

Prometna analiza raskrižja ulice Andrije Hebranga i Vladimira Nazora u Općini Gradina s prijedlozima rješenja

Bogdanić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:219172>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonio Bogdanić

**PROMETNA ANALIZA RASKRIŽJA ULICA ANDRIJE
HEBRANGA I VLADIMIRA NAZORA U OPĆINI GRADINA S
PRIJEDLOZIMA RJEŠENJA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PROMETNA ANALIZA RASKRIŽJA ULICA ANDRIJE
HEBRANGA I VLADIMIRA NAZORA U OPĆINI GRADINA S
PRIJEDLOZIMA RJEŠENJA**

**TRAFFIC ANALYSIS OF ANDRIJE HEBRANGA AND
VLADIMIRA NAZORA STREET INTERSECTION IN THE
MUNICIPALITY GRADINA WITH PROPOSALS FOR
IMPROVEMENT**

Mentor: dr.sc. Marko Ševrović

Student: Antonio Bogdanić, 0135212783

Zagreb, 2015.

Sažetak

Rad ukazuje na postojeće prometne probleme na raskrižju ulica Andrije Hebranga i Vladimira Nazora u Općini Gradina. Definirane su zone obuhvata makro i mikro lokacije, te je napravljena analiza postojećeg stanja raskrižja i analiza prometne infrastrukture za motorni i nemotorni promet. Napravljena je analiza sigurnosti koja ukazuje na smanjeni stupanj sigurnosti raskrižja i potrebu za rekonstrukcijom. Nakon navedenih problema raskrižja dana su tri idejna rješenja raskrižja. U radu su napravljene analize propusne moći raskrižja, postojećeg stanja i optimalnog rješenja u vidu kružnog raskrižja.

Ključne riječi: Zone obuhvata, analiza postojećeg stanja, analiza infrastrukture, analiza sigurnosti, idejna rješenja, T-raskrižje, kružno raskrižje, propusna moć.

Summary

The work points to the existing traffic problems at the intersection of streets Andrija Hebrang and Vladimir Nazor in Gradina. Zones are defined on macro and micro areas, analysis of the current situation and analysis of the intersection traffic infrastructure for motor and non-motor traffic were made. An analysis of security was made, result points to a reduced level of safety of the intersection and the need for reconstruction. Three conceptual designs for intersection are given. Analysis were made of level of service, the current situation and the optimal solution in the form of a circular intersection.

Key words: Zone of coverage, analysis of the current situation, analysis of the infrastructure, analysis of the security, ideal solution, T-crossing, circle crossing, level of service.

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Definiranje zone obuhvata.....	2
2.1.	Definiranje makro zone obuhvata	4
2.2.	Definiranje mikro zone obuhvata	6
3.	Analiza postojećeg stanja prometnih tokova u zoni obuhvata	12
3.1.	Analiza postojećeg stanja prometnih tokova motornog prometa	12
3.1.1.	Ručno brojanje prometa	12
3.1.2.	Automatsko brojanje prometa	15
3.2.	Analiza postojećeg stanja pješačkog i biciklističkog prometa	18
4.	Analiza prometne infrastrukture za motorna vozila te pješake i bicikliste.....	19
4.1.	Analiza prometne infrastrukture za motorna vozila	19
4.2.	Analiza infrastrukture pješačkog i biciklističkog prometa	21
5.	Analiza stanja sigurnosti.....	23
5.1.	Geometrijski elementi raskrižja.....	23
5.2.	Analiza brzine.....	26
5.3.	Analiza sigurnosti pješačkih tokova	27
6.	Prijedlog idejnog prometnog rješenja s ciljem povećanja sigurnosnih i prometno-tehnoloških karakteristika postojećeg rješenja.....	28
6.1.	T-raskrižje	28
6.2.	T-raskrižje s trakom za desno skretanje	29
6.3.	Kružno raskrižje	30
7.	Proračun razine usluge postojećeg stanja.....	33
7.1.	Prioriteti prometnih tokova.....	33
7.2.	Konfliktni tokovi	34
7.3.	Kritične vremenske praznine i vrijeme slijeđenja	34
7.4.	Potencijalni kapacitet (idealna propusna moć).....	36
7.5.	Realni kapacitet.....	37
7.6.	Duljina repa čekanja.....	38
7.7.	Prosječno vrijeme kašnjenja	38
7.8.	Razina usluge nesemaforiziranog raskrižja	39
8.	Proračun razine usluge optimalnog prometnog rješenja.....	41
8.1.	Propusna moć ulaznog privoza.....	42

8.2.	Intezitet manevra x	42
8.3.	Propusna moć ulaznog dijela privoza	43
8.4.	Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza	43
8.5.	Stvarni (realni) kapacitet	44
8.6.	Stupanj zasićenja privoza	44
8.7.	Prosječno vrijeme kašnjenja	45
8.8.	Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja	45
9.	Zaključak	47
	Literatura:	49
	Prilozi	54
	Prilog 1. T-raskrižje	55
	Prilog 2. T-raskrižje s trakom za desno skretanje	56
	Prilog 3. Kružno raskrižje	57

1. Uvod

U fazi projektiranja prometnih rješenja potrebno je u obzir uzeti i druge čimbenike osim tehničkih karakteristika prometnih elemenata samog rješenja. Pa tako, prometni stručnjak prilikom planiranja i projektiranja idejnih prometnih rješenja u obzir treba uzeti i intenzitet prometnih tokova kao i njihov međusobni odnos te percepciju i psihologiju vozača s ciljem kreiranja logičnog i intuitivnog prometnog rješenja. Projektiranjem idejnih prometnih rješenja na ovaj način izbjegla bi se implementacija krivih rješenja kao i bespotrebni troškovi rekonstrukcije, odnosno eksternih troškova prometnih nesreća nastalih zbog loše kreiranog prometnog rješenja. Ukazivanje na prethodno opisane probleme prometnog sustava i važnost uloge prometnog stručnjaka u projektnom timu upravo je i jedan od glavnih razloga odabira ove teme za izradu diplomskog rada.

Svrha i cilj ovog istraživanja je ukazati na postojeće prometne probleme raskrižja ulica Andrije Hebranga i Vladimira Nazora u Općini Gradina. Cilj predmetnog rada je u skladu s analizom postojećeg stanja kreirati prijedlog novog prometnog rješenja kako bi se povećala sigurnost odvijanja prometnih tokova kao i razine usluge.

Analizom postojećeg stanja prometnih tokova na predmetnom raskrižju utvrđeno je narušavanje sigurnosti odvijanja prometnih tokova, a samim time ugrožavanje svih sudionika u prometu. Naime, predmetno križanje je izvedeno na prometno vrlo nelogičan način što zbunjuje vozače, pogotovo one koji svakodnevno ne prolaze predmetnim raskrižjem, što nerijetko dovodi do konfliktnih situacija. Osim toga, tehnički elementi raskrižja znatno otežavaju lijevo skretanje iz Ulice Vladimira Nazora, pogotovo za teška vozila, kao i lijevo skretanje iz Ulice Matija Gubca.

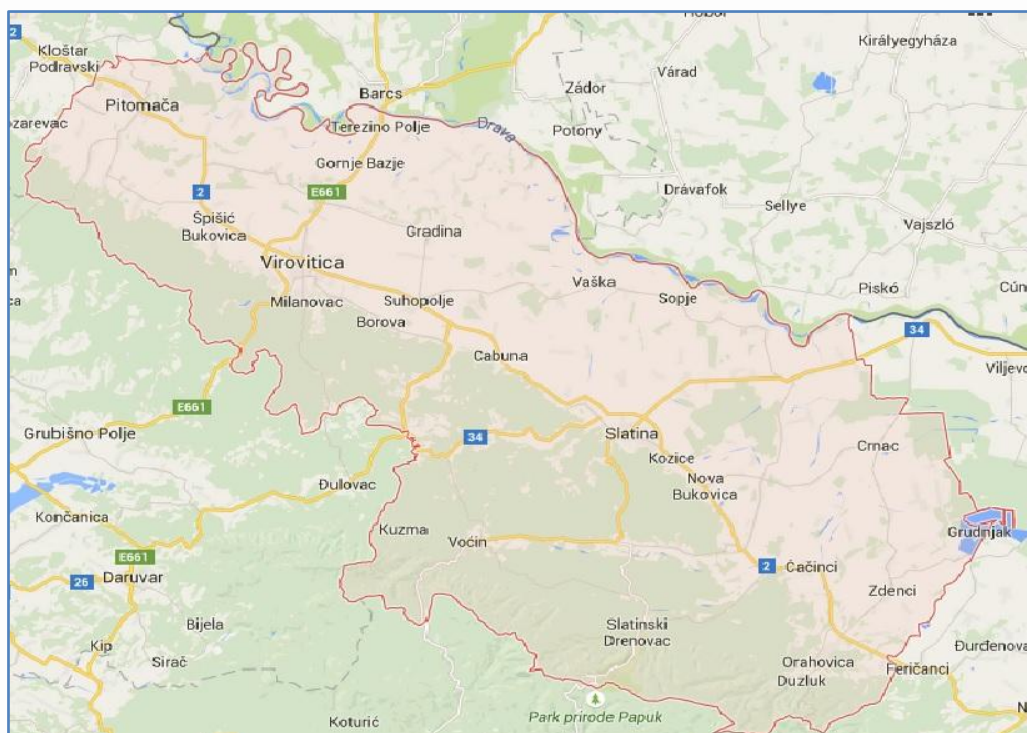
U sklopu izrade ovog istraživanja, a temeljem analize postojećeg stanja, kreirat će se optimalno idejno prometno rješenje. Očekivani rezultat predloženog prometnog rješenja je povećanje sigurnosti odvijanja prometnih tokova na predmetnom raskrižju kao i povećanje propusne moći istog.

2. Definiranje zone obuhvata

Predmetno raskrižje nalazi se u mjestu Gradina koje je smješteno u Virovitičko-podravskoj županiji.

Županija se nalazi u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske na prostoru dodira središnje i istočne Hrvatske te je po svom zemljopisnom položaju poveznica Slavonije i Podravine. Prostor Županije je izdužen u obliku pravca istok-zapad. Ovdje je jasno vidljiva reljefna podjela, na, sjeverni prostor podravske nizine, i, južni, brdsko planinski prostor koji obuhvaća sjeverne padine Bilogore, Papuka i Krndije.

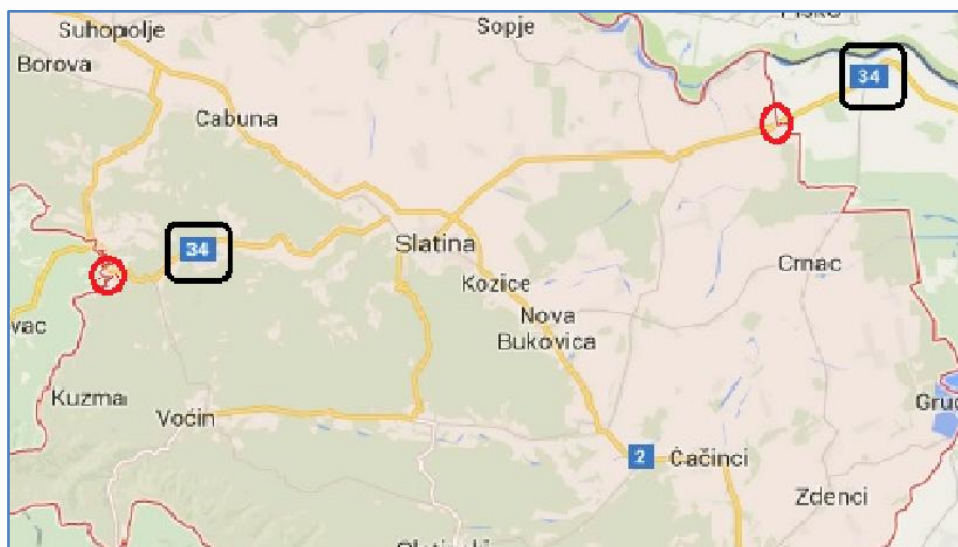
Tu na spoju Podravine i Slavonije križaju se dva važna prometna koridora: transversalni, primarnog značaja, jer je najkraća i prometno najpogodnija veza Srednjeg Podunavlja i srednjeg Jadrana i longitudinalni, sekundarnog značaja, koji slijedi tok rijeke Drave i povezuje Republiku Hrvatsku sa zapadnim i istočnim susjedima,[13].



Slika 1: Prikaz Virovitičko-podavske županije

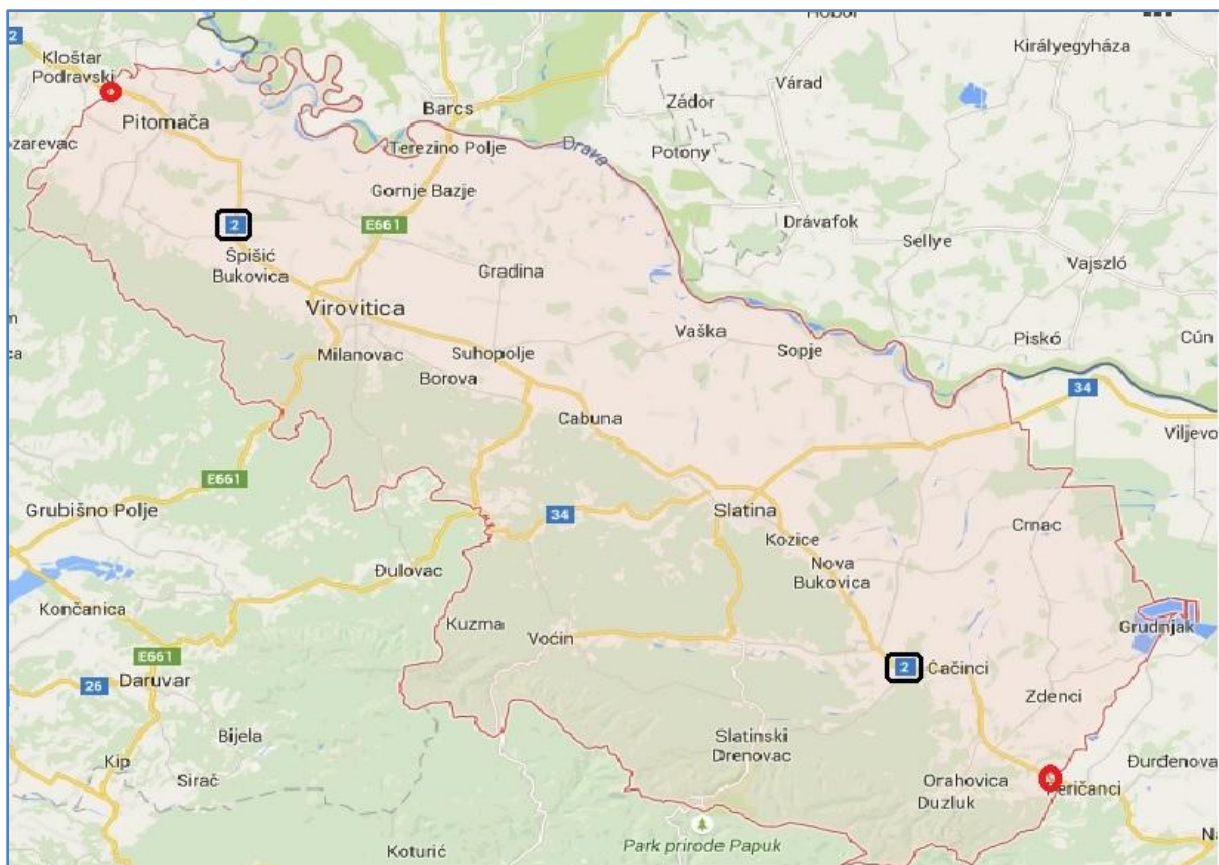
Na sjevernoj strani županije proteže se državna granica s Republikom Mađarskom, veliki dio granice čini prirodna barijera rijeka Drava. Granični prijelaz Terezino Polje koji je

najveći i najprometniji granični prijelaz u samoj županiji. Graničnim prijelazom prolazi europski koridor E661 klase B koji se proteže od mađarskog grada Balatonkeresztur, preko Barcs koji je ujedno i posljednje mjesto u susjednoj državi, preko Virovitice i dalje prema južnom dijelu županije, koridor završava u susjednoj Bosni i Hercegovini odnosno u gradu Zenici. Županijom prolaze dva državna pravca D2 i D34. Državni pravac D34 koji se proteže Virovitičko-podravkom županijom od sjevernog dijela županije prema jugozapadnom dijelu.



Slika 2: Dionica državnog pravca 34

Državni pravac D 2 koji se proteže od istočnog dijela županije prema zapadnom ujedno je poveznica krajnjeg istoka (Ilok) i krajnjeg sjevera države (Varaždin). Državni pravac koji se proteže sjevernim dijelom države u duljini od 348 km, izuzetno bitan pravac za istočni dio zemlje. Državna prometnica velikog opterećenja, a ujedno i jedna od najopasnijih prometnica zbog velikog broja prometnih nezgoda. Dionica prolazi kroz mnoge gradove i mjesta što podrazumijeva različite kategorije vozila zbog kojih u većini slučajeva dolazi do nezgoda.



Slika 3: Dionica državnog pravca 2

2.1. Definiranje makro zone obuhvata

Područje općine Gradina zauzima dio Dravske potlinske zone, prostirući se nizinskim predjelima južno od rijeke Drave, a neposredno uz Županijsku cestu Bušetina – Lukač – Gradina – Suhopolje – Čačavica. Na sjeveru graniči sa Mađarskom, na zapadu sa općinama Virovitica i Lukač, na jugu sa općinom Suhopolje, a na istoku sa općinom Sopje. Površina općine Gradina iznosi 120,90 km², ima oko 4.485 stanovnika, 1.510 domaćinstava, a gustoća naseljenosti je 36,40 stanovnika po km² što predstavlja relativno malu gustoću naseljenosti. Preko područja općine Gradina protječe rijeka Drava i to njezinom sjevernom granicom. Na području općine Gradina nalaze se tri industrijske zone na kojima se obavlja industrijska proizvodnja, [10].

U prvoj industrijskoj zoni, koja je vlasništvo “Poljoprivrednog dobra” d.d., vrši se tehnološki proces sušenja i skladištenja žitarica i uljarica, a nalazi se na području Novog Gradca.

U drugoj industrijskoj zoni koja je u vlasništvu klaonice “Šuvak”, vrši se prerada mesa, a nalazi se na području mjesta Lipovac.

U trećoj industrijskoj zoni koja se nalazi u ulici Vladimira nazora, nalazi se tvrtka “Miss” koja se bavi preradom i proizvodnjom plitica od stiropora.

Uz navedene industrijske zone potrebno je spomenuti deponiju šećerne repe na području mjesta Brezovica koja također generira znatan promet teškoga tereta kroz središte mjesta odnosno preko promatranog raskrižja.

Slika 4 prikazuje navedene generatore odnosno industrijske zone koje su smještene u okolici mjesta Gradina i koje generiraju promet preko promatranog raskrižja, crvenim elipsama označene su industrijske zone dok je plavom elipsom označeno promatrano mjesto.

Deponija šećerne repe generira promet vozila velikih gabarita koji zahtijevaju veće prometne površine kako bi zadovoljili trajektorije kretanja vozila. Vozila velikih gabarita zastupljena su tokom sezone šećerne repe koja se ubire od kraja rujna do sredine studenog.

Osim navedenih generatora u obliku industrijskih zona i deponije važno je navesti blizinu škole i crkve koje svakodnevno kanaliziraju promet ka promatranom raskrižju.



Slika 4: Generatori prometa

2.2. Definiranje mikro zone obuhvata

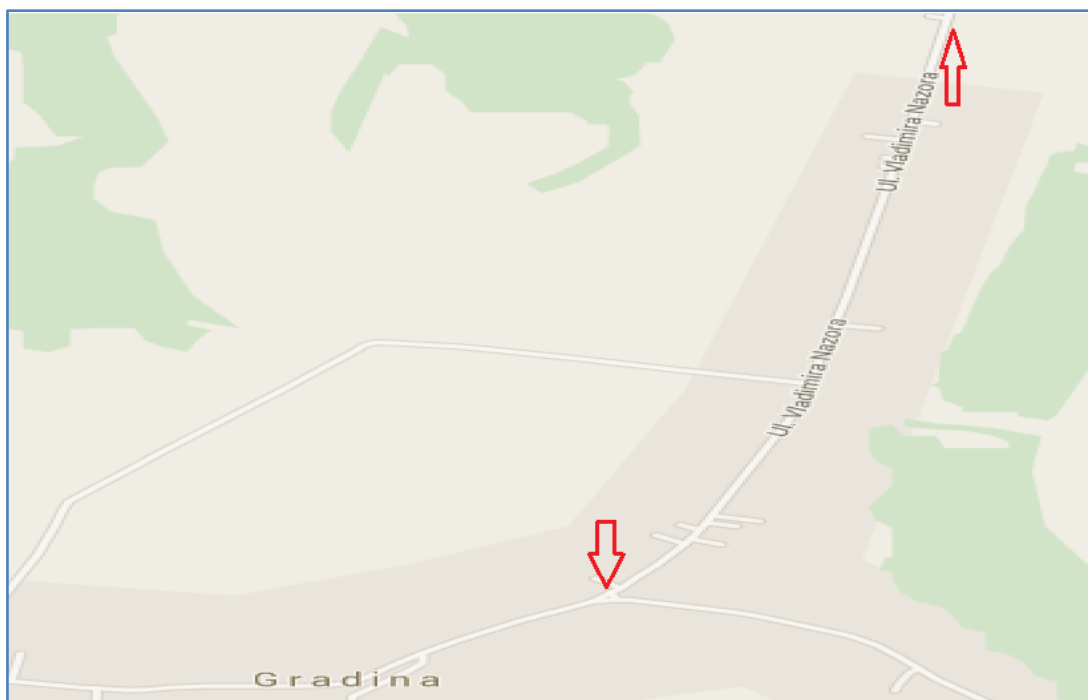
Sjedište općine Gradina je naselje Gradina u kojem se nalazi općinska uprava i ostali prateći administrativni uredi. Naselje Gradina udaljeno je 14,5 kilometara od grada Virovitice županijskog središta, a od graničnog prijelaza Terezino Polje 18 kilometara.

Prvi korak u procesu prometnog uređenja raskrižja je odrediti zonu obuhvata, tj., precizirati koje ulice čine predmetno raskrižje. Predmetno raskrižje nalazi se u naselju Gradina s centralnim položajem u naselju, a čine ga ulice Andrije Hebranga i Vladimira Nazora. Ulica Andrije Hebranga počinje od mjesta Bačevac koje se nalazi na zapadom dijelu Gradine te se proteže kroz samo središte mjesta i pruža se prema mjestu Brezovica. Slika 5 prikazuje ulicu Andrije Hebranga koja je dio promatranog raskrižja.



Slika 5: Ulica Andrije Hebranga

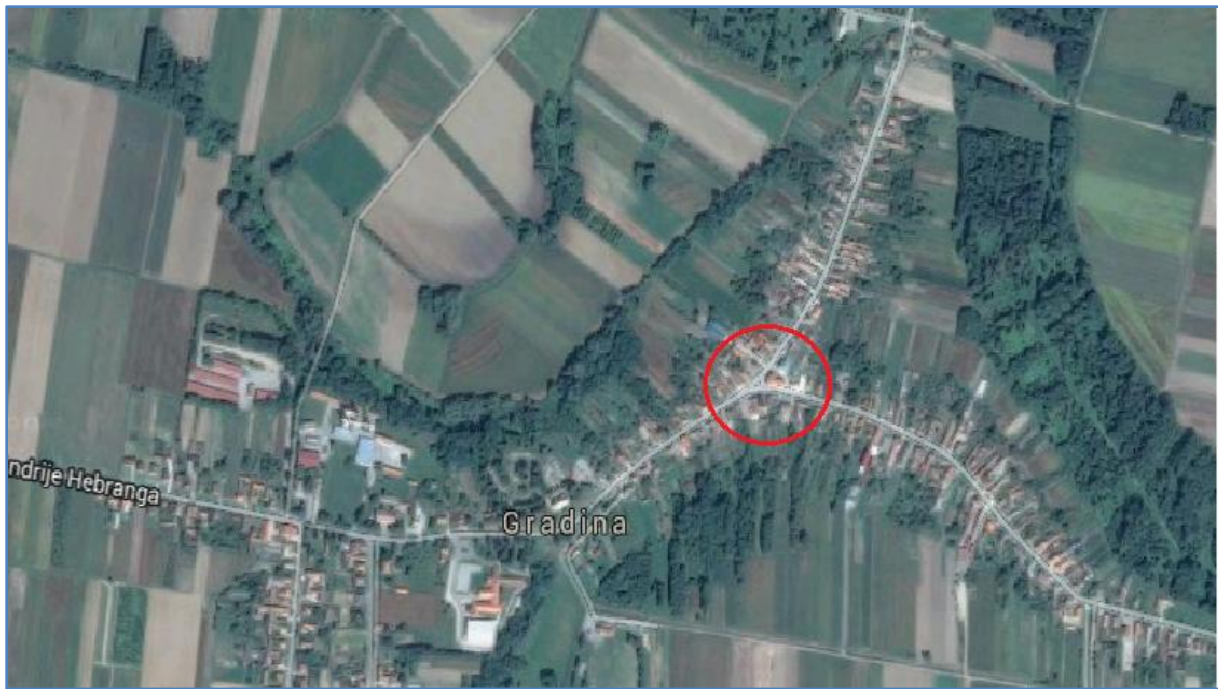
Ulica Vladimira Nazora započinje od križanja s ulicom Andrije Hebranga u Gradini i vodi ka mjestu Ružani. Ulica započinje u središtu mjesta i pruža se prema perifernom području mjesta odnosno prema mjestu Ružani. Slika 6 prikazuje ulicu Vladimira Nazora koja je dio predmetnog raskrižja.



Slika 6: Ulica Vladimira Nazora

Raskrižje se može definirati kao prometna površina na kojoj u istoj razini ili u različitim razinama križaju dvije ili više cesta ili na kojoj se više cesta spaja u širu prometnu površinu, [13].

Raskrižje ulica Andrije Hebranga i Vladimira Nazora je mikro zona obuhvata rekonstrukcije postojećeg raskrižja. Prostorno je smješteno u središte mjesta na križanju navedenih ulica. Na slici 7 prikazano je mjesto Gradina i označena zona obuhvata odnosno skrenuta pozornost na samo raskrižje.



Slika 7: Prikaz mjesta Gradina s označenim raskrižjem

Raskrižje tvori središte mjesta na kojemu se nalaze prostori s uslužnom djelatnošću.

Prostori koji se nalaze na raskrižju su:

- općinski ured
- trgovina mješovite robe
- poštanski ured
- vatrogasni dom
- i novine
- caffe bar
- pekara

Općinski ured nalazi se na samom križanju tj. smješten je u zgradi u kojoj se nalazi i trgovina mješovite robe. Radno vrijeme općinskog ureda je svakim radnim od 8:00 do 15:00 sati. Trgovina mješovite robe nalazi se u prizemlju zgrade općinskog ureda radno vrijeme trgovine radnim danom od 07:00 do 20:00 sati, subotom od 07:00 do 18:00 sati i nedjeljom od 07:00 do 11:00 sati.



Slika 8. Zgrada općine i trgovine mješovite robe

Središnji poštanski ured za općinu Gradina, nalazi se na glavnom prometnom pravcu raskrižja s bočne strane ureda nalazi se prostor za parkiranje korisnika usluga. Najveći broj korisnika usluge bilježi se početkom mjeseca. Radno vrijeme ureda ponedjeljak od 8:00 sati do 17:00 sati, od utorka do petka od 8:00 do 15:00 sati.



Slika 9: Poštanski ured s parkirnim prostorom

S druge strane prometnice nalazi se kontejner u kojem je smještena trgovina s štampom pod nazivom Inovine. Radno vrijeme tokom radnih dana 6:30 do 20:00 sati, subotom od 7:00 do 18:00. Iza kontejnera inovina nalazi se vatrogasni dom uz kojeg je smješten prostor za parkiranje vozila što je vidljivo sa slike 10.



Slika 10: Vatrogasni dom i Inovine

Caffe bar „Dolar“ nalazi se na sporednom privozu raskrižja ispred ugostiteljskog obrta. Nalazi se terasa, radno vrijeme kafića od ponedjeljka do subote od 07:00 do 24:00 sati, nedjeljom od 07:00 do 22:00 sati.



Slika 11: Caffè bar „Dolar“

Na udaljenosti 100 metara od raskrižja nalazi se pekara, koja generira najveći broj korisnika u jutarnjim satima čije je radno vrijeme od ponedjeljka do suobote od 07:00 do 15:00 sati, nedjelja od 07:00 do 13:00 sati.

3. Analiza postojećeg stanja prometnih tokova u zoni obuhvata

Analiza prometnih tokova provodi se radi prikazivanja činjeničnog stanja prometnih tokova. Bitni podatci prikupljani su brojanjem prometa u obliku ručnog i automatskog brojanja. Brojanjem se prikupljaju podatci o kretanju vozila i broju vozila po pojedinim smjerovima koji su bitni za realizaciju rekonstrukcije. Osim toga, temeljem rezultata automatskog brojanja prometa dobivena je i informacija o prosječnoj brzini kretanja prometnog toka po pojedinoj prometnoj traci što je vrlo bitno za analiziranje stanja sigurnosti prometa (poglavlje 5.).

3.1. Analiza postojećeg stanja prometnih tokova motornog prometa

Analiza postojećeg stanja prometnih tokova provođena je brojanjem prometa i zapažanjem na samom raskrižju. Analiza se bazira na podacima ručnog i automatskog brojanja prometa. U svrhu dobivanja svih ulaznih podataka potrebnih za planiranje optimalnog prometnog sustava nužno je, uz sagledavanje građevinskih i kapacitivnih elementa prometnica, imati i što preciznije podatke o prometnom toku, njegovoj veličini te prostornoj i vremenskoj razdiobi na promatranom dijelu prometne mreže tijekom dana. Reprezentativni podaci o veličini prometnog toka tijekom dana bitna su pretpostavka i osnovna ulazna veličina za izradu novih organizacijskih i regulacijskih rješenja prometnog sustava.

Analiza postojećeg stanja prometnih tokova izvršena je metodom ručnog i automatskog brojanja prometa. Ručno brojanje izvršeno je neposrednim opažanjem vozila i bilježenjem na brojački listić. Automatsko brojanje prometa je izvršeno mobilnim magnetskim brojilima prometa. Brojanje je izvršeno na predmetnom raskrižju i na privozima raskrižja.

3.1.1. Ručno brojanje prometa

Ručno brojanje je najjednostavnija metoda prikupljanja preciznih podataka o intenzitetu, strukturi i smjeru kretanja prometnih tokova na raskrižjima. Ručnim brojanjem istraženi su prometni tokovi motornog prometa, biciklista i pješaka.

Ručno brojanje prometa provedeno je u srijedu, 03. lipnja 2015. godine na predmetnom raskrižju. Brojanje prometa odvijalo se u jutranjem terminu od 07:00 do 11:00 i popodnevnim terminu 15:00 do 17:00 sati. Brojanje se provodilo u 15 minutnim intervalima ali zbog malog intenziteta prometa intervali su spojeni u satni interval. Prilikom ručnog brojanja prometa u obzir nisu uzimane kategorije vozila jer se promet dodatno brojao automatskim brojačima.

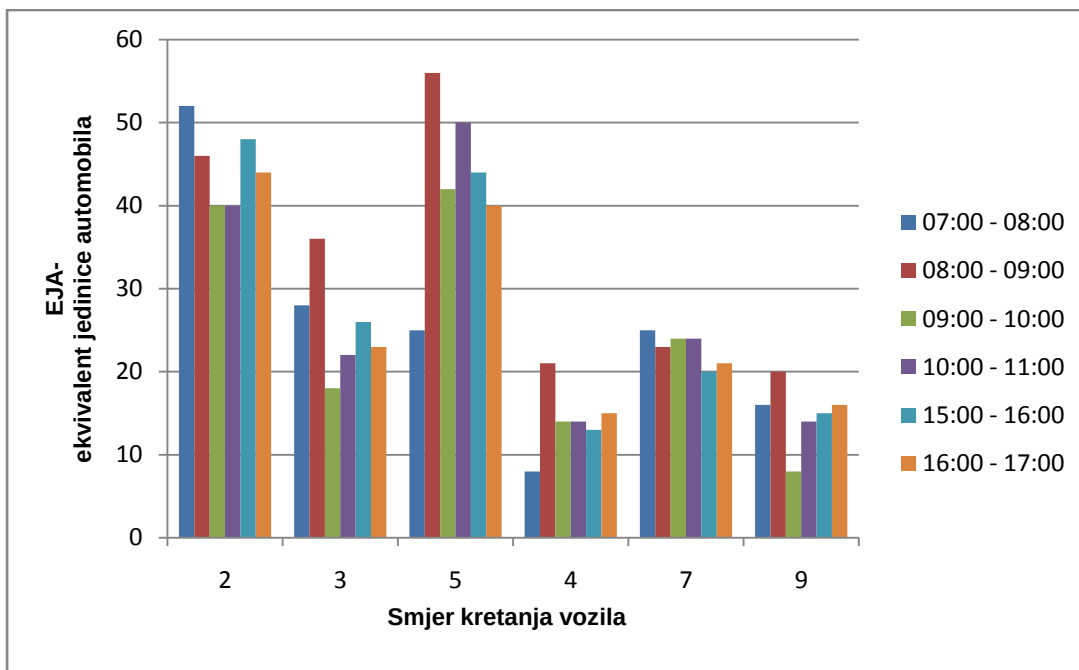
Brojanjem prometa na navedenom raskrižju dobiveni su sljedeći podaci koji su opisani mjernom jedinicomEJA [ekvivalent jedinica vozila], a opisani su u tablici 1 i grafikonu 1.

Tablica 1: Satno opterećenje po smjerovima na navedenom raskrižju

Satni interval	Smjer					
	2	3	5	4	7	9
07:00 - 08:00	52	28	25	8	25	16
08:00 - 09:00	46	36	56	21	23	20
09:00 - 10:00	40	18	42	14	24	8
10:00 - 11:00	40	22	50	14	24	14
15:00 - 16:00	48	26	44	13	20	15
16:00 - 17:00	44	23	40	15	21	16

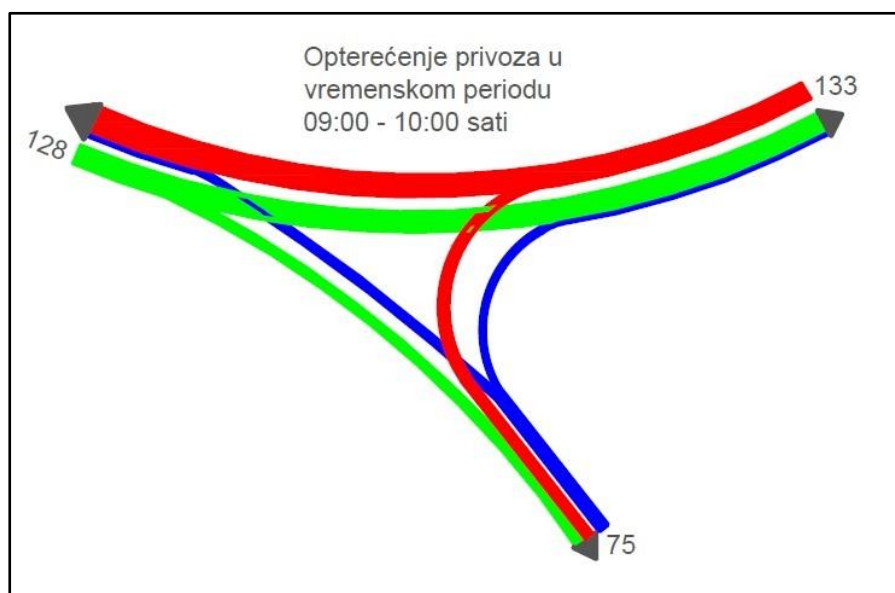
Smjerovi vozila označeni su po HCM metodi kako bi se podatci brojanja lakše koristili prilikom izračuna propusne moći raskrižja, slika 16 prikazuje označene smjerove.

Iz samog tabličnog prikaza uočljivo je da su smjer 2 i 5, najopterećeniji smjerovi, što je detaljnije i zornije pokazano na grafikonu 1. Iz grafikona 1 na prvi pogled je uočljiva sama razlika opterećenja po smjerovima, a tako i privoza samog raskrižja, nije uočljiva velika promjena opterećenja u satnim intervalima. Razlog male oscilacije prometnog opterećenja ukazuje na ne postojanje velike dnevne migracije stanovništva.



Grafikon 1: Prikaz satnog opterećenja u jedinici EJA po smjerovima

Rezultati brojanja prometa raskrižja su bili i očekivani jer ovo raskrižje predstavlja središte mjesta, a najopterećeniji smjerovi 2 i 5 predstavljaju ulazak i izlazak tranzitnog prometnog tokakroz mjesto Gradina. Na slici 12 prikazano je opterećenje u jutarnjim satima od 08:00 do 10:00 koje ujedno predstavlja najveće opterećenje raskrižja.

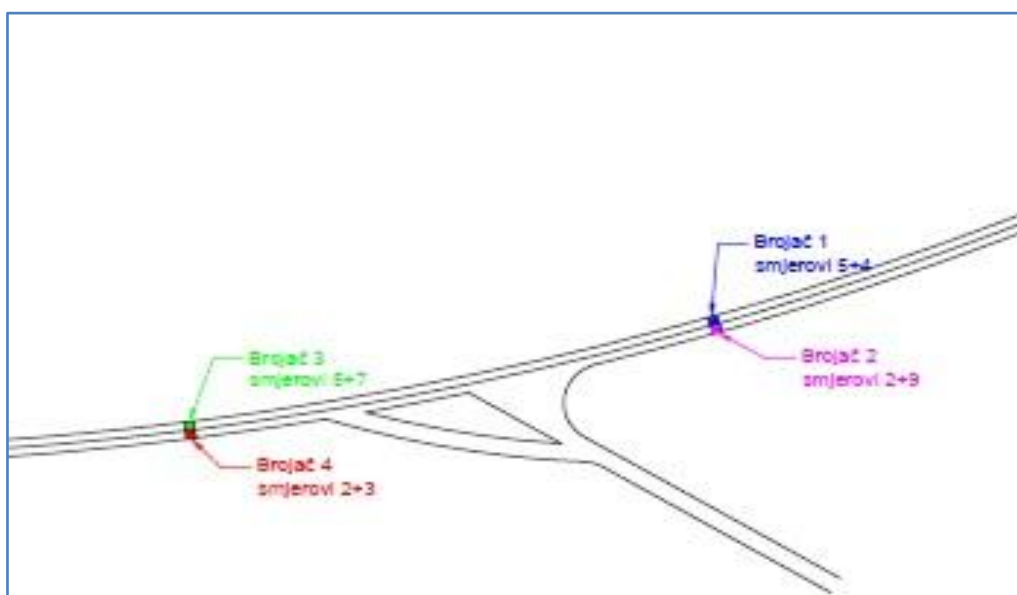


Slika 12: Opterećenje raskrižja

3.1.2. Automatsko brojanje prometa

Osnovna analiza postojećeg stanja prometnih tokova provodi se automatskim brojanjem prometa. Brojanje prometa vrši se automatskim brojilima prometa koja broje promet neprekidno na određenim karakterističnim presjecima prometnica. Takva brojila u pravilu se postavljaju na karakterističnim presjecima glavnih državnih prometnica. Drugi način brojanja prometa je postavljanje mobilnih automatskih brojila koja se postavljaju privremeno na određenim lokacijama u svrhu izrade pojedinih prometnih studija i projekata.

Brojanje prometa automatskim brojačima odrađeno je u periodu od 7 dana, od utorka 12:00 sati 02.06.2015 godine do 12:00 sati idućeg utorka 09.06.2015 godine. Jedan par brojača bio je postavljen na prometnom toku u ul. Andrije Hebranga i brojao je promet u oba smjera, dok je drugi par brojača bio postavljen na prometnom toku ul. Vladimira Nazora i također brojao oba smjera. Brojači postavljeni u ul. Andrije Hebranga brojali su smjerove 5+7 i 2+3, a brojači u ul. Vladimira Nazora brojali su smjerove 5+4 i 2+9. Položaji brojača prikazani su na slici 13.



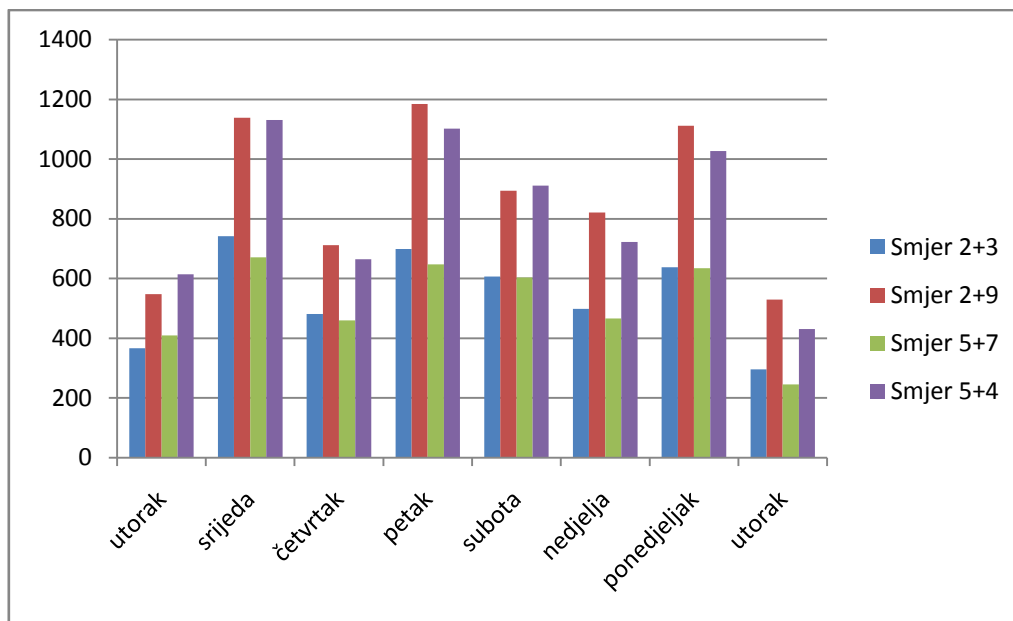
Slika 13: Položaji brojača

Automatskim brojanjem prometa na raskrižju dobiveni su sljedeći podaci koji su opisani preko mjerne jedinice voz/danu, a uneseni su u tablicu 2.

Tablica 2: Opterećenje u sedmodnevnom periodu

Dani	Smjer			
	2+3	2+9	5+7	5+4
utorak	367	548	409	614
srijeda	742	1138	671	1131
četvrtak	481	712	460	665
petak	699	1185	647	1102
subota	607	894	604	911
nedjelja	499	821	466	723
ponedjeljak	638	1112	635	1027
utorak	296	530	246	431

Iz navedene tablice prikazanu su opterećenja po smjerovima koji su zbrojeni, zbog načina postavljanja automatskih brojača nije moguće prikazati opterećenje po svakom smjeru već presjeku. Iz tablice može se zamjetiti manji broj vozila utorkom razlog tomu je postavljanje i skidanje brojača u 12:00 sati. Vrijednosti opterećenja zornije su prikaza u grafikonu 2.



Grafikon 2: Prikaz opterećenja po smjerovima

Prilikom automatskog brojanja prometa korišteni su magnetski brojači vrste NC 100. Primjer brojača prikazan je na slici 14. Korišteni brojač prometa prilagodljiv je i može se brzo postaviti, radi na principu magnetskog polja koje se stvori prilikom prolaska vozila. Predmetni magnetski brojač osim što broji vozila također, određuje kategoriju vozila na temelju izmjerene duljine vozila te bilježi prosječnu brzinu vozila u satu. Brojač se postavlja i uklanja u kratkom vremenskom periodu, na slici 13 prikazan je tip korištenih brojača na dolazi zaštitna gumena kapa, [12].



Slika 14: Brojač prometa NC 100

3.2. Analiza postojećeg stanja pješačkog i biciklističkog prometa

Analiza pješačkog i biciklističkog prometa bazirala se na promatranju i bilježenju smjerova kretanja.

Promatrajući predmetno raskrižje zamjećen je veći broj biciklista i pješaka koji su izraženi u jutranjim satima. Razlog velikog broja pješaka i biciklista je blizina prostora s uslužnim djelatnostima koji se nalaze na privozima raskrižja. Broj pješaka i biciklista velik je u jutarnjem periodu od 07:00 do 10:00 sati razlog tomu je opskrba namjernicama i obavljanje administrativnih poslova. Broj biciklista u navedenom periodu kretao se od 20 do 30 jedinica po satu, dok se broj pješaka kreta od 30 do 40 po satu. Točne smjerove biciklista i pješaka nije moguće utvrditi zbog nekontroliranog kretanja navedenih po prometnim površinama. Slika 15 prikazuje zamjećene tokove pješaka i biciklista prilikom promatranja raskrižja.



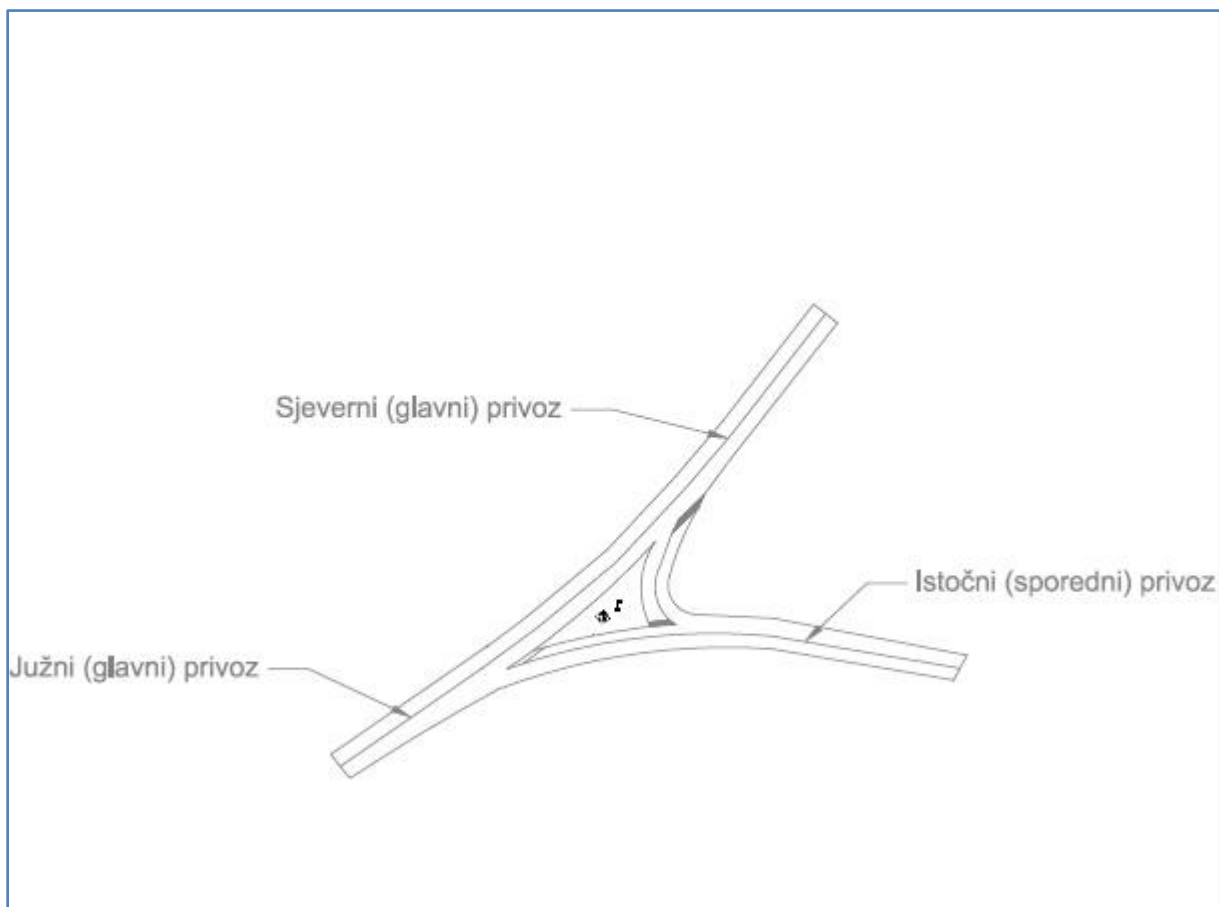
Slika 15: Tokovi pješaka i biciklista

4. Analiza prometne infrastrukture za motorna vozila te pješake i bicikliste

Predmetno raskrižje nalazi se na križanju dvaju županijskih cesta ŽC4005 i ŽC4010 u naselju Gradina. Oblik raskrižja karakterističan te ukoliko se gleda u cjelini može reći da se radi o izravnom trokrakom raskrižju, odnosno o tri pojedinačna trokraka raskrižja ukoliko se promatraju mogući smjerovi kretanja prometnog toka.

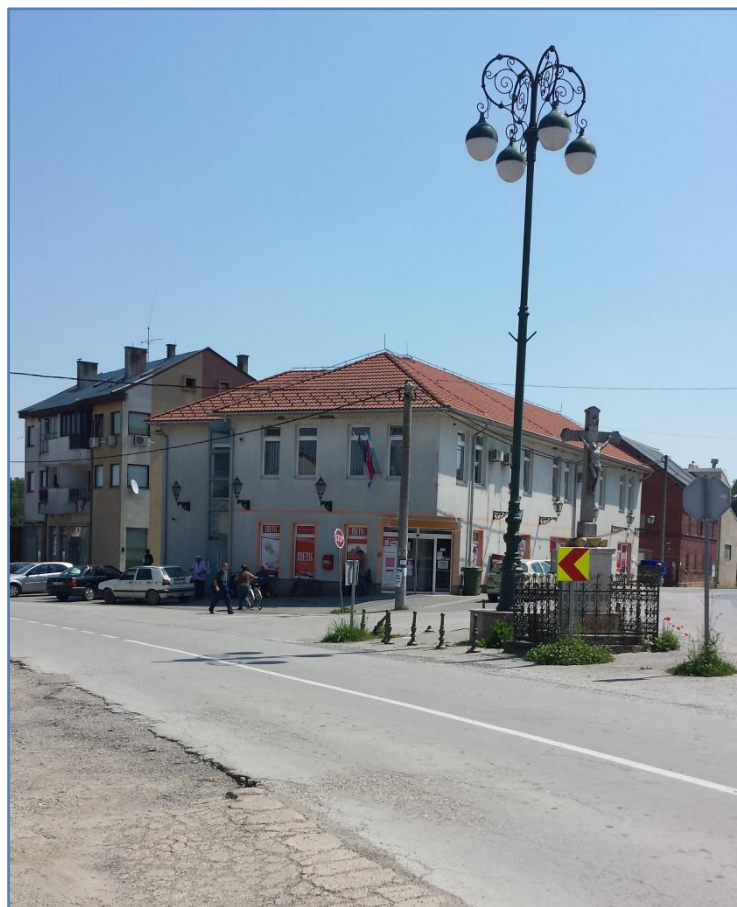
4.1. Analiza prometne infrastrukture za motorna vozila

Privozi raskrižja su dvosmjernog kretanja toka vozila, širina prometnica glavnih privoza iznosi 6 metara odnosno 3 metra za svaku prometnu traku dolaznu i odlaznu. Na sporednom privozu širina prometnih traka iznosi 2,5 metra u svakom smjeru. Raskrižje se u potpunosti nalazi u blagome padu prema glavnim privozima na sjevernoj strani raskrižja, sporedni privoz je višlji u odnosu na glavni. Slika 16 prikazuje oblik raskrižja.



Slika 16: Oblik raskrižja

Raskrižje se sastoji od privoza, površine križanja i središnjeg otoka odnosno fizički odjeljenog prostora s metalnim stupcima.

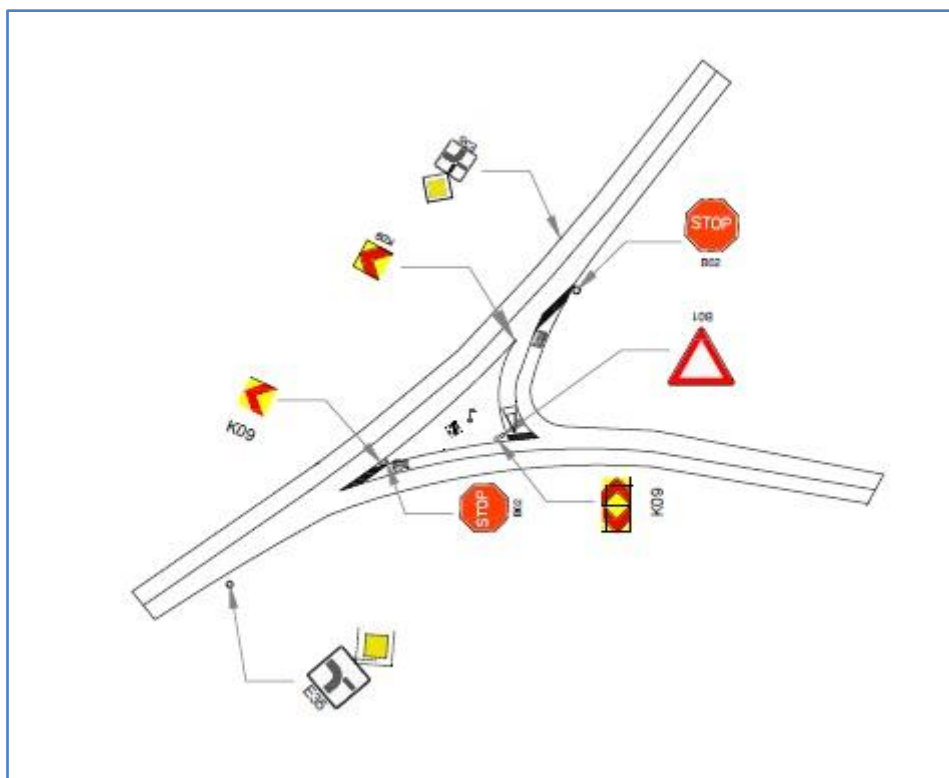


Slika 17: Središnji otok na raskrižju

Prometni tokovi na raskrižju regulirani su horizontalnom i vertikalnom signalizacijom.

Vertikalna signalizacija postavlja se uz rub prometnice kako bi bila vidljiva vozačima odnosno kako bi mogli reagirati u skladu s prometnim obavijestima i upozorenjima, [6]. Na predmetnom raskrižju nalaze se sljedeća vertikalna prometna signalizacija:

- znaka stop BO2 na istočnom privozu,
- nailazak na cestu s prednošću prolaska BO1 na sjevernom privozu za lijeve skretače,
- znakovi za usmjeravanje prometa (KO9) na središnjem otoku,
- i cesta s prednošću prolaska (C08) na sjevernom i južnom privozu, (slika 17),[11].



Slika 18: Horizontalna i vertikalna signalizacija

Promatranjem raskrižja zamijećena je horizontalna signalizacija u obliku natpisa stop, znaka nailazak na cestu s prednosti prolaska i razdjelnih crta koje su prikazane na slici 18. Prilikom promatranja horizontalne signalizacije zamjećeno je loše stanje signalizacije.

4.2. Analiza infrastrukture pješačkog i biciklističkog prometa

Infrastrukturu pješačkog prometa čine pješački nogostupi koji su smješteni uz stambene objekte (kuće), a odvojeni su odvodnim kanalom od prometnice. Pješačka infrastruktura zadovoljava svojom širinom koja se kreće od 1,00 metra do 1,50 metra.



Slika 19: Pješačke staze

Na slici 19 prikazane su pješačke staze koje zadovoljavaju broj pješaka koje se njima koriste.

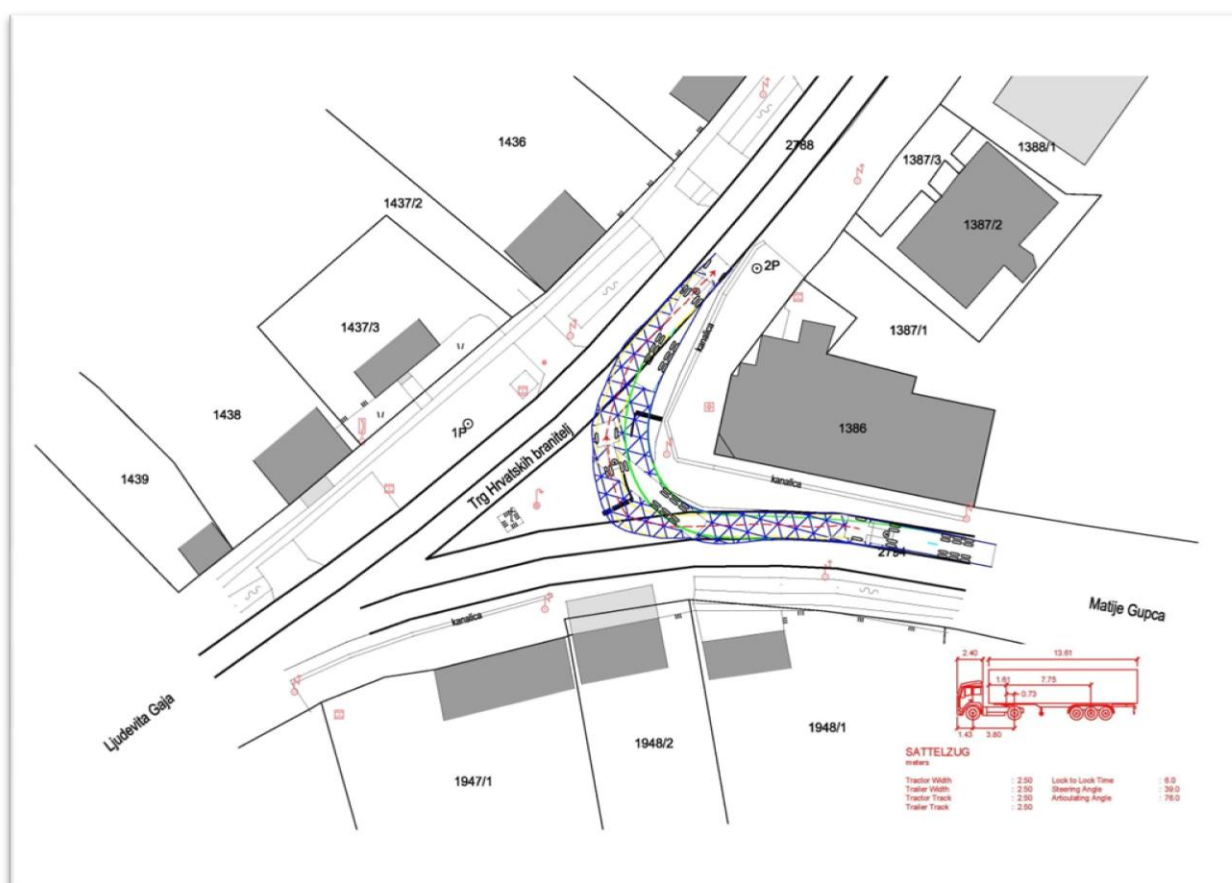
Biciklistički promet kao što je navedeno u prijedhodnom poglavlju najizraženiji je u jutarnjim satima. Kretanje biciklista odvija se uz rub prometne trake.

5. Analiza stanja sigurnosti

Analizom sigurnosti postojećeg stanja predmetnog raskrižja želi se ukazati na probleme koji su uočeni na promatranom raskrižju, u vidu geometrijskih karakteristika raskrižja, brzine prometnih tokova, te ugroženosti nemotoriziranog prometnog toka.

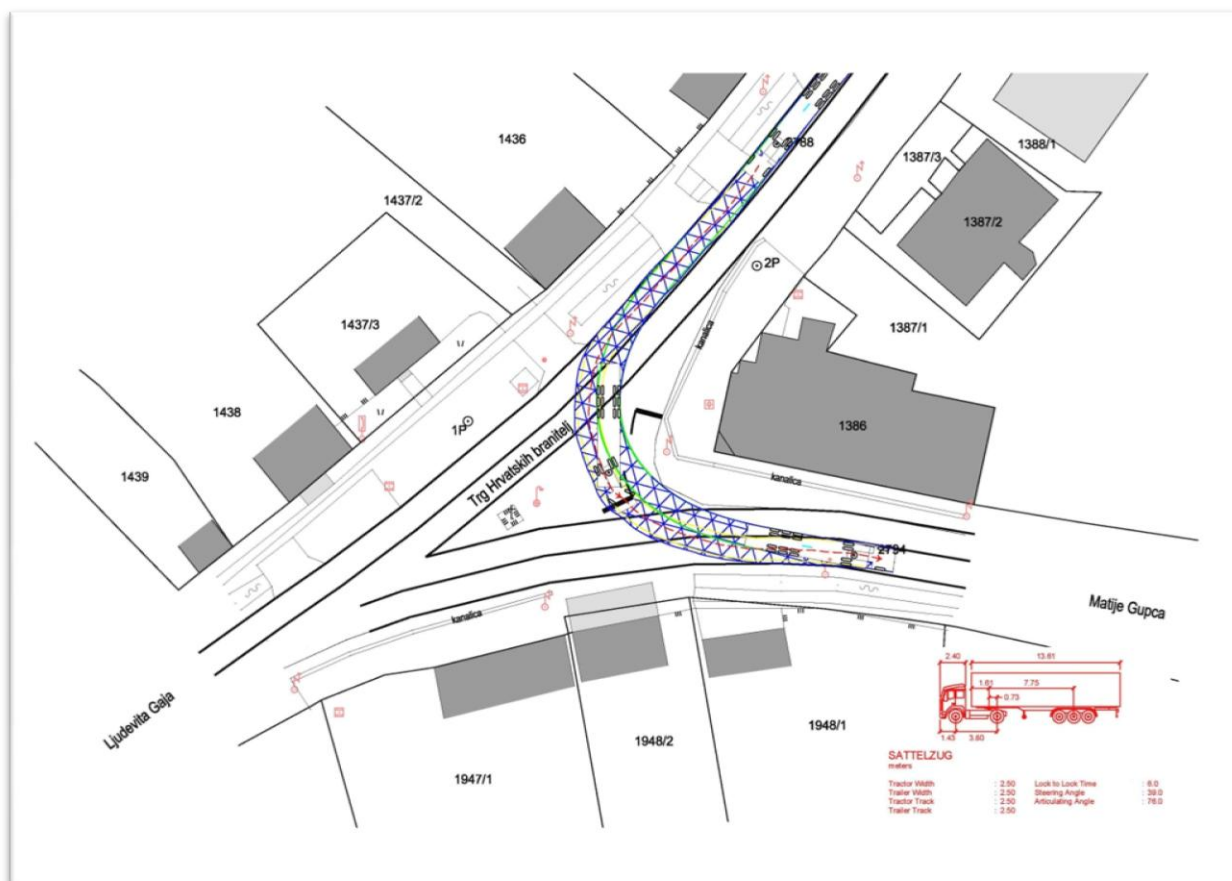
5.1. Geometrijski elementi raskrižja

Geometrijski elementi promatranog raskrižja ne zadovoljavaju uvjete postojeće prometne potražnje odnosno vozila većih gabarita. Prilikom prolaska vozila većih gabarita u određenim smjerovima dolazi do zauzimanja prometne trake ili ometanja prometa na glavnom prvcu čime se ugrožava sigurnost svih sudionika u prometu. Problem geometrijskih elemenata raskrižja zastupljen je na desnim skretačima istočnog privoza.



Slika 20: Trajektorija teretnog vozila istočnog privoza

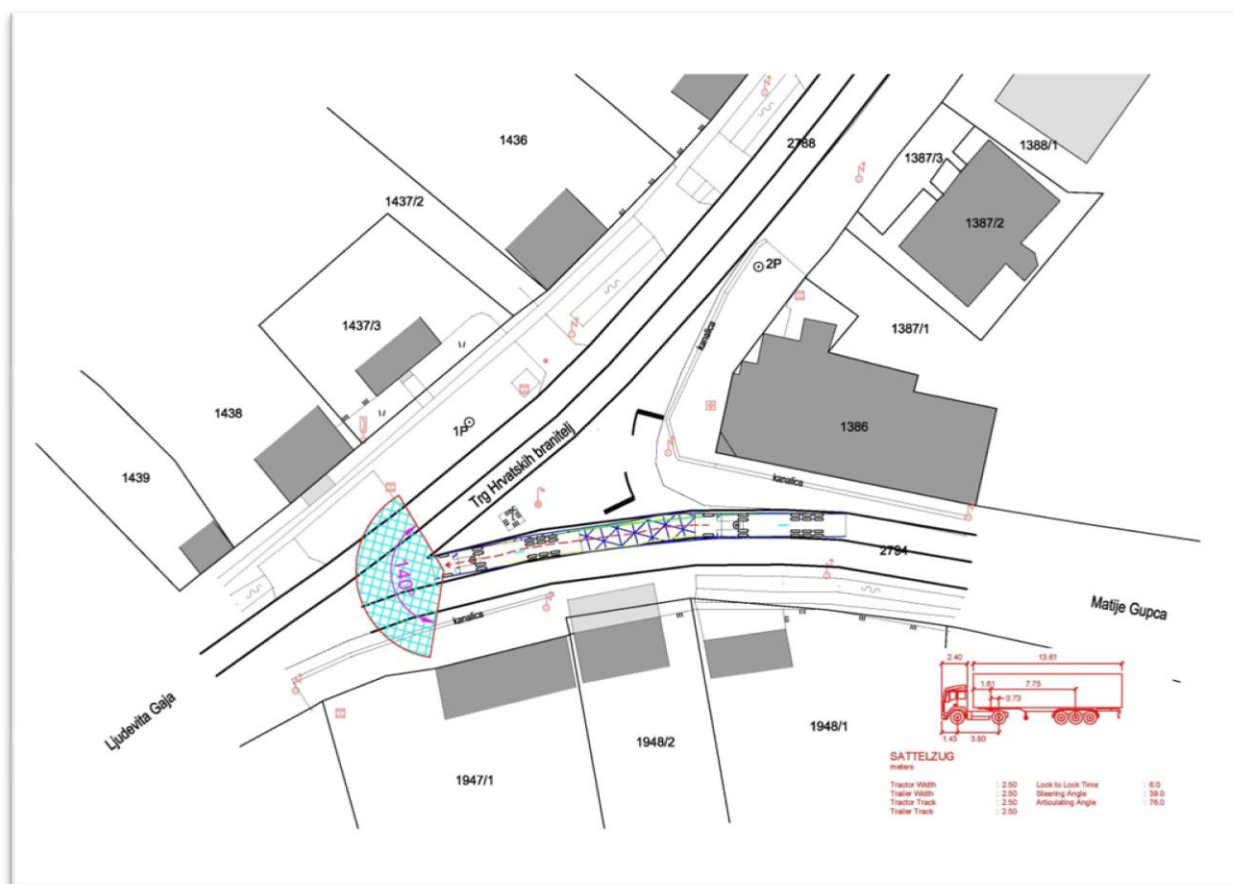
Slika 20 prikazuje trajektoriju teretnog vozila koje se uključuje na glavni prometni tok s sporednog istočnog privoza, uočljivo je da teretno vozilo zauzima prometnu traku suprotnog smjera odnosno ugrožava sigurnost na raskrižju. Vidljivo je zauzimanje prometne površine i prijelaz kotača vozila izvan prometnih traka. Teretno vozilo postavljeno na zaustavnu liniju istočnog privoza ŽC4010 utječe na odvijanje prometa na istom privozu jer ga vozila moraju obići prilikom uključivanja na ŽC4005.



Slika 21: Trajektorija teretnog vozila istočnog privoza

S navedene slike 21 vidljiva je trajektorija vozila koje skreće s glavnog privoza u sporedni privoz ulicu Matije Gubca, prikazano je zauzimanje prometne površine i potreban prostor za skretanje tegljača, također je vidljiv problem prilikom zaustavljanja vozila većih gabarita na zaustavnu traku jer prilikom skretanja na istočni privoz dio vozila ostane na glavnom privozu i onemogućava odvijanje prometa. Manevar teškog vozila smanjuje sigurnost samog vozila i potpunog raskrižja.

Uslijed nepovoljnih geometrijskih elemenata raskrižja nastao je nepovoljan kut skretanja koji znatno smanjuje preglednost za vozila koja se uključuju s ŽC4010 na ŽC4005 (smjer istok-jug). Na glavnom prometnom toku vozila se kreću velikom brzinom te je potrebna dobra reakcija, zbog smanjene preglednosti, kako bi se vozilo uključilo s ŽC4010 na ŽC4005.

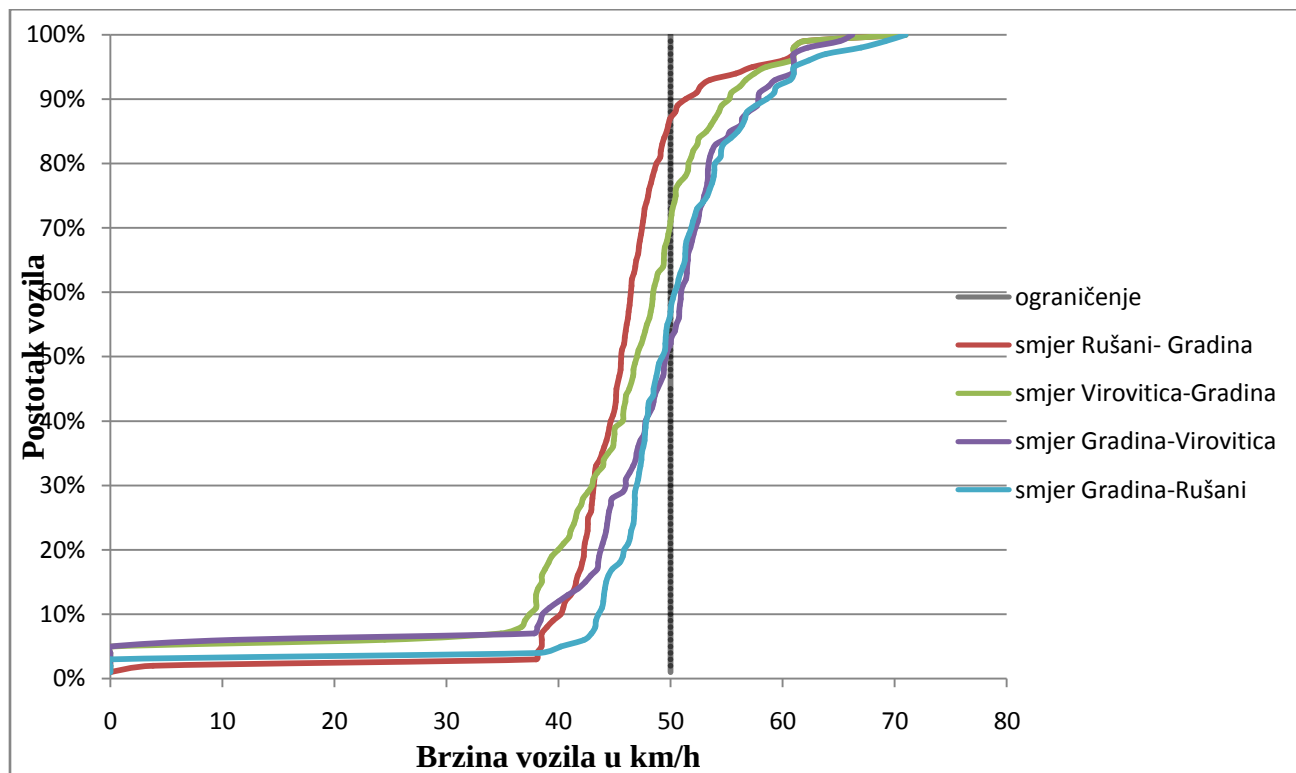


Slika 22: Preglednost prilikom uključivanja na glavni prometni tok

Iz navedene slike vidi se položaj vozila prilikom uključivanja na glavni prometni tok također je označeno vidno polje vozača od 140° koje ne obuhvaća vozila na glavnom prometnom toku. Prilikom uključivanja osobnih vozila preglednost se poboljšava okretanjem glave u desnu stranu i gledanjem kroz bočna stakla vozila, ali najveći problem imaju vozila koja nemaju tu mogućnost. Zamijećena je i slabija preglednost desnih skretača sporednog privoza ali nije toliko manifestirana jer se može regulirati s postavljanjem vozila prilikom uključivanja na glavni tok.

5.2. Analiza brzine

Važan segment sigurnost raskrižja odnosi se na brzinu prolaska vozila kroz promatrano raskrižje. Promatrajući raskrižje zamjećene su brzine koje prelaze 50 km/h što ugrožava sigurnost vozila, pješaka i biciklista.



Grafikon 3: Prikaz brzina vozila

Iz navedenog grafikona može se zamjetiti veliki postotak vozila koja prolaze kroz predmetno raskrižje s brzinom većom od 50 km/h. Najveći postotak vozila s prekoračenom brzinom zabilježen je iz smjera Virovitice i Rušana . Velike brzine zabilježene su na ulazu i izlazu iz raskrižja odnosno na glavnom privozu što znatno utječe na smanjenje sigurnosti prometa. Vozila koja ne mjenjaju putanju kretanja ostvaruju brzine veće od 50 km/h, pošto su brojači bilježili i vozila koja su mjenjala putanju kretanja. Oznake smjerova i položaji automatskih brojača vidljivi su na slici 11. Iz grafikona 3 vidljivo je kako je manji postotak vozila sa brzinom većom od 50km/h na samom izlazu iz raskrižja uzrok tomu je mjenjanje smjerova vozila u samom raskrižju.

5.3. Analiza sigurnosti pješačkih tokova

Tokom analize pješačkih tokova zamjećen je veliki broj pješaka u jutarnjim satim koji se kreću u svim smjerovima preko promatranog raskrižja. Izuzetno bitno je navesti da ne postoji niti jedan pješački prijelaz na raskrižju. Kretanja pješaka ne može se kanalizirati niti ograničiti na prostore, razlog tomu je ne postojanje pješački prijelaza i postojanje parkirnih mjesta za vozila na privozima promatranog raskrižja. Pješaci su ugroženi od strane vozila koji se kreću velikim brzinama na glavnom prometnom toku, veliki broj pješaka generiraju objekti uslužnih djelatnosti koji se nalaze na samom raskrižju i u samoj blizini raskrižja.

6. Prijedlog idejnog prometnog rješenja s ciljem povećanja sigurnosnih i prometno-tehnoloških karakteristika postojećeg rješenja

U skladu s navedenim nedostacima i uočenim problemima opisanim u poglavljima 4 i 5 donjeti su prijedlozi rekonstrukcije istih. Vizija dugoročnog rješenja problema sigurnosti na predmetnom raskrižju razrađena je kroz tri idejna rješenja raskrižja, svaki od idejnih rješenja zahtjeva građevinske zahvate na raskrižju.

Idejna rješenja raskrižja:

- T-traskrižje,
- T-raskrižje s trakom za desno skretanje,
- Kružno raskrižje.

6.1. T-raskrižje

Prva varijanta idejnog rješenja je klasično T-raskrižje s jednom prometnom trakom u svakom smjeru.

Prednosti T-raskrižja:

- Prednost prolaska vozila na glavnom privozu (koji su ujedno i najopterećeniji smjerovi kretanja vozila),
- moguća naknadna semaforizacija,
- kraća linija kretanja lijevih skretača u raskrižju.

Nedostatci T-raskrižja:

- Velike brzine vozila na glavnim privozima,
- raskrižje s prekinutim prometnim tokom,
- vozilo na ulazu u raskrižje s sporednog privoza mora stati prije uključivanja,
- smanjena sigurnost pješaka prilikom kretanja preko pješačkog prijelaza,
- potreba postavljanja usporivača prometa, [2].



Slika 23: T-raskrižje idejni

6.2. T-raskrižje s trakom za desno skretanje

Idejno rješenje T-raskrižja s dodatnom prometnom trakom za desno skretanje kako bi se rasteretio glavni prometni tok. Prednosti i nedostaci raskrižja su istovjetni kao iz predhodnog idejnog rješenja.



Slika 24: T-raskrižje s trakom za desno skretanje

6.3. Kružno raskrižje

Kao jedno od idejnih rješenja ispitivano je raskrižje s kružnim tokom prometa, a u daljnjem odlomku opisane su posebnosti, prednosti i nedostaci kružnih tokova.

Posebnosti raskrižja s kružnim tokom vozilak:

- Raskrižja s kombinacijom prekinutoga i neprekinutoga prometnog toka,
- na cestama (a naročito u naseljima) omogućuju vožnju smanjenim brzinama i s velikim skretnim kutom prednjih kotača,
- vozilo na ulazu u kružno raskrižje se, u slučaju slobodnoga kružnog toka, ne treba zaustavljati, već smanjenom brzinom može ući u kružni tok,
- prvenstvo prolaza imaju vozila u kružnom toku pred vozilima na prilazima/privozima budući da ovdje ne vrijedi "pravilo desnoga",

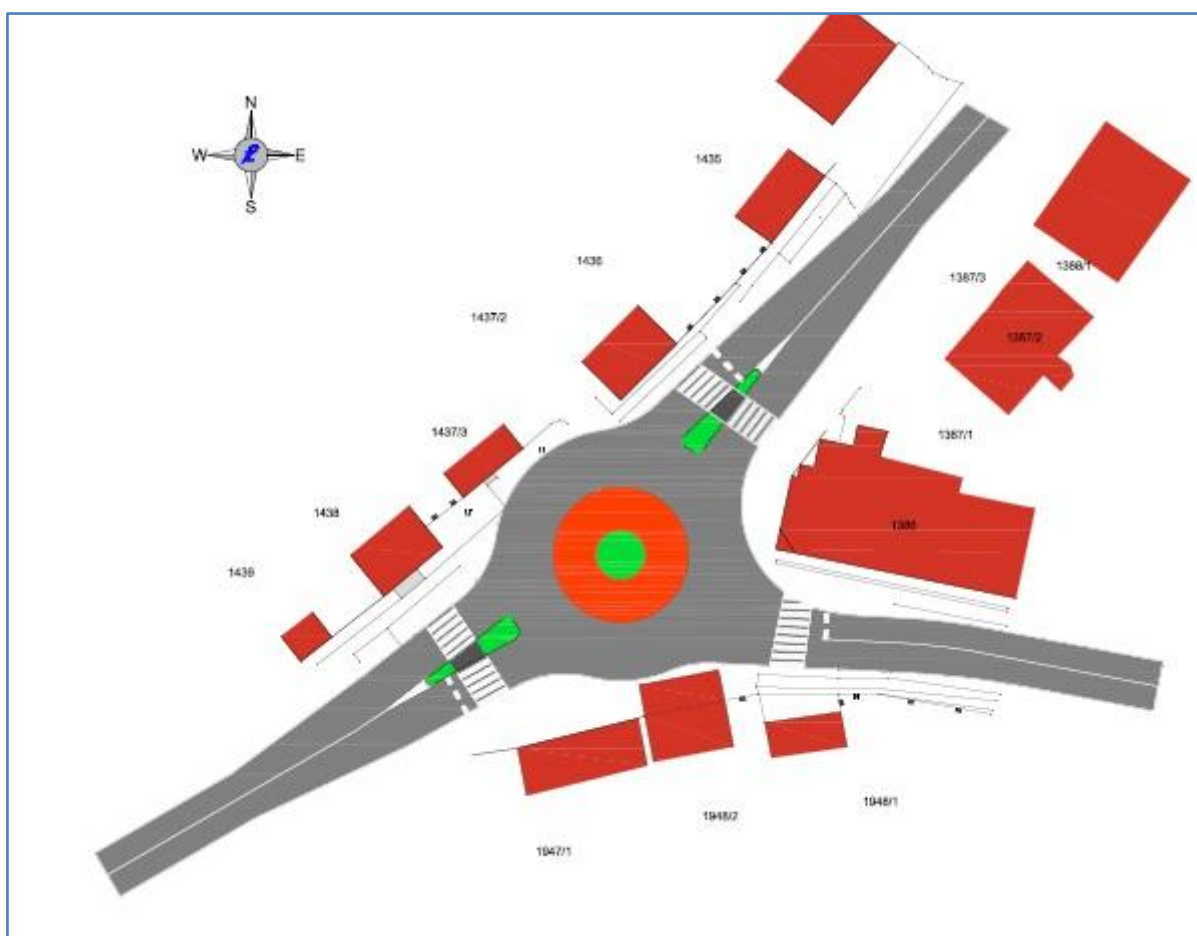
- dugim vozilima je tijekom vožnje dopušteno koristiti i prošireni dio kružnoga kolničkog traka (tzv. povozni dio središnjeg otoka),
- za pješake i bicikliste vrijede jednaka pravila kao i za druge oblike raskrižja u razini.

Prednosti kružnog raskrižja:

- mnogo veći stupanj sigurnosti prometa (s manjim brojem konfliktnih točaka i s manjim brzinama u kružnom toku) uz manje posljedice prometnih nezgoda (bez čelnih i sudara pod pravim kutom),
- manja zauzetost zemljišta, troškova izgradnje i održavanja uz mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor,
- veća propusna moć raskrižja, uz manje proizvedene buke i emisije štetnih plinova motora vozila,
- skraćanje vremena čekanja na privozima i mogućnost propuštanja većih inteziteta prometnih tokova pojedinih privoza,
- dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju privoza i kao mjera za smirivanje prometa posebno u urbanim sredinama,
- dobro rješenje za slučajeve s pet ili više privoza.

Nedostatci kružnog raskrižja:

- slabo rješenje za slučaj velikog inteziteta prometnog toka sa skretanjem ulijevo (zbog duljih putovanja, s otežavajućim presijecanjima i preplitanjima),
- poteškoće s izvedbom središnjeg otoka u već izgrađenim urbanim područjima zbog prostornih ograničenja,
- s povećanjem broja kružnih prometnih trakova smanjuje se stupanj prometne sigurnosti,
- veliko, odnosno višetračno kružno raskrižje nije najpogodnije rješenje na mjestima gdje nemotorizirani sudionici u prometu zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih oštećenja ne mogu sigurno prelaziti raskrižja bez svjetlosnih signalnih uređaja (ispred institucija za slijepe i slabovidne osobe, domova za starije i nemoćne osobe itd.),
- produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja,
- problemi pri većem biciklističkom ili pješačkom prometu, koji presijecaju jedan ili više privoza prema raskrižju (na mjestima na kojima se kreće veliki broj djece),
- naknadna semaforizacija ne utječe bitno na povećanje propusne moći raskrižja,[5].



Slika 25: Kružno raskrižje

Raskrižje s kružnim tokom prometa odabrano je kao optimalno idejno rješenje s kojim će se rekonstruirati problematično raskrižje. Kružni način kretanja vozila smirit će promet, smanjiti brzinu kretanja vozila i također zaštititi pješake prilikom prijelaza preko prometnice. Pješake će zaštititi otoci koji se nalaze na samom ulazu u raskrižje.

7. Proračun razine usluge postojećeg stanja

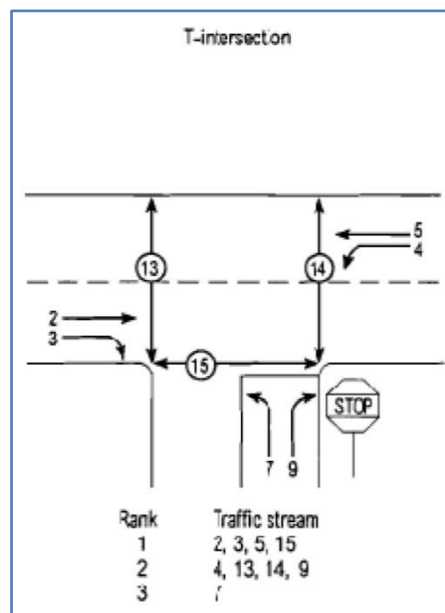
Za proračun postojećeg stanja koristila se metoda HCM (Highway Capacity Manual). Highway Capacity Manual predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Prvenstveno služi za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica cesta, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa.

Temeljnim pravnim dokumentom za projektiranje cesta u Republici Hrvatskoj: Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja moraju udovoljiti sa stajališta sigurnosti prometa u točki 11 dodatka definirano je:

Proračun propusne moći ceste vrši se u pravilu prema “Highway Capacity Manual-u” (HCM), [7].

7.1. Prioriteti prometnih tokova

Prioritet broj 1 čine prolazni tokovi na glavnom smjeru i desna skretanja s glavnih privoza. Prioritet broj 2 uključuje lijeva skretanja s glavnog toka i desna skretanja s sporednog toka u glavni tok. Prioritet 3 čine tokovi za ravno na sporednim privozima (4-krako raskrižje) i tokovi za lijevo skretanje sa sporednih privoza u glavni privoz (samo kod T-raskrižja). Podijela prioritetnih tokova vidljiva je sa slike 26.



Slika 26: Podijela tokova po prioritetu

Po prikazanom pravilu podijele raskrižja prometni tokovi podijeljeni su:

- 1 prioritet: V_2, V_3, V_5
- 2 prioritet: V_4, V_9
- 3 prioritet: V_7

7.2. Konfliktne tokovi

Parametar $V_{C,x}$ predstavlja konfliktne prometni tok za manevar x . On je u biti zbroj prometnih opterećenja tokova koji su u konfliktu s manevrom 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. Konfliktne tokovi glavnog smjera su:

$$V_{C2}=46 \text{ voz/h}$$

$$V_{C3}=36 \text{ voz/h}$$

$$V_{C5}=56 \text{ voz/h}$$

$$V_{C4}= V_{C2}+ V_{C7}+ V_{C3}*0.5= 87 \text{ voz/h}$$

$$V_{C7}= V_{C2}+ V_{C5}= 46+56= 102 \text{ voz/h}$$

$$V_{C9}= V_{C2}=46 \text{ voz/h}$$

7.3. Kritične vremenske praznine i vrijeme slijeđenja

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

Tablica 3: Bazne kritične vremenske praznine i vrijeme slijeđenja u ovisnosti o manevru u raskrižju [6]

Manevar	Bazni kritični $t_{c,base}(s)$		Bazni $t_{f,base}(s)$
	2-tračni glavni smjer (broj provoznih traka u glavnom smjeru)	4-tračni glavni smjer	
Lijevo skretanja s glavnog privoza	4.1	4.1	2.2
Desno skretanje sa sporednog privoza	6.2	6.9	3.3
Ravno sa sporednog privoza	6.5	6.5	4.0
Lijevo skretanje sa sporednog privoza	7.1	7.5	3.5

Kritična vremenska praznina se računa za svaki manevar posebno prema formuli:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV,PHV} + t_{c,GG} - t_{c,T} - t_{3,LT}$$

gdje je:

$t_{c,x}$ – kritična vremenska praznina za manevar x (s)

$t_{c,base}$ – bazna kritična vremenska praznina (s)

$t_{c,HV}$ - korekcijski faktor za teška vozila (1.0 za dvotračni glavni pravac, a 2.0 za 4 tračni glavni pravac) (s)

PHV – postotak teških vozila u toku/100

$t_{c,G}$ – korekcijski faktor utjecaja uzdužnog nagiba za svaki privoz (0.1 za desna skretanja sa sporednog privoza; 0.2 za ravno i lijevo sa sporednog privoza)

G – postotak uzdužnog nagiba privoza/100

$t_{c,T}$ - korekcijski faktor kod ulaza u raskrižje u dva koraka (1 za dva koraka, 0 za jedan korak)

$t_{3,LT}$ – korekcijski faktor geometrije raskrižja (0.7 za skretanje ulijevo sa sporednog privoza kod 3-krakih raskrižja, 0.0 za ostalo).

Prilikom proračuna korištene su vrijednosti koje su navedene u tablici 4

Tablica 4: Vrijednosti udijela teških vozila i baznih kritičnih vremenskih praznina

	Phv %	Tc, base (s)
V2	0,03	0
V3	0,02	0
V5	0,04	0
V4	0,02	4,1
V7	0,03	7,1
V9	0,02	6,2

Za proračun korištena je sljedeća formula:

$$t_{cx} = t_{C, \text{BASE}} + t_{C, \text{HV}} * P_{\text{HV}}$$

Vrijednosti kritičnih vremenskih praznina:

$$V_{C2} = 0$$

$$V_{C3} = 0$$

$$V_{C5} = 0$$

$$V_{C4} = 4,12$$

$$V_{C7} = 7,13$$

$$V_{C9} = 6,22$$

Vrijeme slijeđenja za svaki manevar određuje se prema formuli:

$$t_{f,x} = t_{f,\text{base}} + t_{f,\text{HV}} P_{\text{HV}}$$

$t_{f,\text{HV}}$ – korekcijski faktor za teška vozila (0.9 za dvotračni glavni smjer, a 1.0 za 4-tračni glavni smjer).

Vrijednosti vremena slijeđenja su:

$$V_{C2} = 0 \text{ s}$$

$$V_{C3} = 0 \text{ s}$$

$$V_{C5} = 0 \text{ s}$$

$$V_{C4} = 2 \text{ s}$$

$$V_{C7} = 3,18 \text{ s}$$

$$V_{C9} = 2,99 \text{ s}$$

7.4. Potencijalni kapacitet (idealna propusna moć)

Potencijalni kapacitet (idealna propusna moć) je kapacitet za specifični manevar pri sljedećim uvjetima:

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

$$C_{p,x} = V_{c,x} \frac{e^{-V_{c1} * t_{c1} / 3600}}{1 - e^{-V_{c1} * t_{f1} / 3600}}$$

Iz predhodnog izraza dobiveni su slijedeći vrijednosti:

$$V_{cp2} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cp3} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cp5} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cp4} = 1729,6 \text{ voz/h}$$

$$V_{cp7} = 906,45 \text{ voz/h}$$

$$V_{cp9} = 1133,4 \text{ voz/h}$$

7.5. Realni kapacitet

Realni kapacitet zavisi od stupnja zasićenja prometnoga toka i ranga prometnoga toka. Za glavne prometne tokove ranga 1 se pretpostavlja da nisu ometani od prometnih tokova sa sporednih privoza. Ovaj rang također podrazumijeva da se glavni tok ne usporava i ne kasni prilikom prolaska kroz raskrižje.

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 toga proizlazi da rang 3 neće moći iskoristiti sve vremenske praznine kako bi se uključio u glavni tok, jer će neke od tih praznine iskoristiti vozači koji s glavnoga toka skreću lijevo. Veličina ove impedancije (ometanja) ovisi o vjerojatnosti da će vozila koja skreću lijevo s glavnog privoza čekati istovremeno odgovarajuću vremensku prazninu kao i vozila ranga 3.

Realni kapacitet ranga 3 (smjer 7) računa se prema formuli:

$$C_{mk} = (C_{p,k}) * f_k$$

f_k - korekcijski faktor

Korekcijski faktor izračuna se iz slijedećeg izraza:

$$f_k = p_{o,k} * p_{o,k}$$

$p_{o,k}$ - vjerojatnost da prometni tok ranga 3 nema reda čekanja ($k=7$)

Kod troktrakog raskrižja korekcijski faktor jednak je vjerojatnosti da prometni tok ranga 3 nema reda čekanja.

$$f_k = 1 - \frac{V1}{Cm1}$$

Iz navedenih izraza slijede rezultati:

$$V_{cm2} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cm3} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cm5} = 0 \text{ voz/h}$$

$$V_{cm4} = 1729,6 \text{ voz/h}$$

$$V_{cm7} = V_{cp7} * f_k = 944,29 \text{ voz/h}$$

$$V_{cm9} = 1133,4 \text{ voz/h}$$

7.6. Duljina repa čekanja

Rep čekanja je funkcija kapaciteta i stvarnog protoka u analiziranom vremenu. Prema sljedećoj formuli se računa broj vozila u repu čekanja s 95% sigurnošću:

$$Q_{95,1} \approx 900 * T \left[\frac{v_1}{cm_1} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_1}{cm_1} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{cm_1} \right) * \left(\frac{v_1}{cm_1} \right)}{150T}} \right] * \left(\frac{cm_1}{3600} \right)$$

Q_{95} - 95% rep čekanja [vozila]

v_x – protok za manevar x

cm_x – realni kapacitet manevra x

T – analizirani period (0.25 za 15-minutni period)

Duljina repa čekanja računa se za lijevo skretanje s glavnog privoza i trakove sporednog privoza. Iz navedenih izraza slijede rezultati:

$$Q_{95/4} = 0,16 \text{ vozila}$$

$$Q_{95/7} = 0,42 \text{ vozila}$$

$$Q_{95/9} = 0,13 \text{ vozila}$$

7.7. Prosječno vrijeme kašnjenja

Prosječno vrijeme kašnjenja definira se kao vrijeme koje protekne dok vozilo dođe na kraj repa čekanja do trenutka kad prođe kroz stop liniju. Prosječno vrijeme kašnjenja računa se za lijevo skretanje s glavnog privoza i trakove sporednog privoza.

$$d_1 = \frac{3600}{C_{m1}} + 900T \left[\frac{v_1}{C_{m1}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_1}{C_{m1}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m1}}\right) \cdot \left(\frac{v_1}{C_{m1}}\right)}{450T}} \right] + 5$$

Iz navedenih izraza slijede rezultati:

$$d_4 = 7,16 \text{ s/voz}$$

$$d_7 = 9,42 \text{ s/voz}$$

$$d_9 = 8,18 \text{ s/voz}$$

7.8. Razina usluge nesemaforiziranog raskrižja

Razina usluge nesemaforiziranog raskrižja određuje se za svaku traku posebno, ali i za privoze raskrižja, kao i za samo raskrižje na temelju tablice 1. Nakon proračuna vremena kašnjenja za lijeve skretače s glavnog privoza i trakove sporednih privoza, potrebno je odrediti prosječno vrijeme kašnjenja po privozima:

$$d_A = \frac{dr \cdot v_r + dt \cdot v_t}{v_r + v_t}$$

gdje je:

d_A – vrijeme kašnjenja po privozu (s/voz)

dr , dt , dl – proračunato vrijeme kašnjenja za desno skretanje, za ravno, za lijevo skretanje

v_r , v_t , v_l – prometno opterećenje (voz/h)

Nakon izračuna dobili su se slijedeći podatci:

Privoz A = 0 s

Privoz B = 7,16 s

Privoz C = 8,54 s

Prosječno vrijeme kompletnog raskrižja računa se prema formuli:

$$d = \frac{d_{A,1} \cdot v_{A,1} + d_{A,2} \cdot v_{A,2} + d_{A,3} \cdot v_{A,3}}{v_{A,1} + v_{B,2} + v_{C,3}}$$

gdje je:

$d_{A,X}$ - prosječno vrijeme kašnjenja na privozu (s/voz)

$v_{A,X}$ - prometno opterećenje privoza (s/voz)

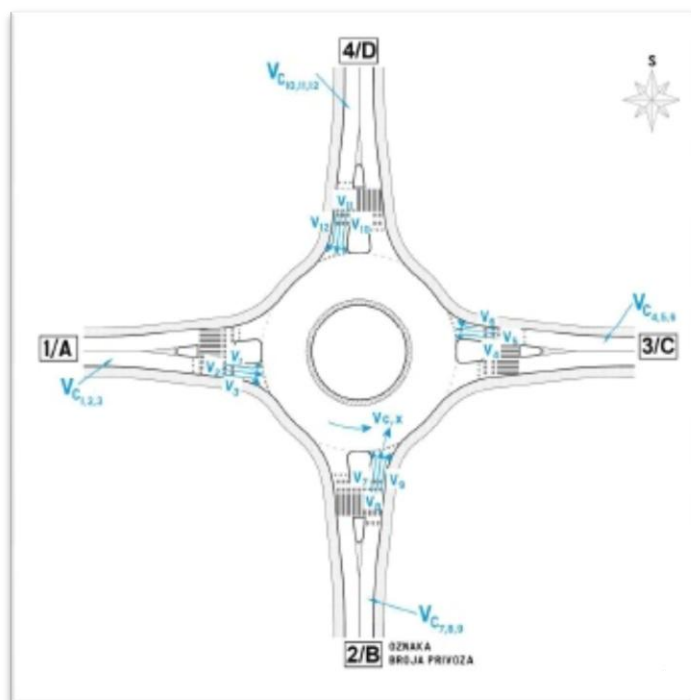
Ukupno kašnjenje raskrižja iznosi 7,66 s, kada se rezultat usporedi s tablicom 5. može se isčitati razina usluge koja iznosi A.

Tablica 5.: Određivanje razine usluge nesemaforiziranog raskrižja na temelju prosječnog vremena kašnjenja [6]

Razina usluge	Prosječna vremena kašnjenja (s/voz)
A	0-10
B	>10 – 15
C	>15 - 25
D	>25 – 35
E	>35- 50
F	>50

8. Proračun razine usluge optimalnog prometnog rješenja

Kao prijedlog prometnog rješenja obrađeno je raskrižje s kružnim kretanjem vozila kako bi se smirio promet i poboljšala sigurnost samoga raskrižja. Proračun prometnog rješenja proveden je po HCM metodi. Na slici 27 označeni su privozi na kružnom toku, [3].



Slika 27.: Kružni tok s označenim privozima

Iz ručnog brojanja prometa uzeti su rezultati po manevru:

Tablica 6: Broj vozila po određenom manevru

Vx (voz/h)	
V2	46
V3	36
V5	56
V4	21
V7	23
V9	20

8.1. Propusna moć ulaznog privoza

Propusna moć ulaznog privoza za svaki manevar izračunava se kao omjer intenziteta x i faktora vršnoga sata, određuje se na sljedeći način:

$$V_x = \frac{Vx}{PHF}$$

gdje je:

Vx – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [voz/h],

Vx – stvarni intezitet pojedinog manevra x (od 1 to 12) [voz/h],

PHF – faktor vršnog sata

Tablica 7: Rezultati propusne moći po manevru

Vcx (voz/h)	
V2	54,11765
V3	42,35294
V5	65,88235
V4	24,70588
V7	27,05882
V9	23,52941

8.2. Intezitet manevra x

Način određivanja odnosno pretvorbe volumena vozila [voz/h] u jedinice putničkog automobila [PAJ/h] prikazan je u slijedećim jednadžbama:

$$V_{x,PAJ} = \frac{Vx}{f_{x,HV}} \quad f_{x,HV} = \frac{1}{1 + PHV * (Et - 1)}$$

Gdje je:

$V_{x,PAJ}$ – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [PAJ/h],

Vx – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [voz/h],

$f_{x,HV}$ – faktor prilagodbe za teška vozila,

PHV – postotak teških vozila,

ET – koeficijent ekvivalentnih jedinica.

Iz sljedećih formula proizlaze rezultati:

Tablica8: Vrijednosti putničkih automobila

V _x (paj/h)	
V ₂ _{pajv2}	55,74118
V ₃ _{pajv3}	43,2
V ₅ _{pajv5}	68,51765
V ₄ _{pajv4}	25,2
V ₇ _{pajv7}	27,87059
V ₉ _{pajv9}	24

8.3. Propusna moć ulaznog dijela privoza

Propusna moću računa se po formuli:

$$C_u = 1,130 * e^{(-1,0 * 10^{-3}) * V_{cx}}$$

gdje je:

C_u – propusna moć ulaza privoza [PAJ/h]

v_{c,x} – konfliktni prometni tok za pojedini privoz [PAJ/h].

Iz formule proizlaze rezultati:

$$C_{u1} = 1101,87 \text{ paj/h}$$

$$C_{u2} = 1033,04 \text{ paj/h}$$

$$C_{u3} = 1071,77 \text{ paj/h}$$

8.4. Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza

Faktor prilagodbe dobiva se množenjem faktor prilagodbe teških vozila za pojedini manevar i intenziteta za manevar podijeljeno s intenzitetom manevra, faktore se računa po formuli:

$$f_{HVe} = \frac{f_{x,HV,L} * V_{L,PAJ} + f_{x,HV,R} * V_{R,PAJ} + f_{x,HV,D} * V_{D,PAJ}}{V_{L,PAJ} + V_{R,PAJ} + V_{D,PAJ}}$$

Gdje je:

f_{HVe}– faktor prilagodbe teških vozila za pojedini privoz,

f_{x,HV,L,R,D}– faktor prilagodbe teških vozila za pojedini manevar x (lijevo, ravno, desno)

v_{L,R,D,PAJ}– intezitet za manevar x (lijevo, ravno, desno) [PAJ/h].

$$F_{HVE1}=0,9750$$

$$F_{HVE2}=0,9666$$

$$F_{HVE3}=0,9752$$

8.5. Stvarni (realni) kapacitet

Realni kapacite privoza računa se po formuli:

$$C_u = C_{u,PAJ} * f_{HVe} * f_{pj}$$

Gdje je:

C_u – kapacitet ulaza [voz/h],

$C_{u,PAJ}$ – kapacitet ulaza [PAJ/h],

f_{HVe} – faktor prilagodbe teških vozila za pojedini privoz,

f_{pj} – faktor prilagodbe za kapacitet ulaza privoza.

$$V_1=96,47$$

$$V_2=90,58$$

$$V_3=50,58$$

8.6. Stupanj zasićenja privoza

Stupanj zasićenja privoza dobiva se kao omjer volumena privoza i propusne moći privoza, po formuli:

$$X = \frac{v_x[\text{voz/h}]}{C_u[\text{voz/h}]}$$

Gdje je:

x – stupanj zasićenja pojedinog privoza,

v_x – stvarni intezitet pojedinog privoza [voz/h],

C_u – kapacitet ulaza [voz/h].

$$X_1=0,0897$$

$$X_2=0,0876$$

$$X_3=0,0472$$

8.7. Prosječno vrijeme kašnjenja

Kontrola kašnjenja jest standardni parametar za mjerenje učinkovitosti kružnih i klasičnih raskrižja, te predstavlja potrebno vrijeme koje vozač utroši na usporenje vozila do zaustavljanja iza zadnjeg vozila u repu čekanja, vrijeme provedeno u repu čekanja, čekanje prihvatljivog trenutka uključivanja u kružni prometni tok, pri čemu ne ugrožava sebe i ostale sudionike u prometu izvršavanjem radnje uključivanja u kružni prometni tok.

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

Gdje je:

d – prosječno vrijeme kašnjenja privoza [s/voz],

x – stupanj zasićenja pojedinog privoza,

C_u – kapacitet ulaza [voz/h],

T – vremenski period (za cijeli sat T = 1, za 15 minuta T = 0,25).

$$d_1=3,8204$$

$$d_2=3,9442$$

$$d_3=3,6053$$

8.8. Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja

Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja izračunava se kako bi se moglo usporediti s tablicom koja kazuje razinu usluge samoga raskrižja, kašnjenje u raskrižju računa se po formuli:

$$d_{\text{RKT}} = \frac{d_A * V_A + d_B * V_B + d_C * V_C + d_D * V_D}{V_A + V_B + V_C + V_D} = 3.821 \left[\frac{s}{\text{vozilu}} \right]$$

Gdje je:

d_{RKT} – prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja s kružnim tokom prometa [s/voz],

d_{A_D} – prosječno vrijeme kašnjenja privoza (A do D) [s/voz],

v_{A_D} – volumen prometa promatranog privoza (A do D) [voz/h].

$d_{\text{RKT}}=3.821s$

Kada se dobiveni rezultat od 3.821 usporedi s tablicom 8 može se isčitati razina usluge A, što je ujedno i najveća razina usluge po HCM-u. Prilikom proračuna raskrižja u obzir se nisu uzimali pješaci zbog promjenjivog toka pješaka odnosno slabe zastupljenosti pješaka tokom cijelog dana, [2].

Tablica9: Uvjeti za određivanje razine usluge prema kašnjenju vozila u raskrižju [6]

Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja [s/voz]
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

9. Zaključak

Prilikom analize raskrižja zamječen je problem u vidu sigurnosti odvijanja prometa. Analizom sigurnosti postojećeg stanja konstatirani su problemi u geomtrijskim karakteristikama raskrižja, velikim brzinama koje se ostvaruju na privozima, otežano kretanje teretnih vozila isustav rješavanja nemotoriziranog prometa. Geometrijskih elementi postojećeg stanja ne zadovoljavaju trajektorije kretanja teretnih vozila. Konstatacijom problema u obliku postojećeg stanja raskrižja prešlo se na analizu idejnih rješenja. Tim praktičnim pristupom se uvelike povećava šansa za pronalaženjem optimalnog rješenja predmeta istraživanja. Većina prometnih problema je slična, ali pobliže gledano niti jedna prometna situacija nije identična drugoj. Svaka prometna situacija je jedinstvena i neozbiljno je rješavati jednu prometnu situaciju na isti način kao i prethodnu.

Predmetno raskrižje nalazi se u Virovitičko-podravskoj županiji, odnosno u naselju Gradina. Predmetno raskrižje čine dva županijska pravca (ŽC4010 i ŽC4005). Raskrižje ima centralni položaj u naselju, oko samoga raskrižja nalaze se objekti usuznih djelatnosti i administracije koji generiraju promet na samom raskrižju. Veliki broj prometa generiraju industrijske zone koje se nalaze na perifernom dijelu naselja, a najveći intenzitet teretnih vozila odvija se u jesenskim mjesecima (šećerna repa).

Analizom postojećeg stanja raskrižja uočene su nepravilnosti na promatranom raskrižju u obliku tehničkih elemenata raskrižja. Prilikom rekonstrukcije raskrižja, osim tehničkih elemenata, potrebno je uzeti u obzir smještaj raskrižja, intenzitet prometnih tokova te odnos prometnih tokova na samom raskrižju. Ručnim i automatskim brojanjem intenziteta prometnih tokova utvrđene su manje oscilacije prometnih tokova, a intenzitet tokova ne postiže rubne vrijednosti kapaciteta raskrižja.

Prometne trake na glavnim privozima su široke 3.00 metra, a na sporednom privozu su široke 2.50 metra. Reguliranje prometa na raskrižju odvija se pomoću horizontalne i vertikalne signalizacije.

U ovom diplomskom radu predložena su 3 idejna prometna rješenja. Idejna prometna rješenja koja zadovoljavaju problematiku predmetnog raskrižja su: T-raskrižje, T-raskrižje s trakom za desno skretanje i raskrižje s kružnim kretanjem vozila.

Analizom geometrijskih elemenata raskrižja, prometnih tokova i korištenjem dobivenih podataka iz proračun propusne moći odabrano je raskrižje s kružnim kretanjem vozila. Kružno raskrižje svojom geometrijskom konstrukcijom omogućava razvijanje velike brzine u raskrižju (smirivanje prometa), zadovoljava trajektorije kretanja teretnih vozila koje prolaze predmetnim raskrižjem, veća propusna moć raskrižja, manje proizvedene buke i emisije štetnih plinova motora vozila. Prilikom odabira optimalnog rješenja pažnja je posvećena kako motoriziranom prometu tako i nemotoriziranom prometu (pješaci i biciklisti).

Za proračun razine usluge postojećeg stanja koristio se priručniku Highway capacity manual. U postojećem stanju raskrižja ne dolazi do repova čekanja, a ukupno kašnjenje cijelog raskrižja iznosi 7.66 sekundi. U skladu s korištenim priručnikom razina usluge je A.

Prilikom proračuna optimalno rješenja (kružnog raskrižja) također je korišten priručnik Highway capacity manual. Kašnjenje iznosi 3.82 sekunde što je znatno manje nego na postojećem stanju, razlog tomu je kraće čekanje na privozima i lakši ulazak u raskrižje. Razina usluge optimalnog prometnog rješenja je A.

Prilikom rekonstrukcije raskrižja potrebno je obratiti pažnju na vrijeme izvođenja radova zbog većeg broja teretnih vozila u jesenskom periodu. Saniranjem problema kao što je promatrano raskrižje ulaže se u prometnu infrastrukturu i povećava se kvaliteta usluge. S obzirom da sličan način reguliranja prometa ne postoji u blizini naselja, potrebno je pristupiti realizaciji rješenja uz povećan oprez. Tokom i nakon rekonstrukcije raskrižja potrebno je posvetiti pažnju obavješćavanju korisnika rekonstruiranog raskrižja.

Literatura:

1. Dadić I. i suradnici; Teorija i organizacija prometnih tokova, Zagreb, 2014.
2. Legac I.: Cestovne prometnice I, Zagreb, 2006.
3. Legac, I.: Raskrižja javnih cesta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008.
4. Hozjan D., Novačko L.: Cestovne prometnice II, Interna skripta za izradu seminarskog rada, Zagreb, 2009.
5. Dadić I., Šoštarić M.: Prometno tehnološko projektiranje, Autorizirana predavanja, Zagreb, 2012.
6. Dadić I., Kos G.: Teorija i organizacija prometnih tokova, Skripta, Zagreb, 2007.
7. Transportation Research Board, Highway capacity manual, National Research Council, Washington, 2000.
8. Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama
9. Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 105/04)
10. <http://www.gradina.hr>, lipanj 2015.
11. <http://www.pismorad.hr/Znakovi/Znakovi>, rujan 2015.
12. <http://www.roadsbridges.com/nc-100200-portable-traffic-analyzer>, rujan 2015.
13. <http://www.vpz.com.hr>, lipanj 2015.
14. <http://www.zakon.hr/z/244/Zakon-o-javnim-cestama>, srpanj 2015.

Popis slika:

Slika 1: Prikaz Virovitičko-podravske županije

Slika 2: Dionica državnog pravca 34

Slika 3: Dionica državnog pravca 2

Slika 4: Generatori prometa

Slika 5: Ulica Andrije Hebranga

Slika 6: Ulica Vladimira Nazora

Slika 7: Prikaz mjesta Gradina s označenim raskrižjem

Slika 8: Zgrada općine i trgovine mješovite robe

Slika 9: Poštanski ured s parkirnim prostorom

Slika 10: Vatrogasni dom i Inovine

Slika 11: Caffè bar „Dolar“

Slika 12: Opterećenje raskrižja

Slika 13: Položaji brojača

Slika 14: Brojač prometa NC 100

Slika 15: Tokovi pješaka i biciklista

Slika 16: Oblik raskrižja

Slika 17: Središnji otok na raskrižju

Slika 18: Horizontalna i vertikalna signalizacija

Slika 19: Pješačke staze

Slika 20: Trajektorija teretnog vozila istočnog privoza

Slika 21: Trajektorija teretnog vozila istočnog privoza

Slika 22: Preglednost prilikom uključivanja na glavni prometni tok

Slika 23: T-raskrižje idejni

Slika 24: T-raskrižje s trakom za desno skretanje

Slika 25: Kružno raskrižje

Slika 26: Podijela tokova po prioritetu

Slika 27.: Kružni tok s označenim privozima

Popis tablica:

Tablica 1: Satno opterećenje po smjerovima na navedenom raskrižju

Tablica 2: Opterećenje u sedmodnevnom periodu

Tablica 3: Bazne kritične vremenske praznine i vrijeme slijeđenja u ovisnosti o manevru u raskrižju

Tablica 4: Vrijednosti udijela teških vozila i baznih kritičnih vremenskih praznina

Tablica 5.: Određivanje razine usluge nesemaforiziranog raskrižja na temelju prosječnog vremena kašnjenja

Tablica 6: Broj vozila po određenom manevru

Tablica 7: Rezultati propusne moći po manevru

Tablica8: Vrijednosti putničkih automobila

Tablica9: Uvjeti za određivanje razine usluge prema kašnjenju vozila u raskrižju [6]

Popis grafikona:

Grafikon 1: Prikaz satnog opterećenja u jedinici EJA po smjerovima

Grafikon 2: Prikaz opterećenja po smjerovima

Grafikon 3: Prikaz brzina vozila

Prilozi

1. Prilog 1. T-raskrižje
2. Prilog 2. T-raskrižje s trakom za desno skretanje
3. Prilog 3. Kružno raskrižje

Prilog 1. T-raskrižje

Prilog 2. T-raskrižje s trakom za desno skretanje

Prilog 3. Kružno raskrižje