Prijedlog mjera za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu

Kežman, Dina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:119:286326

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dina Kežman

PRIJEDLOG MJERA ZA POVEĆANJE PROPUSNE MOĆI I SIGURNOSTI PROMETA NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA U ČAKOVCU

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Sigurnost cestovnog i gradskog prometa III**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3948

Pristupnik: **Dina Kežman (0058201449)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Prijedlog mjera za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu**

Opis zadatka:

Oblik i mjesto raskrižja kao element cestovne infrastrukture, određuje sigurnost, propusnu moć (kapacitet), ekonomičnost te prostorni izgled urbanog područja naselja i gradova. U diplomskom radu potrebno je obaviti analizu načina odvijanja i sigurnost prometa te predložiti mjere za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Rajko Horvat

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PRIJEDLOG MJERA ZA POVEĆANJE PROPUSNE MOĆI I SIGURNOSTI PROMETA NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA U ČAKOVCU

PROPOSAL OF MEASURES FOR INCREASE THE TRAFFIC CAPACITY AND OF TRAFFIC SAFETY AT THE INTERSECTION STREET D3, KALNIČKE AND STREETS JOSEPH BAJKOVCA IN ČAKOVEC

Mentor: doc. dr. sc. Rajko Horvat

Student: Dina Kežman

JMBAG: 0058201449

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK

Raskrižja javnih cesta predstavljaju mjesta s naglašenim problemima propusnosti i sigurnosti prometa. S obzirom da su raskrižja najsloženiji dio cestovne mreže ista trebaju biti planirana i projektirana na način da omogućavaju smisleno i sigurno odvijanje prometa. U diplomskom radu analizirano je raskrižje državne ceste D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca. Nakon obavljene analize raskrižja koje je proglašeno opasnim mjestom, zbog velikog broja prometnih nesreća sa smrtno stradalim osobama, utvrđeno je da je potrebna rekonstrukcija postojećeg raskrižja. Brojanje prometa predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju. Podaci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Analizom propusne moći raskrižja te analizom postojećeg stanja, kao optimalno rješenje uzima se izgradnja kružnog raskrižja.

Ključne riječi: raskrižja, cestovna mreža, opasno mjesto, brojanje prometa, prometni tok, propusna moć, kružno raskrižje.

SUMMARY

The intersection of public roads represents places with pronounced problems of traffic permeability and safety. Given that intersections are the most complex part of the road network, they must enable meaningful and safe traffic flow. In this thesis is being watched at the intersection of the state road D3, Kalnička Street and Josip Bajkovac Street. Following the analysis of the intersection, which was declared a dangerous place, due to the extremely large number of accidents (in 2016, 6 dead people), it was found that reconstruction is required. Traffic counts are one of the main inputs for traffic planning and design. Data obtained by traffic counts represent the actual current picture of traffic flow dynamics. By analyzing the level of service and by analyzing the existing state, the development of a circle crossing is the optimal solution.

Key words: Intersection, road network, dangerous place, traffic count, traffic flow, level of service, circle crossing

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

2. METODE I CILJEVI PROMETNOG PLANIRANJA 4

2.1 Prometno planiranje 4

2.1.1 Opće definicije prometnog planiranja 5

2.1.2 Koraci u procesu planiranja mreže 6

2.2 Sadržaj i cilj prometnog planiranja 6

2.2.1 Prometna dijagnoza 8

2.2.2 Prometna prognoza 9

2.2.3 Prometna "terapija" 10

3. PROMETNO - OBLIKOVNI ELEMENTI RASKRIŽJA U FUNKCIJI SIGURNOSTI PROMETA 12

3.1 Preglednost raskrižja 15

3.2 Vozni trakovi 16

3.3 Trakovi za usporavanje 17

3.4 Trakovi za ubrzavanje 18

3.5 Trakovi za lijevo i desno skretanje 19

3.6 Prometni otoci i pješačke ograde 20

3.7 Nagibi i polumjeri zavoja 22

4. ODREĐIVANJE PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA 25

4.1 Propusna moć prometnice 26

4.2 Propusna moć prometnice između dvaju križanja sa semaforima 28

4.3 Proračun propusne moći križanja sa semaforima 29

5. ANALIZA PROMETNOG OPTEREĆENJA RASKRIŽJA 30

5.1 Uloga i značaj južne obilaznice grada Čakovca (D3) u promatranoj mreži Međimurske županije 31

5.2 Opis i analiza postojećeg stanja raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca 33
5.3 Analiza podataka o brojanju prometa 36
6. ANALIZA STANJA SIGURNOSTI NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE ULICE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA 44
5.1 Lokacija i opis opasnog mjesta 44
5.2 Podaci o broju i posljedicama prometnih nesreća 46
7. PRIJEDLOG MJERA ZA POVEĆANJE PROPUSNE MOĆI I SIGURNOSTI PROMETA NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA U ČAKOVCU 50
7.1 Definiranost i svojstva kružnih raskrižja 50
7.1.1 Posebnosti raskrižja s kružnim tokom prometa 51
7.1.2 Prednosti i nedostaci kružnih raskrižja 51
7.2 Radovi izvedeni na sanaciji 52
7.3 Predložene mjera za sanaciju 53
7.4 Privremena regulacija prometa 56
ZAKLJUČAK 58
LITERATURA 60
POPIS SLIKA 62
POPIS TABLICA 63
POPIS PRILOGA 64

1. UVOD

Planiranje, projektiranje, izgradnja i održavanje cesta značajan su element za sigurnost prometa. Uvjeti koji određuju sigurnost cestovnog prometa povezani su i sa načinom vođenja i upravljanja prometom kao i planiranom prometnom infrastrukturom pojedinog područja. Jedan od bitnih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa je cesta i njezini prometno - oblikovni elementi. Tako su najznačajniji elementi za osiguranje protočnosti i sigurnosti prometa planiranje, projektiranje, izgradnja i održavanje cesta.

Pravilnim vođenjem prometnih tokova može se povećati propusna moć i sigurnost odvijanja prometa u raskrižju, a optimizacijom prometnih tokova smanjila bi se buka i emisije štetnih plinova.

Grad Čakovec kao administrativno, gospodarsko, ekonomsko i kulturološko središte Međimurske županije prema prostornom i prometnom položaju značajno je prometno središte. Južna obilaznica grada Čakovca sastavni je dio državne ceste D3 i poveznica je državne ceste D2 i autoceste A4. Zbog prometnog značaja kojeg ova cesta ima u prometnom, ali i u smislu sigurnosti cestovnog prometa za grad Čakovec, analiza prometnih tokova i stanja sigurnosti prometa vrlo je značajan element u daljnjem razvoju prometnog sustava grada.

U diplomskom radu obavljena je analiza i definirani su prijedlozi saniranja opasnog mjesta na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u funkciji povećanja sigurnosti cestovnog prometa. Analiza prometnih tokova i novi prijedlog unaprjeđenja sustava vođenja i upravljanja prometom na južnoj obilaznici grada Čakovca osnovni je element ovog diplomskog rada. Glavni cilj je predložiti mjere za povećanje sigurnosti cestovnog prometa na raskrižjima kao i prikaz metodoloških smjernica za sanaciju opasnog mjesta na analiziranom raskrižju.

Analizom postojećeg stanja prometnih tokova i raskrižja na dionici državne ceste D3 s gradskim ulicama Kalnička i Ulica Josipa Bajkovca utvrđeno je narušavanje sigurnosti odvijanja prometnih tokova, a samim time i ugrožavanje svih sudionika u prometu. Problem se javlja u velikom broju prometnih nesreća.

U 2016. godini na tom je području smrtno stradalo čak šest osoba što je i glavni razlog za analizu i rješavanje navedenog problema koji uvelike utječe na sigurnost svih sudionika u prometu.

Sukladno tome, diplomski rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod
2. Metode i ciljevi prometnog planiranja
3. Prometno - oblikovni elementi raskrižja u funkciji sigurnosti prometa
4. Određivanje propusne moći raskrižja
5. Analiza prometnog opterećenja raskrižja
6. Analiza stanja sigurnosti na raskrižju ulica D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca
7. Prijedlog mjera za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu
8. Zaključak

U uvodu su prezentirane osnovne postavke i problem istraživanja diplomskog rada a koje su razrađivane u pojedinim poglavljima rada.

U drugom poglavlju analizirane su metode i ciljeve prometnog planiranja koji su usmjereni na odnose, odnosno interakciju između prometnog sustava i njegova okruženja.

U trećem poglavlju obavljena je analiza prometno - oblikovnih elemenata raskrižja u funkciji načina odvijanja prometa a čiji je izbor izrazito važan za pravilno oblikovanje raskrižja, naročito pri većem prometnom opterećenju kada je sigurnost prometa smanjena.

U četvrtom poglavlju obavljena je analiza i komparacija određivanja propusne moći raskrižja. Naime optimalna procjena propusne moći osnovni je korak za odabir vrste i oblika raskrižja kao i načina organizacije i regulacije prometa.

U petom poglavlju analizirano je prometno opterećenje promatranog raskrižja u gradu Čakovcu.

U šestom poglavlju obavljena je analiza stanja sigurnosti na raskrižju ulica D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu.

U sedmom su poglavlju na temelju prethodno obavljenih analiza i istraživanja predložene mjere za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca.

U zaključku je na koncizan i jezgrovit način izložena sinteza relevantnih spoznaja, informacija, stavova, znanstvenih činjenica, teorija i zakona koji su opširnije elaborirani u analitičkom dijelu diplomskog rada.

Analiza prometnih tokova na promatranom raskrižju te novi prijedlog rekonstrukcije opasnog mjesta u cilju povećanja sigurnosti cestovnog prometa na području grada Čakovca, osnovni je predmet istraživanja ovog diplomskog rada.

2. METODE I CILJEVI PROMETNOG PLANIRANJA

Prometni planeri i projektanti svakodnevno su suočeni s problemima u odvijanju prometa. Pronalaženje rješenja za optimalno usklađivanje prometnog sustava na makroskopskoj i mikroskopskoj razini urbanog područja vrlo je složeni proces uz suptilan pristup planiranja i pronalaženja odgovarajućeg rješenja u okvirima financijskih mogućnosti.

2.1 Prometno planiranje

Planiranje razvitka prometne infrastrukture sastoji se od formaliziranih postupaka s ciljem da se unaprijed sagleda budućnost s dovoljno izvjesnosti i pouzdanosti kako bi se donijele potrebne odluke i poduzele odgovarajuće mjere za poboljšanje postojećeg stanja, odnosno da se realiziraju pozitivni i umanje negativni učinci dosadašnjeg razvitka. Planiranje pomaže da se unaprijed uoči najvjerojatniji ishod donesenih odluka i poduzetih mjera, a ukupna pouzdanost procesa ovisi od opsega, vrste i pouzdanosti prikupljenih informacija, te egzaktnosti primijenjenih metoda i postupaka. U suštini, radi se o prilagodbi prometne ponude budućoj potražnji kroz postupke dimenzioniranja elemenata prometne mreže.

Planiranje prometne cestovne infrastrukture podrazumijeva da se prometna potražnja i ponuda razmatraju u sklopu najširih uzročno - posljedičnih veza s društvenim, gospodarskim i prostornim razvojem promatranog područja.

Glavni korak u procesu planiranja je analiza problema koji podrazumijeva utvrđivanje ciljeva razvoja i definiranje mjera za njihovu realizaciju. Problem se ne može ograničiti samo na pitanje ponude i potražnje prometnih usluga, već se planiranje prostornog razvoja i projektiranje prometnih mreža moraju razmatrati kao uvjetovani procesi. Osnovni metodološki pristup planiranju se definira na temelju podjele po geografskim razinama planiranja i projektiranja, te odgovarajuće funkcionalne klasifikacije dionica cestovne mreže. Hijerarhijski niz planerskih i projektantskih istraživanja je neophodan kada se radi o dionicama primarne i sekundarne međugradske cestovne mreže [14].

2.1.1 Opće definicije prometnog planiranja

Planiranje cestovne prometne infrastrukture izrazito je složen proces. Jedan od najvećih problema je određivanje projektnih elemenata cestovne infrastrukture u koju pripadaju kategorija i značaj ceste, broj prometnih traka, poprečni i uzdužni profil i niz drugih elemenata s kojima se određuje razina usluge ceste.

Suvremene metode prometnog planiranja moraju biti usmjerene na odnose, odnosno uzajamnu interakciju između prometnog sustava i njegova okruženja, što određuje veličinu i razmještaj buduće prijevozne potražnje kao i način njezina podmirenja.

Planiranje i projektiranje cestovne infrastrukture temelji se na određivanju parametara prometnog toka i njihovoj distribuciji u promatranom području u smislu prostora i vremena. U svrhu odabira optimalnog rješenja za planirano razdoblje potrebno je obaviti istraživanja relevantnih parametara prometnog toka u karakterističnim uvjetima na promatranoj cestovnoj mreži.

Koncept modeliranja prometnog toka podrazumijeva definiranje odnosa između osnovnih parametara prometnog toka:

- brzine (v),
- gustoće (g)
- i volumena (q).

Određivanje vrijednosti prometnih parametara temelji se na anketiranju uzoraka prometnog toka. Pored pokazatelja protoka prometa, ključni čimbenik u svim fazama izrade i evaluacije projektnih rješenja je cestovni kapacitet.

Kapacitet je osnovni pokazatelj racionalne politike izgradnje, održavanja i rada ceste. Kapacitet ne samo da izravno utječe na izbor elemenata izgleda ceste i njegovog poprečnog presjeka, nego utječe i na operativne troškove vozila primjenom odgovarajućih nacrta pristupnih cesta. Cestovni kapacitet je značajan alat za planiranje pronalaženja adekvatnih kriterija za određivanje optimalnog volumena prometnog sata koji je relevantan za izradu cestovnog presjeka na temelju programiranih količina prometa. Parametri opisnih kapaciteta

iz međunarodne literature služe za potrebe cestogradnje, a vrijednosti izvedene empirijskim metodama iz lokalnih podataka o toku prometa (npr. HCM).

2.1.2 Koraci u procesu planiranja mreže

Koraci u procesu planiranja mreže su:

- Prvi korak: analiza postojeće prometne mreže i dijagnoza stanja, tj. objektivno sagledavanje postojeće cestovne infrastrukture i definiranje njezinih nedostataka,
- Drugi korak: definiranje ciljeva na temelju objektivnih utjecaja širih faktora kao što su postojeći gospodarski potencijal, politika razvoja predmetnog područja, kao i ciljevi zaštite okoliša. Ovaj korak nije neovisan od utjecaja postojećeg stanja i kao rezultat treba definirati buduće stanje cestovne infrastrukture po zadanim vremenskim presjecima i prema definiranim prioritetima, suglasno konkretnim mogućnostima razvoja,
- Treći korak: podrazumijeva predlaganje mogućih varijanti stanja mreže u budućnosti. Radi se o kreativnom procesu osmišljavanja mogućih rješenja u kome se indikatori buduće potražnje prometnih usluga usklađuju s mogućnostima ponude po svakoj od predloženih varijanti.

Po završetku procesa optimizacije, varijante se uspoređuju po zadanim kriterijima i njihovim posljedicama, te vrednuju prema stupnju ispunjenja zadanih ciljeva kako bi se omogućio izbor optimalne varijante [14].

2.2 Sadržaj i cilj prometnog planiranja

Opća nastojanja gospodarskog razvoja usmjerena su prema određivanju ekonomskog rasta i razvoja u kojemu značajnu ulogu ima i prometna politika. Upravo navedeno prometno planiranje predstavlja značajan element ostvarenja gospodarskog rasta s obzirom da se uz pomoć prometnog planiranja teži rješenjima koja osiguravaju optimalne uvjete djelovanja potrebnog prometnog sustava.

Planiranje prometa sastavni je dio općeg urbanističkog planiranja. Iako takvo planiranje pripada u skupinu novih oblika planiranja te posebno dolazi do izražaja zbog intenzivnog razvoja prometa.

Cilj je prometnog planiranja maksimalno iskorištenje postojećih prometnica te planski razvoj novih prometnica koje treba prilagoditi budućim potrebama prometa kako bi se osiguralo nesmetano kretanje ljudi i dobara.

Prometni plan sastoji se od:

- tehničkog djela,
- prometne studije,
- ekonomskog elaborata.

Tehnički dio sastoji se od idejnog rješenja ili idejnog projekta s prijedlogom za prihvaćanje najbolje varijante.

Prometna studija obuhvaća analizu sadašnjeg prometa, a za varijante tehničkog dijela daju se prometne prognoze izrađene na temelju svih čimbenika koji utječu na razvoj budućeg prometa.

Ekonomski elaborat izrađen je na temelju tehničkog dijela i prometne studije. Sadrži obradu i analizu ekonomskog razvoja utjecajnog područja buduće ceste, transportnu ekonomiku i konačno vrednovanje projekta na osnovi ekonomske opravdanosti uloženih sredstava.

Prometno planiranje obuhvaća:

- prometnu dijagnozu (ispitivanje postojećeg stanja prometa u području obuhvata),
- prometnu prognozu (razvoj budućeg stanja prometa),
- prometnu "terapiju" (određivanje opsega prometnih postrojenja na osnovi prometno - tehničkog proračuna) [1].

2.2.1 Prometna dijagnoza

Osnova prometnog planiranja je prometna dijagnoza. Zadaća prometne dijagnoze je:

- ispitivanje cjelokupne prometne mreže na području obuhvata s obzirom na njezinu zadaću i funkciju;
- utvrđivanje topografskih, urbanističkih i prometnih značajki područja obuhvata;
- snimanje prometa za sve vrste vozila, uključivši javni i pješački promet (statičko i dinamičko brojenje, linije dnevnih prometnih tokova, plan opterećenja, prometna slika u vršnim satima);
- utvrđivanje stanja izgrađenosti (urbanističke prilike, preglednost prometnica, vođenje trase, preglednost, stanje kolnika);
- utvrđivanje broja prometnih nezgoda (utvrđivanje uzroka, mjesta, vremena učestalosti).

Postojeće stanje prometa ispituje se tako da se prometna mreža raščlani od prometnica višeg reda preko prometnih čvorova na prometne trakove. Tako raščlanjena prometna mreža podrobno se analizira. Kao osnovica pri analizi uzimaju se rezultati statičkog i dinamičkog brojenja.

Statičko brojenje daje opterećenje poprečnog presjeka ulice, dok dinamičko daje podatke o odvijanju prometnih tokova.

Analizom je potrebno obuhvatiti pojedine vrste vozila, javna prometna sredstva i pješački promet. Vremena vršnog prometa odlučujuća su za proračun propusne moći prometnica i čvorova.

U početnoj fazi projektiranja cestovnog pravca, potrebno je odrediti prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) koji se dobije na osnovi kontinuiranog brojenja automatskim brojačima tijekom cijele godine: [1]

$$\text{PGDP}= \frac{\text{ukupno vozila godišnje}}{365} \text{ [voz/dan]}$$

Na temelju dosad obavljenih ispitivanja utvrđeno je da prometno opterećenje nije konstantno: ono je promjenjivo tijekom godine. Tako je npr. najmanje opterećenje u prosincu, siječnju i veljači, a najveće u srpnju, kolovozu i rujnu. U ostalim mjesecima u godini opterećenje je prosječno.

Vrijednosti prometnog opterećenja su različite od slučaja do slučaja i ovise o gravitacijskom području kao i o važnosti cestovnog pravca u prometnoj mreži. Ako se promet ne može mjeriti tijekom cijele godine, u prometnim se analizama može koristiti *prosječni dnevni promet* (PDP), koji se dobije brojenjem - i to najmanje sedam dana – tijekom prosječnih mjeseci u godini:[1]

$$\text{PDP}=\frac{\text{ukupno vozila}}{\text{broj dana}}\ [\text{voz/dan}]$$

2.2.2 Prometna prognoza

Buduće stanje prometa i njegovo oblikovanje moguće je predvidjeti ako se uzmu u obzir očekivano povećanje prometa i uočeni postojeći nedostaci u području obuhvata.

Povećanje prometa od posebnog je značenja za oblikovanje prometnica i prometnih čvorova, a pritom je kao osnovica za dimenzioniranje mjerodavno vršno opterećenje.

Sve tokove pronađene u dijagnozi ili na osnovi procjene očekivane prometne tokove treba unijeti u prometnu mrežu. Pri izgradnji novih prometnica i čvorišta vremenska prognoza se radi za 20 godina, za veće rekonstrukcije za 15 godina, a manje rekonstrukcije za 10 godina.

Pri izradbi prometne prognoze treba uzeti u obzir čimbenike koji utječu na povećanje prometa, kao što su povećanje broja stanovnika, razvoj gospodarstva, stupanj motorizacije, zasićenost motornim vozilima i slično. Za dimenzioniranje prometnica i prometnih čvorišta mjerodavno je vršno opterećenje.

Za svaki cestovni pravac izrađuju se prometno - ekonomske studije u kojima se analizira gospodarski i društveni potencijal utjecajne zone cesta, i to na osnovi utvrđenih zakonitosti u prometu prognoziranog razvoja i mjerodavnog opterećenja.

Predviđanje potražnje predstavlja fazu kojoj su podređene sve prethodne faze prometnog planiranja. Cilj ove faze je osiguravanje podataka o ukupnoj veličini, sastavu i načinu prijevoza ljudi i robe na prometnoj mreži za razdoblje za koje se izrađuje plan. Temeljna pretpostavka ove faze je da postoji uzročno - posljedična veza između prometne potražnje i društveno - ekonomskih obilježja promatranog područja. Kako bi se predvidjelo kretanje prometnih tokova, opterećenje prometnih površina i bilo koja veličina relevantna za prometno planiranje, potrebno je dati prometnu prognozu.

Prometna prognoza sadrži informacije o budućem intenzitetu, strukturi i raspodjeli prometnih tokova za promatrano područje. U cilju postizanja što boljih rezultata u prognozi prometa potrebno je korištenje što više informacija i podataka o stanju stanovništva i društveno - ekonomskim pokazateljima [1].

2.2.3 Prometna ''terapija''

Prometna "terapija" obuhvaća cijelu plansku koncepciju i daje rješenje na temelju prometno - tehničkog proračuna. Ona je završni dio prometnog planiranja i daje rješenje izgradnje prometne građevine koje odgovara danom opterećenju iz prometne prognoze.

Prometno - tehnički proračun sastoji se u postavljanju osnovnih zakonitosti odvijanja prometa koje su mjerodavne za dani slučaj planiranja. Te osnovne zakonitosti odvijanja prometa služe kao mjerilo pri dimenzioniranju prometnih građevina.

Prometna "terapija" ima zadaću da prometno - tehničkim proračunima pronađe prometno rješenje koje će zadovoljavati pretpostavljeno bruto opterećenje.

Normativi za izradbu prometno - tehničkog proračuna nisu matematički slične točne veličine za svaki slučaj prometnog planiranja. Ti normativi dobiveni su na temelju prosječnih

vrijednosti brojnih ispitivanja prometa, teoretskog izvođenja, utjecaja raznih lokalnih specifičnosti te ih treba nakon nekog vremena ponovo ispitati i korigirati.

Projektiranje ceste i cestovnih građevina složen je istraživački posao kojemu je osnovni cilj pronalaženje najboljeg rješenja. Pri pronalaženju najboljih rješenja potrebno je vrednovati i uspoređivati razna varijantna rješenja. Za vrednovanje raznih varijanata postoji više metoda koje se primjenjuju u projektiranju ceste i građevina.

Projektiranje treba provesti smišljenim postupkom koji se temelji na maksimalnom broju obavijesti. Izbor optimalne varijante treba zadovoljiti osnovni ciljeve izgradnje, tj. da dobivena rješenja budu društveno efikasna, da zadovoljavaju zahtjeve prometa, da jamče sigurnost, da su prostorno i ekološki prihvatljiva i uz to da ubrzavaju razvoj područja na kojemu se nalaze [1].

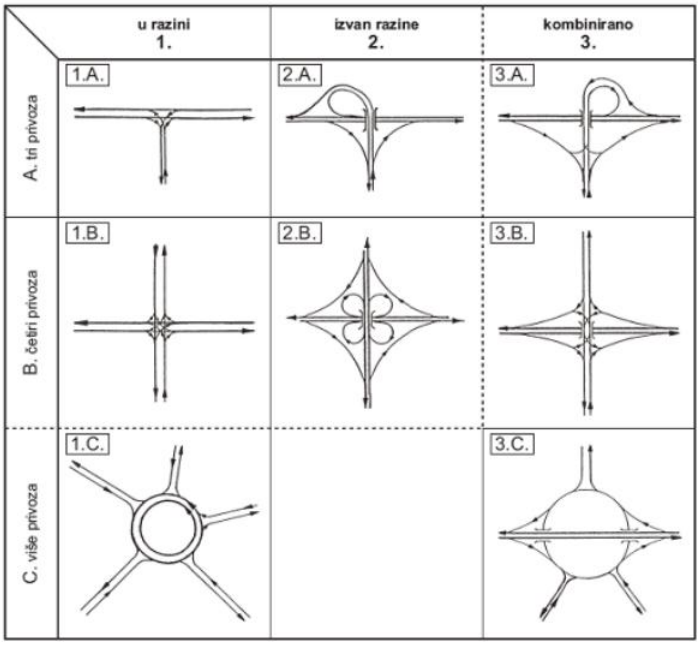
3. PROMETNO - OBLIKOVNI ELEMENTI RASKRIŽJA U FUNKCIJI SIGURNOSTI PROMETA

Raskrižja u cestovnoj mreži su mjesta u kojima se povezuju dvije ili više cesta, a prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju ili prepliću. Zbog prometnih radnji i mogućih konflikata, koji se ne pojavljuju na otvorenim potezima ceste, na raskrižjima su izrazito naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa [1].

Raskrižja se mogu razvrstati, tipizirati ili dijeliti prema više osnova ili mjerila. U koncepcijskom pogledu se mogu sagledati kroz nekoliko mjerila: prometno - planerska, prometno - tehnička i prometno - građevinska, a svi podrazumijevaju analizu svojstava prometnog toka, razne razmjene smjerova te prometni režim [4].

Raskrižja se u cestovnoj mreži pojavljuju u više oblikovnih modaliteta, a općenito se mogu razvrstati na:

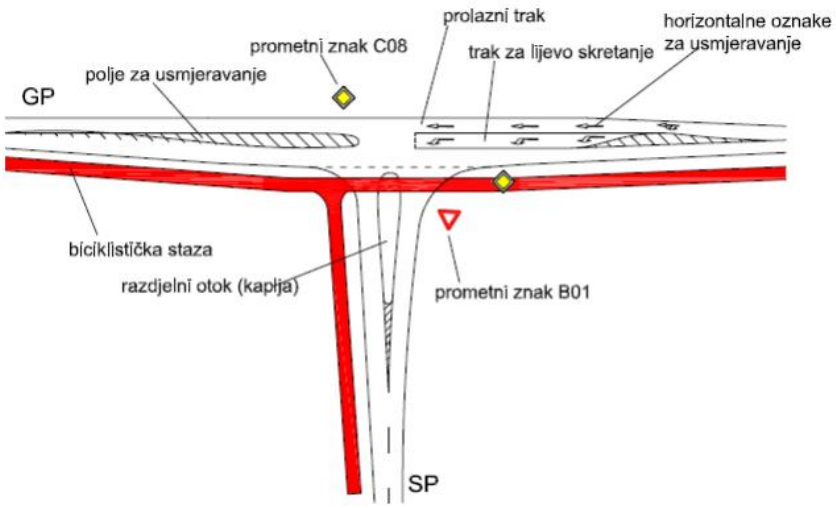
- raskrižja u jednoj ili više razina,
- raskrižja s kružnim tokom prometa
- i kombinirana raskrižja (Slika 1) [4].



Slika 1: Moguća podjela raskrižja

Izvor: [4]

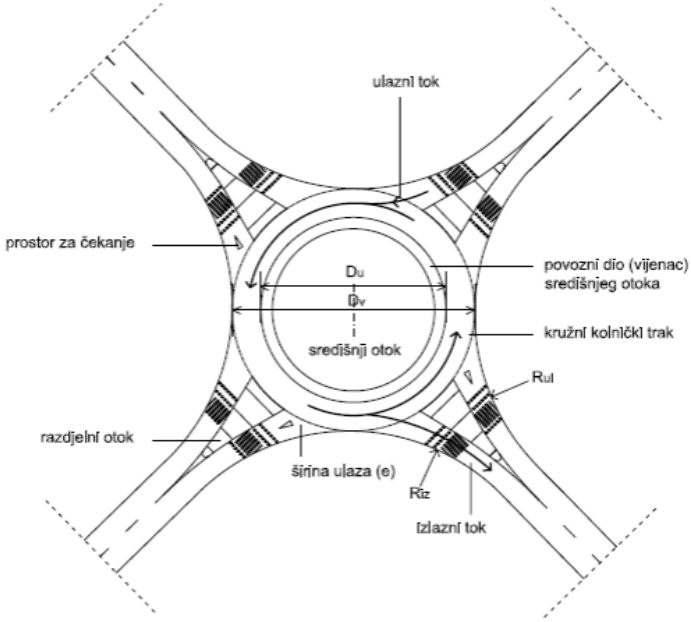
Raskrižja u razini su u velikom broju zastupljena u mreži javnih cesta, pri čemu su građevinska rješenja i prometni tokovi riješeni na istoj prometnoj plohi. Na slici 2 prikazano je tlocrtno rješenje raskrižja u razini sa osnovnim pojmovima.



Slika 2: Tlocrtno rješenje RuR (T priključak) s osnovnim pojmovima

Izvor: [4]

Kružna raskrižja se definiraju kao prometne građevine po kojima je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom i kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i prometnim znakovima. Na slici 3 prikazano je tlocrtno raskrižje s kružnim tokom prometa.



Slika 3: Raskrižje s kružnim tokom prometa

Izvor: [4]

Pri izboru mjesta i načina za rješenje čvorišta treba svaki slučaj podrobno proučiti jer je na nepravilno konstruiranom raskrižju, naročito pri većem prometnom opterećenju, sigurnost prometa smanjena.

U glavne kriterije koji se uzimaju u obzir pri izgradnji prometnog čvorišta mogu se svrstati:

- sigurnost vožnje,
- propusna moć (kapacitet),
- ekonomičnost
- i estetski izgled [1].

Sigurnost vožnje jedan je od najvažnijih kriterija. Pravilnim oblikovanjem čvorišta može se povećati sigurnost vožnje. Propusna moć određuje se prema broju vozila koja u određenom vremenu prođu prometnim čvorištem. Pritom se razlikuju: osnovna, moguća i planirana propusna moć. Planirana propusna moć iznosi 75 posto moguće propusne moći. Propusna moć se proračunava za čvorišta u istoj razini, dok se za čvorište u više razina propusna moć određuje u području izmjene traka.

Ekonomičnost prometnog čvora određuje se troškovima gradnje i održavanja, potrebnim prostorom, vrijednošću zemljišta i slično. Pri projektiranju čvorišta treba voditi brigu i o njegovom estetskom izgledu te o uklapanju u okolni krajolik.

U prometno - oblikovne elemente raskrižja pripadaju:

- preglednost raskrižja,
- vozni trakovi,
- trakovi za usporavanje,
- trakovi za ubrzavanje,
- trakovi za lijevo i desno skretanje,
- prometni otoci i pješačke ograde,
- nagibi i polumjeri zavoja [1].

3.1 Preglednost raskrižja

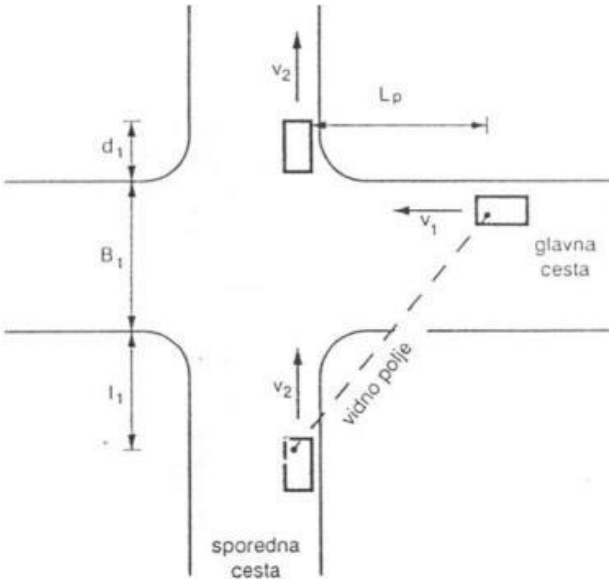
Pogodna mjesta za gradnju cestovnog raskrižja su dijelovi ceste u pravcu s malim uzdužnim nagibom (do 3%, iznimno 4%), koji se nalaze na nasipu male visine ili u plitkom usjeku. Veličina poprečnog nagiba ne smije biti veća od 3,5%.

Glavni zahtjev koji se postavlja pri projektiranju raskrižja jest osiguranje potrebne duljine preglednosti. Duljinu preglednosti Lp treba osigurati tako da vozač koji dolazi na raskrižje sa sporedne ceste, tj. nema prednost, može na vrijeme izbjeći smetnje koje nastaju od prometa s glavne ceste pri križanju ili uplitanju.

Duljinu preglednosti treba osigurati u dva slučaja:

- vozilo koje nema prednost prolazi kroz raskrižje bez zadržavanja
- vozilo koje nema prednost stoji pred raskrižjem (znak STOP na sporednoj cesti) [1].

U slučaju kad se oba vozila kreću, duljina preglednosti L_p dobit će se pomoću Slike 4. Na tom raskrižju vozač ima dovoljnu preglednost da u slučaju potrebe može na vrijeme zaustaviti vozilo.



Slika 4: Izračun duljine preglednosti

Izvor: [1]

Vrijeme prolaska kroz čvorište $t_č$ dobije se pomoću jednadžbe

$$t_č = \frac{l1+B1+d1}{V2} [S]$$

u kojoj je :

l_1 - duljina vidljivosti sa sporedne ceste prije nailaska na raskrižje (duljina zaustavnog puta u slučaju intenzivnog kočenja)

B_1- duljina prolaza kroz raskrižje

d_1-duljina vozila

v_2- brzina vozila na sporednoj cesti [m/s]

Duljina preglednosti L_p je:

$$L_p = v_1 * t_č = \frac{v1}{v2} = (l_1 + B_1 + d_1) = \frac{v^1}{v^2} * (v_2 * t_R + \frac{v_2^2}{2*g*f_1} + B_1 + d_1)$$

gdje je:

v_1 – brzina vozila na glavnoj cesti [m/s]

t_R – vrijeme reagiranja vozača [s] [1].

3.2 Vozni trakovi

Vozni trak je obilježeni ili neobilježeni uzdužni dio kolnika, čija je širina dovoljna za nesmetan promet jednog reda (kolone) vozila u jednom smjeru [3].

Širina voznih trakova različita je na prometnim čvorovima u jednoj ili više razina. Na čvorištima u istoj razini širina voznih takova po pravilu je ista kao i na otvorenom dijelu ceste. Širina voznih trakova povećava se ako se uz trak nalazi razdjelni otok ili pojas ili je prometni trak u horizontalnom zavoju.

Na raskrižjima u dvije ili više razina širina jednotračnih kolnika na spojnim rampama iznosi 5,0 m (iznimno 4,5 m), a ako kolnici imaju trakove za stajanje, ta širina može biti i manja i iznosi 4,0 m (iznimno 3,5 m). Kod dvotračnih kolnika na spojnim rampama širina iznosi 3,5 m (iznimno 3 m) [1].

3.3 Trakovi za usporavanje

Trakovi za usporavanje namijenjeni su za odvajanje prometa vozila koja skretanje obavljaju s glavnoga prometnog toka. Moraju biti konstruirani tako da omogućuju sigurno i udobno smanjenje brzine vozila na potrebnu veličinu.

Trakove za usporavanje treba planirati i projektirati na svim prometnicama koje imaju računsku brzinu veću od 80 km/h i na vrlo opterećenim prometnicama s manjom računskom brzinom. Izvode se usporedno s glavnim prometnim trakovima ili kao zavoji za usporavanje. Nedostatak je zavoja za usporavanje u tome što vozilo još na glavnom prometnom toku mora početi kočiti.

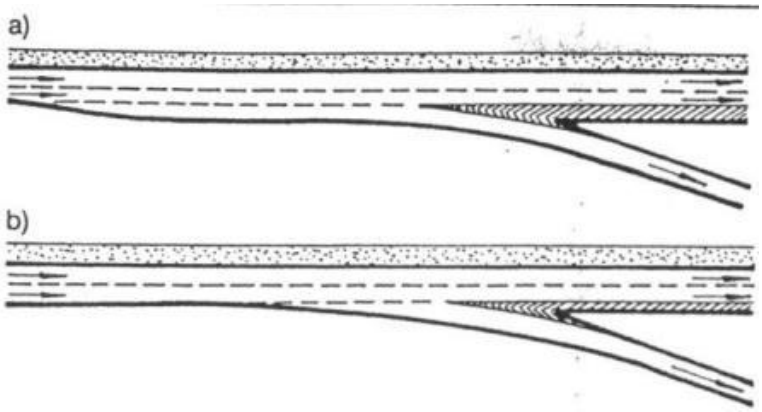
Trakovi za usporavanje sastoje se od dva dijela:

- Prvi dio služi za skretanje vozila s glavnoga voznog traka na sporedni trak, tj. za prestrojavanje pri skretanju udesno;
- Drugi dio služi za promjenu brzine vozila, a usporedan je s voznim trakom na glavnoj cesti.

Širina traka za usporavanje ovisi o računskoj brzini V_R i u rasponu je od 2,75 do 3,50 m. Duljina usporednih trakova za usporavanje može se odrediti na sljedeći način: tijekom vožnje glavnom cestom vozač je upozoren prometnim znakom da smanji brzinu na 75 posto računske brzine. Od prometnog znaka do početka traka za usporavanje desni rubni trak obojen je bijelom bojom, a na mjestu gdje počinje trak za usporavanje rubni trak je isprekidan i postavljen je znak obilježavanja smjera. Zastor traka za usporavanje drugačije je boje nego ostali prometni trakovi [1].

Od trenutka kad počinje skretanje, vozač smanjuje snagu motora i vozilo se kreće usporeno, kočeno motorom i otporima kretanja.

Na slici 5.a, prikazan je trak za usporavanje usporedan s glavnim prometnim trakom, a na slici 5.b kao zavoj za usporavanje.



Slika 5: Trak za usporavanja

Izvor: [1]

3.4 Trakovi za ubrzavanje

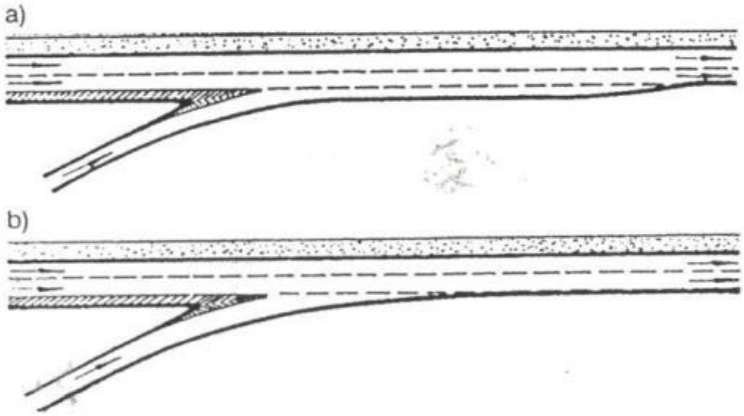
Trakovi za ubrzavanje namijenjeni su da se promet iz sporednog smjera uključi u promet na glavnom prometnom toku. Izvode se na brzim i vrlo opterećenim prometnicama.

Ulijevanje tokova prometa u glavni prometni tok složenija je radnja od izlijevanja, jer zbog udruživanja tokova postoji veća mogućnost kolizije. Kao i trakovi za usporavanje, tako se i trakovi za ubrzavanje izvode usporedno s glavnim prometnim trakovima, ili kao zavoji za ubrzavanje.

Trak za ubrzavanje sastoji se od tri dijela:

- prvog dijela, tj. duljine ubrzavanja, koja služi za to da vozilo dobije potrebno ubrzanje prije ulijevanja u glavni prometni tok;
- drugog dijela, tj. duljine ulijevanja koja služi za to da se izvrši ulijevanje vozila u glavni prometni tok;

- trećeg dijela; tj. duljine sužavanja traka, koja služi za to da se vozilo koje se nije uspjelo uključiti u glavni prometni tok može na vrijeme zaustaviti [1].



Slika 6: Trakovi za ubrzavanje

Izvor: [1]

Duljina traka za ubrzavanja određuje se na sljedeći način:

Vozilo koje se želi uključiti u glavni prometni tok kreće se priključnim zavojem brzinom $v_{k,}$ koja je određena polumjerom priključnog zavoja. Na kraju priključnog zavoja, tj. na početku prijelazne krivulje, počinje dio traka za ubrzavanje gdje vozilo povećava brzinu od v_k do brzine koja iznosi 75 posto računske brzine v_R koja je dopuštena na glavnom prometnom toku. Rubni trak na tom dijelu obilježen je punom bijelom crtom. Nakon što je vozilo postiglo brzinu 0,75 v_R počinje ulijevanje, tj. počinje dio traka ulijevanja na kojemu je crta rubnog traka isprekidan. Treći dio traka za ubrzavanja je dio koji omogućuje da se vozilo koje se nije uspjelo uključiti u glavni prometni tok na vrijeme zaustavi. Duljina prvog dijela traka za ubrzavanje ovisi o veličini ubrzavanja vozila [1].

3.5 Trakovi za lijevo i desno skretanje

Odvijanje prometnog toka na cestama u naselju dodatno ugrožavaju raskrižja. Pojavljuju se problemi uplitanja, isplitanja i preplitanja na spojevima prometnih tokova, te lijevi skretači. Kod korištenje istog prometnog traka za ravno i lijevo dolazi do prometnih nesreća tipa nalet vozila na stražnji kraj vozila ispred sebe.

Raskrižja u više razina, ili skraćeno petlje, često su takvih dimenzija da se na njima gubi osjećaj orijentacije, a i sama skretanja, tj. prestrojavanja na pojedinu prometnu traku mogu sa perspektive vozača izgledati bez logike. Vozač u svojoj podsvijesti zna da mora skrenuti ulijevo, ali mu signalizacija pokazuje drugačije, što ga dovodi u stanje zbunjenosti i zalutalosti.

Radi lakšeg odvijanja prometa potrebno je izvesti trakove za lijevo i desno skretanje. Takvi se trakovi izvode uvijek uz glavne prometne tokove. Ako se zbog specifičnih uvjeta na pojedinim čvorištima ne mogu izvesti lijevi i desni trakovi, prednost se daje lijevim trakovima.

Trakovi za skretanje ulijevo najvažniji su dodatni trakovi, a treba ih izvesti na svim mjestima lijevog skretanja pri križanju u razini. Način izvedbe sličan je kao i za trak za usporavanje. Trak za lijevo skretanje treba biti širok 3,5 m, a u iznimnim slučajevima može se ta širina smanjiti na 3,0 m ako su brzine manje od 60 km/h. Na kraju treba izvesti potpuno suženje.

Ukupna duljina traka za skretanje ulijevo, u koju je uračunano i suženje na kraju, iznosi pri računskoj brzini v_R = 80 km/h (glavne prometnice) 120 m, pri v_R = 65 km/h 100 m i pri v_R = 50 km/h 80 m [1].

Trakovi za skretanje ulijevo sastoje se od dijela koji služi za izmjenu traka (duljine 30 – 50 m, ovisno o brzini), od dijela koji služi za usporavanje brzine vozila i od dijela za prestrojavanje prije križanja (ta duljina mora biti najmanje 30 metara, a ovisi o broju vozila koja čekaju na skretanje).

3.6 Prometni otoci i pješačke ograde

Prometni otoci su slobodna mjesta između prometnih trakova po kojima ne smiju prolaziti vozila.

Otoci služe za usmjerivanje prometnih strujanja, ali i za zaštitu pješaka pri prelaženju kolnika te za postavljanje prometnih znakova i uređaja. Otocima treba ispuniti prostor između prometnih trakova, ali ih ipak treba izvesti u ograničenom broju da bi se omogućilo nesmetano odvijanje prometa.

Dimenzije prometnik otoka određuju se za svaki slučaj posebno na temelju tehničkog projekta raskrižja.

Prometni otoci mogu se podijeliti na:

- razdjelne otoke
- usmjerujuće otoke
- pješačke otoke.

Razdjelni otoci služe za razdvajanje suprotnih tokova prometa, a izvode se:

- na prometnicama s četiri i više prometnih trakova
- na prometnicama koje su na prilazu autocesta, graničnih prijelaza, tunela, mostova i sl.
- na prometnicama gdje je potrebno usmjeriti promet koji se približuje nekoj građevini (stup nadvožnjaka).

Širina tih otoka mora biti najmanje 1,5 m, a na mjestima gdje vozila skreću, širina mora biti veća od prosječne duljine vozila [1].

Usmjerujući otoci primjenjuju se na križanjima u razini kako bi se postiglo potrebno dodatno vođenje prometnih tokova. Njihovom primjenom smanjuje se broj mogućih točaka sudara i postižu se odgovarajući (željeni) smjerovi prometa. Da bi se smanjila mogućnost vožnje preko otoka, pomiče se vrh otoka za 0,3 - 0,6 m od ruba kolnika.

Pješački otoci namijenjeni su za potrebe pješaka i njihovu zaštitu. Može ih se podijeliti:

- na pješačke stajališne otoke
- na pješačke zaštitne otoke.

Pješački stajališni otoci pružaju pješacima zaštitu od vozila javnoga gradskog prometa. Izvode se kao uzdignute platforme.

Pješački zaštitni otoci pružaju zaštitu pješacima koji su zaustavljeni na sredini ceste nadolazećim prometom ili zbog promjene signala na semaforu. Izvode se posebno na velikim i nepravilno izvedenim križanjima.

Pješačke ograde postavljaju se na mjestima gdje je sigurnost pješaka ugrožena ili na mjestima gdje dolazi do zastoja u prometu. Služe za usmjerivanje i koncentriranje pješačkog prometa na određenim mjestima[1].

3.7 Nagibi i polumjeri zavoja

Uzdužni nagib ceste najčešće se definira nagibom nivelete s [%] u osi kolnika. U geometrijskom smislu, niveleta se sastoji od pravocrtnih nagiba (usponi i padovi trase) te kružnica na mjestima prijeloma nagibnih pravaca. Uzdužni nagibi nivelete izražavaju se u postocima, odnosno u visinskoj razlici na 100 metara duljine trase, a polumjeri vertikalnih zaobljenja R_v u metrima.

Uzdužni nagib određuje se pomoću kategorije ceste i projektne brzine te može biti u rasponu od 4% u slučaju autoceste, do 12% kod cesta 5. razreda. U području većih objekata i raskrižja nagib ne bi smio biti veći od 4%.

Prijelomi nivelete u načelu bi se trebali zaobljavati kružnim lukom, ali zbog bliskosti s kružnicom te znatno pojednostavljenim računanjem koristi se kvadratna parabola.

Polumjere vertikalnih zaobljenja valja odabrati tako da se zajedno s tlocrtnim elementima postigne:

1. sigurnost prometa ostvarenjem odgovarajuće preglednosti
2. uravnoteženo prostorno vođenje linije
3. prilagođenje terenu i time smanjenje troškova građenja
4. očuvanje okoliša

Maksimalni uzdužni nagib ovisi (s_{max}) u načelu ovisi o razredu ceste, odnosno o projektnoj brzini, konfiguraciji terena (Tablica 1) [3].

Tablica 1: Najveći dopušteni nagibi s_{max} [%]

Razred ceste	Projektna brzina v_P (km/h) / nagibi s_{max} (%)							
	≥120	100	90	80	70	60	50	40
Autocesta	4	5	5,5	6				
1. razred		5,5	5,5	6	7			
2. razred		5,5	5,5	6	7	8		
3. razred				7	7	8	9	
4. razred					8	9	10	11
5. razred						10	11	12

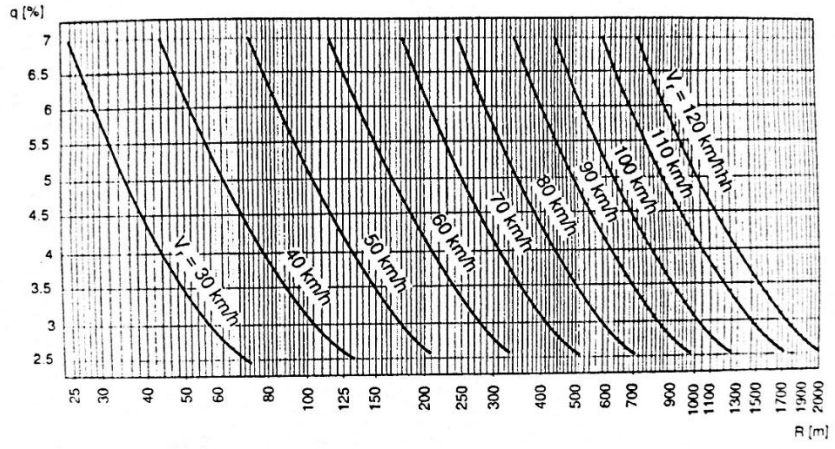
Izvor: [3]

Pri projektiranju čvorišta potrebno je predvidjeti što manje uzdužne nagibe da bi se omogućilo lakše zaustavljanje i pokretanje vozila te bolja vidljivost. Unutar svih zavoja kolnik mora imati jednostran poprečni nagib s obzirom na središte zakrivljenosti. Maksimalan dopušteni poprečni nagib iznosi u zavojima 7%, a minimalni 2,5 %. U serpentinama može poprečni nagib biti i veći od 7%, ali ne preko 9%.

Veličine poprečnog nagiba kolnika u zavoju q za $R > R_{min}$ određene su izrazom:

$$q = K_p * \frac{V^2}{1{,}27 * R} [\%]$$

i mogu se proračunati ili pak očitati u grafikonu sadržanom u tehničkim propisima (Slika 7).



Slika 7: Veličina poprečnog nagiba q = f (V_r, R)

Izvor: [3]

Prema hrvatskim normama propisima, najveća dopuštena vrijednost poprečnog nagiba pri minimalnom polumjeru zavoja R_{min} iznosi 7%, a povećanjem polumjera zavoja od R_{min} ($R > R_{min}$) smanjuje se veličina poprečnog nagiba.

Granični polumjer $R_g = 2,8\ R_{min}$ dobije se pri minimalnom dopuštenom poprečnom nagibu u zavoju koji iznosi 2,5% (tj. jednak je poprečnom nagibu kolnika u pravcu) [3].

4. ODREĐIVANJE PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA

Propusna moć je maksimalni broj vozila koji može proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek cestovne prometnice. Na osnovi poznavanja propusne moći N [voz/h] mogu se procijeniti nedostaci postojeće cestovne mreže i predložiti odgovarajuće izmjene.

Propusna moć određuje razinu usluge privoza ili cijelog raskrižja kao kvalitativnu mjeru te uvjete vožnje u pojedinom trenutku pri različitim prometnim uvjetima.

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, sigurnost vožnje i troškovi iskoristivosti vozila [3].

Definirano je šest razina usluge, od A do F. Razina usluge A predstavlja najbolje operativne uvjete, a razina F najlošije. Razina usluge za simulirana raskrižja određena je prema prosječnom vremenu kašnjenja raskrižja i različita je za semaforizirana te za nesemaforizirana raskrižja a određena je u sljedećim intervalima prikazanim u Tablici 2.

Tablica 2: Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja

Razina usluge nesemaforiziranih raskrižja	Prosječno vrijeme kašnjenja (s/vozilu)	Razina usluge semaforiziranih raskrižja	Prosječno vrijeme kašnjenja (s/vozilu)
A	0-10	A	0-10
B	10-15	B	10-20
C	15-25	C	20-35
D	25-35	D	35-55
E	35-50	E	55-80
F	>50	F	>80

Izvor: HCM 2010

Optimalna procjena propusne moći osnovni je preduvjet za odabir vrste i oblika raskrižja te načina organizacije i upravljanja prometom.

Osim građevinsko - prometnih elemenata, propusnu moć raskrižja određuju i uvjeti koji prevladavaju u pojedinim prostornim i vremenskim okolnostima.

Djelovanjem na te uvjete mogu se dobiti kvalitetniji rezultati a to se postiže:

- zabranom određenih skretanja, odnosno smanjenjem presijecanja prometnih tokova može se postići bolja propusna moć;
- prenamjenom voznih trakova na način da se za dva vozna traka na privozu jedan prenamjeni za lijeve skretače, a drugi za ravno i desno;
- pravilnim planiranjem i određivanjem mjesta pješačkih prijelaza odnosno određivanjem optimalnog položaja pješačkog prijelaza, smanjuje se broj kolizija između motornog i pješačkog prometa ili se smanjuje put prelaska pješaka preko raskrižja [4].

Upravo navedeno apostrofira značaj poznavanja i određivanja propusne moći raskrižja N [voz/h] kao elementa uz pomoć kojega je moguće procijeniti postojeće nedostatke cestovne mreže i predložiti odgovarajuća optimalna poboljšanja i izmjene. Zbog toga propusna moć ceste treba biti osnovica za intervencije i zahvate na određenom dijelu ceste (proširenje kolnika, rekonstrukcija zavoja, reguliranje raskrižja, promjene režima prometa i sl.) [1].

4.1 Propusna moć prometnice

Prva teorijska razmatranja zakonitosti kretanja vozila i propusne moći polazila su od pretpostavke da se prometni tok ponaša kao fluid, odnosno da je homogen.
Osnovna zakonitost prometnog homogenog toka:

$$q = g * v \text{ [voz/h]},$$

gdje je:
q – protok vozila [voz/km]
g – gustoća prometnog toka [voz/h]
v – brzina prometnog toka [km/h]

Gustoća prometa predstavlja ukupan broj vozila koja se u trenutku promatranja nalaze na određenom odsječku odnosno duljini ceste i označuje mjerilo za određivanje stvarne iskorištenosti propusne moći na određenoj cesti. Gustoća prometa praktički se dobiva brojanjem vozila vizualno ili s pomoću posebnih uređaja.

Pri određivanju propusne moći prometnice polazi se od propusne moći jednoga prometnog traka [1].

Veličina razmaka između vozila u nizu r_{so} može se dobiti s pomoću izraza

$$r_{so} = \frac{1000}{g} \text{ [m/voz]}$$

odnosno

$$g = \frac{1000}{r_{so}} \text{ [voz/km]}$$

Uvrsti li se vrijednost za gustoću g u prethodnu jednadžbu, dobije se

$$Q = \frac{1000 * V}{r_{so}} \text{ [voz/h]}$$

Budući da je propusna moć N jednaka maksimalnom protoku $N = q_{max}$

$$N = \frac{1000 * V}{r_{so}} \text{ [voz/h]}$$

S pomoću te jednadžbe dobiva se najveća propusna moć ceste za jedan prometni trak. Razmak između vozila u kretanju r_{so} [m] ovisi o stvarnim uvjetima kretanja vozila, i to: o načinu kočenja vozila, o kolničkom zastoru, o vremenu reagiranja vozača i slično.

Duljina razmaka može se uzeti ovisno o tome proračunava li se zaustavni put pri intenzivnom kočenju, pri slobodnom kočenju ili sva vozila koče pod istim ili različitim uvjetima.

Pri intenzivnom kočenju propusna moć N iznosi:

$$N = \frac{1000 * V}{r_z + \frac{v * t_R}{3,6} + \frac{v^2}{25,92 * a_{2B}} - \frac{v^2}{25,92 * a_{2A}}}$$

Pri slobodnom kočenju propusna moć N iznosi:

$$N = \frac{1000 * V}{r_z + \frac{v * t_R}{3,6} + \frac{v^2}{25,92 * a_{2B}} + \frac{v * a_{2B}}{7,2 * s_u} - \frac{v^2}{25,92 * a_{2A}} - \frac{v * a_{2A}}{7,2 * s_u}}$$

4.2 Propusna moć prometnice između dvaju križanja sa semaforima

Broj križanja i njihov razmak uvelike utječu na propusnu moć. Ako vozilo stigne na križanje za vrijeme zelenog svjetla, vrijeme čekanja jedno je nuli, a ako stigne na početku crvenog svjetla, čekat će cijeli ciklus. U prosjeku će svako vozilo imati istu vjerojatnost čekanja, koja iznosi:

$$t_č = \frac{C - tz}{2} [S]$$

Gdje je:

$t_č$ - vjerojatnost čekanja

C - duljina trajanja ciklusa

t_z - duljina trajanja zelenog svjetla

Propusna moć prometnice na križanjima sa semaforima bit će manja od propusne moći prometnice bez križanja [1].

4.3 Proračun propusne moći križanja sa semaforima

Na propusnu moć križanja sa semaforima utječu ovi čimbenici:

- fizičko - operativni uvjeti
- uvjeti okoline
- prometne značajke
- kontrolne mjere.

U fizičko - operativne uvjete spadaju širina pristupne ceste, jednosmjerne i dvosmjerne prometnice, uvjeti parkiranja.

Uvjeti okoline očituju se čimbenikom opterećenja, čimbenikom vršnog sata, brojem stanovnika na području križanja te položajem križanja u gradskom području.

Prometne značajke određuju vozila koja skreću, kamioni i prolazni autobusi te lokalni i tranzitni autobusni promet.

Od kontrolnih mjera koje utječu na propusnu moć mogu se spomenuti postavljanje semafora te označivanje prilaznih trakova [1].

5. ANALIZA PROMETNOG OPTEREĆENJA RASKRIŽJA

Na području Međimurske županije odvija se uglavnom mješovit promet. Glavno obilježje cestovnog prometa determinirano je međunarodnim, županijskim i domicilnim prometom.

Cestovni promet na području Međimurske županije determiniraju sljedeće dionice:

- dionica državne ceste D20 - granični prijelaz Goričan - Čakovec - Varaždin - Zagreb,
- dionica državne ceste D208 - granični prijelaz Trnovec - Nedelišće - spoj kod Čakovca na D20 te
- državna cesta D209 - granični prijelaz Mursko Središće - spoj Čakovec - D20.

Njihovo značenje dodatno apostrofira to što su dio i europskih prometnih pravaca. Osnovna značajka navedenih cestovnih pravaca je u tome što sve, osim autoceste A4 Goričan - Varaždin - Zagreb, prolaze kroz grad Čakovec koji je ujedno i administrativno, gospodarsko, ekonomsko, političko i kulturološko središte Međimurske županije.

Sveukupno područje Međimurske županije od velike je prometne važnosti jer se županija nalazi u pograničnom području s Republikom Mađarskom i Republikom Slovenijom, a kroz županiju prolazi i dio autoceste A4 Zagreb - Goričan, koja je glavna prometnica koja povezuje središnju Europu s Jadranom i obrnuto.

Trasa autoceste koja prolazi Međimurskom županijom nije povoljna s aspekta povezivanja najvećih gradova susjednih županija Čakovca i Varaždina, te nije povoljna ni za unutar - županijska putovanja u Međimurskoj županiji. S obzirom na položaj i nedostatak čvorova na samoj autocesti, unutar - županijski tranzitni promet danas je znatno većeg intenziteta čemu postojeće prometne mreže gradova i ostalih mjesta u županiji nisu prilagođene. Nužno je definirati trase novih cesta koje će omogućiti brzo odvijanje tokova cestovnog prometa unutar županije za što kvalitetniji i učinkovitiji cestovni prometni sustav. Novim cestama potrebno je povezati sva naselja u županiji na kojima se odvija postojeći promet na produljenim putovanjima, te je potrebno sanirati učestale zastoje na "uskim grlima" oko ulaza u gradove. Posebni nedostatak u cestovnom sustavu Međimurske županije je

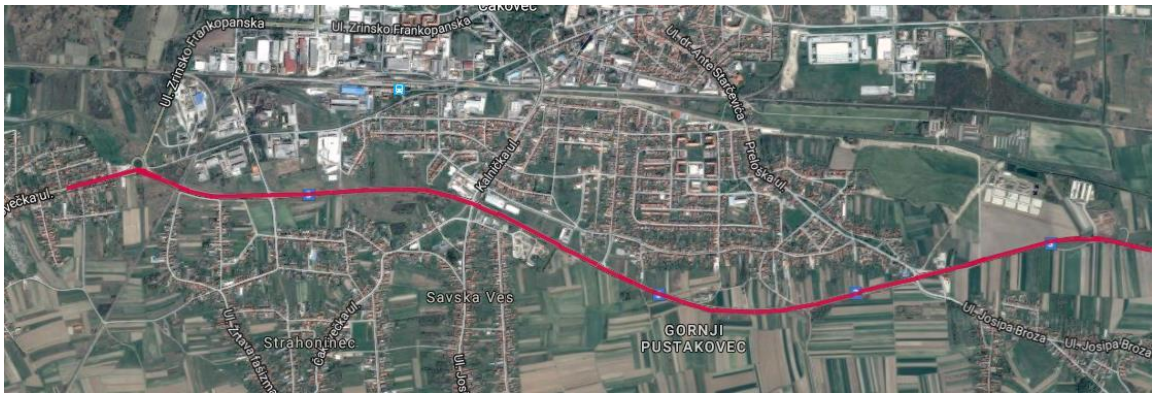
nedostatak obilaznica i spojnih cesta u zonama triju gradova županije (Čakovcu, Murskom Središću te Prelogu).

Analizom stanja kolnika lokalnih i županijskih cesta može se utvrditi da je stanje zadovoljavajuće, međutim potrebna su velika ulaganja kako bi se kvaliteta prometnica podigla na još višu razinu. Najvažniji zadatak je sanirati sva opasna mjesta na cestama te napraviti analize tih učinaka.

Kvalitetna i sigurna prometna infrastruktura ključna je za produktivnost gospodarstva, jer omogućuje učinkovitiju mobilnost ljubi, roba i tehnologije, te potiče uravnoteženi urbani, prigradski i regionalni razvoj. Uz izgradnju novih prometnica, izrazito je važno kvalitetno održavanje postojećih. Samim time, uvelike se produžuje vijek trajanja cesta, smanjuju pogonski troškovi vozila na cesti, odgađa potreba obnove cesta te se osigurava stalna otvorenost cesta za odvijanje prometa.

5.1 Uloga i značaj južne obilaznice grada Čakovca (D3) u promatranoj mreži Međimurske županije

Jedna od značajnijih mjera poboljšanja razine usluge na području Međimurske županije bila je izgradnja južne obilaznice grada Čakovca (Slika 8). Južna obilaznica grada Čakovca dio je državne ceste D3 Zagreb - Varaždin - granični prijelaz Goričan. Početak obilaznice je u križanju državne ceste D208 granični prijelaz Trnovec - buduća sjeverna obilaznica Nedelišća - spoj na D3, a završava na spoju s državnom cestom D209 prema Murskom Središću.



Slika 8: Trasa južne obilaznice grada Čakovca s označenim raskrižjima

Izvor: [17]

Izgradnjom južne obilaznice uvelike se smanjilo zagušenje kroz sam centar grada te su se rasteretile gradske prometnice. Istovremeno naznačen je i pravac trase brze prometnice od spoja autoceste kod Svetog Križa do graničnog prijelaza Trnovec.

Trasom obilaznice ujedno je ostvareno povezivanja grada Čakovca sa gravitirajućim naseljima preko postojećih državnih i županijskih cesta.

Ukupna dužina ceste iznosi 6702 m. Cesta ima dva kolnika razdvojena razdjelnim pojasom, a svaki kolnik dvije vozne trake širine 2 x 3,50 m s obostranim rubnim trakom širine 0,35 m te pješačko biciklističke staze odvojene od prometnih površina zelenim pojasom i servisni put.

Sva ostala raskrižja na obilaznici su u razini kao četverokraka raskrižja opremljena sa svjetlosnom signalizacijom. Svi tehnički elementi ceste projektirani su u skladu s kategorijom i značenjem predmetne obilaznice.

Južna obilaznica grada Čakovca bila je prijeko potrebna zbog ograničenosti kapaciteta postojeće ulične mreže, neophodne prometne sigurnosti svih sudionika u prometu, radi zaštite izgrađenih i urbanih sadržaja, kao i za smanjenje negativnog ekološkog utjecaja unutar grada.

Tlocrtni i visinski elementi trase obilaznice, kao i elementi poprečnog profila projektirani su na način da zadovolje brzinu v_r = 80 km/h. U zonama zaštite od buke predviđeno je ograničenje brzine vožnje na 60 km/h. Na južnoj obilaznici grada Čakovca, tri su četverokraka raskrižja semaforizirana među koje spada i promatrano raskrižje.

Južna obilaznica grada Čakovca u početnoj točki na spoju s državnom cestom D3 u Nedelišću projektirana je i izvedena s kružnim tokom prometa. Uz navedeni kružni tok predviđeni je spoj na sjevernu obilaznicu Nedelišća. Navedena trasa ceste prolazi ispod željezničke pruge Zaprešić - Čakovec i južno od granice građevinskog područja grada Čakovca od zapada u smjeru istoka dolazi do spoja sa državnom cestom D3. U nastavku trasa ceste je u koridoru državne ceste D3 i završava u spoju na priključnu cestu do čvora Čakovec - autocesta Goričan - Zagreb [20].

5.2 Opis i analiza postojećeg stanja raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

Analizirano raskrižje se nalazi u južnom dijelu grada Čakovca. Opremljeno je semaforskim uređajem sa uređena četiri privoza, dva sa državne ceste D3 i dva sa gradskih ulica, Kalnička ulica sa sjeverne strane i Ulica Josipa Bajkovca sa južne strane.

Sjeverni i južni privoz raskrižja su identični i imaju zajedničku prometnu traku za prolazak raskrižjem te skretanje udesno i ulijevo. Zbog čega se stvara izrazito veliki rep čekanja.

Broj prometnih trakova na glavnim privozima južnom obilaznicom je identičan, odnosno istočni i zapadni privoz imaju posebno odvojene trake za ravno, desno te za lijeve skretače.

Problem ovog raskrižja je prometno zagušenje koje se stvara u vrijeme vršnog sata na sjevernom i južnom privozu jer jedna prometna traka za ravno, desno i lijevo nije dovoljna za prometno opterećenje koje se stvara na tom privozu.

Kako se promatrano raskrižje nalazi na samom ulasku odnosno izlasku iz grada Čakovca zbog čega izrazito velik broj vozila prometuje ovim područjem, veoma je važno da na njemu ne dolazi do stvaranja prometnog zagušenja te repova čekanja koji u većini slučajeva stvaraju nervozu kod vozača te povećavaju mogućnost nastanka prometnih nesreća.

Raskrižje se nalazi u ravničarskom terenu sa definiranim površinama za lijevo isključivanje iz prometa s državne ceste za oba smjera tj. križanje je izvedeno kao čvor tip 3, a (prema HRN U. C4. 050.) s uređenim geometrijskim elementima desnih skretanja s državne ceste te biciklističkim stazama izvan kolnika s desne strane ceste u smjeru stacionaže, širine 3,50 m koje su od kolnika odvojene zaštitnom odbojnom ogradom.

U smislu privoza s gradskih ulica križanje je izvedeno kao tip 2 prema HRN U. C4. 050. s uređenim geometrijskim elementima. Uz gradske ulice su uređene staze za pješački i biciklistički promet.

Uzduž državne ceste D3 izgrađena je javna rasvjeta u sklopu koje je osvijetljeno i raskrižje na svim privozima. Državna cesta u zoni raskrižja izvedena je u nivou s okolnim

terenom. Postojeći sustav odvodnje na državnoj cesti i na gradskim ulicama riješen je ispuštanjem u zatvoreni sustav odvodnje i okolni teren. Kolnik na svim privozima nije presvlačen novim slojem asfalta, prisutne su manje deformacije u vidu kolotraženja i lokalno raspucane površine većinom na izvedenim proširenjima. Kako bi se osiguralo što ravnomjernije odvijanje prometa u zoni raskrižja, posebno s podređenog pravca, potrebno je izvršiti izmjenu postojećeg stanja, ukloniti semaforski uređaj i izgraditi kružno raskrižje [20].

Na slici 9 prikazan je istočni privoz iz smjera Goričana. Oprema ceste projektirana je i izvedena u skladu s propisima i standardima. Zbog sigurnosti raskrižje je opremljeno odgovarajućom rasvjetom a izgrađene su pješačke površine i pješačke staze na način da je na njih moguć pristup osobama s invaliditetom.



Slika 9: Km 4+587- 4+747, zona zahvata na D3, dionica 003, iz smjera Goričana

Izvor: [17]

Slika 10 prikazuje privoz državne ceste D3 iz smjera grada Varaždina.



Slika 10: Km 4+587 – 4+747, zona zahvata na D3, dionica 003, iz smjera Varaždina

Izvor: [17]

Slikom 11 prikazan je sjeverni privoz na kojem su vidljiva vozila koja dolaze iz smjera grada Čakovca. Na ovome se području stvara izrazito veliko zagušenje jer jedna zajednička traka premala je za tako veliki kapacitet vozila.



Slika 11: Zona zahvata na Kalničkoj ulici sa sjeverne strane državne ceste

Izvor: [17]

Na slici 12 vidljiv je južni privoz promatranog raskrižja koji ima istu problematiku kao i sjeverni jer nema odvojene trake za lijevo i desno skretanje.



Slika 12: Zona zahvata na Ulici Josipa Bajkovca sa južne strane

Izvor: [17]

Postojeće raskrižje izrazito je prometno jer se njime prometuje kako bi se izbjegla gužva u samome gradu. Na promatranom raskrižju, trenutni prometni tokovi regulirani su svjetlosnom signalizacijom, odnosno semaforima. Ukoliko dođe do prestanka rada semafora, promet se regulira vertikalnom i horizontalnom signalizacijom. Državna cesta D3 kao cesta s prednošću prolaska regulirana je znakom "cesta s prednošću prolaska" (C08), a Kalnička ulica i Ulica Josipa Bajkovca kao sporedne ceste regulirane su znakom "obavezno zaustavljanje" (B02). Također na odvojenim skretanjima s ceste D3 na gradske ulice postavljeni su znakovi "raskrižje s cestom s prednošću prolaska" (B01) i "obilježeni pješački prijelaz" (C02).

Prema analizi prometnog opterećenja studije grada Čakovca dobiveno je postojeće stanje prometnog sustava u gradu, obavljena je analiza te su predložene faze prometnog razvitka sustava.

U svrhu analize i planiranja optimalnog odvijanja cestovnog prometa, uz sagledavanje građevinskih i kapacitativnih elemenata prometnica, nužno je imati što preciznije podatke o prometnom toku; njegovoj veličini, te prostornoj i vremenskoj razdiobi na promatranom dijelu prometne mreže tijekom dana.

5.3 Analiza podataka o brojanju prometa

Brojanje prometa predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju. Podaci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Ti podaci se mogu sastojati od informacija kao što su: prometna opterećenja na cestovnim prometnicama, struktura prometnog toka, brzina kretanja vozila u prometnom toku, razmak između vozila u prometnom toku, smjerovi kretanja vozila u cestovnoj mreži, vršna opterećenja u određenim vremenskim rasponima i sl.

Iz takvih podataka dobiva se točna slika o prometnim zahtjevima unutar neke zone obrade. Na temelju toga mogu se odrediti budući prometni pravci, rekonstrukcija postojeće prometne infrastrukture i napraviti reorganizacija prometnih tokova [15].

Brojanje prometa provedeno je na tri lokacije koje su prikazane na Slici 13.



Slika 13: Lokacije Brojanja prometa

Izvor: [17]

Provedenim brojanjem prometa na promatranom području u gradu Čakovcu, utvrđeni su odnosi u odvijanju prometa na gradskim ulicama i raskrižjima. Dobivena je pregledna situacija unutarnjeg odvijanja prometa, a temeljem dobivenih podataka moguće je odrediti ishodišno - odredišni promet kao i tranzitni promet.

Na raskrižjima promatranog područja grada Čakovca obavljeno je brojanje prometa provedeno radnim danom u vršnom satu u 15 minutnim intervalima u periodu od 15:00 do 16:00.

Rezultati dobiveni brojanje prometa predstavljaju referentan uzorak koji se temelji na stabilnim vremenskim prilikama, te se kao takvi mogu upotrijebiti za kvalitetnu analizu prometne potražnje.

Prvo brojanje prometa obavljeno je na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein koje se pruža iz središta grada Čakovca prema raskrižju koje se analizira u radu.

U tablici 3 vidljivi su podaci za prometno opterećenje na raskrižju Kalnička i Ulice E. i G. Legenstein. Najopterećeniji su privozi u smjeru grada Čakovca te iz smjera grada.

Tablica 3: Brojanje prometa na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - jug	0-15	82	1	0	3	0	15:00-16:00	istok - zapad	0-15	0	0	0	0	1
		15-30	103	0	0	0	4			15-30	4	0	0	0	0
		30-45	95	4	0	4	0			30-45	2	0	0	0	1
		45-60	115	0	0	1	0			45-60	5	0	0	0	0
		UKUPNO	395	5	0	0	4			UKUPNO	11	0	0	0	2
	SVEUKUPNO		404						SVEUKUPNO		13				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - istok	0-15	11	0	0	0	3	15:00-16:00	istok - jug	0-15	3	2	0	0	0
		15-30	4	2	0	0	0			15-30	6	0	0	0	2
		30-45	15	0	0	0	2			30-45	8	0	0	0	0
		45-60	9	5	0	0	0			45-60	11	1	0	0	5
		UKUPNO	39	7	0	0	0			UKUPNO	28	3	0	0	7
	SVEUKUPNO		46						SVEUKUPNO		38				

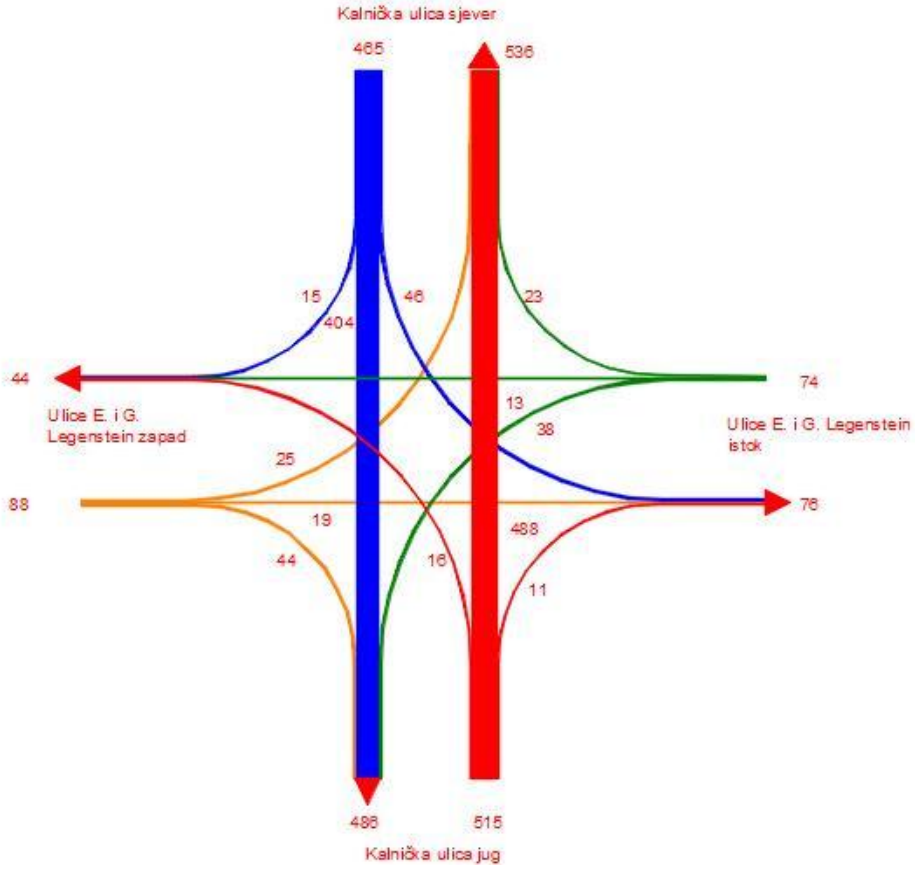
sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - zapad	0-15	5	0	0	0	0	15:00-16:00	istok - sjever	0-15	5	0	0	0	0
		15-30	2	1	0	0	1			15-30	4	1	0	0	1
		30-45	3	2	0	0	0			30-45	3	0	0	0	0
		45-60	1	0	0	0	0			45-60	7	2	0	0	0
		UKUPNO	11	3	0	0	1			UKUPNO	19	3	0	0	1
	SVEUKUPNO		15						SVEUKUPNO		23				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - istok	0-15	1	1	1	0	1	15:00-16:00	jug - sjever	0-15	99	0	1	4	0
		15-30	0	0	0	0	2			15-30	135	3	0	2	1
		30-45	2	2	0	0	0			30-45	113	5	1	0	0
		45-60	4	1	1	0	3			45-60	126	1	0	3	3
		UKUPNO	7	4	2	0	6			UKUPNO	473	0	2	9	4
	SVEUKUPNO		19						SVEUKUPNO		488				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - sjever	0-15	5	0	0	0	1	15:00-16:00	jug - zapad	0-15	5	2	0	0	0
		15-30	2	0	0	0	0			15-30	2	1	0	0	2
		30-45	8	0	0	0	2			30-45	0	2	0	0	0
		45-60	7	0	0	0	0			45-60	1	1	0	0	0
		UKUPNO	22	0	0	0	3			UKUPNO	8	6	0	0	2
	SVEUKUPNO		25						SVEUKUPNO		16				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - jug	0-15	9	1	0	0	1	15:00-16:00	jug - istok	0-15	3	0	0	0	0
		15-30	12	0	0	0	0			15-30	0	2	0	0	1
		30-45	7	1	0	0	2			30-45	4	0	0	0	0
		45-60	11	0	0	0	0			45-60	1	0	0	0	0
		UKUPNO	39	2	0	0	3			UKUPNO	8	2	0	0	1
	SVEUKUPNO		44						SVEUKUPNO		11				

Na Slici 14 prikazano je vršno prometno opterećenje na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein.



Slika 14: Vršno prometno opterećenje na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein

U Tablici 4 prikazani su podaci brojanja prometa za raskrižje koje se analizira u radu. Iz dobivenih podataka vidljivo je da su smjerovi na ulasku tj. izlasku iz grada Čakovca izrazito opterećeni.

Sjeverni i južni privoz imaju zajedničku traku za ravno lijevo i desno zbog čega se javlja veliko zagušenje te repovi čekanja.

Tablica 4: Brojanje prometa na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

15:00-16:00	sjever - jug	0-15	103	0	0	1	1	15:00-16:00	istok - zapad	0-15	86	0	3	0	1
		15-30	87	1	1	0	3			15-30	74	2	0	2	3
		30-45	112	0	0	1	0			30-45	95	0	13	1	0
		45-60	106	0	1	0	1			45-60	101	1	2	0	2
		UKUPNO	408	1	2	0	5			UKUPNO	356	0	0	3	6
	SVEUKUPNO		416						SVEUKUPNO		365				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - istok	0-15	116	0	0	3	1	15:00-16:00	istok - jug	0-15	21	2	0	0	2
		15-30	85	1	0	0	0			15-30	16	0	1	0	0
		30-45	97	0	0	2	0			30-45	23	1	0	0	0
		45-60	94	0	0	1	1			45-60	26	0	2	0	0
		UKUPNO	392	1	0	6	0			UKUPNO	86	3	3	0	2
	SVEUKUPNO		399						SVEUKUPNO		94				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - zapad	0-15	84	0	0	0	0	15:00-16:00	istok - sjever	0-15	91	0	1	5	0
		15-30	79	1	0	0	1			15-30	104	0	0	1	1
		30-45	86	0	0	0	0			30-45	87	1	0	3	0
		45-60	103	0	0	0	0			45-60	101	0	1	1	0
		UKUPNO	352	1	0	0	1			UKUPNO	383	1	2	10	1
	SVEUKUPNO		354						SVEUKUPNO		397				

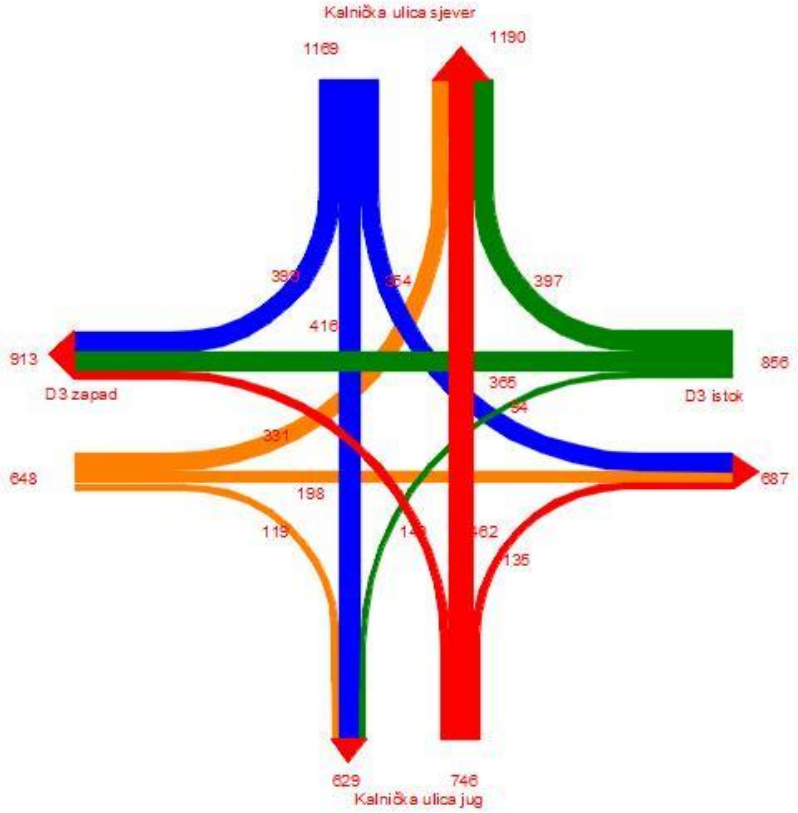
sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - istok	0-15	38	0	0	3	0	15:00-16:00	jug - sjever	0-15	129	0	0	1	0
		15-30	41	1	3	0	1			15-30	106	2	0	0	1
		30-45	55	0	1	2	0			30-45	94	3	1	2	3
		45-60	48	2	2	1	0			45-60	118	2	1	1	5
		UKUPNO	182	3	6	6	1			UKUPNO	447	0	2	4	9
	SVEUKUPNO		198						SVEUKUPNO		462				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - sjever	0-15	75	1	0	1	0	15:00-16:00	jug - zapad	0-15	36	0	0	0	1
		15-30	83	0	0	0	2			15-30	28	1	0	0	0
		30-45	91	0	1	3	3			30-45	38	2	0	0	2
		45-60	69	0	0	1	1			45-60	41	0	0	0	0
		UKUPNO	318	1	1	5	6			UKUPNO	143	3	0	0	3
	SVEUKUPNO		331						SVEUKUPNO		149				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - jug	0-15	29	0	0	0	0	15:00-16:00	jug - istok	0-15	35	0	1	0	0
		15-30	30	1	0	0	1			15-30	24	2	0	0	1
		30-45	22	0	0	0	0			30-45	41	0	1	0	0
		45-60	33	2	0	0	1			45-60	26	1	0	0	3
		UKUPNO	114	3	0	0	2			UKUPNO	126	3	2	0	4
	SVEUKUPNO		119						SVEUKUPNO		135				

Prometno opterećenje na raskrižju Južne obilaznice D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca pokazuje kako je južna obilaznica izrazito opterećena. Za rasterećenje Kalničke ulice, povoljno bi bilo da jedan dio stanara za dolazak do centra grada koristi Ulicu dr. Tome Bratkovića.

Na Slici 15 prikazano je vršno prometno opterećenje na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca.



Slika 15: Vršno prometno opterećenje na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

Iz smjera Strahoninca i Savske Vesi dolazi izrazito velik broj vozila čime se stvaraju gužve na raskrižju koje vodi prema gradu Čakovcu.

U Tablici 5 prikazani su podaci o brojanju prometa na raskrižju koje se pruža od smjera Strahoninca i Savske Vesi u smjeru Čakovca.

Tablica 5: Brojanje prometa na raskrižju Ulice Josipa Bajkovca i Radničke ulice

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - jug	0-15	67	0	0	1	5	15:00-16:00	istok - zapad	0-15	8	0	0	0	2
		15-30	78	1	0	0	2			15-30	5	1	0	0	0
		30-45	85	0	0	0	0			30-45	4	0	0	0	1
		45-60	92	2	0	0	6			45-60	8	2	0	0	0
		UKUPNO	322	3	0	0	13			UKUPNO	25	0	0	0	3
	SVEUKUPNO		338						SVEUKUPNO		28				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - istok	0-15	7	1	0	0	5	15:00-16:00	istok - jug	0-15	2	0	0	0	3
		15-30	11	3	0	0	1			15-30	0	2	0	0	1
		30-45	14	0	0	0	6			30-45	4	0	0	0	2
		45-60	18	4	0	0	4			45-60	6	1	0	0	0
		UKUPNO	50	8	0	0	0			UKUPNO	12	3	0	0	6
	SVEUKUPNO		58						SVEUKUPNO		21				

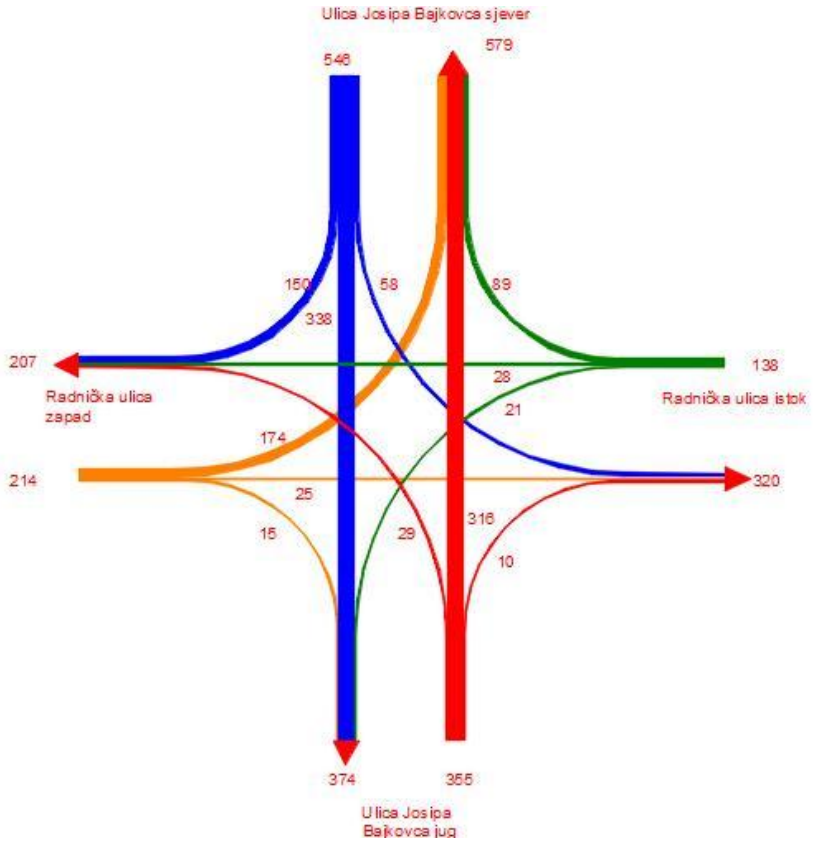
sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	sjever - zapad	0-15	26	0	0	0	4	15:00-16:00	istok - sjever	0-15	16	2	0	0	1
		15-30	37	1	0	0	0			15-30	24	0	0	0	0
		30-45	43	0	0	0	3			30-45	21	3	0	0	4
		45-60	32	2	0	0	2			45-60	17	0	0	0	1
		UKUPNO	138	3	0	0	9			UKUPNO	78	5	0	0	6
	SVEUKUPNO		150						SVEUKUPNO		89				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - istok	0-15	2	3	0	0	0	15:00-16:00	jug - sjever	0-15	68	5	0	2	1
		15-30	4	1	0	0	3			15-30	82	0	1	0	4
		30-45	3	2	0	0	0			30-45	74	7	0	0	0
		45-60	6	0	0	0	1			45-60	78	4	1	0	5
		UKUPNO	15	6	0	0	4			UKUPNO	302	0	2	2	10
	SVEUKUPNO		25						SVEUKUPNO		316				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - sjever	0-15	41	3	0	0	1	15:00-16:00	jug - zapad	0-15	3	1	0	0	2
		15-30	46	2	0	0	0			15-30	5	0	0	0	1
		30-45	35	0	0	0	4			30-45	9	3	0	0	0
		45-60	39	1	0	0	2			45-60	2	0	0	0	3
		UKUPNO	161	6	0	0	7			UKUPNO	19	4	0	0	6
	SVEUKUPNO		174						SVEUKUPNO		29				

sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT	sat	smjer	15min - interval	OA	LT	TT	BUS	MOT
15:00-16:00	zapad - jug	0-15	1	0	0	0	0	15:00-16:00	jug - istok	0-15	5	0	0	0	0
		15-30	0	1	0	0	1			15-30	0	1	0	0	1
		30-45	3	0	0	0	0			30-45	0	0	0	0	0
		45-60	5	2	0	0	2			45-60	2	0	0	0	1
		UKUPNO	9	3	0	0	3			UKUPNO	7	1	0	0	2
	SVEUKUPNO		15						SVEUKUPNO		10				

Slikom 16 prikazano je vršno prometno opterećenje na trećoj lokaciji brojanja prometa na raskrižju Ulice Josipa Bajkovca i Radničke ulice.



Slika 16: Vršno prometno opterećenje raskrižju Ulice Josipa Bajkovca i Radničke ulice

6. ANALIZA STANJA SIGURNOSTI NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE ULICE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA

Promatrano raskrižje državne ceste D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca nalazi se na prostoru Južne obilaznice grada Čakovca. Južna obilaznica grada Čakovca dio je državne ceste D3 Zagreb - Varaždin - granični prijelaz Goričan.

S obzirom da navedeni cestovni pravac prolazi kroz samo središte grada Čakovca dolazi do velikog prometnog opterećenja na okolnom raskrižjima, pri čemu se javlja i velik broj prometnih nesreća.

U analiziranom razdoblju na ovome području dogodio se izrazito velik broj prometnih nesreća, što zahtjeva detaljniju analizu uvjeta prometovanja slijedom čega proizlazi i zahtjev za rekonstrukcijom postojećeg raskrižja.

5.1 Lokacija i opis opasnog mjesta

Promatrano raskrižje prema broju i posljedicama prometnih nesreća kategorizirano je kao opasno mjesto. S obzirom na geometrijske elemente na državnoj cesti i položaj privoza, raskrižje je pregledno, ali zbog intenzivno povećanog prometa s gradskih ulica, u Kalničkoj ulici od strane grada Čakovca i Ulici Josipa Bajkovca prema naseljima Savska Ves, Strahoninec i Totovec (koje su u nastavku županijske ceste ŽC 2020 i ŽC 2030) otežano je uključivanje vozila u promet na državnu cestu.

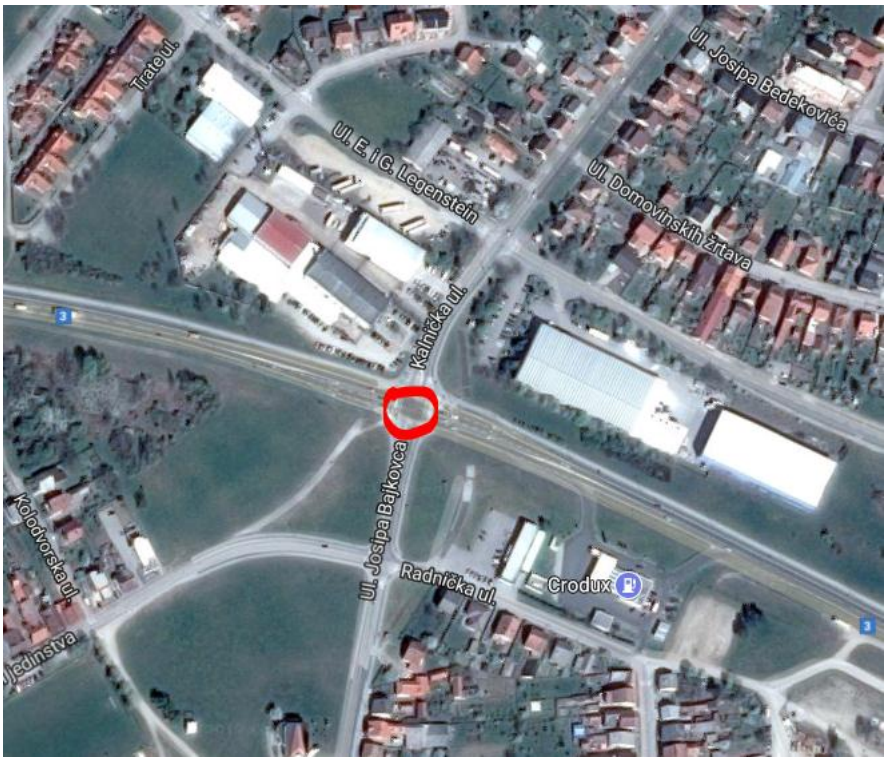
U postojećem stanju predmetno raskrižje je izvedeno kao semaforizirano četverokrako raskrižje na kojemu je državna cesta D3 (obilaznica grada Čakovca) položena u smjeru istok - zapad te je prometnica sa prednošću prolaska. Na glavnom smjeru su izvedeni trakovi za lijevo i desno skretanje. Pješačko - biciklistička staza na glavnom smjeru je položena jednostrano uz sjeverni rub kolnika državne ceste te je od kolnika odvojena zelenim pojasom. Na sporednom smjeru je izvedena obostrana pješačko - biciklistička staza odvojena od kolnika zelenim pojasom. Prometnim znakovima je ograničeno kretanje teretnih vozila koja ne smiju skrenuti u smjeru centra grada.

Ceste su u pravcu i vidljivost je dobra. Poprečnih i uzdužnih nagiba nema. Kolnik je izveden iz 4 prometna traka na državnoj cesti i 2 prometna traka na privozima sa županijske ceste. Širine prometnih trakova su 3,5 m, sa bankinama od 1,5 m. Asfaltni zastor je hrapav bez vidljivih oštećenja. Cestovna rasvjeta postoji. Postavljena je prometna signalizacija, smjerokazni stupići i zaštitna ograda duž državne ceste.

S obzirom da se u promatranom razdoblju na ovome raskrižju dogodilo više prometnih nesreća sa poginulim osobama, nužno je obaviti izmjenu postojećeg stanje.

Na Slici 17 prikazana je lokacija opasnog mjesta.

Kao optimalno rješenje prema analiziranim parametrima bila bi izgradnja kružnog raskrižja. Kružno raskrižje uzima se kao optimalno rješenje iz razloga što na postojećem raskrižju signalni planovi nisu optimalni, nema velikih biciklističkih i pješačkih tokova, održavanje postojećeg raskrižja je skupo, malo je lijevih skretača te je mala protočnost. Postoji velika preglednost što uvelike pogoduje izgradnji kružnog raskrižja.



Slika 17: Lokacija opasnog mjesta

Izvor: [17]

5.2 Podaci o broju i posljedicama prometnih nesreća

Studije pokazuju da vozači u Europi očekuju strože mjere u vezi s cestovnom sigurnošću, kao što je poboljšana kvaliteta cesta, bolje obrazovanje vozača, provođenje prometnih pravila, provjere sigurnosti vozila i ostalo.

Odnos koristi i troškova za istraživanje ekonomičnosti cesta moguće je provesti istraživanjem ekonomičnosti, također i za mjere mjesnog istraživanja nesreća. Za procjenu mjera služi odnos koristi i troškova. Odnos pokazuje kolika je korist u eurima na svaki uloženi euro u sanaciju zavoja i raskrižja.

Korist uslijed promjene prometne sigurnosti izračunava se iz razlike troškova nesreća u cestovnom prometu u situaciji kada nikakva mjera nije primijenjena i u slučaju kada je primijenjena neka mjera [13].

Ostali utjecaji mjera (korist) npr. na vrijeme vožnje mogu se zanemariti kod procjene jednostavnih mjera. Troškovi (T) jesu izdaci nositelja građevinskih poslova u obliku investicijskih troškova, a po potrebi i dodatnih troškova (pozitivnih) ili umanjenih (negativnih) godišnjih troškova (troškovi održavanja i stavljanja u funkciju).

Istraživanja uvjeta odvijanja prometa i poremećaja u prometnom toku zbog kojih nastaju prometne nesreće, vrlo su značajan element za prevenciju nastanka nesreće.

Osnove za izračun troškova nesreća čine sve nesreće i njihove posljedice koje je policija zabilježila. Ekonomska procjena obuhvaća veličinu koristi ostvarene izbjegnutim ljudskim žrtvama i izbjegnutih materijalnih šteta u cestovnome prometu. Investicijski troškovi obuhvaćaju troškove za izgradnju i obnovu cesta i njihove opreme kao i za mjere poravnanja.

Troškovi obnove ne moraju se posebno iskazivati, budući da građevinski zahvati imaju određeni vijek trajanja. Investicijski troškovi preračunavaju se pomoću anuitetnog faktora u godišnje troškove. Kod tekućih troškova iskazuju se mjere održavanja cesta. Pod održavanjem podrazumijevaju se trenutačne mjere manjeg opsega (poslovi čišćenja, kontrole, održavanja, zimske službe) ti zadaci u prvome redu ovise o tipu ceste, broju i veličini građevinskih objekata kao i o opsegu cestovne opreme [13].

U Tablici 6 prikazane su paušalne stope troškova nesreća ovisno o kategoriji nesreće i kategoriji ceste.

Tablica 6: Paušalne stope troškova nesreća ovisno o kategoriji nesreće i kategoriji ceste - stanje cijena iz 2000. godine

Vrste ozljeda	Izvan naseljenog mjesta		Unutar naseljenog mjesta		
	Autocesta	Međugradska cesta	Glavna cesta	Sabirna ulica	Srednja vrijednost
Troškovi izraženi u eurima					
TO: nesreća s poginulim ili teško ozlijeđenim osobama	295.000	265.000	155.000	130.000	145.000
LO: nesreća s lakše ozlijeđenim osobama	30.500	18.000	12.500	10.000	11.000
O: nesreća s ozlijeđenima	105.000	110.000	44.000	33.000	38.000
TM: teža nesreća s materijalnom štetom	18.000	12.500	11.500	11.000	11.500
LM: ostale nesreće s materijalnom štetom	8.000	6.000	6.000	5.500	5.500
M: nesreća s materijalnom štetom	10.500	6.500	6.000	5.500	6.000

Izvor: [13]

Tablica 7: Paušalne stope troškova nesreća ovisno o kategoriji nesreće i kategoriji ceste - stanje cijena iz 2000. godine

TEŽINA OZLJEDE	STOPA TROŠKOVA STNS (EUR/OSOBI)
Poginuli (PG)	1.200.000
Teško ozlijeđeni (TO)	85.000
Lakše ozlijeđeni (LO)	3.750

Izvor: [13]

Promatrano raskrižje izuzetno je opterećeno pa se zbog velikog broja vozila događa i velik broj prometnih nesreća. U razdoblju od 2011. do 2016. godine, na promatranom raskrižju dogodile su se ukupno 53 prometne nesreće (Tablica 8). Najveći broj nesreća koje su za posljedicu imale materijalnu štetu dogodio se 2013. i 2016. godine.

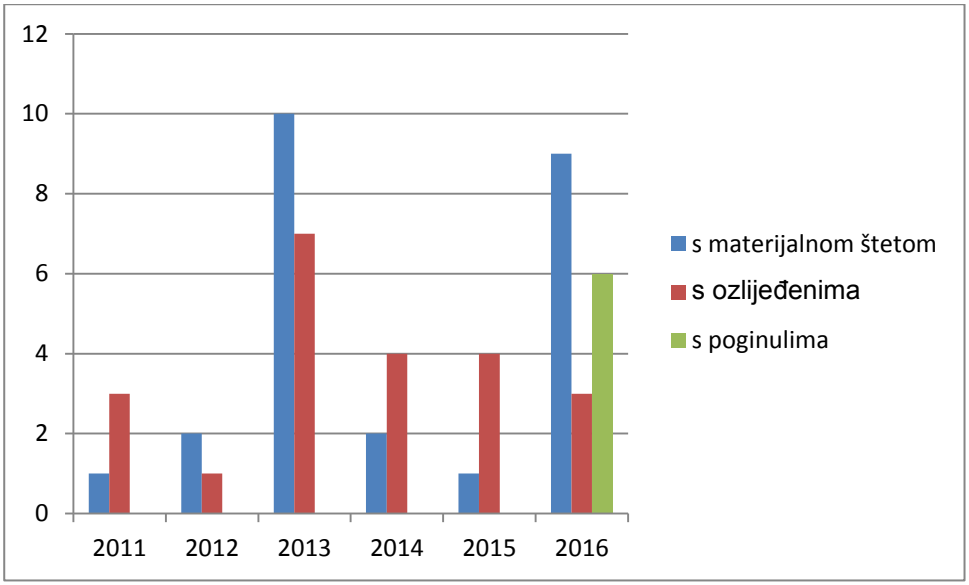
Od 2011. godine nije bilo poginulih osoba, sve do 2016. kada je na promatranom raskrižju smrtno stradalo čak 6 osoba. Navedeno raskrižje detektirano je kao opasno mjesto te je potrebna hitna rekonstrukcija raskrižja kako bi se povećala sigurnost prometa i smanjio broj prometnih nesreća. Kružno raskrižje predstavlja najbolje i najsigurnije rješenje.

Tablica 8: Podaci o broju prometnih nesreća

		GODINA						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	UKUPNO
Broj prometnih nezgoda	s materijalnom štetom	1	2	10	2	1	9	25
	s ozlijeđenima	3	1	7	4	4	3	22
	s poginulima	0	0	0	0	0	6	6
Ukupno		4	3	17	6	5	18	53

Izvor: [18]

Grafički prikaz podataka o prometnim nesrećama u posljednjih šest godina prikazan je Grafikonom 1.



Grafikon 1: Broj prometnih nezgoda na promatranom raskrižju

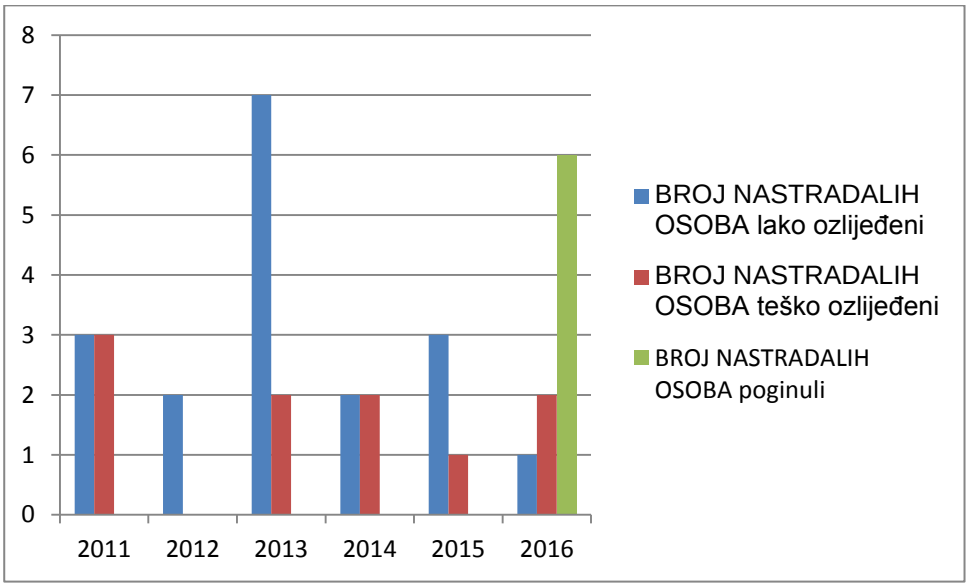
U Tablici 9 prikazane su posljedice prometnih nesreća u promatranom razdoblju. Najviše nesreća imalo je za posljedice lakše ozlijeđene osobe.

Tablica 9: Podaci o posljedicama prometnih nesreća

		GODINA						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	UKUPNO
Broj nastradalih osoba	lako ozlijeđeni	3	2	7	2	3	1	18
	teško ozlijeđeni	3	0	2	2	1	2	10
	poginuli	0	0	0	0	0	6	6
Ukupno		6	2	9	4	4	9	34

Izvor: [18]

Na temelju podataka iz Tablice 9, Grafikonom 2 prikazan je grafički prikaz podataka o posljedicama prometnih nesreća.



Grafikon 2: Podaci o posljedicama prometnih nesreća

7. PRIJEDLOG MJERA ZA POVEĆANJE PROPUSNE MOĆI I SIGURNOSTI PROMETA NA RASKRIŽJU ULICA D3, KALNIČKE I ULICE JOSIPA BAJKOVCA U ČAKOVCU

Prijedlozi mjera su prijedlozi kojima se predlažu promjene u organizaciji prometnog sustava i prometnoj politici.

Nakon obavljene analize prometno - oblikovnih elemenata raskrižja uočeni su određeni nedostaci. Nedostaci se odnose na sustav vođenja i upravljanja prometom. Zbog navedenog potrebno je ukloniti sve postojeće prometne znakove u zoni obuhvata osim oznaka biciklističkih tokova.

Neophodna je izmjena trenutne regulacije prometa koja je u postojećem stanju izvedena putem prometnih svjetala (semafora) na upravljanje prometnim znakovima u skladu sa građevinskim projektom rekonstrukcije koja predviđa izvođenje kružnog raskrižja.

7.1 Definiranost i svojstva kružnih raskrižja

Prema suvremenoj definiciji kružno raskrižje je prometna građevina, gdje je kretanje vozila određeno središnjim kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i s prometnim znakovima.

U odnosu na klasična, ova se raskrižja također mogu definirati kao nesemaforizirana raskrižja u jednoj razini, u kojima se promet u pravilu odvija:

a) na jednotračnom odnosno dvotračnom kružnom kolniku;
b) s jednim do dva prometna traka na privozima postavljenim što okomitije na ulazu u kružno raskrižje;
c) s reguliranom prednošću kružnog prometnog toka u smjeru suprotnome od kazaljke na satu.

Općenito uzevši, obrada zajedničke problematike odnosi se na kružna raskrižja vanjskog promjera $D_v \leq 90$ m, s najviše dva prometna traka na privozu i u kružnom toku, bez

semaforskih uređaja. Ostale vrste kružnih raskrižja (mini kružna raskrižja, velika kružna raskrižja, kružna raskrižja s provoznim središnjim otokom) predmet su posebne obrade [4].

7.1.1 Posebnosti raskrižja s kružnim tokom prometa

Posebnosti raskrižja s kružnim tokom prometa su sljedeća:

- kružna raskrižja su raskrižja s kombinacijom prekinutog i neprekinutog prometnog toka;
- prvenstvo prolaza imaju vozila u kružnom toku pred vozila na prilazima/privozima, budući da ovdje ne vrijedi "pravilo desnoga";
- kružna raskrižja na javnim cestama (a naročito u naseljima) omogućuju vožnju smanjenim brzinama i s velikim skretnim kutem prednjih kotača;
- vozilo na ulazu u kružno raskrižje se, u slučaju slobodnog kružnog toka, ne treba zaustavljati, već smanjenom brzinom može ući u kružni tok;
- u kružnim raskrižjima je zabranjena (a i nepotrebna) vožnja unatrag;
- dugim vozilima je tijekom vožnje dopušteno koristiti i prošireni dio kružnog kolničkog traka (tzv. povozni dio središnjeg otoka);
- za pješake i bicikliste vrijede jednaka pravila kao i za druge oblike raskrižja u razini [4].

7.1.2 Prednosti i nedostaci kružnih raskrižja

a) Prednosti pred ostalim oblicima raskrižja su:
    - puno veća sigurnost prometa (s manjim brojem konfliktnih točaka i sa smanjenim brzinama u kružnom toku) uz manje posljedice prometnih nezgoda (bez čelnih i sudara pod pravim kutem);
    - manje čekanje na privozima (kontinuitet vožnje) i mogućnost propuštanja jačih prometnih tokova;
    - manja okupiranost zemljišta i troškovi održavanja;
    - veća propusna moć raskrižja, uz manje proizvedene buke i štetnih plinova;

- dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju privoza i kao mjera za smirivanje prometa;
- dobro rješenje za slučajeve s više privoza (pet ili više);
- mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor.

b) Nedostaci kružnog raskrižja su:
   - slabo rješenje za slučaj velikog prometnog toka sa skretanjem ulijevo (zbog duljih putovanja, s otežavajućim presjecanjima i preplitanjima);
   - s povećanjem broja kružnih prometnih trakova smanjuje se razina prometne sigurnosti;
   - veliko odnosno višetračno kružno raskrižje, nije najpogodnije za osobe s posebnim potrebama (slabovidni, invalidi, starije osobe) odnosno u blizini ustanova za obrazovanje i odgoj (vrtić, škole), zbog kretanja u kolonama, veći broj i širi privozi;
   - produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja;
   - problem pri većem biciklističkom ili pješačkom prometu, koji presijecaju jedan ili više privoza prema raskrižju [4].

7.2 Radovi izvedeni na sanaciji

Tijekom 2005. godine u sklopu izgradnje Južne obilaznice grada Čakovca, postavljeni su prometni znakovi i semaforski uređaji prema prometnom projektu. U razdoblju od 2006. do 2010. godine obnovljena je prometna signalizacija. 2016. godine izrađena je projektna dokumentacija prema projektu "Rekonstrukcija raskrižja u Čakovcu na državnoj cesti D3 (dionica 003 u km 4+667) i gradske ulice Kalnička - Josipa Bajkovca u kružno raskrižje".

7.3 Predložene mjera za sanaciju

Sukladno navedenom pojavila se potreba za rekonstrukcijom postojećeg raskrižja u raskrižje sa kružnim tokom prometa što osim građevinskog zahvata iziskuje reviziju i zamjenu prometne signalizacije i opreme te zahvate na zaštiti ili izmještanju postojećih komunalnih instalacija u zoni zahvata.

Na Slici 18 i Prilogu 1 prikazana je predložena rekonstrukcija promatranog raskrižja u raskrižje sa kružnim tokom prometa.



Slika 18: Prijedlog rekonstrukcije raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

Osnovni cilj je rekonstrukcija raskrižja, uz primjenu adekvatnih rješenja (izgradnja kružnog toka unutar postojećih gabarita, odnosno cestovnog zemljišta) uklapanjem u

projektirane elemente pojedinog privoza u nastavku te temeljita obnova kolnika i uređenje odvodnje ceste.

Širina vozne trake u kružnom toku mora biti minimalno 7,50 m (bez podvoznog dijela) sa poprečnim nagibom minimalno 2,5% od središta kružnog toka. Podvozni dio minimalne širine 1,50 m potrebno je odvojiti od kolnika sa rubnjacima u razini asfalta kolnika, projektirati sa poprečnim nagibom minimalno 4,0%.

Središnji otok potrebno je projektirati nadvišen sa unutarnjim promjerom Ru = 8 - 10,00 m (bez podvoznog dijela) i vanjskim promjerom kruga minimalno Rv = 17 - 19,00 m. Ulazno - izlazne radijuse kod kružnog toka treba projektirati prema kategoriji i brzini vozila.

Elemente kružnog raskrižja nužno je projektirati na način da se kroz rotor osigura nesmetan prolaz svih vozila koja sudjeluju u prometu uključujući tegljače i kamione sa prikolicama za prijevoz većih dužina kako bi se osigurao i prolaz izvanrednog tereta većih dužina.

U raskrižju je potrebno na sve privoze osim na privoz iz smjera Strahoninca izvesti trake za usporavanje sa direktnim desnim isključivanjem bez ulaza u kružni tok, te u nastavku traka za direktna desna isključivanja izvesti trake za ubrzanje. Kružni tok i trake za desna isključivanja potrebno je fizički razdvojiti razdjelnim otocima. Istočni, zapadni i sjeverni privozi su predviđeni sa posebnim trakom za desne skretače te ne moraju ulaziti u kružni tok za svoje kretanje.

Na mjestima denivelacija, a naročito u zonama pješačko biciklističkog prometa obavezno je projektirati rampe za osobe s posebnim potrebama. Na svim privozima potrebno je predvidjeti pješačko - biciklističke prijelaze preko kolnika. Preko sjevernog privoza bilo bi dobro uključiti dvosmjerni biciklistički prijelaz kako bi se održao kontinuitet dvosmjerne biciklističke staze uz sjeverni rub kolnika državne ceste D3 (obilaznice).

S obzirom da se u blizini promatranog raskrižja nalazi benzinska postaja potrebno je predvidjeti prilaz prema istoj, što podrazumijeva rekonstrukciju postojećeg prilaza ukoliko se nalazi u zoni zahvata rekonstrukcije raskrižja. Prilaz je potrebno projektirati u skladu s pravilnikom o prilazima i priključcima.

Prilazne brzine kružnom raskrižju potrebno je prilagoditi novoprojektiranoj situaciji te bi iste trebale iznosit 40 km/h.

Zbog rekonstrukcije raskrižja i formiranja kružnog raskrižja na mjestu semaforiziranog, nužno je predvidjeti zamjenu putokaza na prilazima u cilju usklađivanja daljinskog vođenja sa novom koncepcijom odvijanja prometa.

S obzirom da postoje ograničenja kretanja teretnih vozila u smjeru centra grada Čakovca, potrebno je znakovima zabranit njihovo kretanje prema sjeveru.

Obzirom na važeću prostorno plansku dokumentaciju, raspoloživi prostor, veličinu zahvata, te troškove održavanja raskrižja tijekom eksploatacije, uređenje raskrižja uspostavom kružnog toka prometa, nameće se kao najbolje rješenje.

U rekonstrukciji raskrižja također treba obuhvatiti i rekonstrukciju javne rasvjete, osvijetliti ulaze u kružni tok i osvijetliti središnji otok. Javnu rasvjetu potrebno je integrirati u sustav javne rasvjete. Projektnu dokumentaciju javne rasvjete potrebno je izraditi u skladu s važećom regulativom.

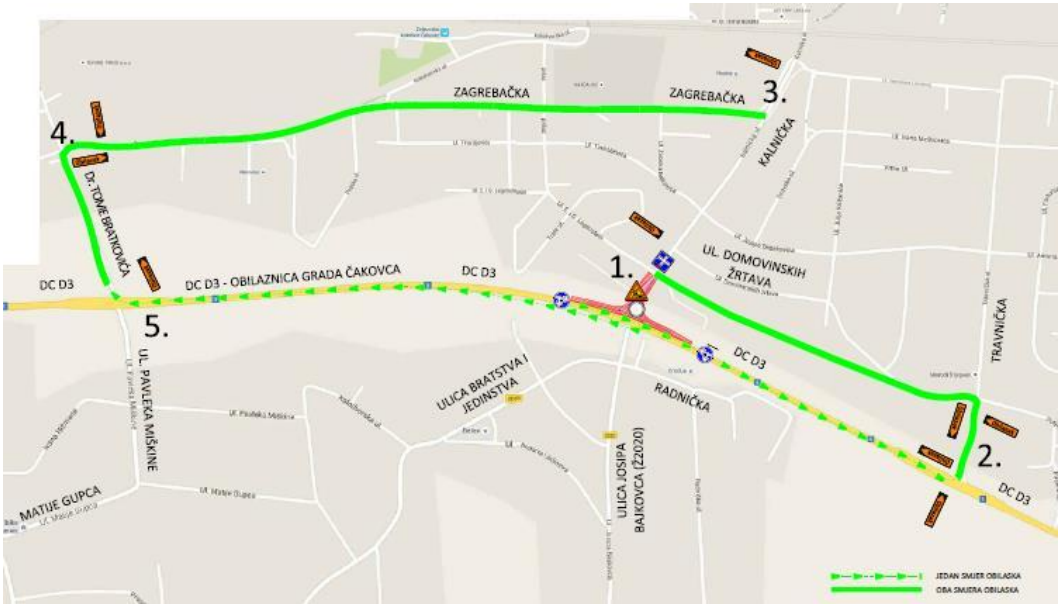
Horizontalnu i vertikalnu signalizaciju u zoni kružnog raskrižja potrebno je izvesti u skladu sa Zakonom o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08), Pravilnikom o prometnim znakovima opremi i signalizaciji na cestama (NN 33/05), te Pravilnikom o održavanju cesta (NN 90/14). Prometnim projektom u dijelu vertikalne signalizacije potrebno je obuhvatiti i daljinsko vođenje prometa na ulazu i izlazu iz kružnog toka.

U prometnom projektu potrebno je utvrditi sve izmjene i dopune koje mogu utjecati na daljinsko vođenje prometa te obavezno zatražiti mišljenje na prometni projekt i postupiti prema posebnim uvjetima tijela i osoba određenih prema posebnim propisima (MPPI, MUP).

7.4 Privremena regulacija prometa

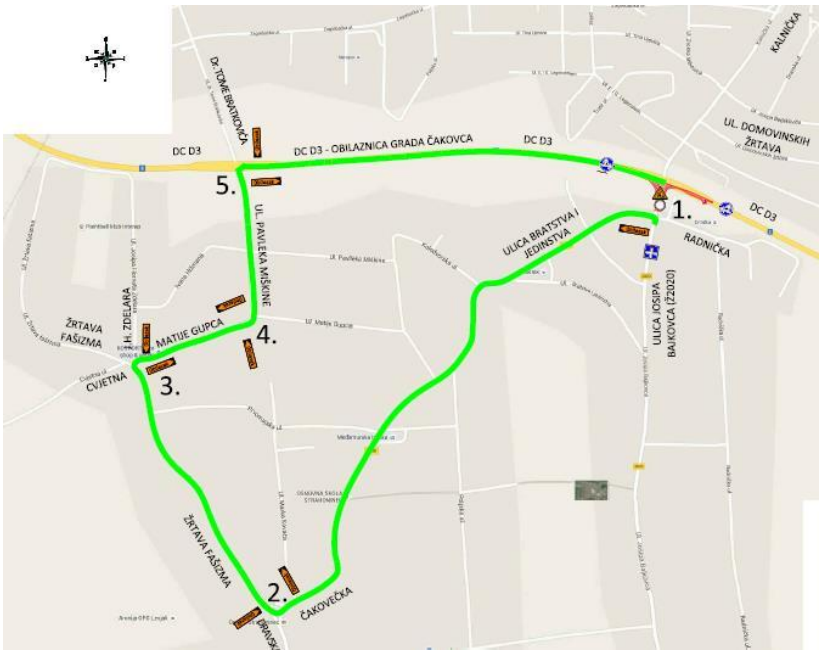
Kod radova rekonstrukcije promatranog raskrižja nužno je osigurati adekvatnu privremenu regulaciju prometa. Predviđena privremena regulacija bez potpunog zatvaranja prometa na državnoj cesti D3 - obilaznici Čakovca može se izvesti u dvije faze:

- **Faza F1:** Izvodi se sjeverni dio kružnog raskrižja - kretanja između Kalničke i obilaznice te obrnuto nisu moguća (Slika 19). Obilasci su predviđeni Ulicom Domovinskih žrtava i Travničkom do obilaznice ili Zagrebačkom i dr. Tome Bratkovića do obilaznice i obrnuto.



Slika 19: Faza 1 privremene regulacije

- **Faza F2:** Izvodi se južni dio kružnog raskrižja - kretanja između Ulice Josipa Bajkovca i obilaznice nisu moguća (Slika 20). Obilazak je predviđen kroz naselje Strahoninec i to ulicama Bratstva i jedinstva - Čakovečka - Žrtava fašizma - Matije Gupca - Pavleka Miškine do obilaznice i obrnuto.



Slika 20: Faza 2 privremene regulacije

ZAKLJUČAK

Podaci o veličini prometnog toka bitna su pretpostavka i osnovna ulazna veličina za izradu novih regulacijskih te organizacijskih rješenja. Brojanje prometa osnovica je za njegovo planiranje. Njime se dobiva uvid u trenutačno stanje prometa te podaci koji upućuju na potrebne rekonstrukcije, izgradnju novih prometnih pravaca ili na ostale mjere poboljšanja postojećeg i budućeg prometa.

U diplomskom radu obavljena je analiza postojećeg stanja u odvijanju prometa na području Međimurske županije, te je analizirana postojeća cestovna infrastrukture na području raskrižja državne ceste D3, Kalničke ulice i Ulice Josipa Bajkovca. Kako se promatrano raskrižje nalazi na samom ulasku u grad Čakovec veoma je važno da na njemu ne dolazi do stvaranja prometnog zagušenja te repova čekanja koji u većini slučajeva stvaraju nervozu kod vozača te povećavaju mogućnost nastanka prometnih nesreća. Na nastanak prometne nesreće nije moguće utjecati ali je moguće smanjiti mogućnost nastanka te je moguće smanjiti posljedice prometne nesreće.

S obzirom da se na navedenom raskrižju u posljednjih šest godina dogodio izrazito velik broj prometnih nesreća od čega je u 2016. godini smrtno stradalo čak šest osoba, navedeno raskrižje obilježeno je kao opasno mjesto.

U radu je obavljena analiza stanja sigurnosti prometa odnosno broja i posljedica prometnih nesreća. Na temelju obavljenih analiza utvrđeno je da nužno potrebna rekonstrukcija postojećeg raskrižja te je dat prijedlog mjera za unaprjeđenje vođenja, upravljanja i povećanje sigurnosti cestovnog prometa na promatranom području.

Problem se javlja iz razloga što signalni planovi semaforskih uređaja na postojećem raskrižju nisu optimalni, nema odvojenih trakova za ravno, desno i lijevo na sjevernom i južnom privozu, dolazi do velikog zagušenja s obzirom da se sav promet iz grada usmjerava na postojeću južnu obilaznicu koja se nalazi na području promatranog raskrižja.

Kao optimalno rješenje uzima se rekonstrukcija postojećeg raskrižja u raskrižje sa kružnim tokom prometa. Uz samu rekonstrukcije uvelike je važna i edukacija svih sudionika u prometu.

Poduzimanjem represivnih mjera u skladu sa prostorno - vremenskom analizom broja i posljedica prometnih nesreća, znatno bi se poboljšalo stanje sigurnosti cestovnog prometa kako na promatranom području Južne obilaznice grada Čakovca, tako i na čitavom području Međimurske županije.

Analizom promatranog raskrižja u ovom diplomskom radu dolazi se do rješenja koje će u skorijoj ili daljnjoj budućnosti zasigurno omogućiti sigurnije odvijanje prometa, smislenije vođenje prometnih tokova, smanjenje broja prometnih nesreća te povećanje propusne moći raskrižja i povećanje razine usluge.

LITERATURA

- [1] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2001.,
- [2] Gledec, M.: Zašto na cestama postoje crne točke, Hrvatsko društvo za ceste – Via Vita, Zagreb, 2009.
- [3] Legac, I.: Cestovne prometnice I; Fakultet prometnih znanosti; Sveučilište u Zagrebu; 2006.,
- [4] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta/Cestovne prometnice II., Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008
- [5] Dadić, I., Horvat, R., Ševrović, M., Jovanović, B.: Problems and solutions in logging of traffic accidencs location data // Road accidents prevention 2012 / Novi sad : Grid, Novi sad, 2012. p. 67-75.
- [6] Horvat, R; Slavulj, M., Mekovec, I.: Povećanje razine usluge raskrižja ulica Ozaljska – Vukovarska - Tratinska u Gradu Zagrebu // Zbornik radova 5. Hrvatskog kongresa o cestama, Hrvatsko društvo za ceste Via vita, Cavtat-Dubrovnik /
- [7] Horvat, R., Kos, G., Ševrović, M.: Traffic flow modelling on the road network in the cities. Tehnički vjesnik: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku. 22 (2015) , 2; 475-486
- [8] Kos, G., Brlek, P., Horvat, R.: Planiranje prometa u manjim urbanim cjelinama s ciljem smanjenja ekološki štetnog utjecaja cestovnog prometa. HAZU, Ekološki problemi prometnog razvoja. Pozivno predavanje, Zbornik radova sa znanstvenog skupa, Zagreb, 24. veljače 2011.. 1 (2011) ; 150-159
- [9] Legac, I., Pilko, H., Banović, I.:.Neka iskustva s uvođenjem kružnih raskrižja u Hrvatskoj / Požegi // Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi, Zagreb - Požega : Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2012. 259-272
- [10] Hozjan, D.: Cestovne prometnice II, materijal za predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2013/2014.,
- [11] Metodologija pristupa sigurnosti prometa, Hrvatske ceste d.o.o. i Institut građevinarstva Hrvatske d.d, Zagreb 2004.
- [12] Šarić, Ž.: Model identifikacije opasnih mjesta u cestovnoj prometnoj mreži (doktorska disertacija), Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [13] Studija prometnog sustava grada Čakovca, Institut prometa i veza,Zagreb, 2008.

- [14] Feletar D., Petrić H.: PODRAVINA; Časopis za multidisciplinarna istraživanja, Meridijani, Samobor, 2014.
- [15] Brlek, P.; Dadić, I.; Šoštarić, M.: Prometno tehnološko projektiranje (autorizirana predavanja), Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [16] Maßnahmen gegen Unfallhäufungen, Institut fur Straßenverkehr, FGSV, 1974.,
- [17] www.google.hr/maps, (lipanj – rujan, 2017.)
- [18] Podaci o nesrećama, PU Međimurska
- [19] Glavni projekt južne zaobilaznice grada Čakovca, lipanj, 2002.
- [20] Hrvatske ceste d.o.o., Sektor za održavanje i promet, Poslovna jedinica Varaždin

POPIS SLIKA

Slika 1: Moguća podjela raskrižja 12
Slika 2: Tlocrtno rješenje RuR (T priključak) s osnovnim pojmovima..... 13
Slika 3: Raskrižje s kružnim tokom prometa 13
Slika 4: Izračun duljine preglednosti 15
Slika 5: Trak za usporavanja..... 18
Slika 6: Trakovi za ubrzavanje..... 19
Slika 7: Veličina poprečnog nagiba q = f (V_r, R)..... 23
Slika 8: Trasa južne obilaznice grada Čakovca s označenim raskrižjima..... 31
Slika 9: Km 4+587- 4+747, zona zahvata na D3, dionica 003, iz smjera Goričana..... 34
Slika 10: Km 4+587 – 4+747, zona zahvata na D3, dionica 003, iz smjera Varaždina..... 34
Slika 11: Zona zahvata na Kalničkoj ulici sa sjeverne strane državne ceste..... 35
Slika 12: Zona zahvata na Ulici Josipa Bajkovca sa južne strane 35
Slika 13: Lokacije Brojanja prometa 37
Slika 14: Vršno prometno opterećenje na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein 39
Slika 15: Vršno prometno opterećenje na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca..... 41
Slika 16:Vršno prometno opterećenje raskrižju Ulice Josipa Bajkovca i Radničke ulice..... 43
Slika 17: Lokacija opasnog mjesta 45
Slika 18: Prijedlog rekonstrukcije raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca..... 53
Slika 19: Faza 1 privremene regulacije 56
Slika 20: Faza 2 privremene regulacije 57

POPIS TABLICA

Tablica 1: Najveći dopušteni nagibi s_{max} [%] 23
Tablica 2: Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja 25
Tablica 3: Brojanje prometa na raskrižju Kalničke ulice te Ulice E. i G. Legenstein 38
Tablica 4: Brojanje prometa na raskrižju državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca 40
Tablica 5: Brojanje prometa na raskrižju Ulice Josipa Bajkovca i Radničke ulice 42
Tablica 6: Paušalne stope troškova nesreća ovisno o kategoriji nesreće i kategoriji ceste - stanje cijena iz 2000. godine 47
Tablica 7: Paušalne stope troškova nesreća ovisno o kategoriji nesreće i kategoriji ceste - stanje cijena iz 2000. godine 47
Tablica 8: Podaci o broju prometnih nesreća 48
Tablica 9: Podaci o posljedicama prometnih nesreća 49

POPIS PRILOGA

Prilog 1: Prijedlog rekonstrukcije raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

Prilog 1.

Prijedlog rekonstrukcije raskrižja državne ceste D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Prijedlog mjera za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kalničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 18.9.2017 Dima Kegman

(potpis)