

Analiza s prijedlogom poboljšanja projektnih elemenata raskrižja Stjepana Ivičevića - Dubrovačka - Vrgoračka u Makarskoj

Milas, Franjo

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:598253>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Franjo Milas

ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA
PROJEKTNIH ELEMENATA RASKRIŽJA STJEPANA
IVIČEVIĆA - DUBROVAČKA - VRGORAČKA U
MAKARSKOJ

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA
PROJEKTNIH ELEMENATA RASKRIŽJA STJEPANA
IVIČEVIĆA - DUBROVAČKA - VRGORAČKA U
MAKARSKOJ**

**ANALYSIS OF THE INTERSECTION STJEPANA
IVIČEVIĆA - DUBROVAČKA – VRGORAČKA IN THE
CITY OF MAKARSKA WITH PROPOSED
IMPROVEMENT PROJECT ELEMENTS**

Mentor: dr.sc. Luka Novačko

Student: Franjo Milas, 0135216618

Zagreb, 2016.

Sažetak

Ovaj rad predstavlja prometnu studiju raskrižja kojom će se odrediti detaljni prometni plan i projekt za raskrižje Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u Makarskoj. Rad treba uvidjeti mogućnosti poboljšanja postojećeg stanja kada se u području raskrižja stvaraju veći repovi čekanja. Brojenjem prometa dobit će se podaci o trenutačnom stanju raskrižja i podaci koji će se koristiti za daljnje planiranje prometa. U radu će se iznijeti idejno prometno rješenje kojim će se omogućiti maksimalna razina usluge raskrižja. Podrazumijeva se, idejno prometno rješenje u svim svojim detaljima je usklađeno s pravilima i normativima prometne struke.

Ključne riječi: Makarska, raskrižje, brojenje prometa, razina usluge

Summary

This paper presents a traffic study crossroads that will determine a detailed traffic management plan and project for the mentioned intersection. Work should find opportunities to improve the current situation when in the area of intersection generate higher queues. Counting traffic will get information about the current state of the crossing and data that will be used for further planning of transport. The paper will be presented preliminary traffic solution that will enable maximum service level intersection. It is understood, preliminary traffic solution in all its details is in line with the rules and norms of the transport profession.

Key words: City of Makarska, intersection, traffic count, level of service

Sadržaj

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Uvod..... | 1 |
| 2. | Osnovni prometni parametri za analizu raskrižja..... | 2 |
| 2.1. | Prometno opterećenje | 2 |
| 2.2. | Mjerodavno prometno opterećenje..... | 2 |
| 2.3. | Propusna moć | 3 |
| 2.3.1. | Priručnik Highway Capacity Manual 2010 (HCM)..... | 6 |
| 2.3.2. | Proračun propusne moći za nesemaforizirano raskrižje | 7 |
| 2.3.3. | Proračun propusne moći za semaforizirano raskrižje | 11 |
| 2.3.4. | Proračun propusne moći za kružno raskrižje | 12 |
| 2.4. | Vrijeme čekanja i duljina repa čekanja ispred raskrižja | 13 |
| 2.5. | Razina usluge..... | 16 |
| 3. | Brojenje (snimanje) prometa..... | 18 |
| 3.1. | Metode brojanja prometa..... | 18 |
| 3.2. | Vrijeme brojanja i uređaji za brojenje | 20 |
| 3.3. | PA – jedinice | 20 |
| 3.4. | Brojenje pješaka | 21 |
| 3.5. | Brojenje mirujućeg (stacioniranog) prometa | 21 |
| 4. | Analiza raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka - Vrgoračka | 23 |
| 4.1. | Prikaz raskrižja po privozima | 26 |
| 4.2. | Analiza podataka o brojanju prometa | 29 |
| 4.3. | Tablični prikaz rezultata brojanja prometa | 30 |
| 5. | Prijedlozi poboljšanja raskrižja | 34 |
| 5.1. | Izgradnja raskrižja s kružnim tokom prometa | 34 |
| 5.2. | Rekonstrukcija postojećeg raskrižja | 36 |
| 6. | Simulacija i evaluacija predloženih rješenja u programskim alatima Sidra intersection i PTV Vissim..... | 44 |
| 7. | Zaključak | 52 |
| 8. | Literatura | 54 |
| 9. | Popis slika..... | 55 |
| 10. | Popis tablica..... | 57 |

1. Uvod

Mreže javnih cesta su jedan od glavnih dijelova strateškog plana razvijanja i održavanja postojećeg prometno – gospodarskog sustava svake ozbiljne i odgovorne države, odnosno ljudi koji njome upravljaju. Kao dio mreže javnih cesta raskrižje je površina na kojoj se križaju dvije ili više prometnica te mora omogućiti što jednostavnije i što sigurnije odvijanje prometa.

Tema ovog diplomskog rada je **Analiza s prijedlogom poboljšanja projektnih elemenata raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u Makarskoj**. Ovo raskrižje odabrano je zbog velikog broja konfliktnih točaka unutar samog raskrižja i dugačkih repova čekanja koji se stvaraju u vršnim satima posebno u ljetnim mjesecima. Cilj rada je analizirati postojeće stanje raskrižja na promatranoj dionici ceste, utvrditi razloge stvaranja repova čekanja te predložiti optimalno rješenje kako bi se poboljšalo odvijanje prometa.

Tematika rada je izložena u sedam poglavlja. U drugom poglavlju objašnjeni su osnovni parametri za analizu raskrižja koje je potrebno shvatiti i razumjeti prije analiziranja samog raskrižja. Zatim je u trećem poglavlju opisan proces i metode brojenja prometa kao glavni ulazni podatak za planiranje i projektiranje. Sama analiza predmetnog raskrižja napravljena je u četvrtom poglavlju. Na temelju dotadašnjih spoznaja, u petom poglavlju su izneseni prijedlozi mogućih poboljšanja raskrižja, što je i bila krajnja svrha ovog diplomskog rada. Na kraju, u zadnja dva poglavlja napravljena je simulacija i evaluacija predloženih rješenja, odnosno prikazano je odvijanje prometnog procesa za svako rješenje koje je kasnije vrednovano kako bi se dobio optimalan rezultat odvijanja prometa.

2. Osnovni prometni parametri za analizu raskrižja

Za pravilno razumijevanje ovog diplomskog rada potrebno je poznavati osnovne parametre prometnog raskrižja. Prvi i ključan pojam koji bi trebalo objasniti je pojam prometnog toka. **Prometni tok** može se objasniti kao istovremeno kretanje cestom više prometnih entiteta u određenom poretku istog smjera. U nastavku teksta će se objasniti uporabni pokazatelji ceste odnosno raskrižja kao njenog najsloženijeg dijela.

2.1. Prometno opterećenje

Prometno opterećenje je broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek ceste u jedinici vremena.

Za prometne analize je iznimno važan podatak o prosječnom dnevnom prometnom opterećenju (*PDP*), koji se zbog mjesečnih i dnevnih kolebanja izražava tzv. prosječnim godišnjim dnevnim prometom (*PGDP*) [1].

$$PGDP = \frac{\text{ukupnovozilagodišnje}}{365 \text{ dana}} [\text{vozila/dan}]$$

2.2. Mjerodavno prometno opterećenje

Za svako tehničko dimenzioniranje ili prometno – regulativne intervencije nužno je poznavanje mjerodavnog prometnog opterećenja. Taj bitan pokazatelj se očigledno, mora tražiti unutar skupa maksimalnih satnih opterećenja, ali ne kao najveća vrijednost unutar 8760 sati budući da bi za posljedicu imao predimenzioniranje zahvata.

Iz tog razloga se kao mjerodavno satno opterećenje najčešće uzima tek trideseto do šezdeseto po veličini satno opterećenje, što znači da će protok biti osiguran kroz 8760 – (n-1) sati godišnje, odnosno da će se preopterećenje pojaviti u (n-1) satnih intervala.

Postotni odnos prometnog opterećenja “n - tog sata“ (SO_n) mjerodavnog za dimenzioniranje prema prosječnom dnevnom opterećenju tijekom godine (*PGDP*) naziva se “faktor n – tog sata“ (*FNS*).

$$FNS = \frac{SO_n}{PGDP} * 100[\%]$$

Taj faktor ili čimbenik ovisi o osobitostima ceste, a njegove su vrijednosti za trideseti do šezdeseti sat u okvirima između 10 i 14 (za prigradski promet), odnosno 13 i 20 (za međugradski) i 20 i 40 (za međugradsko – turistički promet).

Mjerodavno prometno opterećenje pripada u ekonomsku kategoriju i odražava društveno opredjeljenje u pogledu odvijanja prometa [1].

2.3. Propusna moć

Propusna moć ili kapacitet (C) označuje se najvećim brojem vozila koja mogu proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek.

Osnovna zadaća raskrižja je mogućnost sigurnog i kvalitetnog (brzog) prolaska zadanog broja vozila kroz raskrižje. Osnovna veličina za tu procjenu je propusna moć raskrižja, a češće se koristi podatak o propusnoj moći pojedinog privoza. **Propusna moć** pokazuje koliki broj vozila, s obzirom na prostornu razdiobu prometnih tokova, može proći privozom ili cijelim raskrižjem. Dobra procjena propusne moći predstavlja osnovni korak u fazi promišljanja tipa i oblika raskrižja, kao i načina organizacije i regulacije prometa.

Propusnu moć raskrižja, osim njegovih građevinsko – geometrijskih karakteristika, određuju i uvjeti koji vladaju na njemu. Obično se djelovanjem na te uvjete mogu postići kvalitetniji (i ekonomsko bolji) rezultati od obične intervencije u građevinskom smislu. Na primjer:

- zabranom određenih skretanja može se postići znakovito bolja propusna moć (npr. zabrana lijevih skretača iz zajedničkog traka),
- prenamjenom voznih trakova; obično se za dva vozna traka na privozu jedan ostavlja za lijeve skretače, a drugi za ravno i desno. Mali broj vozila iz suprotnog smjera i veliki broj desnih skretača (veći od zbroja vozila za lijevo i ravno) daje puno bolje rezultate prenamjenom traka u posebnu traku za desno, a drugi trak za lijevo i ravno. Drugi je primjer kada se posebni trakovi za skretanje prenamjenjuju u zajedničke trakove jer broj skretača (i mali suprotni prometni tok) ne opravdava posebni trak.

- Ukidanjem pojedinih pješačkih prijelaza ili drugačijem položajem smanjuje se broj kolizija između motornog i pješačkog prometa ili se smanjuje put prelaska pješaka preko raskrižja [1].

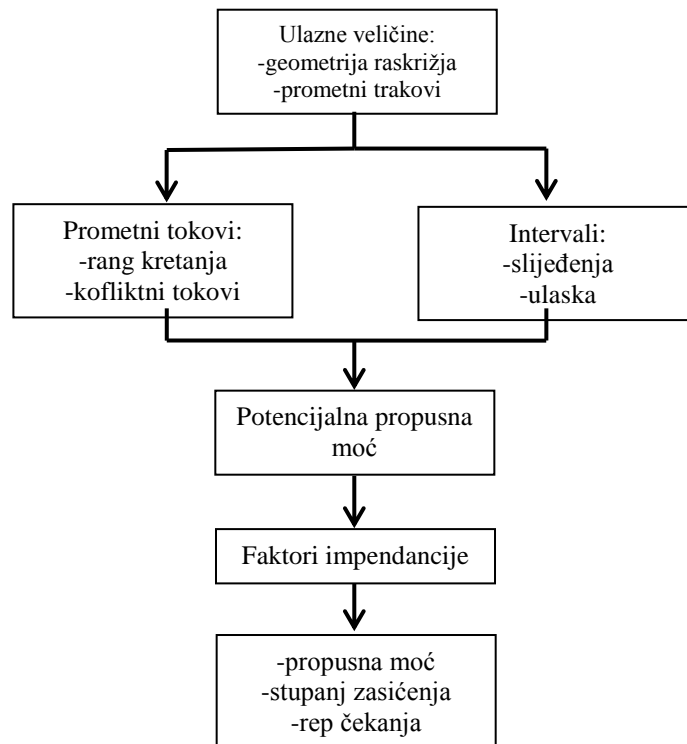
Metodologija prikazana u narednim točkama omogućava projektantima procjenu opravdanosti predloženog rješenja, a investitor je koristi kao procjenu potrebnih radova ili za prethodnu procjenu investicije.

Promet na raskrižju dijeli se na glavne i sporedne tokove. Oni su određeni:

- kategorijom prometnica koje se križaju ili
- količinom prometa ako se radi o cestama iste kategorije.

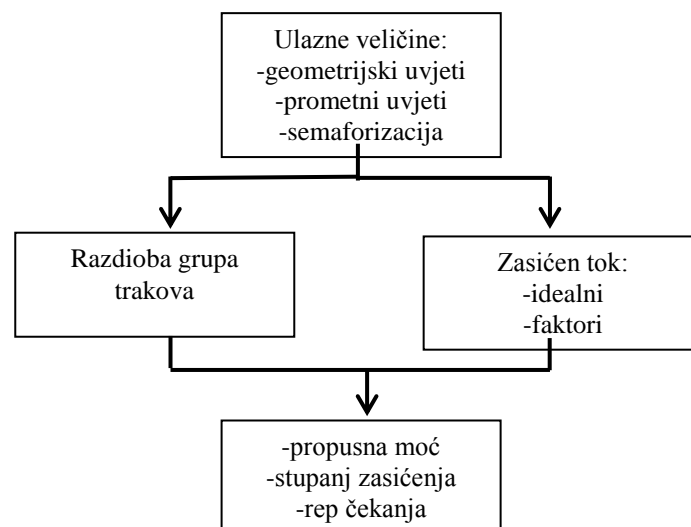
Za nesemaforizirana raskrižja procjenjuje se pričuva u kapacitetu sporednih privoza, tj. da li vozila sa sporednog privoza mogu ući ili proći raskrižjem u prihvatljivom intervalu vremena. Procjenjuje se rep čekanja na sporednim privozima. Za kružne tokove procjenjuje se da li kružni tok može propustiti zahtijevanu količinu prometa uz prihvatljiva vremena i repove čekanja na privozima.

Na semaforiziranim raskrižjima se procjenjuje propusna moć raskrižja u smislu prihvatljive duljine trajanja ciklusa i “zelenih“ vremena za pojedine grupe trakova (privoze). Prikazana metodologija predstavlja dijelove operativne analize. Kompletna operativna analiza prometnih procesa na raskrižju predstavlja problematiku koja se rješava posebnim prometno – tehnološkim projektom [2].



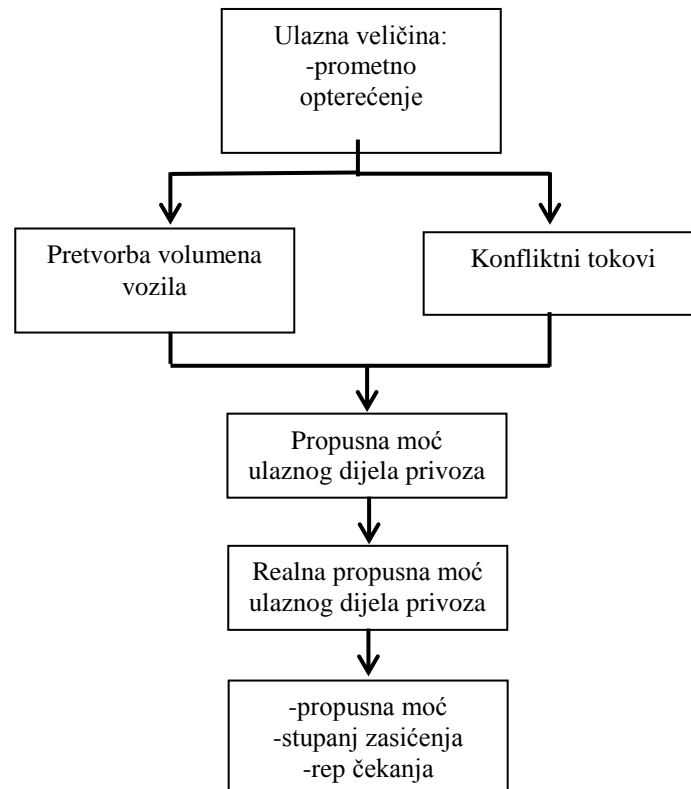
Slika 1. Metodologija utvrđivanja propusne moći na nesemaforiziranom raskrižju (RUR)

Izvor: Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.



Slika 2. Metodologija utvrđivanja propusne moći na semaforiziranom raskrižju (RUR)

Izvor: Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.



Slika 3. Metodologija utvrđivanja propusne moći na kružnom raskrižju (RKT)

Izvor: Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

2.3.1. Priručnik Highway Capacity Manual 2010 (HCM)

Priručnik Highway Capacity Manual predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Prvenstveno služi za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica cesta, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa.

Prvo izdanje HCM - a seže u 1950. godinu kada je bio prvi dokument za proračune kapaciteta različitih prometnih entiteta. Ovaj priručnik prvi u povijesti 1965. godine uvodi pojam razine usluge (*LOS* – Level of Service), koja postaje standard za planiranje, dizajniranje i održavanje prometnih objekata.

Iako temeljen na prometnim uvjetima u SAD-u priručnik se naveliko koristi kao standard u Europi, pa tako i u Republici Hrvatskoj.

U HCM - u se daju analitičke metode za određivanje i predviđanje maksimalnih prometnih tokova za različite prometne objekte za svaku razinu usluge, osim za razinu

usluge F. Za razinu usluge F koju karakterizira nestabilan tok sa zastojima teško je procjenjivati prometni tok („stani-kreni“ vožnja) [4].

2.3.2. Proračun propusne moći za nesemaforizirano raskrižje

Prilikom izračuna propusne moći nesemaforiziranog raskrižja prvo je potrebno odrediti prioritete prometnih tokova. Prioritet broj 1 čine prolazni tokovi na glavnom smjeru i desna skretanja sa glavnih privoza. Prioritet broj 2 uključuje lijeva skretanja s glavnog toka i desna skretanja sa sporednog toka u glavni tok. Prioritet 3 čine tokovi za ravno na sporednim privozima (četverokrako raskrižje) i tokovi za lijevo skretanje sa sporednih privoza u glavni privoz (samo kod T-raskrižja). Prioritet 4 se pojavljuje samo kod četverokrakih raskrižja i čine ga lijeva skretanja sa sporednih privoza u glavni prometni tok.

Idući korak je određivanje konfliktnih prometnih tokova. Pojam konfliktni tok može se objasniti kao zbroj prometnih opterećenja koji su u konfliktu sa prometnim tokom x . Parametar $V_{C,x}$ predstavlja konfliktni prometni tok za manevar x .

Desni skretači sa sporednog privoza su samo u konfliktu s provoznim trakovima u glavnom privozu (ako su dva traka za ravno, onda utječu samo na desni trak u koji se ulijevaju desni skretači). Desni skretači s glavnog privoza ipak indirektno utječu na odluku vozača da izvede manevar desnog skretanja iz sporednog u glavni privoz pa se uzima u proračun polovica prometnog opterećenja desnih skretača s glavnog privoza. Lijevi skretači s glavnog privoza su u konfliktu s provoznim prometom i desnim skretačima glavnog privoza suprotnog smjera. Tokovi za ravno na sporednim privozima su u konfliktu sa svim tokovima glavnih privoza, osim s desnim skretačima na glavnom privozu. No zbog indirektnog utjecaja na odluku vozača ipak se uzima u proračun polovina prometnog toka desnih skretača na glavnom privozu. Prema istraživanjima pokazalo se da je utjecaj lijevih skretača na glavnom privozu izrazit pa se u proračunima udvostručuje protok lijevih skretača.

Lijevo skretanje sa sporednog privoza je najkompliciraniji manevar na četverokrakom raskrižju. On mora propustiti sve tokove glavnog privoza te tokove za ravno i desno na sporednom privozu suprotnog smjera. U proračun se uzima samo polovina protoka za ravnodesnih skretača suprotnog sporednog privoza, jer su ti protoci regulirani prometnim znakom (STOP ili raskrižje s cestom s prednošću prolaska) i imaju umanjen

utjecaj na lijevog skretača. Prema istraživanjima pokazalo se da je utjecaj lijevih skretača na glavnom privozu izrazit pase u proračunima udvostručuje protok tih lijevih skretača. Ako je tok za desno skretanje na glavnom privozu odvojen trokutastim otokom ti tokovi sezanemaruju u proračunu. Ako postoji poseban trak za desno skretanje na glavnom privozu tokovi desnih skretača na glavnom privozu se zanemaruju. Ako je skretanje udesno sa sporednog privoza odvojeno trokutastim otokom ti tokovi sezanemaruju u proračunu. Ako postoji više trakova za prolaz ravno na glavnom privozu, ukupan protok za ravno se dijeli brojem trakova ili se specificira drugačija distribucija po trakovima prema podacima terena.

Treći korak je proračun **kritične vremenske praznine** i **vremena slijeđenja**. Kritična vremenska praznina $t_{C,x}$ definira se kao minimalan vremenski interval u prometnom toku glavnog smjera koji omogućuje ulaz vozila sa sporednog privoza u raskrižje. Vozač će odbaciti svaku prazninu manju od kritične da uđe u raskrižje.

$$t_{C,x} = t_{C,base} + t_{C,HV} * \frac{P_{HV}}{100} + t_{C,G} * G - t_{C,T} - t_{3LT}$$

$t_{C,x}$ – kritična vremenska praznina za manevar x [s]

$t_{C,base}$ – bazna kritična vremenska praznina (tablično)

$t_{C,HV}$ – korekcijski faktor za teška vozila (za glavni pravac je 1)

P_{HV} – postotak teških vozila

$t_{C,G}$ – korekcijski faktor utjecaja uzdužnog nagiba za svaki privoz (jednak nuli)

$t_{C,T}$ – korekcijski faktor utjecaja kod ulaza u raskrižje u dva koraka (jednak nuli)

t_{3LT} – korekcijski faktor utjecaja geometrije raskrižja (jednak nuli)

Vrijeme koje protekne između napuštanja sporednog privoza od strane jednog vozila do napuštanja drugog vozila naziva se vrijeme slijeđenja.

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} * \frac{P_{HV}}{100} [s]$$

$t_{f,x}$ – vrijeme slijeđenja za manevar x [s]

$t_{f,base}$ – bazno vrijeme slijeđenja (tablično)

$t_{f,HV}$ - korekcijski faktor za teška vozila (0.9 za dvotračni glavni smjer, a 1.0 za četverotračni glavni smjer).

Slijedeći element koji je potrebno odrediti je **potencijalni kapacitet (idealna propusna moć)**. Potencijalni kapacitet je kapacitet za specifični prometni tok pri sljedećim uvjetima:

- promet iz susjednih raskrižja ne utječe na promatrano raskrižje,
- postoji posebna prometna traka za svaki manevar sa sporednog privoza.

$$C_{p,x} = V_{c,x} * \frac{e^{-V_{c,x} * t_c * \frac{1}{3600}}}{1 - e^{-V_{c,x} * t_f * \frac{1}{3600}}} [voz/h]$$

Zadnji korak u određivanju propusne moći raskrižja je određivanje **realnog kapaciteta i kapaciteta zajedničkih trakova**. Realni kapacitet ovisi o stupnju zasićenja prometnog toka i ranga prometnog toka.

Za glavne prometne tokove ranga 1 pretpostavlja se da nisu ometani od prometnih tokova sa sporednih privoza. Rang 2 nema dodatnih ometanja od strane tokova sa sporednih privoza, pa je realni kapacitet ranga 2 jednak idealnom.

Rang 3 mora propustiti rang 1 te lijeve skretače s glavnog pravca ranga 2. Iz tog razloga proizlazi da rang 3 neće moći iskoristiti sve vremenske praznine kako bi se uključio u glavni tok jer će neke od tih praznina iskoristiti vozači koji iz glavnog toka skreću ulijevo.

Vjerojatnost da nema repa čekanja računa se prema formuli:

$$p_{0,j} = 1 - \frac{V_j}{C_{m,j}}$$

j - lijevi skretači s glavnog privoza

$C_{m,j}$ - realni kapacitet lijevih skretača (rang 2).

$p_{0,j}$ – vjerojatnost da prometni tok ranga 2 nema repa čekanja ($j = 1, 4$)

Realni kapacitet za sve manevre ranga 3 računa se pomoću **korekcijskog koeficijenta f_k** koji je jednak umnošku vjerojatnosti da nema repa čekanja za lijeve skretače na glavnom privoza.

$$f_k = p_{0,j} * p_{0,j}$$

Realni kapacitet ranga 3 (8,11) računa se prema formuli:

$$C_{m,k} = C_{p,k} * f_k$$

Vozila ranga 4 moraju propustiti sva vozila ranga 1, 2 i 3, te ovise o repu čekanja lijevih skretača s glavnog privoza (1, 4), ravno sa sporednog privoza (8, 11) i desno sa sporednog privoza (9,12). Potrebno je odrediti faktor statističke zavisnosti vjerojatnosti za tokove ranga 2 i

Vozila ranga 4 (ljevi skretači sa sporednog privoza) moraju propustiti sva vozila ranga 1, 2 i 3, te ovisi o redu čekanja ta tri viša ranga:

- lijevi skretači s glavnog privoza,
- ravno sa sporednog privoza,
- desno sa sporednog privoza.

Kod ranga 4 je bitno uočiti da vjerojatnosti viših rangova nisu neovisne jedna o drugoj. Posebno, vjerojatnost da nema reda čekanja u traku za lijevo skretanje s glavnog privoza utječe na vjerojatnost da nema reda čekanja u traku za ravno sa sporednog privoza. Iz tog razloga potrebno je odrediti faktor statističke zavisnosti vjerojatnosti za tokove ranga 2 i 3.

$$p' = 0.65 p'' - \frac{p''}{p'' + 3} 0.6\sqrt{p''}$$

p' - faktor statističke zavisnosti vjerojatnosti za struje 2. i 3. ranga

p'' - (f_k)($p_{0,k}$)

$p_{0,k}$ - vjerojatnost da prometni tok ranga 3 nema reda čekanja (k=8,11)

$$p_{0,k} = 1 - \frac{V_k}{C_{m,k}}$$

Korekcijski faktor iznosi:

$$f_1 = (p') * (p_{0,j})$$

l – lijevi skretači sa sporednog privoza ($l = 7, 10$)

j – desni skretači sa sporednog privoza ($j = 9, 12$)

Varijablu $p_{0,j}$ u zadnjoj formuli treba uključiti samo ako su u konfliktu s lijevim skretačem.

Konačno realni kapacitet ranga 4. računa se prema formuli:

$$C_{m,l} = (f_l) * (C_{p,l})$$

Kapacitet zajedničkih trakova

$$C_{SH} = \frac{\sum_y V_y}{\sum_y \left(\frac{V_y}{C_{m,y}}\right)}$$

C_{SH} – kapacitet zajedničkog traka [voz/h]

V_y – protok vozila za pojedini manevar u zajedničkom traku [voz/h]

[4]

2.3.3. Proračun propusne moći za semaforizirano raskrižje

Propusna moć jednog prometnog traka ili grupe trakova određuje se sljedećim izrazom:

$$C_i = S_i * \frac{g_i}{c} \text{ [voz/h]}$$

C_i - kapacitet grupe trakova i

g_i - efektivno trajanje zelenog svjetla za grupu trakova i

c – trajanje ciklusa

S_i – zasićeni tok

$$S_i = S_0 * N * f_1 \text{ [voz/h]}$$

S_0 – zasićeni tok pod baznim uvjetima => 1900 [voz/h] za gradove preko 250 000 stanovnika inače 1750 [voz/h]

f_1 – multiplikativni faktori prilagodbe

N - broj trakova u grupi trakova

Zasićeni tok – predstavlja kapacitet prometnog traka ili trakova ako bi na lanterni bilo konstantno upaljeno zeleno svijetlo.

Multiplikativni faktori prilagodbe:

$$f_1 = f_W * f_{HV}$$

f_W - faktor utjecaja širine prometnog traka (š_{p.t.} = 2,5 m => 0,98; š_{p.t.} = 3 m => 1)

f_{HV} - faktor prilagodbe teških vozila za pojedini manevar

[4]

2.3.4. Proračun propusne moći za kružno raskrižje

Propusna moć ili kapacitet kružnog raskrižja dobije se zbrajanjem propusnosti ($q_{p,n}$) svih privoznih ulaza (n) u kružno raskrižje.

$$C_k = \sum_1^n q_{p,n} [voz/h]$$

Proračun propusne moći privoza može se prikazati analitički (HCM2010), a ovisi o količini i svojstvima prometa s kružnim tokom.

$$C_p = \frac{q_k * e^{-q_k * t_k / 3600}}{1 - e^{-q_k * t_f / 3600}} [voz/h]$$

C_p – propusna moć privoza [voz/h]

q_k – prometno opterećenje na kružnom kolniku [voz/h]

t_k – interval (vremenska praznina u glavnom toku) koji omogućuje ulazak u kružni tok,

$$t_k = 4,1 \text{ do } 4,6 \text{ [s]}$$

t_f – interval između ulaska u kružni tok, $t_f = 2,6 \text{ do } 3,1 \text{ [s]}$

[5]

2.4. Vrijeme čekanja i duljina repa čekanja ispred raskrižja

Vrijeme čekanja (delay time) je vrijeme proteklo dok vozilo dođe na kraj repa čekanja do trena kad prođe stop ili zaustavnu liniju.

Za **nesemaforizirano** računa se prema sljedećoj formuli:

$$d_x = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900 * T * \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right) * \left(\frac{V_x}{C_{m,x}}\right)}{450 * T}} \right] + 5 \text{ [s/vozilu]}$$

$C_{m,x}$ – realni kapacitet prometnog traka

V_x – kapacitet prometnog traka

T - vremenski period (0,25)

Konstantna vrijednost od 5 [s/vozilu] dodana je u formulu zbog usporenja vozila iz brzine slobodnog toka do brzine vozila u redu čekanja i zbog ubrzanja vozila od zaustavne linije do brzine slobodnog toka.

Kod proračuna razine usluge za **semaforizirano** raskrižje vrijeme čekanja računa se prema sljedećim formulama:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \text{ [s/voz]}$$

d_1 – uniformno kašnjenje vozila

d_2 – prosječno pojedinačno kašnjenje vozila

d_3 – dodatno kašnjenje zbog postojećeg repa čekanja prije početka mjerenja

Za izračun vremena čekanja također je potrebno izračunati:

Websterova formula

$$d_1 = \frac{0,5 * c * \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left(x * \frac{g}{c}\right)}$$

c – duljina trajanja ciklusa

x – stupanj zasićenja

g – trajanje zelene faze za tu signalnu grupu

Akcelikova formula

$$d_2 = 900 * T * \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8 * k * I * x}{c * T}} \right] [s/h]$$

k - faktor prilagodbe načina upravljanja raskrižja i za vremenski ustaljeno upravljanje $k = 0,5$

I - faktor utjecaja susjednog raskrižja (za izolirano raskrižje $I = 1$)

$T = 0,25$

Kod izračuna prosječnog vremena čekanja **kružnog raskrižja** potrebno je prethodno izračunati prosječno vrijeme kašnjenja pojedinog manevra, zatim prosječno vrijeme kašnjenja privoza te nakon toga prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja.

Prosječno vrijeme kašnjenja manevra

$$d_x = \frac{3600}{C_u} + 900 * T * \left[X - 1 + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_u}\right) * X}{450 * T}} \right] + (5 * X) [s/vozilu]$$

d_x - prosječno vrijeme kašnjenja manevra [s/voz]

X - stupanj zasićenja pojedinog privoza

C_u - kapacitet ulaza [voz/h]

T - vremenski period (za 15 min $T=0,25$)

Prosječno vrijeme kašnjenja privoza

$$d_A = \frac{d_1 * V_1 + d_2 * V_2 + d_3 * V_3}{V_1 + V_2 + V_3} [s/vozilu]$$

V_1, V_2, V_3 – prometno opterećenje pojedinog manevra

d_1, d_2, d_3 – vrijeme kašnjenja pojedinog manevra

Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja

$$d_{RKT} = \frac{d_A * V_A + d_B * V_B + d_C * V_C + d_D * V_D}{V_A + V_B + V_C + V_D} [s/vozilu]$$

V_A, V_B, V_C – prometno opterećenje pojedinog manevra

d_A, d_B, d_C – vrijeme kašnjenja pojedinog manevra

Rep čekanja je duljina dijela ceste ispred raskrižja koju vozila zauzmu čekajući na prolaz tim raskrižjem. Računa se za lijeve skretače na glavnom i za sva vozila na sporednom privozu.

Duljina repa čekanja za **nesemaforizirano** i **semaforizirano** raskrižje računa se po sljedećoj formuli:

$$Q_{95} \approx 900 * T \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) * \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{150 * T}} \right] * \frac{C_{m,x}}{3600} [voz]$$

$C_{m,x}$ – realni kapacitet prometnog traka

V_x – kapacitet prometnog traka

Q_{95} – duljina repa čekanja s 95% sigurnošću

T - vremenski period (0,25)

Duljina repa čekanja za **kružno raskrižje** računa se po sljedećoj formuli:

$$Q_{95} \approx 900 * T \left[X - 1 + \sqrt{(1 - X)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_u} \right) * X}{150 * T}} \right] * \frac{C_u}{3600} [voz]$$

X - stupanj zasićenja pojedinog privoza

C_u - kapacitet ulaza [voz/h]

[4]

2.5. Razina usluge

Razina usluge je kvalitativna mjera koja se sastoji od brojnih elemenata, kao što su: brzina vožnje, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, prekidi u prometu, udobnost vožnje i troškovi iskoristivosti vozila.

Prema spoznajama iz HCM – a (*Highway Capacity Manual*), pri odvijanju prometnog toka može postojati šest razina usluge:

- **razina usluge A:** uvjeti slobodnog toka s najviše 10% međusobnih utjecaja između vozila, a prosječna vremena čekanja su minimalna;
- **razina usluge B:** oko 70% vozila nalazi se u uvjetima slobodnog toka, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima nisu značajna;
- **razina usluge C:** stabilni uvjeti prometa s oko 50% vozila u uvjetima slobodnog toka, pri čemu mogući manji povećani repovi čekanja na raskrižjima izazivaju veća prosječna vremena čekanja;
- **razina usluge D:** oko 40% vozila se nalazi u uvjetima slobodnog toka, a malo povećanje prometnog toka izaziva povećane repove čekanja na raskrižjima s većim prosječnim vremenom čekanja;
- **razina usluge E:** manje od trećine vozila su u slobodnom toku; to je stanje u kojem je dosegnuta propusna moć ili se postiže malim povećanjem prometnog toka; prosječna vremena čekanja na raskrižjima su znakovito velika;
- **razina usluge F:** prometna potražnja je iznad propusne moći, a na privozima raskrižju dolazi do zagušenja koja uzrokuju velika vremena čekanja i znatno utječu na okolnu prometnu mrežu.

Kod izračuna razine usluge **kružnog raskrižja** potrebno je izračunati prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja te se nakon toga, koristeći tablicu 1., odredi razina usluge kružnog raskrižja.

Tablica 1. Razina uslužnosti RU za slučaj nesemaforiziranog, semaforiziranog i kružnog raskrižja

| Nesemaforizirano raskrižje | | Semaforizirano raskrižje | | Kružno raskrižje | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Razina uslužnosti | Prosječno vrijeme čekanja d [s/voz] | Razina uslužnosti | Prosječno vrijeme čekanja d [s/voz] | Razina uslužnosti | Prosječno vrijeme čekanja d [s/voz] |
| A | 0 – 10 | A | 0 - 10 | A | 0 – 10 |
| B | >10 – 15 | B | >10 – 20 | B | >10 – 15 |
| C | >15 – 25 | C | >20 – 35 | C | >15 – 25 |
| D | >25 – 35 | D | >35 – 55 | D | >25 – 35 |
| E | > 35 – 50 | E | > 55 – 80 | E | > 35 – 50 |
| F | >50 | F | >80 | F | >50 |

Izvor: *Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.*

Pri planiranju razine uslužnosti treba se držati sljedećih načela:

- na kraju planiranog perioda eksploatacije u vršnim vremenskim razdobljima ostvariti razinu uslužnosti D/E ili bolju;
- za postojeće raskrižje projektno rješenje mora ponuditi poboljšanje barem za jedan razred razine uslužnosti;
- planirano poboljšanje mora dostići razrede uslužnosti okolnih raskrižja u mreži;
- na početku rada raskrižja projektirana razina uslužnosti ne smije biti manja od C, u suprotnom je potrebno obrazložiti zašto se ne može postići bolja razina uslužnosti od C [2].

3. Brojenje (snimanje) prometa

Brojenje prometa je glavni ulazni podatak i osnovica za njegovo planiranje. Njime se dobiva uvid o trenutnom stanju prometa te podaci koji upućuju na potrebne rekonstrukcije, izgradnju novih prometnih pravaca ili na ostale mjere poboljšanja postojećeg i budućeg prometa. Pri ponovljenom brojenju u određenim vremenskim razmacima, koji se protežu na određeno dulje razdoblje, mogu se spoznati stanovite zavisnosti razvoja prometa.

Brojenje prometa, odnosno prikupljanje podataka o prometu potrebno je radi:

- prometnog i urbanističkog planiranja,
- planiranja perspektivne prometne mreže nekog većeg područja ili oblikovanja nekog većeg prometnog čvora,
- eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže i izgradnje novih prometnih pravaca [3].

3.1. Metode brojanja prometa

U praksi se razlikuju dvije vrste brojenja:

- statičko brojenje, tj. brojenje u nekom presjeku,
- dinamičko brojenje, tj. brojenje prometnog toka.

Statičko brojenje

Pri statičkom brojenju broje se vozila koja u određenom vremenskom intervalu prođu kroz određeni presjek ceste. Statičko brojenje daje podatke o opterećenju ceste, a koristi se za dimenzioniranje prometnica i raskrižja. To se brojenje može provesti ručno, s pomoću pogodnih obrazaca ili s pomoću automatskih uređaja za brojenje. Prednost je statičnog brojenja u tomu što ne ometa promet.

Dinamičko brojenje

Dinamičko brojenje je brojenje prometnih tokova. Njime se utvrđuju jačina, smjer i put prometnog strujanja. Glavna je zadaća dinamičkog brojenja utvrđivanje izvora i ciljeva pojedinih prometnih tokova. Takvo brojenje zadržava promet te se mora pažljivo odabrati mjesto brojenja.

Više je metoda brojenja, od kojih se navode ove:

- metoda običnog mjerenja na čvornim točkama,
- metoda bilježenja registarskih oznaka vozila,
- metoda obilježavanja listićima (naljepnicama),
- metoda ispitivanja,
- metoda brojačkih značaka,
- anketiranje kućanstava,
- elektromehanička metoda po Pradelu.

Metoda običnog mjerenja po čvornim točkama

Služi za određivanje prometnih tokova bez obzira na udaljenost "izvora" i "cilja" tih tokova. Na svakoj prilaznoj cesti prema križanju postavljaju se brojačka mjesta, a brojači bilježe u pripremljene obrasce idu li vozila ravno ili mijenjaju smjer lijevo ili desno. Dobiveni se podaci unose se u prometni plan za to raskrižje.

Metoda bilježenja registarskih oznaka vozila

Sastoji se u tomu da brojači bilježe registarske oznake svih vozila. Nedostatak je metode što je potreban velik broj osoblja, jer se mjerenje mora provesti u isto vrijeme na svim mjestima. Obrada podataka zahtijeva također mnogo vremena.

Metoda obilježavanja listićima

Vozač pri ulasku u grad nalijepi listić na svoje vozilo. Listići su različitih boja s brojevima; tako da se npr. za prolazak bez zadržavanja dobiva crveni listić s bijelim brojem itd. Nedostatak metode je u tomu što je potreban velik broj osoblja, iako se sva brojenja ne moraju obaviti u isto vrijeme.

Metoda ispitivanja

Sastoji se u tomu da se vozačima postavljaju pitanja - odakle dolaze, kamo idu, da li se zadržavaju i sl. Ta metoda zahtijeva velik broj osoblja, ali se sva mjerenja ne moraju provesti u isto vrijeme.

Metoda brojačkih značaka

Značke od papira različitih oblika i boja podijele se vozačima u vršnim satima, u vremenu od tri sata. U razmacima od pola sata treba pokupiti značke i bilježiti u pripremljene obrasce.

Anketiranje kućanstava

Pri analizi prometa u gradu anketiraju se kućanstva o obavljenim vožnjama u nekom određenom danu. Pri tomu je potrebno određene dijelove grada podijeliti na manje sektore i dopisnicama obavijestiti kućanstva o anketi.

Elektromehanička metoda po Pradelu

Sastoji se u tomu da se prikupljeni podaci brojenja automatski prenose na shemu ulične mreže ili križanja. Elektromehanička shema koja se u tu svrhu primjenjuje prilagođena je određenoj uličnoj mreži ili križanju. Na taj se način skraćuje vrijeme brojanja [3].

3.2. Vrijeme brojanja i uređaji za brojenje

Vrijeme brojenja ovisi o svrsi brojenja. Ako je osnovnim brojenjem određeno vrijeme vršnog opterećenja, može i kratkotrajno brojenje od pola do dva sata dati potrebne rezultate. Za dobivanje podataka o dnevnom opterećenju obično se uzima satno vrijeme brojenja u dvije smjene, i to od 6:00 do 14:00 sati i od 14:00 do 22:00 sata. Za brojenje valja izabrati znakovite dane u tjednu kad su opterećenja prosječna. Da bi se dobio odnos između dnevnog i noćnog prometa, potrebno je provesti pojedinačna 24 - satna brojenja. Ručno brojenje je skupo, pa se sve češće koriste automatski brojači. Uređaji za automatsko brojenje su dvojaki: oni koji broje osovine i oni koje broje vozila. Osim spomenutih tipova automatskih brojača upotrebljavaju se i radarski detektori, ultrazvučni, induktivni, magnetski, detektori s infracrvenim zrakama i sl [3].

3.3. PA – jedinice

U prometu sudjeluju vozila koja u kretanju ili u mirovanju zauzimaju različite prometne površine. Pritom se bitno razlikuju osobna i teretna vozila. Teretna vozila zauzimaju veću površinu, razvijaju manju brzinu, a potreban im je veći luk pri obilaženju i sl. Da bi se dobili jedinstveni podaci pri određivanju strukture prometa, uvedeni su koeficijenti kojima se množi svaka vrsta vozila. To su tzv. PA - jedinice. Kao jedinica uzeto je osobno vozilo s koeficijentom 1. U tablici 3. različite su vrste vozila izražene PA - jedinicama (*PAJ*) [3].

Tablica 2. Prikaz različitih vrsta vozila izražene PA – jedinicama

| Vrsta vozila | PA - jedinice |
|-----------------------------|---------------|
| bicikl | 0,3 |
| moped | 0,3 |
| motocikl | 0,5 |
| osobni automobil | 1,0 |
| teretno vozilo | 2,0 |
| teretno vozilo s prikolicom | 3,0 – 4,0 |
| tramvaj s jednom prikolicom | 2,5 – 3,0 |
| autobus, trolejbus | 2,0 |
| zaprežno vozilo | 2,0 |

Izvor: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.

3.4. Brojenje pješaka

Brojenje pješaka provodi se na mjestima s većom frekvencijom pješačkog prometa. To su obično raskrižja, trgovi i slično. Pri brojenju pješaka treba odrediti intenzitet pješačkog prometa za svaki smjer kretanja. Broji se tako da se kretanje pješaka snima fotokamerama, a rezultati se dobiju usporenom reprodukcijom filma [3].

3.5. Brojenje mirujućeg (stacioniranog) prometa

Mirujući promet je posebna vrsta prometa, osobito u većim gradovima. Pod mirujućim prometom razumijeva se:

- zaustavljanje za ulazak i izlazak iz vozila ili ukrcaj i iskrcaj tj. zaustavljanje na kraće vrijeme,
- parkiranje na kraće ili dulje vrijeme uz rub kolnika ili na parkiralištu unutar uličnog prostora ili izvan njega,
- postavljanje vozila na površine koje nisu javne, u vlastite garaže, skupne garaže ili na posebnim mjestima,
- vozila izvan uporabe za vrijeme servisno - remontnog održavanja i kontrolnih pregleda.

Prije određivanja prostora za parkiranje, treba odrediti postojeće stanje brojenjem parkiranih vozila i anketiranjem vozača. Pritom je potrebno brojenjem obuhvatiti sva vozila koja se ne kreću da se dobije potpuna slika zauzetosti ulica u raznim dijelovima grada [3].

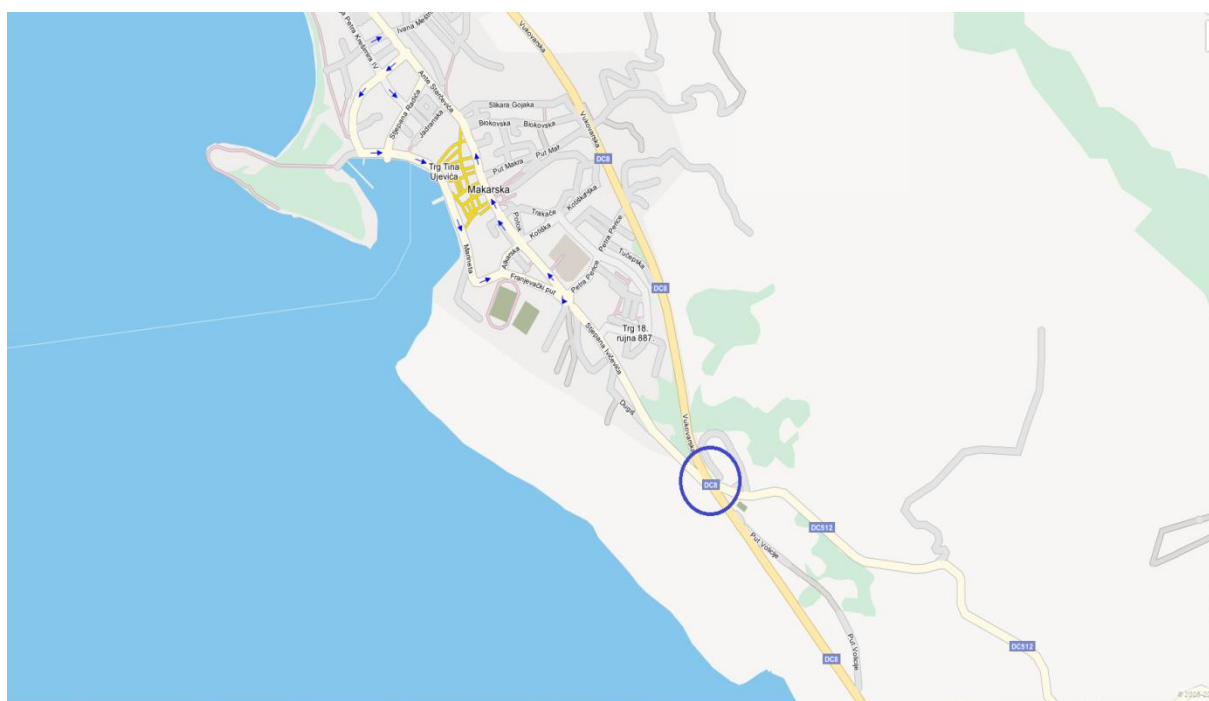


Slika 4. Brojač biciklističkog prometa

Izvor: <http://www.zagreb.hr>

4. Analiza raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka - Vrgoračka

Raskrižje Stjepana Ivičevića – Dubrovačka - Vrgoračka je klasično četverokrako raskrižje u razini, a promet je reguliran uređajima svjetlosne signalizacije. Regulacija je izvedena u 2 faze s ciklusom od 120 sekundi.



Slika 5. Položaj analiziranog raskrižja u prometnoj mreži grada Makarske

Izvor: <https://map.hak.hr>

Glavna ulica je Dubrovačka ulica koja se pruža u smjeru sjever – jug. Na njoj na oba privoza postoji traka za kretanje ravno i desno te traka za lijevo skretanje. Sporedna ulica sa zapadne strane glavnog privoza je Ulica Stjepana Ivičevića, a sa istočne strane Vrgoračka ulica. Na njima također postoje po jedna traka za kretanje ravno i desno i jedna traka za lijevo skretanje.

Ovo raskrižje je četverokrako križanje dvije dvotračne ceste. Širina prolaznih prometnih trakova i trakova za desno skretanje na sjevernom privozu iznosi 3,25 m, a na južnom 3,00 m, te širina traka za lijevo skretanje na sjevernom iznosi 2,75 m, a na južnom 3,00 m.

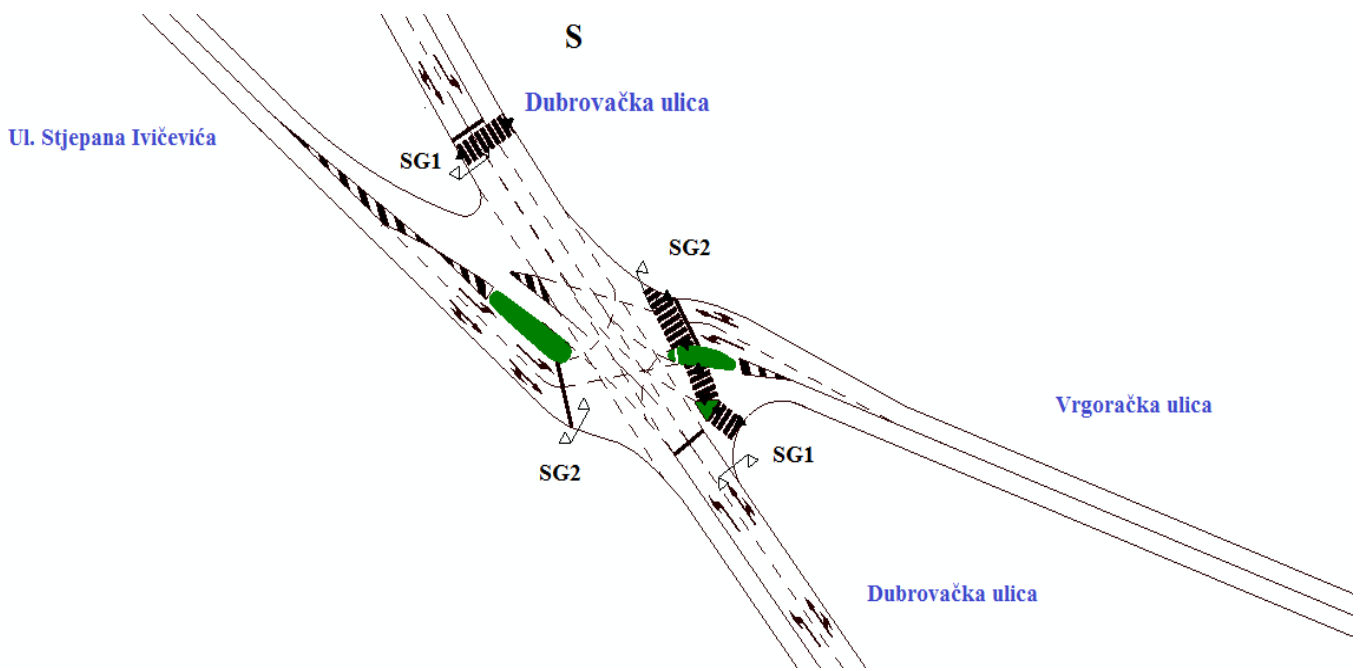
Na svakom privozu nalaze se po dvije trake – traka za kretanje ravno i desno, te traka za lijeve skretače. Raskrižje je neobično zbog kuta pod kojim su projektrani sporedni privozi u odnosu na glavni privoz. Zapadni privoz je postavljen pod kutem od stupnjeva, a istočni pod kutem od stupnjeva u odnosu na glavni privoz.

Što se tiče pješaka, pješacima je dozvoljeno prelaženje ceste samo preko sjevernog i južnog privoza.

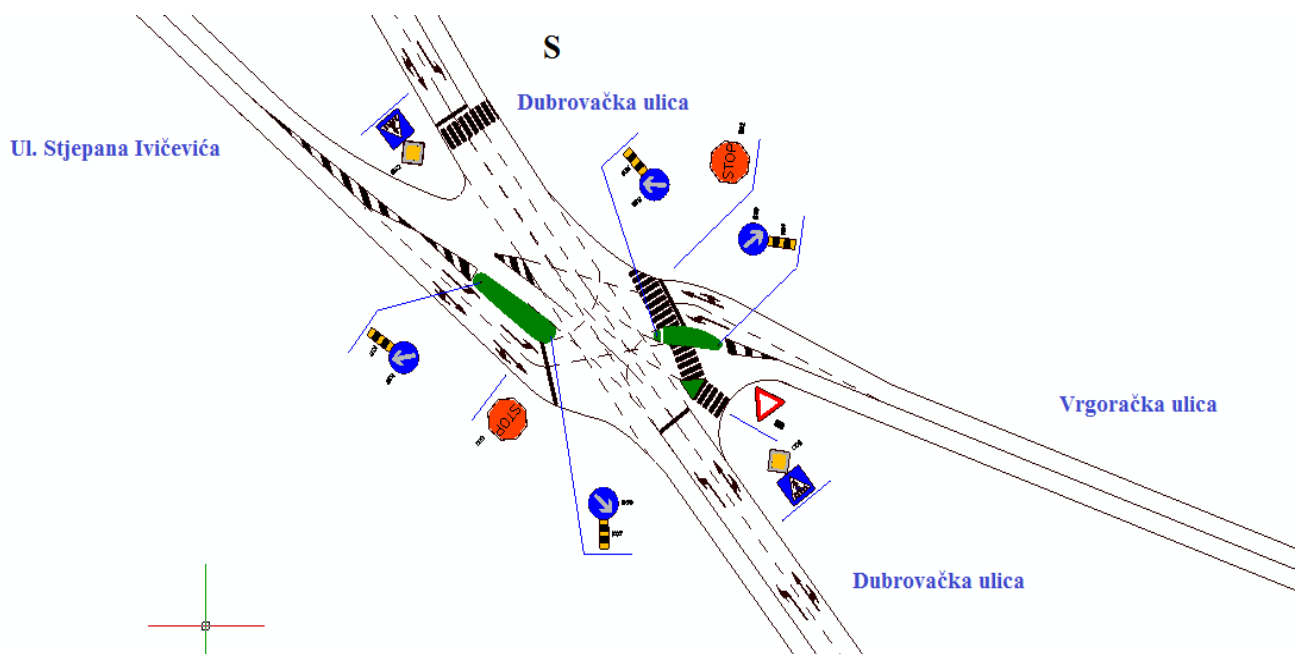


Slika 6. Položaj raskrižja Stjepana Ivičevića - Dubrovačka - Vrgoračka u Makarskoj

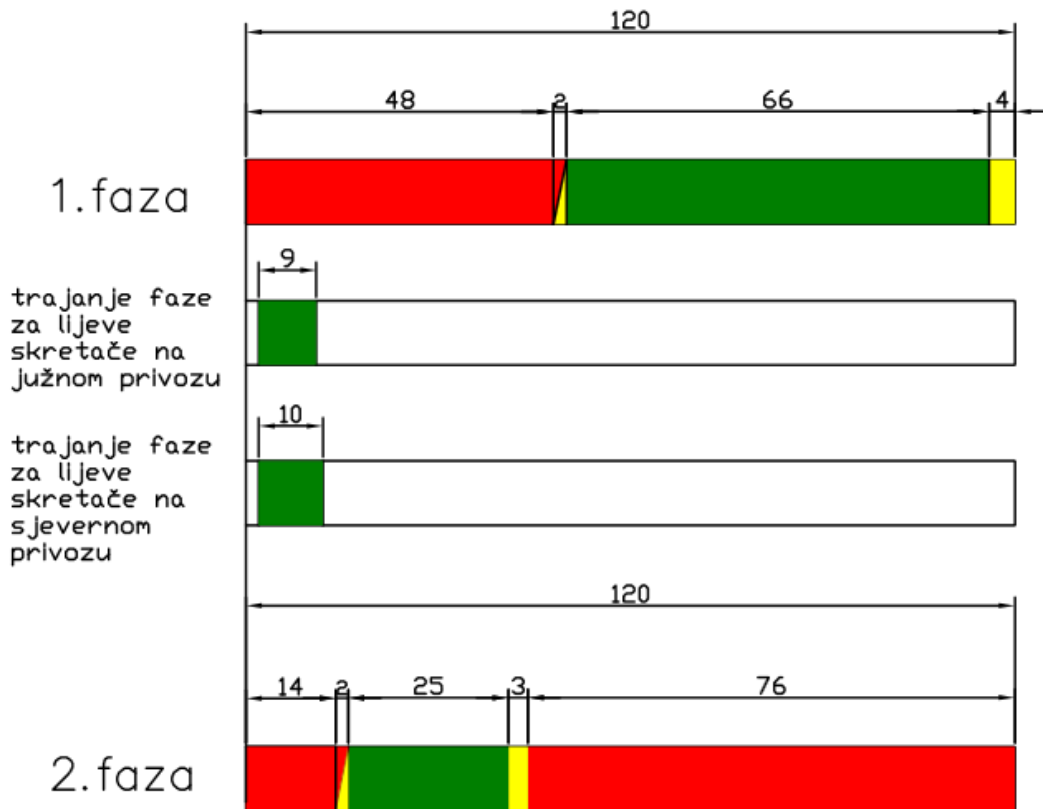
Izvor: <http://preglednik.arkod.hr>



Slika 7. Položaj svjetlosne signalne opreme



Slika 8. Prikaz vertikalne i horizontalne signalizacije



Slika 9. Prikaz postojećeg signalnog plana

4.1. Prikaz raskrižja po privozima

Raskrižje Stjepana Ivičevića – Dubrovačka - Vrgoračka jedno je od problematičnih prometnih točaka u gradu Makarska. Problem na raskrižju dviju državnih i jedne županijske ceste postoji još od prije desetak godina kada je rekonstruirano jer tada promet nisu regulirali semafori, već se regulacija vršila prometnim znakovima. Rekonstrukciju su izvršile Hrvatske ceste u suradnji s gradom Makarska, a detalji o novom projektu izgradnje s kružnim tokom, spominjani u medijima, nisu poznati. Spomenuto raskrižje se nalazi na Jadranskoj magistrali (Dubrovačka ulica) i kao takvo predstavlja jedno od tri “uskih grla“ (Omiš, Karlobag) te prometnice.

Veliki broj konfliktnih točaka unutar samog raskrižja i dugački repovi čekanja koji se stvaraju u vršnim satima posebno u ljetnim mjesecima glavni su problem ovog raskrižja.

Brojenjem prometa i promatranjem raskrižja došlo se do zaključka da se problemi u raskrižju se javljaju:

- prilikom desnog skretanja većeg vozila iz smjera sjevernog privoza,
- prilikom lijevog skretanja vozila iz smjera istočnog privoza jer zbog smanjenje preglednosti vozač sa istočnog privoza ne može na vrijeme uočiti vozilo koje se kreće većom brzinom ravno iz smjera zapadnog privoza,
- kod lijevih skretača na glavnom privozu, jer je prije paljenja dodatne faze kritična vremenska praznina, potrebna za njihovo skretanje, često prekratka što bitno smanjuje sigurnost raskrižja,
- zbog male propusne moći raskrižja tijekom vršnih opterećenja,
- zbog konfiguracije raskrižja koja je zbunjujuća.

U sljedećem poglavlju predložiti će se rješenja kojima će se ti problemi minimalizirati.

Na slikama 9., 10., 11. i 12. prikazano je raskrižje po privozima.



Slika 10. Sjeverni privoz



Slika 11. Južni privoz



Slika 12. Zapadni privoz



Slika 13. Istočni privoz

4.2. Analiza podataka o brojanju prometa

Brojenje prometa izvršeno je kamerom koja je snimala promet u periodu vršnog sata od 10 do 11 sati ujutro. Snimke su kasnije u cijelosti pregledane te su ti podaci uneseni u obrasce brojačkih listića. Budući da je znatna razlika između prometnog opterećenja izvan i unutar turističke sezone brojanje prometa izvršeno je dva puta i to 01. lipnja i 25. srpnja 2016. godine. oba puta u vršnom satu između 10 i 11 sati, kada su najveće dnevne migracije turista zbog turističke sezone i domaćeg stanovništva privučenog Makarskom kao gospodarskog, društvenog i administrativnog središta.

Svi sudionici u prometu svrstani su u sedam kategorija:

- osobna vozila OS,
- laka teretna vozila $LT < 5$ tona,
- teška teretna vozila $TT > 5$ tona,
- autobusi BS,
- motocikli MT,
- pješaci PJ,
- bicikli BC.

4.3. Tablični prikaz rezultata brojanja prometa

U idućim tablicama prikazani su rezultati brojanja prometa za svaki smjer kretanja vozila u 15 – minutnim periodima tijekom turističke predsezone i sezone.

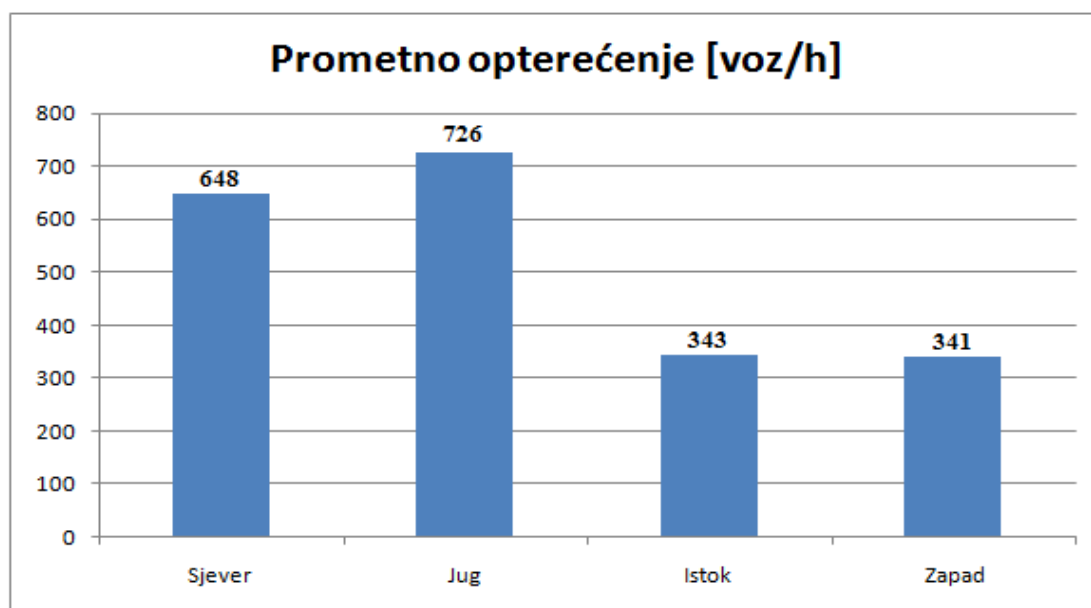
Predsezona, vršni sat 10 – 11 sati, 01. lipnja 2016. godine

Tablica 3. Prikaz rezultata brojanja vozila sa sjevernog i južnog privoza

| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
|---------------------|----------------------|-------------|-----|----|----|----|----|----|----|---------------------|-----------------|-------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 10:00 – 11:00 | sjever - jug | 0 - 15 | 60 | 7 | 1 | 1 | 9 | 4 | 1 | 10:00 – 11:00 | jug - sjever | 0 - 15 | 81 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 0 |
| | | 15 - 30 | 62 | 6 | 0 | 1 | 9 | 2 | 0 | | | 15 - 30 | 75 | 5 | 1 | 0 | 6 | 1 | 1 |
| | | 30 - 45 | 71 | 6 | 4 | 0 | 3 | 1 | 2 | | | 30 - 45 | 85 | 4 | 0 | 1 | 7 | 2 | 1 |
| | | 45 - 60 | 63 | 4 | 1 | 3 | 6 | 3 | 0 | | | 45 - 60 | 79 | 6 | 2 | 1 | 8 | 0 | 2 |
| | | UKUPNO | 256 | 23 | 6 | 5 | 27 | 10 | 3 | | | UKUPNO | 320 | 17 | 5 | 4 | 25 | 7 | 4 |
| SVEUKUPNO | | 330 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 382 | | | | | | | |
| 10:00 – 11:00 | sjever – zapad | 0 - 15 | 29 | 3 | 0 | 3 | 2 | 3 | 0 | 10:00 – 11:00 | jug - zapad | 0 - 15 | 49 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 |
| | | 15 - 30 | 32 | 4 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1 | | | 15 - 30 | 41 | 2 | 0 | 1 | 11 | 2 | 0 |
| | | 30 - 45 | 35 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 2 | | | 30 - 45 | 35 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| | | 45 - 60 | 36 | 2 | 0 | 1 | 5 | 1 | 0 | | | 45 - 60 | 45 | 2 | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 |
| | | UKUPNO | 132 | 10 | 1 | 6 | 14 | 6 | 3 | | | UKUPNO | 170 | 4 | 3 | 3 | 22 | 5 | 3 |
| SVEUKUPNO | | 172 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 210 | | | | | | | |
| 10:00 – 11:00 | sjever - Istok | 0 - 15 | 26 | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 2 | 10:00 – 11:00 | jug - istok | 0 - 15 | 39 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| | | 15 - 30 | 29 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | | | 15 - 30 | 21 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| | | 30 - 45 | 27 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | 30 - 45 | 23 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | | 45 - 60 | 34 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | 45 - 60 | 29 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 |
| | | UKUPNO | 116 | 7 | 1 | 2 | 10 | 5 | 5 | | | UKUPNO | 112 | 3 | 1 | 0 | 9 | 7 | 2 |
| SVEUKUPNO | | 146 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 134 | | | | | | | |

Tablica 4. Prikaz rezultata brojenja vozila sa istočnog i zapadnog privoza

| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
|---------------|---------|-------------|-----|----|----|----|----|----|---------|---------------|-------|-------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 10:00 - 11:00 | istok | 0 - 15 | 30 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 10:00 - 11:00 | zapad | 0 - 15 | 25 | 2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 |
| | | 15 - 30 | 33 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | | | 15 - 30 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 30 - 45 | 28 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 30 - 45 | | 26 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | | |
| | 45 - 60 | 27 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 45 - 60 | | 23 | 2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | | |
| | UKUPNO | 118 | 4 | 2 | 0 | 12 | 4 | 3 | UKUPNO | | 93 | 7 | 0 | 0 | 7 | 6 | 4 | | |
| SVEUKUPNO | | | 143 | | | | | | | SVEUKUPNO | | | 117 | | | | | | |
| 10:00 - 11:00 | istok | 0 - 15 | 19 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 10:00 - 11:00 | zapad | 0 - 15 | 18 | 1 | 1 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| | | 15 - 30 | 24 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | | | 15 - 30 | 13 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| | 30 - 45 | 17 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 30 - 45 | | 16 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| | 45 - 60 | 20 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 45 - 60 | | 20 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | | |
| | UKUPNO | 80 | 3 | 0 | 1 | 11 | 7 | 3 | UKUPNO | | 67 | 6 | 3 | 0 | 13 | 3 | 0 | | |
| SVEUKUPNO | | | 105 | | | | | | | SVEUKUPNO | | | 92 | | | | | | |
| 10:00 - 11:00 | istok | 0 - 15 | 15 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 10:00 - 11:00 | zapad | 0 - 15 | 25 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| | | 15 - 30 | 20 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | 15 - 30 | 22 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 2 |
| | 30 - 45 | 17 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 30 - 45 | | 21 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | | |
| | 45 - 60 | 16 | 2 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 45 - 60 | | 28 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 1 | | |
| | UKUPNO | 68 | 7 | 3 | 1 | 9 | 5 | 2 | UKUPNO | | 96 | 7 | 0 | 7 | 16 | 3 | 3 | | |
| SVEUKUPNO | | | 95 | | | | | | | SVEUKUPNO | | | 132 | | | | | | |



Slika 14. Grafički prikaz prometnih opterećenja po smjerovima kretanja vozila u raskrižju za vrijeme turističke predsezone

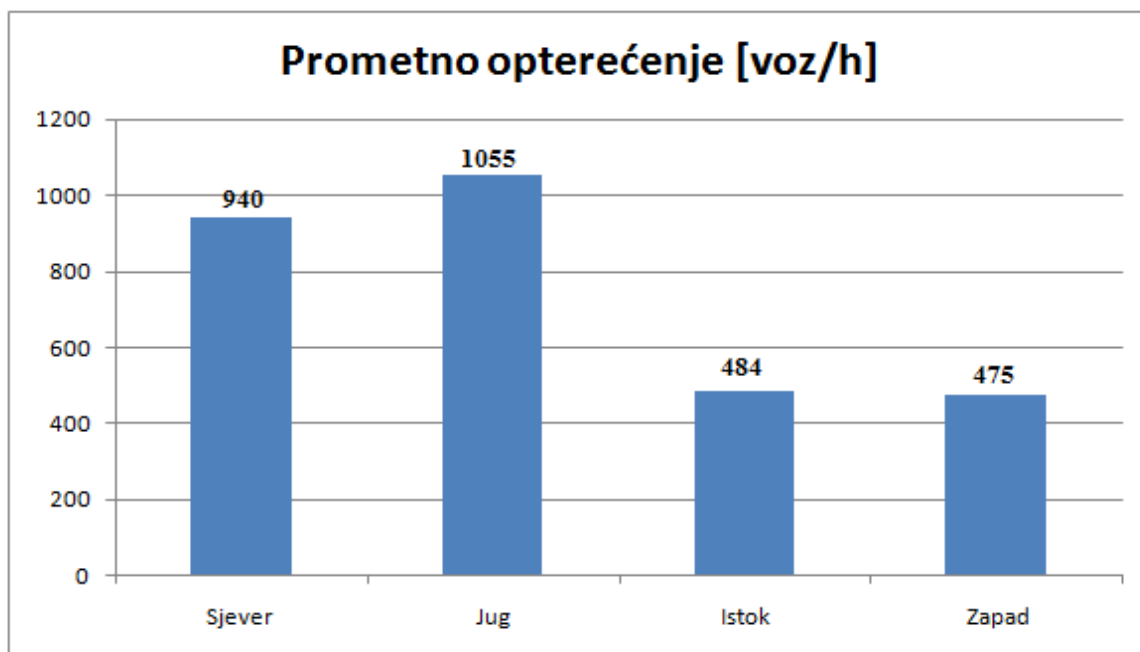
Sezona, vršni sat 10 – 11, 25. srpnja 2016.godine

Tablica 5. Prikaz rezultata brojenja vozila sa sjevernog i južnog privoza

| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
|---------------------|------------------------------------|----------------|-----|----|----|----|----|----|--------|---------------------|----------------------------------|----------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 10:00 - 11:00 | sjever - jug | 0 - 15 | 95 | 5 | 2 | 3 | 22 | 3 | 2 | 10:00 - 11:00 | jug - sjever | 0 - 15 | 135 | 3 | 1 | 1 | 9 | 3 | 0 |
| | | 15 - 30 | 104 | 6 | 0 | 2 | 10 | 1 | 1 | | | 15 - 30 | 119 | 2 | 0 | 1 | 15 | 2 | 1 |
| | | 30 - 45 | 89 | 3 | 0 | 1 | 12 | 2 | 0 | | | 30 - 45 | 126 | 3 | 2 | 2 | 12 | 1 | 2 |
| | | 45 - 60 | 94 | 5 | 3 | 2 | 7 | 3 | 1 | | | 45 - 60 | 102 | 4 | 2 | 2 | 13 | 1 | 1 |
| | UKUPNO | 382 | 19 | 5 | 8 | 51 | 9 | 4 | UKUPNO | | 482 | 19 | 5 | 6 | 39 | 7 | 4 | | |
| SVEUKUPNO | | 478 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SVEUKUPNO | | 562 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
| 10:00 - 11:00 | sjever - zapad | 0 - 15 | 52 | 3 | 0 | 0 | 5 | 2 | 2 | 10:00 - 11:00 | jug - zapad | 0 - 15 | 65 | 2 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 |
| | | 15 - 30 | 56 | 5 | 1 | 0 | 5 | 3 | 1 | | | 15 - 30 | 59 | 2 | 0 | 2 | 12 | 2 | 3 |
| | | 30 - 45 | 42 | 3 | 0 | 1 | 4 | 2 | 2 | | | 30 - 45 | 50 | 3 | 0 | 3 | 9 | 3 | 1 |
| | | 45 - 60 | 49 | 1 | 0 | 2 | 7 | 1 | 0 | | | 45 - 60 | 61 | 4 | 0 | 0 | 7 | 2 | 0 |
| | UKUPNO | 199 | 12 | 1 | 3 | 21 | 8 | 5 | UKUPNO | | 235 | 11 | 1 | 6 | 38 | 7 | 4 | | |
| SVEUKUPNO | | 249 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SVEUKUPNO | | 302 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
| 10:00 - 11:00 | sjever - istok | 0 - 15 | 47 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 10:00 - 11:00 | jug - istok | 0 - 15 | 41 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| | | 15 - 30 | 43 | 4 | 2 | 0 | 4 | 1 | 1 | | | 15 - 30 | 36 | 4 | 0 | 1 | 5 | 2 | 4 |
| | | 30 - 45 | 34 | 0 | 0 | 1 | 6 | 3 | 1 | | | 30 - 45 | 38 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 |
| | | 45 - 60 | 39 | 5 | 1 | 2 | 7 | 1 | 1 | | | 45 - 60 | 43 | 2 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 |
| | UKUPNO | 163 | 12 | 3 | 3 | 20 | 7 | 5 | UKUPNO | | 158 | 3 | 3 | 1 | 14 | 5 | 7 | | |
| SVEUKUPNO | | 213 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SVEUKUPNO | | 191 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tablica 6. Prikaz rezultata brojenja vozila sa istočnog i zapadnog privoza

| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
|---------------------|----------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|--------|---------------------|----------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 10:00 - 11:00 | istok - sjever | 0 - 15 | 45 | 4 | 3 | 0 | 2 | 4 | 0 | 10:00 - 11:00 | zapad - sjever | 0 - 15 | 38 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 |
| | | 15 - 30 | 37 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | | | 15 - 30 | 30 | 3 | 0 | 1 | 3 | 3 | 0 |
| | | 30 - 45 | 32 | 3 | 1 | 0 | 7 | 3 | 2 | | | 30 - 45 | 28 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 |
| | | 45 - 60 | 46 | 2 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | | | 45 - 60 | 33 | 5 | 0 | 1 | 5 | 2 | 1 |
| | UKUPNO | 160 | 12 | 5 | 0 | 20 | 7 | 3 | UKUPNO | 129 | 10 | 1 | 2 | 13 | 9 | 4 | | | |
| SVEUKUPNO | | 208 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 168 | | | | | | | |
| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
| 10:00 - 11:00 | istok - zapad | 0 - 15 | 27 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 10:00 - 11:00 | zapad - istok | 0 - 15 | 24 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| | | 15 - 30 | 37 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | | | 15 - 30 | 21 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| | | 30 - 45 | 26 | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | 30 - 45 | 26 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 |
| | | 45 - 60 | 27 | 3 | 0 | 1 | 4 | 2 | 1 | | | 45 - 60 | 29 | 3 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 |
| | UKUPNO | 117 | 8 | 0 | 1 | 13 | 5 | 3 | UKUPNO | 100 | 6 | 1 | 0 | 12 | 4 | 1 | | | |
| SVEUKUPNO | | 147 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 124 | | | | | | | |
| Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC | Sat | Smjer | 15min - int | OA | LT | TT | BS | MT | PJ | BC |
| 10:00 - 11:00 | istok - jug | 0 - 15 | 26 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10:00 - 11:00 | zapad - jug | 0 - 15 | 35 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| | | 15 - 30 | 22 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 1 | | | 15 - 30 | 33 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| | | 30 - 45 | 19 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | | | 30 - 45 | 39 | 0 | 1 | 2 | 6 | 5 | 2 |
| | | 45 - 60 | 30 | 4 | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | | | 45 - 60 | 31 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 |
| | UKUPNO | 97 | 5 | 4 | 1 | 13 | 5 | 4 | UKUPNO | 138 | 7 | 3 | 5 | 18 | 8 | 4 | | | |
| SVEUKUPNO | | 129 | | | | | | | | SVEUKUPNO | | 183 | | | | | | | |



Slika 15. Grafički prikaz prometnih opterećenja po smjerovima kretanja vozila u raskrižju za vrijeme turističke sezone

5. Prijedlozi poboljšanja raskrižja

Obzirom na opisane situacije u prethodnom poglavlju dolazi se do dva moguća rješenja:

- izgradnja novog raskrižja s kružnim tokom prometa,
- rekonstrukcija postojećeg raskrižja.

5.1. Izgradnja raskrižja s kružnim tokom prometa

Općenito izgradnjom kružnog toka pretpostavlja se da bi se osiguralo:

- mnogo veći stupanj sigurnosti prometa (s manjim brojem konfliktnih točaka i s manjim brzinama u kružnom toku) uz manje posljedice prometnih nezgoda (bez čelnih sudara i pod pravim kutom),
- manji troškovi izgradnje i održavanja uz mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor,
- veća propusna moć raskrižja, uz manje proizvedene buke i emisije štetnih plinova motora vozila.

Nedostatci takvog načina vođenja prometa su:

- slabo rješenje za slučaj velikog intenziteta prometnog toka sa skretanjem ulijevo,
- poteškoće s izvedbom središnjeg otoka u već izgrađenim urbanim područjima zbog prostornih ograničenja,
- produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja [4].

Unutarnji radijus kružnog raskrižja iznosi 14 [m], a vanjski 22,5 [m]. Ove dimenzije određene su minimalnim unutarnjim radijusom okretanja teretnog i osobnog vozila. Širina kolnika u kružnom dijelu otoka iznosi 8,5 [m]. Navedene širine temeljene su na činjenici da vozila na kružnoj putanji imaju znatno širi trag kretanja nego na pravocrtnoj putanji. Širina razdjelnog otoka iznosi 2 [m]. Ova širina određena je prostorom za postavljanje prometnih znakova te prostorom potrebnim za zadržavanje pješaka s dodatnim pješačkim sredstvima. Vrijednosti ulaznih i izlaznih polumjera privoza izražene su u tablici 7.

Tablica 7. Vrijednosti ulaznih i izlaznih polumjera raskrižja s kružnim tokom prometa

| | Sjeverni privoz | Južni privoz | Istočni privoz | Zapadni privoz |
|------------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|
| Ulazni polumjer | 14 [m] | 12 [m] | 12 [m] | 12 [m] |
| Izlazni polumjer | 14 [m] | 12,17 [m] | 17,69 [m] | 17,43 [m] |



Slika 16. Izgled raskrižja nakon izgradnje kružnog toka



Slika 17. Traektorije teretnog vozila (kamion s prikolicom) izrađene programskim alatom AutoTURN za raskrižje s kružnim tokom promet

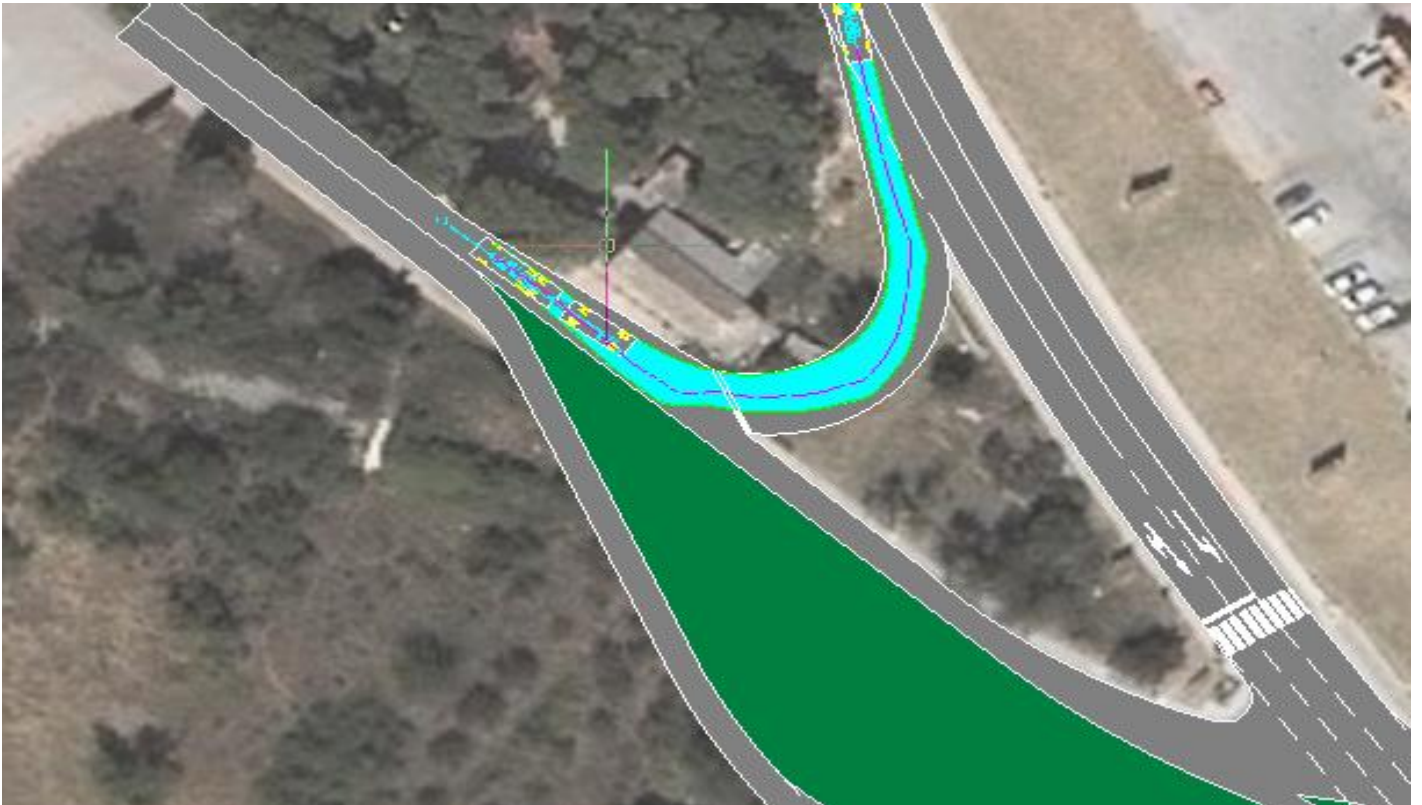
5.2. Rekonstrukcija postojećeg raskrižja

Rekonstrukcijom postojećeg raskrižja riješila bi se većina analiziranih problema. Potrebno je okomizirati lijevi privoz čime bi se riješio problem smanjene preglednosti kada vozač s istočnog privoza ne može na vrijeme uočiti vozilo koje se kreće ravno iz smjera zapadnog privoza, a samim time i konfiguracija raskrižja prestala bi biti zbunjujuća. Okomizacijom bi se otvorilo dosta prostora za dodavanje treće trake na privozu i to za desne skretače, te bi se time povećala propusna moć tog privoza. U području raskrižja ima dovoljno prostora za izvedbu rekonstrukcije te nije potrebno rušenje objekata.



Slika 18. Izgled raskrižja nakon rekonstrukcije

Isto tako potrebno je odvojiti traku za desno od trake za ravno na sjevernom privozu i to prije samog ulaska u raskrižje. Time bi velika vozila (kamioni, autobusi) imali dovoljno veliki luk skretanja što do sada nije bio slučaj, a i sam privoz bi se rasteretio i povećala bi mu se propusna moć.



Slika 19. Traektorije teretnog vozila (kamion s prikolicom) izrađene programskim alatom AutoTURN za četverokrako raskrižje

Sljedeće što je bitno učiniti je produljenje traka za lijevo skretanje na južnom za 70 metara i na sjevernom privozu za 40 metara. U području raskrižja ima dovoljno prostora za izvedbu produljenja traka za lijeve skretače. Iz tabličnog prikaza rezultata brojenja prometa uočljivo je da je postotak lijevih skretača sa spomenutih privoza relativno visok. To bi popravilo situaciju na glavnom privozu gdje se stvaraju najdulji repovi čekanja. Na kraju, potrebno je izmjeniti signalni plan raskrižja. Signalni plan sastojao bi se od tri faze:

- 1. faza - lijevi skretači sa glavnog privoza i desni skretači sa sporednoga privoza,
- 2. faza - vozila koja se kreću ravno i desno na glavnom privozu,
- 3. faza – vozila koja se kreću sporednim privozom.

Signalni plan

Izrada signalnih planova pojedinih raskrižja sastoji se od sljedećih faza:

- raspodjela prometnih tokova na raskrižju i broja pješaka;
- provjera da li su potrebne posebne faze za lijeve skretače;
- definiranje broja faza;
- definiranje faktora vršnog sata;
- konvertiranje lijevih i desnih skretača u ekvivalent vozila za ravno;
- utvrđivanje kritičnih prometnih tokova;
- proračun prijelaznih vremena i međuvremena;
- proračun izgubljenih vremena;
- proračun željenog trajanja ciklusa;
- raspodjela efektivnih zelenih vremena po fazama;
- proračun stvarnih zelenih vremena.

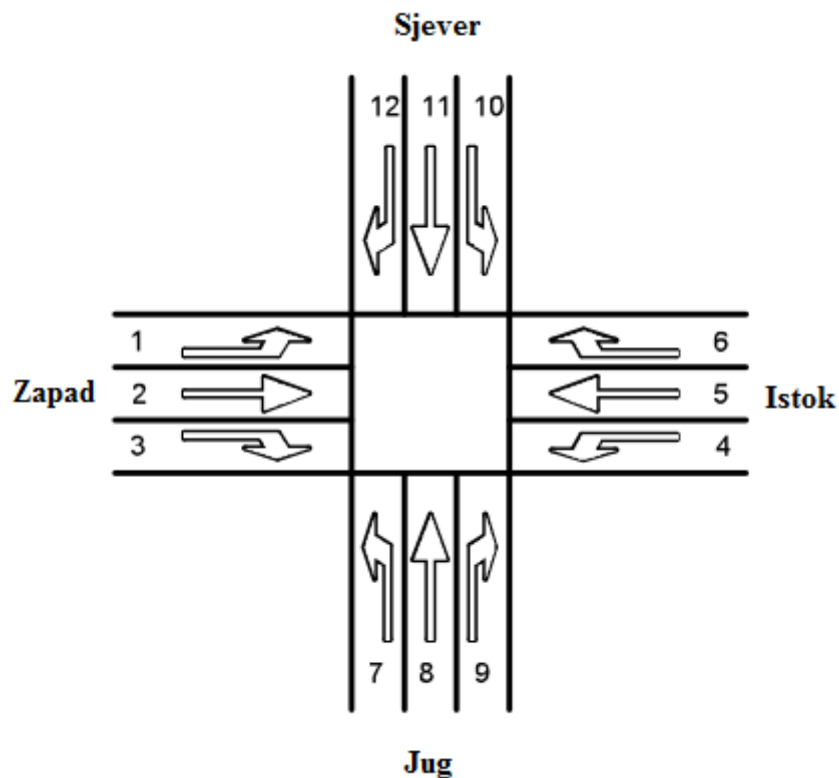
a) Raspodjela prometnih tokova na raskrižju i broja pješaka

Elementi dobiveni analizom brojanja prometa na predmetnom raskrižju:

Tablica 8. Elementi projektnog zadatka

| | |
|---------------------|--------------|
| Q_{jug} | 1055 [voz/h] |
| Q_{istok} | 484 [voz/h] |
| Q_{sjever} | 940 [voz/h] |
| Q_{zapad} | 475 [voz/h] |

- Glavni privozi: Sjever i Jug,
- Sporedni privozi: Istok i Zapad.



Slika 20. Prikaz prometnih tokova i privoza raskrižja

Tablica 9. Raspodjela prometnih tokova

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| $V_1 = 168$ [voz/h] | $V_4 = 129$ [voz/h] | $V_7 = 302$ [voz/h] | $V_{10} = 213$ [voz/h] |
| $V_2 = 124$ [voz/h] | $V_5 = 147$ [voz/h] | $V_8 = 562$ [voz/h] | $V_{11} = 478$ [voz/h] |
| $V_3 = 183$ [voz/h] | $V_6 = 208$ [voz/h] | $V_9 = 191$ [voz/h] | $V_{12} = 249$ [voz/h] |

b) Provjera da li su potrebne posebne faze za lijeve skretače

$$V_1 * V_5 = 147 * 24696 \rightarrow 24696 < 50000$$

$$V_4 * V_2 = 15996 \rightarrow 15996 < 50000$$

$$V_7 * V_{11} = 144356 \rightarrow 144356 > 50000$$

$$V_{10} * V_8 = 119706 \rightarrow 119706 > 50000$$

Potrebne su posebne faze za lijeve skretače na privozima A i C.

c) Definiranje broja faza

Potrebne su dvije faze.

d) Definiranje faktora vršnog sata

Faktor vršnog sata (*PHF*) iznosi 0,97.

e) Konvertiranje lijevih i desnih skretača u ekvivalent vozila za ravno

$$\left(\frac{2,5 - 1,1}{200}\right) * 147 + 1.1 = 2,129$$

$$V_1 = 168 * 2,129 = 357,67 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$$

$$\left(\frac{2,5 - 1,1}{200}\right) * 124 + 1.1 = 1,968$$

$$V_4 = 129 * 1,968 = 253,87 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$$

Desni skretači se množe s 1,21 pa se dobiju sljedeće vrijednosti:

- $V_3 = 221,43 \text{ [voz/h]}$
- $V_6 = 251,68 \text{ [voz/h]}$
- $V_9 = 231,11 \text{ [voz/h]}$
- $V_{12} = 301,29 \text{ [voz/h]}$

Zbrajanjem tokova u jednoj traci dobije se:

- $V_1 = 357,67 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_{2,3} = 345,43 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_4 = 253,87 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_{5,6} = 398,69 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_7 = 302 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_{8,9} = 793,11 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_{10} = 213 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$
- $V_{11,12} = 779,29 \text{ [ekvivalent vozila za ravno / h]}$

f) Utvrđivanje kritičnih prometnih tokova

- $V_{C1} = 793,11$ [ekvivalent vozila za ravno/ h]
- $V_{C2} = 779,29$ [ekvivalent vozila za ravno/ h]
- $V_{C3} = 398,69$ [ekvivalent vozila za ravno/ h]

$$V_C = V_{C1} + V_{C2} + V_{C3} = 1971,07 \text{ [ekvivalent vozila za ravno/ h]}$$

g) Proračun prijelaznih vremena i međuvremena

- **1.Faza – lijevi skretači na glavnom privozu**

$$t_{r1} = \frac{s_{r1}}{v_r} = \frac{S_{01} + l_{fz}}{v_r} = \frac{57,62 + 6}{7} = 9,088 \approx 9 \text{ [s]}$$

$$t_{e1} = \frac{3,6 * S_{e1}}{40} = \frac{3,6 * 24,56}{40} = 2,210 \approx 3 \text{ [s]}$$

$$t_{z1} = t_u + t_{r1} - t_{e1} = 2 + 9 - 3 = 8 \text{ [s]}$$

- **2. Faza – ravno i desno na glavnom privozu**

$$t_{r2} = \frac{s_{r2}}{v_r} = \frac{S_{02} + l_{fz}}{v_r} = \frac{48,24 + 6}{10} = 5,424 \approx 6 \text{ [s]}$$

$$t_{e2} = \frac{3,6 * S_{e2}}{40} = \frac{3,6 * 10,09}{40} = 0,908 \approx 1 \text{ [s]}$$

$$t_{z2} = t_u + t_{r2} - t_{e2} = 3 + 6 - 1 = 8 \text{ [s]}$$

- **3. Faza – sporedni privoz**

$$t_{r3} = \frac{s_{r3}}{v_r} = \frac{S_{03} + l_{fz}}{v_r} = \frac{12,41 + 6}{10} = 1,841 \approx 2 \text{ [s]}$$

$$t_{e3} = \frac{3,6 * S_{e3}}{40} = \frac{3,6 * 10,86}{40} = 0,977 \approx 1 \text{ [s]}$$

$$t_{z3} = t_u + t_{r3} - t_{e3} = 3 + 2 - 1 = 4 \text{ [s]}$$

$$t_{z3} = t_{z,min} = 5 \text{ [s]}$$

h) Proračun izgubljenih vremena

$$e = 2 \text{ [s]}$$

$$t_{l1} = l_1 + l_2 = 2 + (t_{z1} - e) = 2 + (8 - 2) = 8 \text{ [s]}$$

$$t_{l2} = l_1 + l_2 = 2 + (t_{z2} - e) = 2 + (8 - 2) = 8 \text{ [s]}$$

$$t_{l3} = l_1 + l_2 = 2 + (t_{z3} - e) = 2 + (5 - 2) = 5 \text{ [s]}$$

$$L = t_{l1} + t_{l2} + t_{l3} = 8 + 8 + 5 = 21 \text{ [s]}$$

→ ukupno izgubljeno vrijeme u jednom ciklusu

i) Proračun željenog trajanja ciklusa

$$c_{\check{z}} = \frac{L}{1 - \left[\frac{V_C}{1615 * PHF * v_c} \right]} = \frac{21}{1 - \left[\frac{1971,07}{1615 * 0,97 * 0,9} \right]} = - 52,76 \text{ [s]}$$

$$c_{\check{z}} = c_{min} = 120 \text{ [s]}$$

Trajanje ciklusa od 120 sekundi odabrano je zbog toga što je prometno opterećenje veće od kapaciteta pa je uzeta ta vrijednost kao maksimalni iznos ciklusa.

j) Raspodjela efektivnih zelenih vremena po fazama

$$g_{tot} = C - L = 120 - 21 = 99 \text{ [s]}$$

$$g_1 = g_{tot} * \frac{V_{C1}}{V_C} = 99 * \frac{793,11}{1971,07} = 39,84 \approx 40 \text{ [s]}$$

$$g_2 = g_{tot} * \frac{V_{C2}}{V_C} = 99 * \frac{779,29}{1971,07} = 39,14 \approx 39 \text{ [s]}$$

$$g_3 = g_{tot} * \frac{V_{C3}}{V_C} = 99 * \frac{398,69}{1971,07} = 20,02 \approx 20 \text{ [s]}$$

k) Proračun stvarnih zelenih vremena

$$G_i = g_i - t_{zi} + t_{li}$$

$$G_1 = g_1 - t_{z1} + t_{l1} = 40 - 8 + 8 = 40 \text{ [s]}$$

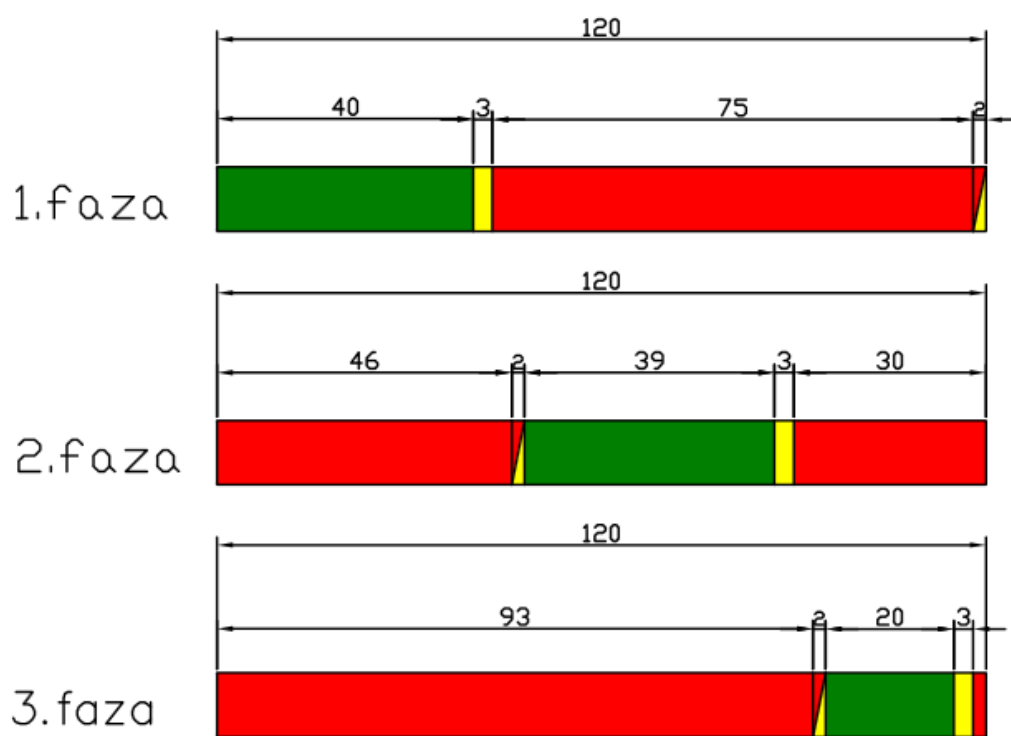
$$G_2 = g_2 - t_{z2} + t_{l2} = 39 - 8 + 8 = 39 \text{ [s]}$$

$$G_3 = g_3 - t_{z3} + t_{l3} = 20 - 5 + 5 = 20 \text{ [s]}$$

$$t_{\check{z}1} = 3 \text{ [s]}$$

$$t_{\check{z}2} = 3 \text{ [s]}$$

$$t_{C\check{z}} = 3 \text{ [s]}$$



Slika 21. Signalni plan predloženog stanja predmetnog raskrižja

6. Simulacija i evaluacija predloženih rješenja u programskim alatima Sidra intersection i PTV Vissim

Program za analizu prometa u raskrižju Sidra Intersection

Program služi za detaljnu analizu semaforiziranih, nesemaforiziranih i kružnih raskrižja. Osim raskrižja u razini omogućuje analizu dionica autocesta i pješačkih prijelaza. Analizom izlaznih rezultata (propusna moć, razina usluge, vrijeme čekanja, duljine repova čekanja itd.) omogućuje vrednovanje varijantnih rješenja raskrižja. Proračuni su temeljeni na HCM 2010 metodologiji.

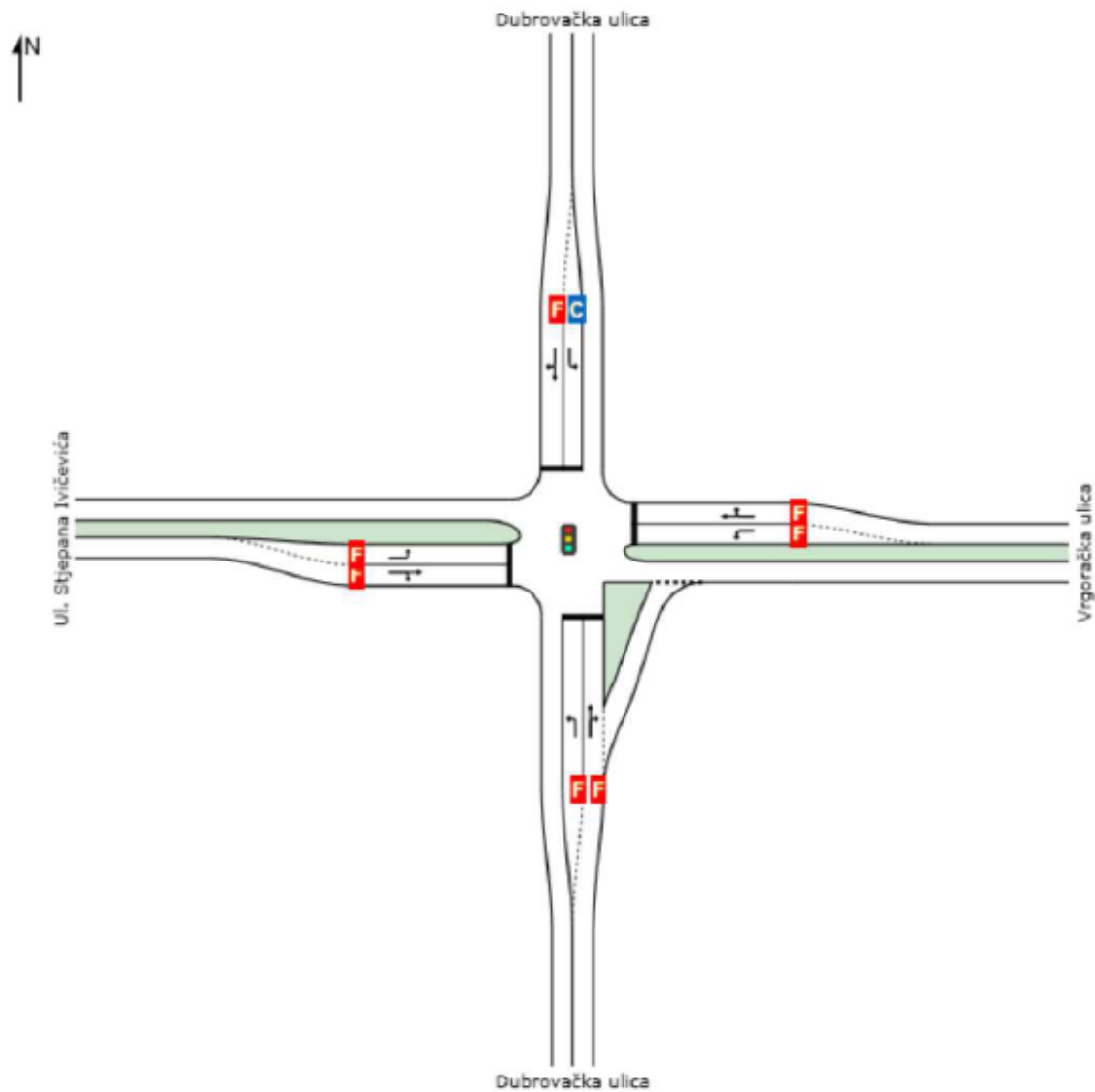
Program za mikrosimulaciju prometa Vissim

Program omogućuje realističnu i detaljnu simulaciju (2D i 3D) prometnih tokova na prometnicama i raskrižjima. Na raskrižjima, osim analize relevantnih parametara (kapacitet, razina usluge, duljina repa čekanja itd.), moguće je i fino prilagođavanje signalnih planova. Podmodul VisVAP služi za izradu signalnih planova upravljanih algoritmima ovisnim o prometnim tokovima na mreži te omogućuje dodjeljivanje prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza. Program omogućuje simulaciju i detaljnu analizu javnog gradskog prijevoza kao i pješačkih tokova [7].

Za raskrižje Stjepana Ivičevića – Dubrovačka– Vrgoračka napravljena je simulacija u programskim alatima Sidra intersection i PTV Vissim. Na temelju ulaznih podataka, odnosno rezultata brojenja prometa, signalnog plana i konfiguracije raskrižja unesenih u programske alate dobivene vrijednosti duljine repa čekanja i prosječnog vremena čekanja. Iz tih vrijednosti određena je razina usluge raskrižja prema tablici 1. u drugom poglavlju. Prosječno vrijeme čekanja najvažniji je podatak i on određuje razinu usluge. Treba naglasiti da je analizirano raskrižje semaforizirano jer se za nesemaforizirana i kružna raskrižja razina usluge određuje prema drugačijim vrijednostima prosječnog vremena čekanja.

Analiza postojećeg stanja raskrižja analiziranog u Sidri intersection prikazana je na sljedećoj slici:

| | South | East | North | West | Intersection |
|-----|-------|------|-------|------|--------------|
| LOS | F | F | D | F | F |



Slika 22. Analiza postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION

Iz podataka analize postojećeg stanja raskrižja provedene u alatu Sidra intersection može se zaključiti da je razinu usluge potrebno povećati na svim privozima.

Simulacija postojećeg stanja raskrižja simuliranog u PTV Vissim prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 23. Simulacija postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim

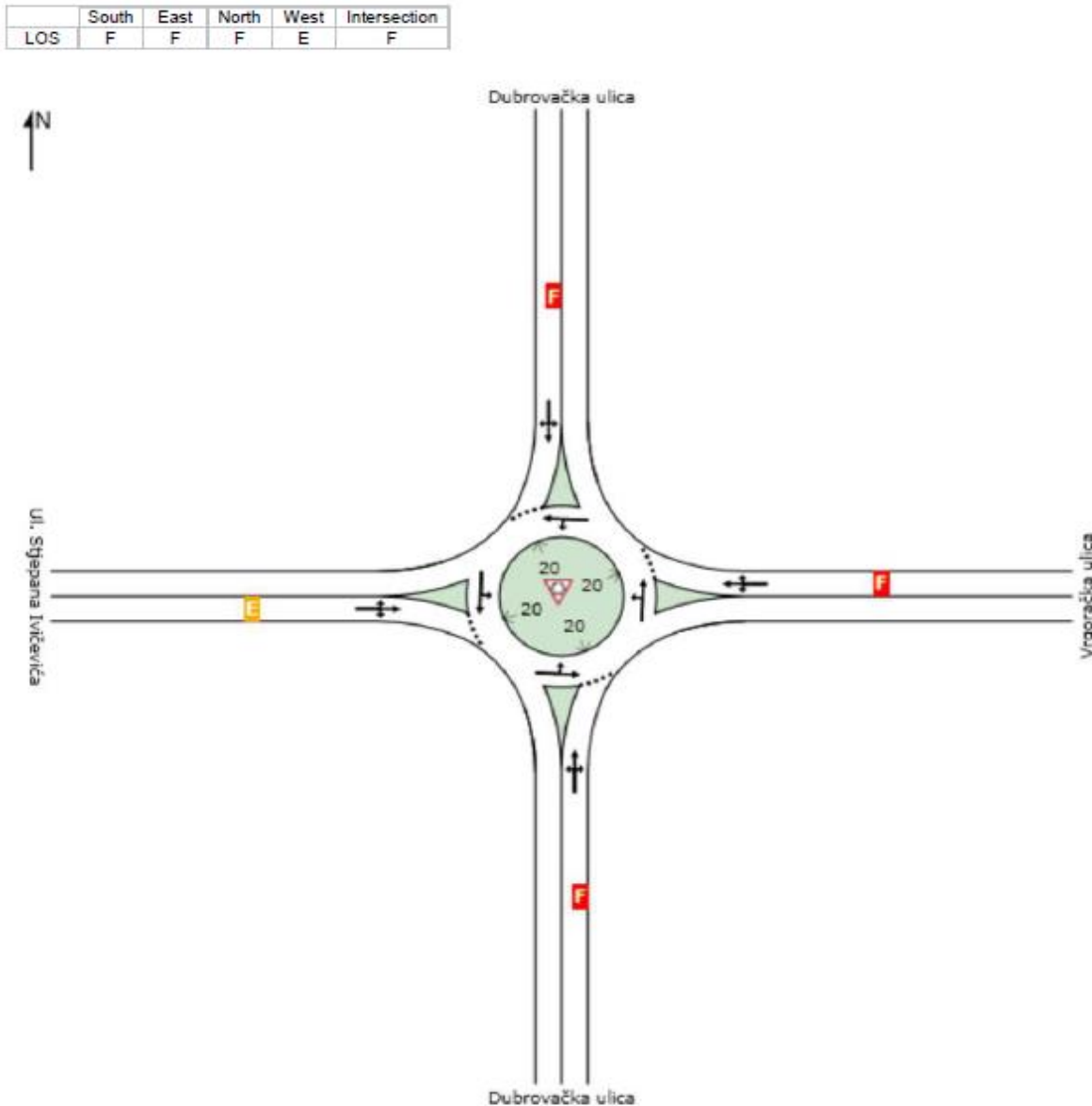
Rezultat simulacije prikazan je u sljedećoj tablici:

Tablica 10. Podaci simulacije postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka

| Smjer | Duljina repa čekanja [m] | Vrijeme čekanja [s] | Razina usluge |
|----------------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| Sjever – zapad | 10.60 | 12.38 | B |
| Sjever – jug | 11.01 | 13.57 | B |
| Sjever – istok | 8.39 | 34.07 | C |
| Zapad – sjever | 73.54 | 193.89 | F |
| Zapad - istok | 50.21 | 97.54 | F |
| Zapad – jug | 49.46 | 102.31 | F |
| Jug – zapad | 12.21 | 31.17 | C |
| Jug – sjever | 18.66 | 15.87 | B |
| Jug - istok | 3.66 | 14.37 | B |
| Istok – sjever | 64.47 | 84.27 | F |
| Istok – zapad | 64.98 | 88.70 | F |
| Istok - jug | 59.48 | 96.62 | F |

Simulacija iz alata PTV Vissim prikazuje malo drugačije rezultate od analize u Sidri intersection, ali i dalje ukazuje na problem, odnosno na nižu razinu usluge na sporednim privozima i trakama za lijeve skretače na glavnom privozu.

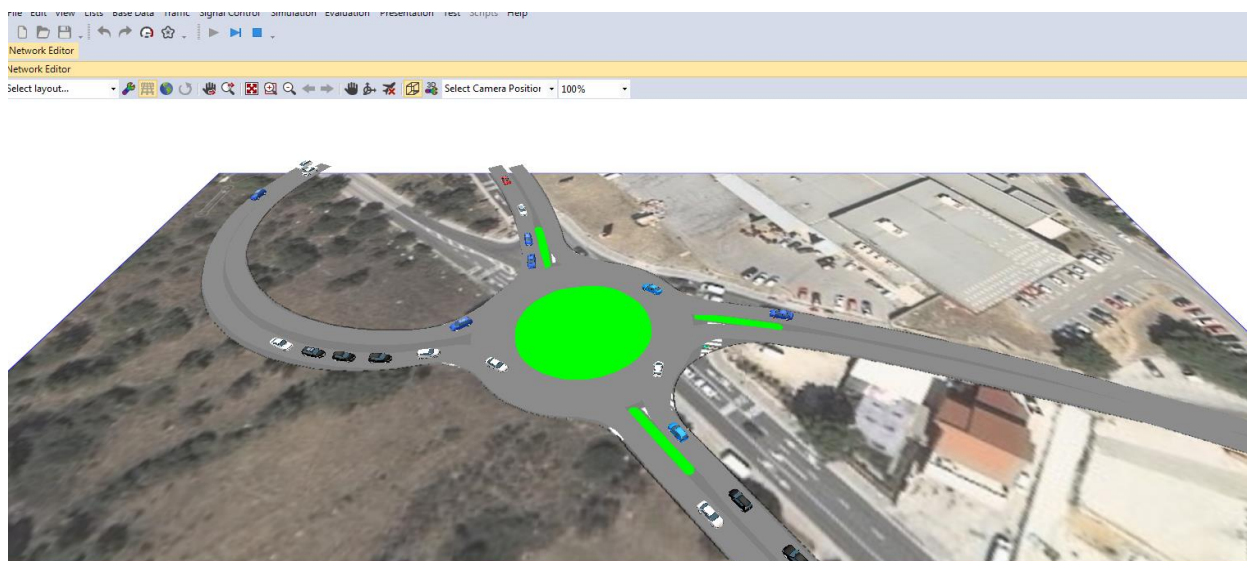
Analiza raskrižja kružnog toka prometa analiziranog u Sidri intersection prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 24. Analiza raskrižja kružnog toka prometa Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION

Iz podataka analize raskrižja kružnog toka prometa provedene u alatu Sidra intersection može se zaključiti da kružno vođenje prometa nije rješenje problema u ovom slučaju.

Simulacija raskrižja kružnog toka prometa simuliranog u PTV Vissim prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 25. Simulacija kružnog toka raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim

Rezultat simulacije prikazan je u sljedećoj tablici:

Tablica 11. Podaci simulacije kružnih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka

| Smjer | Duljina repa čekanja [m] | Vrijeme čekanja [s] | Razina usluge |
|----------------|--------------------------|---------------------|---------------|
| Sjever – zapad | 17,04 | 17,00 | C |
| Sjever – jug | 17,04 | 16,10 | C |
| Sjever – istok | 17,04 | 17,39 | C |
| Zapad – sjever | 71,03 | 70,10 | F |
| Zapad - istok | 71,03 | 65,13 | F |
| Zapad – jug | 71,03 | 70,64 | F |
| Jug – zapad | 19,80 | 20,65 | C |
| Jug – sjever | 19,80 | 19,68 | C |
| Jug - istok | 19,80 | 19,31 | C |
| Istok – sjever | 39,05 | 44,30 | E |
| Istok – zapad | 39,05 | 38,71 | E |
| Istok - jug | 39,05 | 41,69 | E |

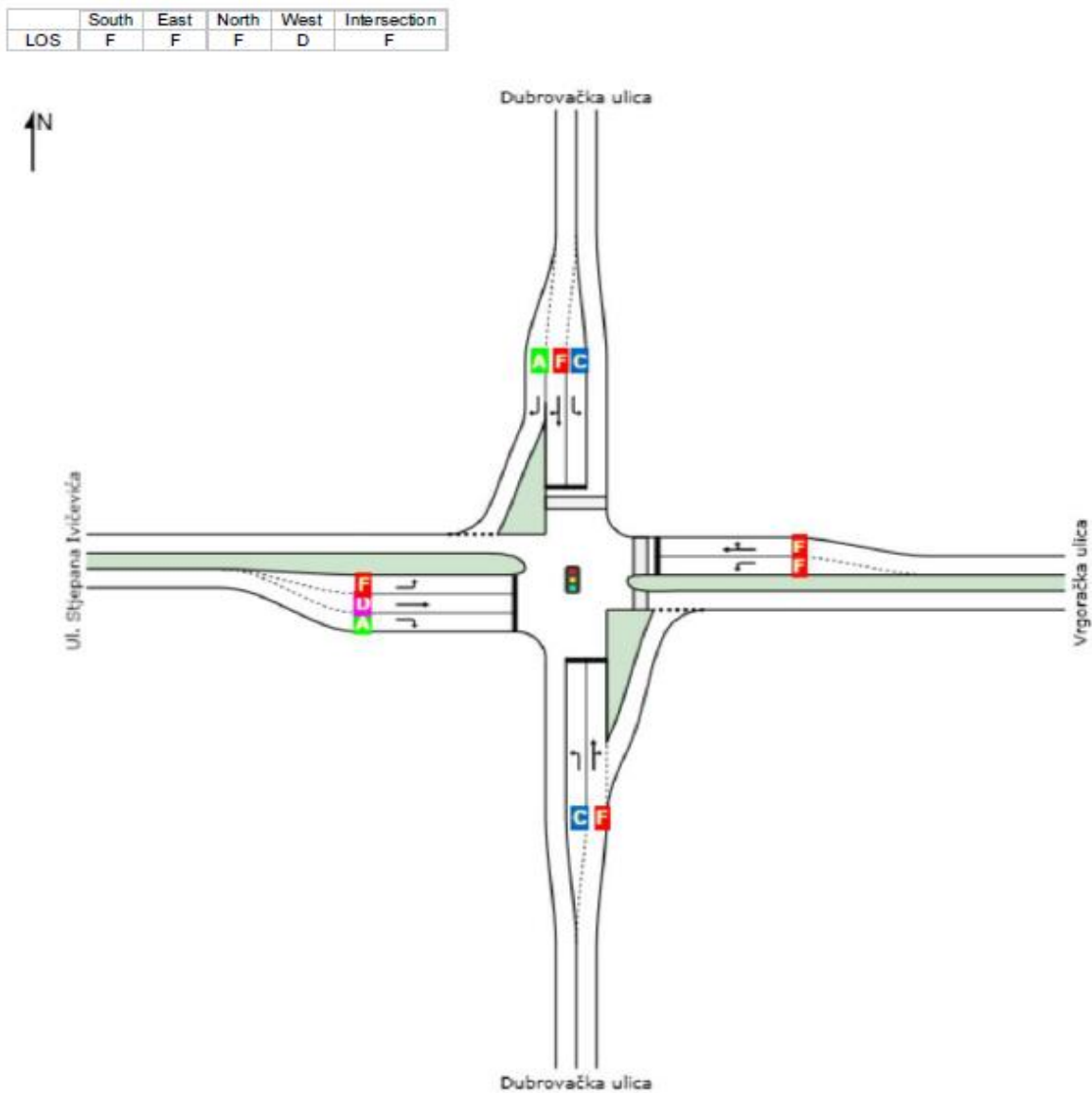
Simulacija iz alata PTV Vissim prikazuje da se na svim privozima razina usluge smanjila osim na istočnom privozu gdje se povećala sa razine F na razinu E. Iz ovoga se da zaključiti da niti kružno vođenje prometa nije rješenje ovoga problema.

U tablici 12. prikazana je usporedba razina usluga postojećeg stanja i kružnog toka.

Tablica 12. Usporedba razina usluga postojećeg stanja i kružnog toka dobivenih u Sidri intersection i PTV Vissim

| Smjer | Sidra intersection | | PTV Vissim | |
|----------------|--------------------|---------------|------------------|---------------|
| | Postojeće stanje | Kružni tok | Postojeće stanje | Kružni tok |
| | Razina usluge | Razina usluge | Razina usluge | Razina usluge |
| Sjever – zapad | F | F | B | C |
| Sjever – jug | C | | B | |
| Sjever – istok | F | | C | |
| Zapad – sjever | F | E | F | F |
| Zapad - istok | F | | F | |
| Zapad – jug | F | | F | |
| Jug – zapad | F | F | C | C |
| Jug – sjever | F | | B | |
| Jug - istok | F | | B | |
| Istok – sjever | F | F | F | E |
| Istok – zapad | F | | F | |
| Istok - jug | F | | F | |

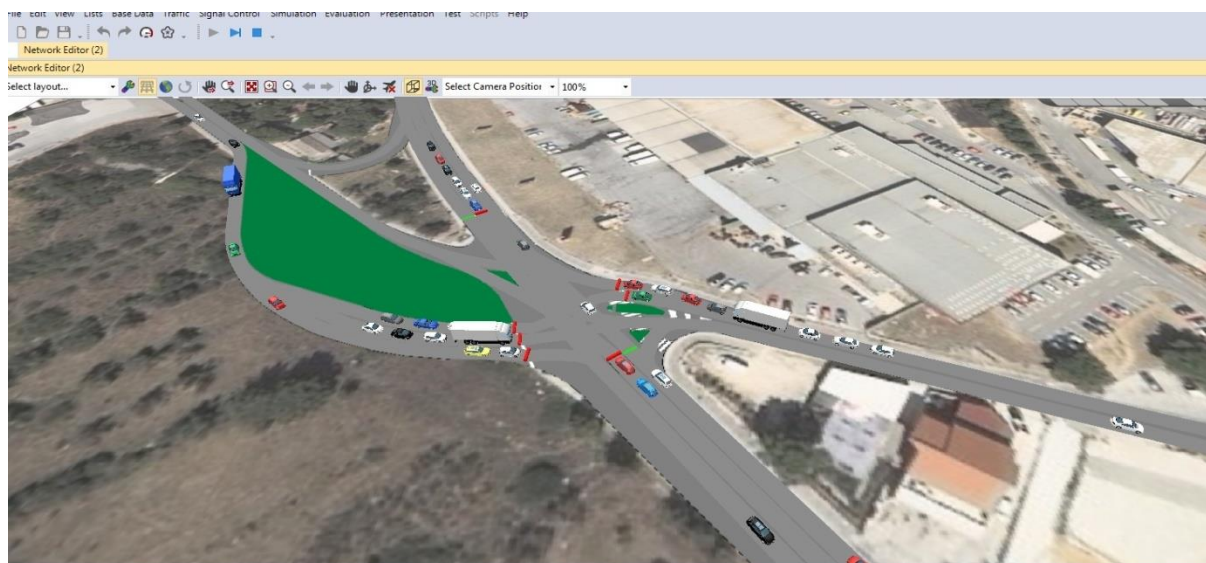
Analiza postojećeg stanja raskrižja analiziranog u Sidri intersection prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 26. Analiza rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION

Iz podataka analize raskrižja kružnog toka prometa provedene u alatu Sidra intersection može se zaključiti da je za povećanje razine usluge rekonstrukcija cijelog raskrižja optimalno rješenje.

Simulacija postojećeg stanja raskrižja analiziranog u PTV Vissim prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 27. Simulacija rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim

Rezultat simulacije prikazan je u sljedećoj tablici:

Tablica 13. Podaci simulacije rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka

| Smjer | Duljina repa čekanja [m] | Vrijeme čekanja [s] | Razina usluge |
|----------------|--------------------------|---------------------|---------------|
| Sjever – zapad | 1.73 | 6.45 | A |
| Sjever – jug | 22.90 | 33,29 | C |
| Sjever – istok | 18.15 | 28.70 | C |
| Zapad – sjever | 32,00 | 123,06 | F |
| Zapad - istok | 8,88 | 42,69 | D |
| Zapad – jug | 4,26 | 15,66 | B |
| Jug – zapad | 14.53 | 24,93 | C |
| Jug – sjever | 85,01 | 61,52 | E |
| Jug - istok | 88,93 | 61,57 | E |
| Istok – sjever | 99,50 | 98,30 | F |
| Istok – zapad | 99,51 | 118,97 | F |
| Istok - jug | 72,93 | 124,96 | F |

Simulacija iz alata PTV Vissim prikazuje da se u nekim prometnim trakama sva četiri privoza raskrižja razina usluge smanjila, a u nekim povećala u odnosu na postojeće stanje raskrižja. Također se zbog okomizacije zapadnog privoza, izgradnje trake za desne skretače i zabranom skretanja desno sa sjevernog privoza u samom raskrižju te promjene signalnog plana može zaključiti da je rekonstrukcija cijelog raskrižja najoptimalnije rješenje.

U tablici 14. prikazana je usporedba razina usluga postojećeg stanja i rekonstrukcije raskrižja.

Tablica 14. Usporedba razina usluga postojećeg stanja i rekonstrukcije raskrižja dobivenih u Sidri intersection i PTV Vissim

| Smjer | Sidra intersection | | PTV Vissim | |
|----------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|
| | Postojeće stanje | Rekonstrukcija | Postojeće stanje | Rekonstrukcija |
| | Razina usluge | Razina usluge | Razina usluge | Razina usluge |
| Sjever – zapad | F | A | B | A |
| Sjever – jug | C | F | B | C |
| Sjever – istok | F | C | C | C |
| Zapad – sjever | F | F | F | F |
| Zapad - istok | F | D | F | D |
| Zapad – jug | F | A | F | B |
| Jug – zapad | F | C | C | C |
| Jug – sjever | F | F | B | E |
| Jug - istok | F | F | B | E |
| Istok – sjever | F | F | F | F |
| Istok – zapad | F | F | F | F |
| Istok - jug | F | F | F | F |

7. Zaključak

Raskrižje Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka nalazi se na samom ulazu u grad Makarsku na državnoj cesti D8 Jadranskoj magistrali koja je jedna od glavnih hrvatskih državnih cesta što povezuje sjeverni i južni Jadran. Iz tog razloga od velike je važnosti da se ne stvaraju gužve koje rezultiraju stvaranjem dugačkih repova čekanja i da se eliminiraju elementi i razlozi koji dovode do prometnih nesreća u samom raskrižju. U slučaju da se navedeni problemi ne mogu u potpunosti riješiti, njihovo pojavljivanje potrebno je svesti na najnižu moguću razinu.

Simulacijom i evaluacijom predloženih rješenja problema raskrižja u alatima SIDRA INTERSECTION i PTV Vissum zaključeno je da su problemi raskrižja i dalje prisutni nakon izgradnje kružnog toka prometa, jer takav kružni tok, u uvjetima velikog prometnog opterećenja i nedostatka prostora za izvedbu većeg ne mijenja razinu usluge cijelog raskrižja, ali niti bilo kojeg privoza.

Što se tiče drugog prijedloga rješenja problema tj. rekonstrukcije postojećeg raskrižja zaključeno je da to rješenje također bitno ne mijenja razinu usluge raskrižja. Na zapadnom i sjevernom privozu razina usluge se poboljšala, dok se na južnom smanjila, a na istočnom ostala ista. Glavni razlog tomu je prostor koji nedostaje kako bi se omogućilo produljenje trake za lijeve skretače na istočnom privozu i izvedba još po jedne trake za desne skretače na južnom i na istočnom privozu.

Unatoč tome što se propusna moć raskrižja nije povećala, riješili su se neki drugi problemi prisutni u raskrižju. Izgradnjom posebne trake za desne skretače i zabranom njihova kretanja desno sa sjevernog privoza u samom raskrižju riješen je problem otežanog skretanja većeg vozila sa sjevernog u zapadni privoz. Okomizacijom zapadnog privoza omogućila se veća preglednost raskrižja posebno pri skretanju lijevih skretača sa istočnog privoza koji ne mogu na vrijeme uočiti vozilo koje se kreće većom brzinom ravno iz smjera zapadnog privoza. Okomizacijom je također izmjenjena konfiguracija raskrižja koja je do tada bila zbunjujuća i neobična.

Ovim diplomskim radom opovrgnule su se tvrdnje nekih prometnih inženjera u člancima lokalnih novina da bi jedino rješenje ovog problema bilo kružno vođenje prometa. Također je ukazano na problem nedostatka prostora za izgradnju boljeg prometnog rješenja, odnosno dovedena je u pitanje namjena zemljišta uz samo raskrižje budući da se po medijima spominje izgradnja velikog trgovačkog centra na prostoru koji bi se mogao puno bolje iskoristiti.

8. Literatura

1. Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
2. Legac, I.: Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
3. Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
4. Hozjan, D.; Novačko, L.: Cestovne prometnice 2, interna skripta za izradu seminarskog rada, Zagreb 2009.
5. Pilko, H.: Autorizirana predavanja sa kolegija Cestovne prometnice II

Internet izvori:

6. <http://www.zagreb.hr>
7. <http://www.fpzunizg.hr>
8. <http://www.preglednik.arkod.hr>
9. <http://www.map.hak.hr>
10. <http://www.dnevno.hr>
11. <http://www.mega-media.hr>
12. <http://www.kronika.hr>

9. Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Metodologija utvrđivanja propusne moći na nesemaforiziranom raskrižju (RUR)..... | 5 |
| Slika 2. Metodologija utvrđivanja propusne moći na semaforiziranom raskrižju (RUR)..... | 5 |
| Slika 3. Metodologija utvrđivanja propusne moći na kružnom raskrižju (RKT)..... | 6 |
| Slika 4. Brojač biciklističkog prometa..... | 22 |
| Slika 5. Položaj analiziranog raskrižja u prometnoj mreži grada Makarske..... | 23 |
| Slika 6. Položaj raskrižja Stjepana Ivičevića - Dubrovačka - Vrgoračka u Makarskoj..... | 24 |
| Slika 7. Položaj svjetlosne signalne opreme..... | 25 |
| Slika 8. Prikaz vertikalne i horizontalne signalizacije..... | 25 |
| Slika 9. Prikaz postojećeg signalnog plana..... | 26 |
| Slika 10. Sjeverni privoz..... | 27 |
| Slika 11. Južni privoz..... | 28 |
| Slika 12. Zapadni privoz..... | 28 |
| Slika 13. Istočni privoz..... | 29 |
| Slika 14. Grafički prikaz prometnih opterećenja po smjerovima kretanja vozila u raskrižju za vrijeme turističke predsezone | 31 |
| Slika 15. Grafički prikaz prometnih opterećenja po smjerovima kretanja vozila u raskrižju za vrijeme turističke sezone..... | 33 |
| Slika 16. Izgled raskrižja nakon izgradnje kružnog toka..... | 35 |
| Slika 17. Traektorije teretnog vozila (kamion s prikolicom) izrađene programskim alatom AutoTURN za raskrižje s kružnim tokom promet..... | 35 |
| Slika 18. Izgled raskrižja nakon rekonstrukcije..... | 36 |
| Slika 19. Traektorije teretnog vozila (kamion s prikolicom) izrađene programskim alatom AutoTURN za četverokrako raskrižje | 37 |
| Slika 20. Prikaz prometnih tokova i privoza raskrižja..... | 39 |
| Slika 21. Signalni plan predloženog stanja predmetnog raskrižja..... | 43 |
| Slika 22. Analiza postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION..... | 45 |
| Slika 23. Simulacija postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim..... | 46 |
| Slika 24. Analiza kružnog toka raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Slika 25. Simulacija kružnog toka raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim..... | 48 |
| Slika 26. Analiza rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu SIDRA INTERSECTION..... | 50 |
| Slika 27. Simulacija rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka u alatu PTV Vissim..... | 51 |

10. Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Razina uslužnosti RU za slučaj nesemaforiziranog, semaforiziranog i kružnog raskrižja..... | 17 |
| Tablica 2. Prikaz različitih vrsta vozila izražene PA – jedinicama..... | 21 |
| Tablica 3. Prikaz rezultata brojenja vozila sa sjevernog i južnog privoza..... | 30 |
| Tablica 4. Prikaz rezultata brojenja vozila sa istočnog i zapadnog privoza..... | 31 |
| Tablica 5. Prikaz rezultata brojenja vozila sa sjevernog i južnog privoza..... | 32 |
| Tablica 6. Prikaz rezultata brojenja vozila sa istočnog i zapadnog privoza..... | 33 |
| Tablica 7. Vrijednosti ulaznih i izlaznih polumjera raskrižja s kružnim tokom prometa..... | 35 |
| Tablica 8. Elementi projektnog zadatka..... | 38 |
| Tablica 9. Raspodjela prometnih tokova..... | 39 |
| Tablica 10. Podaci simulacije postojećih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka..... | 46 |
| Tablica 11. Podaci simulacije kružnih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka..... | 48 |
| Tablica 12. Usporedba razina usluga postojećeg stanja i kružnog toka dobivenih u Sidri intersection i PTV Vissim..... | 49 |
| Tablica 13. Podaci simulacije rekonstruiranih prometnih tokova raskrižja Stjepana Ivičevića – Dubrovačka – Vrgoračka..... | 51 |
| Tablica 14. Usporedba razina usluga postojećeg stanja i rekonstrukcije raskrižja dobivenih u Sidri intersection i PTV Vissim..... | 52 |