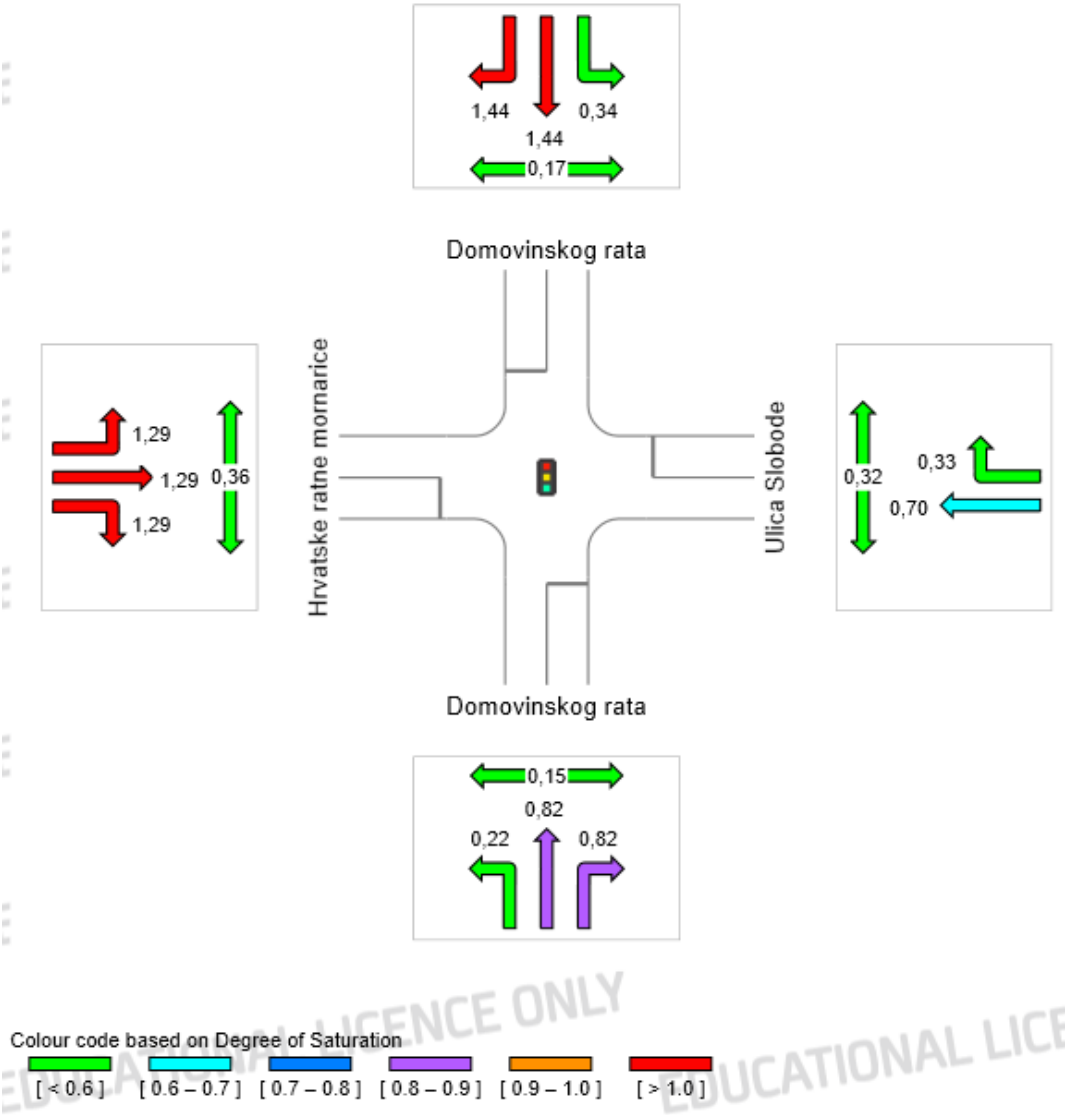
S prethodno zadanim parametrima, program nam je dao sljedeće rezultate:

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Delay (Control)	81,5	54,8	233,7	201,2	166,9
LOS	F	D	F	F	F

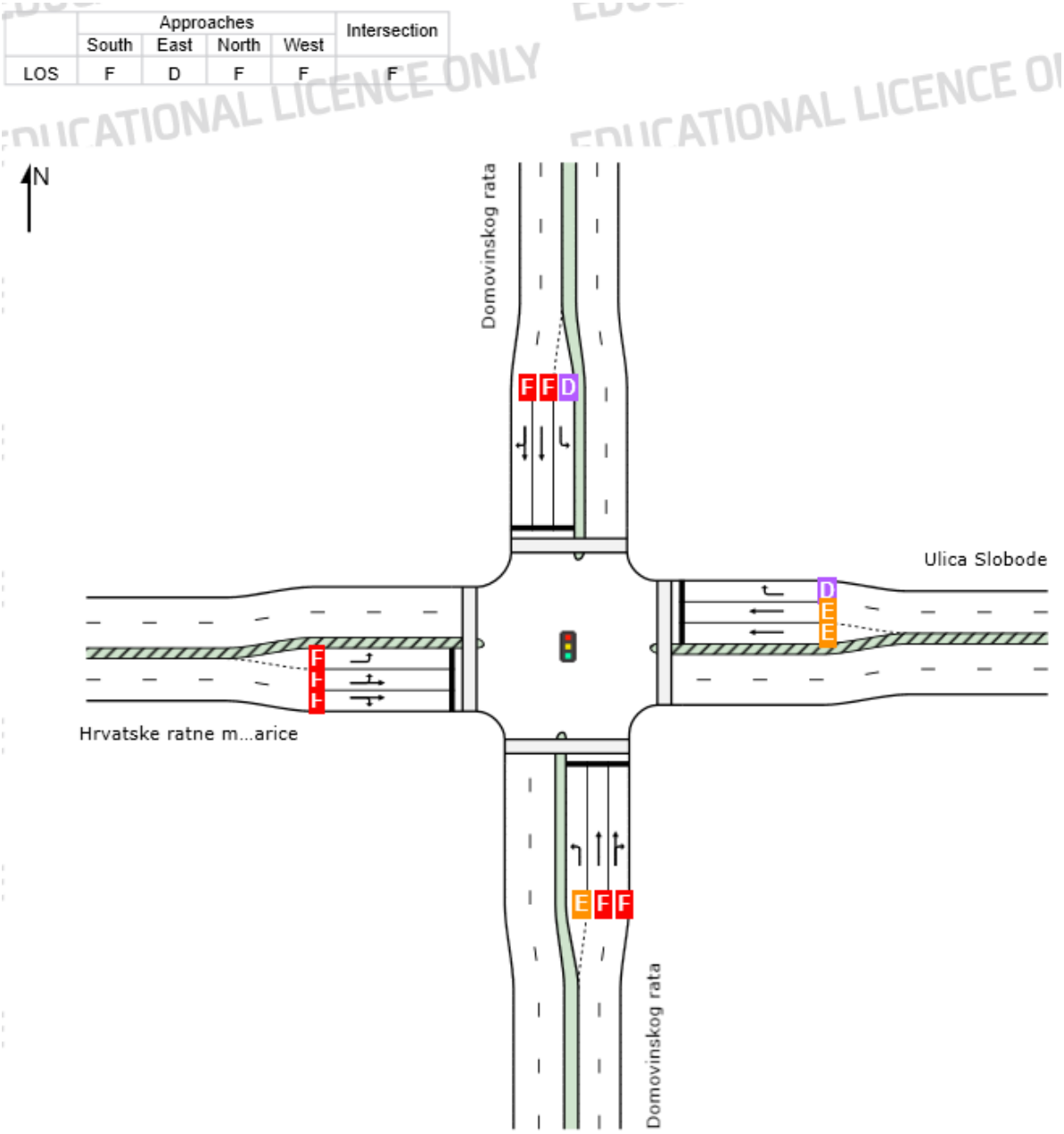


Slika 60. Vrijeme zakašnjenja za petu varijantu

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
Degree of Saturation	0,82	0,70	1,44	1,29	1,44



Slika 61. Stupanj zasićenosti za petu varijantu



Slika 62. Razina usluge za petu varijantu

Od svih prijašnjih varijanti koje su obrađene, ova varijanta dala je najlošije rezultate, što je u realnosti bilo i za očekivati.

Svi parametri koje smo dosada promatrali i analizirali, od vremena zakašnjenja, razine usluge i stupnja zasićenosti dali su najlošiju razinu usluge (razina E i F). Razlog tomu je što se ovakav način koordinacije semaforom ne koristi u urbanim gradskim sredinama sa gusto raspoređenim presjecima. Ovakav tip karakterističniji je za šire gradske mreže, izlaze iz grada gdje vozilima vrijeme nije od krucijalnog značaja jer prevaljuju malo veće udaljenosti.

Program je analizom izračunao da je potrebno trajanje ciklusa 150 sekundi što je bila i naša prvotna postavljena gornja vrijednost ciklusa. To samo potrekpljuje činjenicu kako je jedan od glavnih problema kod ovakvog načina vođenja lijevih skretača, povećana koordinirana duljina ciklusa.

Kao što se iz analize može primjetiti, posebice kod vremena zakašnjenja (delay), ona su ogromna, zbog toga što ako neko vozilo na određenom privozu ne stigne proći raskrižjem za vrijeme zelene faze, mora čekati izmjenu svih faza unutar ciklusa a to je period od 2 pa čak i više minuta. I to je jedna od glavnih mana ovakvog načina jer je time znatno smanjena učinkovitost.

Reference:

1.) Sidra Intersection 8
2.) Micrsoft Excel

5. Usporedba rezultata

U ovom poglavlju usporediti ćemo rezultate vremena zakašnjenja (delay-a) između svih obrađenih varijanti za svaki privoz i svaki manevar kretanja. Za usporedbu rezultata mogli smo odabrati bilo koji od analiziranih parametara iz prethodnog poglavlja. Odabrali samo delay pošto smatramo da je vrijeme zakašnjenja pravi pokazatelj učinkovitosti i funkcionalnosti raskrižja u konačnici.

Vidljivo je da pored 1. varijante koja prikazuje rezultate trenutnog funkcioniranja semafora na raskrižju, rezultate najbliže default-noj varijanti dala je 2. varijanta u kojoj faza dopunskog lijevog skretanja ima prednost prolaska pored osnovne faze kretanja. Uvjerljivo najgore rezultate u analizi dala je 5. varijanta sa faznom raspodjelom lijevih skretača.

Rezultati svih vremena zakašnjenja prikazani su na slici 63.

	SMJER Q1			SMJER Q2		SMJER Q3			SMJER Q4		
DELAY (sec)	Lijevo	Naprijed	Desno	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno
1. VARIJANTA	19,8	41,7	40,8	54,8	34,5	28,1	21,1	21,5	32,8	30,3	29,7
2. VARIJANTA	109,9	52,4	52,6	25,2	23,1	37,3	21,1	21,5	36,0	21,0	21,0
3. VARIJANTA	96,9	53,3	53,9	48,6	41,5	53,6	29,1	29,5	68,9	32,7	32,7
4. VARIJANTA	68,0	45,6	45,7	59,0	28,4	31,6	18,4	18,8	65,5	15,6	15,6
5. VARIJANTA	50,5	258,0	257,1	56,5	47,5	56,8	84,7	86,1	195,7	207,7	205,5

Slika 63. Usporedba svih vremena zakašnjenja proračunatih u programu SIDRA

6. Zaključak

Provedbom analiza svih mogućih vođenja lijevih skretača na raskrižju, ustanovili smo da se vrijednosti proračunate u programu SIDRA međusobno razlikuju. Iako su programske vrijednosti dale dosta dobre i realne rezultate, proveli smo dodatne analize različitih načina vođenja lijevih skretača a samim time i koordinacije semafora kako bi pokušali dobiti bolje rezultate za određene privoze koji bi u konačnici dali bolju razinu usluge za cijelo raskrižje.

Nakon provedenih ostalih 4 varijanti, dobivene vrijednosti nisu dale bolje rezultate usprkos očekivanjima. Jedan od razloga tomu je velika razlika u količini vozila koje dolaze u raskrižje sa različitih privoza. Zbog toga se privozu Q4 koji je najfrekventniji omogućilo najdulju fazu unutar ciklusa zbog čega određeni manevri kretanja na ostalim privozima imaju veći stupanj zasićenosti i manju razinu usluge.

Bez obzira na sve navedeno, koordinacija semafora kakva je danas postavljena na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Hrvatske ratne mornarice je učinkovita te možemo zaključiti da je funkcioniranje raskrižja na zadovoljavajućoj razini.

Zahvala:

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Draženu Cvitaniću na pruženoj pomoći i svim danim savjetima s kojima mi je znatno pomogao prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Želio bih se zahvaliti svojoj obitelji koja mi je bila velika potpora i oslonac tijekom mog studiranja a posebno mojim roditeljima bez kojih sve što sam dosad postigao u životu ne bi bilo moguće.

I na kraju zahvalio bi se mojim prijateljima i fakultetskim kolegama koji su mi znatno pomogli, pružajući mi podršku tijekom cijelog mog studiranja.