

Integracija kooperativnog koncepta u upravljanje gradskim prometom

Bubnić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:119:486148>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonio Bubnić

INTEGRACIJA KOOPERATIVNOG
KONCEPTA U UPRAVLJANJU GRADSKIM
PROMETOM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023

Zagreb, 20. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Telematika u prijevoznim sredstvima**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7068

Pristupnik: **Antonio Bubnić (0135254887)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Integracija kooperativnog koncepta u upravljanje gradskim prometom**

Opis zadatka:

Kroz ovaj diplomski rad potrebno je definirati i objasniti kooperativni koncept u prometu, te objasniti i prikazati arhitekturu upravljanja gradskim prometom. Također, potrebno je napraviti analizu učinka ITS rješenja kroz konkretan primjer.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Miroslav Vujić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

INTEGRACIJA KOOPERATIVNOG KONCEPTA U
UPRAVLJANJU GRADSKIM PROMETOM

INTEGRATION OF COOPERATIVE CONCEPT IN
URBAN TRAFFIC CONTROL

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Antonio Bubnić

JMBAG: 0135254887

Zagreb, rujan 2023

SAŽETAK

Kooperativni koncept omogućuje bolje funkcioniranje prometa zbog komunikacije sa svim sudionicima prometa (vozila, vozači i infrastruktura). Prednosti koji kooperativni sustavi nude su povećanje sigurnosti, reducirano zagađenje okoliša, povećana efektivnost i zadovoljstvo korisnika. Kooperativni sustavi se susreću sa izazovima poput složenosti provedbe, sigurnosti podataka i privatnosti, prihvaćanja od strane korisnika i zakonskih regulativa. ITS-a (Inteligentni transportni sustav) je nadogradnja klasičnog sustava kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika te manja onečišćenja okoliša. Koristeći simulacijski alat Vissim kreirana je simulacija realnog prometnog sustava na lokaciji Remetinečka – Naletilićeva ulica. Kombinacija različitih vrsta prometnih infrastruktura daje idealan prostor za primjenu kooperativnog koncepta. Postavljanjem komunikacije između vozila i infrastrukture te vozila i vozila promatrani prometni sustav kreirana je nova simulacija. Usporedbom prometnih parametara novo predloženo stanje je kvalitetnije rješenje. Vrijeme putovanja kroz raskrižje se reduciralo u prosjeku za 10 sekundi, kašnjenje i kašnjenje zbog zaustavljanja se smanjilo za otprilike 50% i razina usluge se podigla sa razina B i C na razinu A. ovom analizom pokazana je isplativost primjene kooperativnih sustava u prometu unatoč izazovima prilikom njene implementacije.

Ključne riječi: inteligentni transportni sustavi, kooperativno upravljanje, sigurnost prometa.

SUMMARY

The cooperative concept enables better traffic functioning due to communication with all traffic participants (vehicles, drivers and infrastructure). The advantages that cooperative systems offer are increased safety, reduced environmental pollution, increased efficiency and user satisfaction. Cooperative systems face challenges such as implementation complexity, data security and privacy, user acceptance, and regulatory compliance. ITS (intelligent transport system) is an upgrade of the classic system, which achieves a significant improvement in performance, traffic flow, improvement in traffic safety, passenger comfort and protection, and less environmental pollution. Using the simulation tool Vissim, a simulation of the real traffic system was created at the Remetinečka - Naletilićeva street. The combination of different types of transport infrastructure provides an ideal space for the application of the cooperative concept. A new simulation was created by setting up communication between all traffic entities. By comparing traffic parameters, the new proposed state is a better solution. Travel time through the intersection decreased by an average of 10 seconds, delay and stop delay decreased by approximately 50%, and the level of service rose from Level B and C to Level A. This analysis demonstrated the cost-effectiveness of implementing cooperative traffic systems despite the challenges during its implementation.

Keywords: Intelligent Transport Systems, cooperative management, traffic safety.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. DEFINICIJA KOOPERATIVNOG KONCEPTA | 5 |
| 2.1. Prednosti i izazovi kooperativnog sustava | 5 |
| 2.2. Izazovi primjene kooperativnih sustava | 7 |
| 2.3. Budućnost primjene kooperativnih sustava u Hrvatskoj | 9 |
| 3. ARHITEKTURA SUSTAVA UPRAVLJANJA GRADSKIM PROMETOM | 12 |
| 3.1. Logički prikaz ITS arhitekture | 13 |
| 3.2. Fizički prikaz ITS arhitekture..... | 14 |
| 3.3. Komunikacijski prikaz ITS arhitekture | 14 |
| 3.4. Načela ITS arhitektura..... | 16 |
| 3.5. Razina kontrole prometa u gradovima | 17 |
| 4. PRIMJER INTEGRACIJE KOOPERATIVNOG KONCEPTA..... | 19 |
| 4.1. Odabrani koridor - područje obuhvata..... | 19 |
| 4.2. Analiza signalnog plana..... | 21 |
| 4.3. Prikupljanje relevantnih prometnih podataka..... | 23 |
| 4.4. Simulacijski alati | 26 |
| 4.5. Postavljanje simulacije | 26 |
| 4.6. Rezultati simulacije trenutnog stanja..... | 30 |
| 4.7. Rezultati simulacije predloženog stanja | 32 |
| 5. ANALIZA UČINKA INTEGRACIJE KOOPERATIVNOG KONCEPTA..... | 35 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 38 |
| LITERATURA | 41 |
| POPIS SLIKA, GRAFIKONA I TABLICA | 44 |

1. UVOD

Naglim rastom potrebe za mobilnošću, pogotovo u gradskim sredinama, prometno zagušenje postalo je problem koji je uzrokovao pad kvalitete putovanja [1]. Porastom broja vozila u gradskim sredinama došlo je do razvoja prometnog sustava oko cestovnog prometa što je posljedično dovelo do prevelikog oslanjanja na automobile.

Kooperativni koncept je reakcija na sve veće probleme u transportu, osobito u cestovnom prometu. Razvojem novih tehnologija dana je raznolika primjena u svim granama prometa. Kooperativni koncept omogućuje da prometni sustav daleko bolje funkcionira zbog komunikacije sa svim sudionicima prometa gdje pritom omogućuje razmjenu informacija, poboljšan odaziv prometnog sustava te upravljivost.

Kreiranje kooperativnog koncepta zasluga je razvoja ITS-a (inteligentnih transportnih sustava). ITS je nadogradnja klasičnog sustava kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanja prometa, učinkovitosti transporta putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika te manja onečišćenja okoliša [2]. Razvojem ITS-a dolazi i do paralelnog razvoja inteligentnih vozila i prometnica, dinamičkih navigacijskih sustava, povezanosti korisnika u prometu putem interneta, itd. ITS integrira pojedina rješenja polazeći od zajedničke arhitekture ITS-a i dobro razrađenih sustavskih specifikacija. Takvim načinom rada sustav se adaptira u promjenjivim uvjetima i situacijama, gdje se u realnom vremenu trebaju obraditi sve prikupljene informacije. Sustav ne bi mogao funkcionirati bez uvođenja umjetne inteligencije, koja znatno ubrzava način rada, povezanost i obradu pristiglih podataka.

Problemi prometnog sustava u gradskim sredinama primjenom određenih kooperativnih principa pružaju pozitivan rezultat i predstavljaju primjer za ostatak svijeta. Amsterdam, kao primjer, se suočio sa izazovima koji su nastali zbog neplaniranih stambenih namjena zemljišta i prometnih tokova. Zanemarivanjem bi prometni sustav bio opterećen i doveo do problema uskog grla [3]. Usko grlo (eng. bottleneck) predstavlja dio prometnice sa relativno nepovoljnijim tehničko-eksploatacijskim karakteristikama u odnosu na ostale dijelove (ispred i iza) ceste, koji utječu na pogoršanje prometnih parametara i razinu usluge. Uska grla koja su najčešće uzrokovana lošom infrastrukturom, sudarima na prometnici i sl., mogu

biti uzrokovana i nekom regulativnom mjerom, poput ograničavanja brzine na vrijednosti manje od brzine zasićenog toka pri kojoj se ostvaruje maksimalni protok (npr. privremena signalizacija za vrijeme izvođenja radova) [4].

Kooperativni sustav u Amsterdamu suradnjom svih dionika poput Ministarstva infrastrukture i vodnoga gospodarstva zajedno s upraviteljima cesta, gradova i pokrajina, regionalnih središta, pošiljateljima i prijevoznicima nudi rješenje za poboljšanje dostupnosti, sigurnosti i održivosti logističkog sektora koji su povezani s četiri koridora: Amsterdam Westkant, Zuid Holland, Zeeland i Zuid Nederland. Primijenili su razne tehnologije poput informiranja teških teretnih vozila za stanje na prometnicama, inteligentne semafore te sustav za optimalno planiranje ruta vozila. Povezani prometni koridori na kojem je primijenjen kooperativni koncept daju rezultate za prijevoznika i društvo. Povezivanjem više vozila možemo bolje upravljati prometom. Prema njihovoj analizi, rezultati pokazuju 10-15% bolji protok te uštedu 1 litre goriva. Pet stotina kamiona kojima treba pet puta manje zaustavljanja po danu, znače uštedu od gotovo 1 milijuna eura za prijevoznika. Nadalje, poznavajući optimalnu rutu i slobodna mjesta za parkiranje, smanjuje se vrijeme vožnje u potrazi za parkingom. Oko 20 milijuna prijeđenih kilometara je ukupna ušteda koja ima i veliki utjecaj na okoliš zbog smanjenja štetnog utjecaja ispušnih plinova [3].

Prije same implementacije kooperativnih sustava potrebno je provesti određen proces kako bi se prikupile informacije o razini zagušenja i ostalih problema na promatranom području. Željezničko-cestovni prijelaz Remetinečka - Naletilićeva je pozicijom važan prijelaz oko kojeg postoji puno važnih objekata koji privlače veliku količinu vozila. Provedeno je brojanje prometa 5.4.2023. u vremenskom intervalu od 16:00h do 18:00h. Podaci o broju vozila služe kao ulazni podaci za simuliranje prometnih situacija. Koristeći mikro simulacijski alat PTV Vissim i VisVap mogu se predočiti realni podatci u zaseban sustav gdje mogu simulirati isto ponašanje. Zatim, pridodavanjem elemenata potrebnih za provedbu kooperativnih koncepata može se dobiti predodžba uspješnosti primjene iste. Na navedenom raskrižju korigiran je signalni plan da nakon prolaska vlaka koji stvori kolonu na južnom privozu, isti dobije dodatno vrijeme zelenog svijetla u ciklusu.

Provedna simulacija sa kooperacijskim elementima dala je određene rezultate koji su analizirani. Svi promatrani prometni parametri poput zauzeća, harmonijske i aritmetičke brzine vozila, vremena putovanja raskrižja te razine usluge pokazuju na značajno unaprjeđenje prometne usluge na tom raskrižju.

Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Definicija kooperativnog koncepta
3. Arhitektura sustava upravljanja gradskim prometom
4. Primjer integracije kooperativnog koncepta
5. Analiza učinka ITS rješenja
6. Zaključak

U uvodu su definirane svrha i ciljevi pisanja rada, postavljene su hipoteze, detektiran je problem i prikazana je struktura rada. Prikazom primjera sličnih sustava je vidljivo kako kooperativni sustavi imaju svoju primjenu u realnim sustavima i pružaju velika unaprjeđenja prometnog sustava. Predstavljena je lokacija gdje je izvedeno kooperativno rješenje prometnog sustava.

U drugom poglavlju definiran je kooperativni koncept, opisano je kako funkcionira te koje su prednosti poput sigurnosti, reduciranog zagušenja i zagađenja okoliša, povećane efektivnosti i zadovoljstvo korisnika. Također se ističu izazovi poput složenosti provedbe, sigurnosti podataka i privatnosti, interoperabilnosti, infrastrukture i financiranja, prihvaćanja od strane korisnika i zakonske regulative s kojom se susreće prilikom izrade kooperacijskog sustava.

U trećem poglavlju opisana je arhitektura kooperativnog sustava pomoću koje je dan uvid na logičke, fizičke i komunikacijske aspekte ITS arhitekture. Opisana su načela dobre ITS arhitekture i razine upravljanja koja se mogu primijeniti u gradskim sredinama.

U četvrtom poglavlju, predstavljen je primjer integracije kooperativnog sustava na raskrižju Remetinečka - Naletilićeva. Definirana je postojeća željeznička i cestovna infrastruktura te pripadajući signalni planovi. Provedeno je brojanje prometa kao pokazatelj trenutne prometne situacije i kao ulazni parametar u simulaciju. Opisana je izrada mikrosimulacijskog modela raskrižja u simulacijskom alatu PTV Vissim i VisVap. Rezultati simulacije prikazani su tablicama te su opisani promatrani parametri koji utječu na vođenje prometa.

U petom poglavlju, provedena je analiza podataka dobivenih od simulacija. Analiza podataka daje uvid koji segmenti prometovanja su se unaprijedili i u kojem omjeru u odnosu na trenutno stanje sustava koji ne koristi kooperativni koncept.

U posljednjem poglavlju, prikazuje se zaključak analize primijenjenog kooperativnog sustava.

2. DEFINICIJA KOOPERATIVNOG KONCEPTA

Kooperativni koncept predstavlja razvoj inteligentnih transportnih sustava u kojem se omogućuje suradnja ili kooperacija između glavnih elemenata prometnog sustava (vozila, vozača i infrastrukture) [5]. Kooperativni sustavi su prisutni u mnogim različitim sredinama i razinama. Sustav koji se definira kao kooperativni ima nekoliko entiteta koji donose odluke na temelju aktivnog ili pasivnog dijeljenja podataka u svrhu postizanja zajedničkog cilja.

Kooperativni koncept je reakcija na sve veće probleme u transportu, osobito cestovnom, ali i drugim modovima prometa. Razvojem novih tehnologija dana je raznolika primjena u svim granama prometa. Kooperativni koncept omogućuje da prometni sustav daleko bolje funkcionira zbog komunikacije sa svim sudionicima prometa te omogućuje razmjenu informacija, poboljšan odaziv prometnog sustava te upravljivost.

Inteligentni transportni sustavi (ITS) su “prirodno okruženje” za razvoj kooperativnog pristupa u prometu i transportu. ITS je upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnog prometnog i transportnog sustava koja bitno olakšava rad samih korisnika. ITS se može definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska (kibernetička) nadogradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi i odvijanja prometa. Također, transport putnika i robe postaje učinkovitiji, poboljšana je sigurnost u prometu, udobnost i zaštita putnika te su uočljiva manja onečišćenja okoliša [6]. ITS integrira pojedina rješenja na način da se koristeći zajedničku arhitekturu i takvim načinom rada sustav adaptira u promjenjivim uvjetima i situacijama, gdje se u realnom vremenu trebaju obraditi sve prikupljene informacije.

2.1. Prednosti i izazovi kooperativnog sustava

Kooperativni sustavi značajno utječu na učinkovitost, sigurnost i održivost gradskih prometnih sustava. Neki od aspekata koje bi kooperativni sustavi unaprijedili su sigurnost, reducirano zagušenje i zagađenje okoliša, povećana efektivnost i zadovoljstvo korisnika.

Sigurnost koja predstavlja najznačajniji aspekt u prometu kroz primjenu kooperativnih sustava dobila bi dodatnu dimenziju. Ljudski faktor je prema Nacionalnoj upravi za sigurnost prometa na cestama (NHTSA) vodeći uzrok prometnih nesreća [7]. Kooperativni sustavi imaju potencijal smanjiti ljudsku pogrešku dopuštajući vozilima da

komuniciraju međusobno i s infrastrukturom. Time bi se reducirao broj nesreća i ozbiljnosti sudara. Primjena kooperativnog sustava u prometu koji povećava razinu sigurnosti može upozoriti vozače na potencijalne opasnosti ili predložiti alternativne rute kako bi se izbjegle gužve i smanjila vjerojatnost sudara. Daljnjim će se razvojem autonomnih vozila, koji će biti dio kooperacijskog sustava, sve manje oslanjati na odluke vozača te će se greška vozača potpuno eliminirati.

Smanjena zagušenost je još jedna važna prednost kooperativnih sustava. Pružanjem informacija o prometnim uvjetima u stvarnom vremenu, kooperativni sustavi mogu pomoći vozačima da donesu informiranije odluke o svojim rutama, što može smanjiti kašnjenja, vrijeme putovanja, vrijeme u zaustavljenom stanju i poboljšati ukupni protok prometa. Kooperativni sustavi također mogu omogućiti učinkovitije korištenje cestovnog prostora, primjerice korištenjem koordinirane kontrole raskrižja [8]. Pružanjem informacija o prometnim uvjetima u stvarnom vremenu, kooperativni sustavi mogu pomoći vozačima da donesu informiranije odluke o svojim rutama. S tim informacijama dolazi do reduciranja vremena putovanja, korištenja ruta kojima se izbjegavaju kolone, povećanja protoka prometnica i vožnje stani kreni (eng. *Stop and Go*). Svi ti aspekti dovode do smanjenog utjecaja na okoliš. Reducira se količina ispušnih plinova poput: ugljikovog monoksida (CO), ugljikovodika (CH), dušikovog oksida (NOX), sumporovog dioksida (SO₂), krutih čestica (PM), spojeva s olovom (Pb), dušikova (IV) oksida (NO₂) i amonijaka (NH₃) [9].

Republika Hrvatska (RH), prema izvješću Hrvatske agencije za zaštitu okoliša i prirode iz 2016. godine., koje govori o proračunu emisija onečišćujućih tvari u zraku na području RH u 2014. godini, tvrdi da je promet najviše doprinio u emisijama bakra (Cu) s 80 %, olova (Pb) s 59,3 %, dušikovih oksida (NOX) s 46,9 %, te ugljikovog monoksida (CO) s 18,8 %. U RH kao i u EU, glavni uzročnik emisija onečišćujućih tvari u zraku iz prometnog sektora je cestovni promet [10]. CO₂ je najznačajniji uzročnik globalnog zatopljenja čije emisije uslijed izgaranja goriva znatno pojačavaju efekt staklenika, pa je tako cestovni promet sudjelovao u emisiji CO₂ s 35 %, a van cestovnog prometa (prvenstveno zračni promet) s 2 % [11].

Druga vrsta emisija koja ima značajan utjecaj na okolinu je buka. Dugotrajna buka intenziteta većeg od 85 dB može izazvati oštećenje sluha te izaziva reakcije središnjeg živčanog i endokrinog sustava, sustava za ravnotežu ili krvožilnog sustava. Čak i buka slabog intenziteta od 30 dB može uzrokovati teškoće spavanja. Psihički učinci buke su

smanjenje koncentracije potrebne za učenje ili rad, općenito snižavanje tolerancije na osobe i događaje u okolini, izazivanje ljutnje, promjene raspoloženja, uzrujanosti i nezadovoljstva te neželjenog ponašanja poput pojačanog neslaganja ili nesuradljivosti s okolinom [12].

Buka koju izaziva prometna infrastruktura se može podijeliti u nekoliko skupina [9]:

- Buka motora koja nastaje pri djelovanju plinova na klip u tijeku procesa kompresije i ekspanzije u cilindru motora, što proizvodi vibracije vanjskih zidova bloka motora koji emitiraju buku. Ona ovisi o radnom volumenu motora, opterećenju i broju okretaja.
- Buka usisnog sustava koja nastaje pri otvaranju i zatvaranju usisnih ventila, a njezin intenzitet ovisi o režimu rada motora, opterećenju i broju okretaja motora, vrsti zračnog filtra i prigušivača.
- Buka ispušnog sustava koja nastaje otvaranjem ispušnog ventila i naglim otpuštanjem plina u ispušni sustav. Razinu ispušne buke određuje npr. tlak u cilindru motora, brzina podizanja ventila, promjer ventila itd.
- Buka ventilatora koja nastaje radom ventilatora koji stvara širokopojasnu buku.
- Buka pneumatika koja nastaje dodiranjem pneumatika s kolnikom, a ovisi o zastoru kolnika, konstrukciji pneumatika i brzini vožnje. Povećanjem brzine za jednu četvrtinu dvostruko se povećava buka pneumatika. Buka je izraženija kod poprečno postavljenih žljebova nego kod kosih ili uzdužno postavljenih žljebova pneumatika.

Kooperativni sustavi mogu pozitivno utjecati i poboljšati učinkovitost transportnih sustava smanjenjem vremena putovanja, optimiziranjem korištenja infrastrukture, smanjenjem gužvi, reduciranjem broja smrtnih nesreća i smanjenjem zagušenja. Svi navedeni čimbenici bi svojim pozitivnim utjecajima povećali razinu usluge, smanjili vrijeme putovanja i povećali udobnost putovanja koje kao cilj povećava zadovoljstvo korisnika.

2.2. Izazovi primjene kooperativnih sustava

Prilikom primjene kooperativnih sustava postoje određeni izazovi i nedostaci koje treba savladati da bi se omogućilo funkcionalan i optimalan rad. Neki od tih izazova su

složenost provedbe, sigurnost podataka i privatnost, interoperabilnost, infrastruktura i financiranje, prihvaćanje od strane korisnika i zakonska regulativa.

Implementacija kooperativnih sustava zahtijeva integraciju različitih tehnologija, uključujući komunikacijske sustave, senzore i upravljačke sustave. Ova integracija može biti složena i izazovna, zahtijevajući opsežna testiranja i provjeru valjanosti kako bi se osiguralo da su sustavi sigurni i učinkoviti.

Kooperativni sustavi zahtijevaju prikupljanje i dijeljenje podataka između vozila i infrastrukture. Ovi podaci uključuju osobne podatke, poput lokacije i ponašanja u vožnji, koji moraju biti zaštićeni kako bi se osigurala privatnost i kako bi se spriječila njihova zlouporaba. Dosadašnji zakoni o privatnosti zabranjuju uporabu podataka na takav način da se omogućuje strancima pristup tim podacima bez pristanka korisnika.

Interoperabilnost je svojstvo kooperativnih sustava gdje novokreirani sustavi moraju biti dizajnirani da besprijeckorno rade s postojećom infrastrukturom i vozilima, što može biti izazov s obzirom na raznolikost tehnologija i komunikacijskih protokola koji se koriste. Time nastaje potreba za implementacijom pravnih i regulatornih okvira kooperativnih sustava koji se bavi složenim pitanjima kao što su odgovornost za nezgode i upravljanje podacima. Problem koji nastaje u ovom okviru je spora promjena zakona u odnosu na brzinu razvoja tehnologije. Tvrtnica Traffic data systems osnovana je u Njemačkoj 1990., a bavi se inovativnim tehnologijama u visoko integrirajućim sustavima za praćenje prometnog sustava i podataka [13]. Oni navode kako je jedan od glavnih prioriteta zaštita povjerljivosti osobnih podataka i zaštita vaših osobnih podataka od neovlaštenog pristupa. Zbog toga se mora omogućiti maksimalna razina zaštite osobnih podataka te primjena najnovijih sigurnosnih standarda. Kao privatna tvrtka podliježu odredbama sadržanim u Europskoj uredbi o zaštiti podataka (GDPR) i Njemačkom Saveznom zakonu o zaštiti podataka. Provedene su tehničke i organizacijske mjere kako bi se osiguralo pravilno pružanje usluga uz pridržavanje svih propisa o zaštiti podataka [14].

Implementacija kooperativnih sustava zahtijeva značajna ulaganja u infrastrukturu, uključujući komunikacijske sustave i senzorske mreže. Financiranje ovih sustava može biti izazov, osobito u kontekstu ograničenih javnih proračuna te nemogućnosti prepoznavanja prednosti za grad od strane javnih službi. Uspjeh kooperativnih sustava u koji se ulaže ovisi o prihvaćanju i usvajanju od strane korisnika. To može biti izazovno s obzirom na složenost sustava i potrebu za promjenom ponašanja među vozačima i drugim korisnicima prijevoza.

Korisnici nisu skloni promjenama te treba prikazati korisnost sustava tom korisniku te pojednostaviti korištenje kako bi bio prihvaćen cjelokupnoj bazi korisnika.

Rješavanje ovih izazova zahtijevat će suradnju kreatora politika, industrijskih lidera i istraživača, kao i ulaganja u istraživanje i razvoj kako bi se osiguralo da su ovi sustavi sigurni, učinkoviti i široko prihvaćeni. Uz rješavanje ovih izazova, kooperativni sustavi imaju potencijal za značajno poboljšanje učinkovitosti, sigurnosti i održivosti gradskih prometnih sustava.

2.3. Budućnost primjene kooperativnih sustava u Hrvatskoj

Prema izvješću nacionalnog programa za ITS projekte [2], pozornost je pridodana pravnim okvirima u Republici Hrvatskoj, gospodarskim interesima, aktivnostima istraživanja i razvoja te standardizaciji aktivnosti. Izdvojeno je da je cestovna infrastruktura najrazvijenija i jedna od najsigurnijih u Europi kao rezultat primjene ITS kooperativnih sustava, a pogotovo sustava upravljanja prometom i upravljanja incidentima u tunelima. Takvi sustavi su dobili nekoliko nagrada od kojih je najistaknutija EuroTAP.

Autoceste su opremljene suvremenim informacijskim i komunikacijskim sustavima za razmjenu informacija u obliku podataka, govora i slika. Centri za održavanje i kontrolu prometa imaju sustave za središnje upravljanje prometom koji se sastoje od nekoliko podsustava: centra za upravljanje prometom, kontrolne stanice, informacijskog sustava o vremenskim uvjetima na cestama, podsustava videonadzora itd. U slučaju tunela na istraženju dionici dodaju se sljedeći podsustavi: podsustav za daljinsko upravljanje i upravljanje elektroenergetskim objektima, kao i podsustav upravljanja ventilacijom kao nadzor i upravljanje ostalim sustavima izgrađenim u tunelu.

Prilikom pristupanja Republike Hrvatske u Europsku Uniju potrebno je bilo uskladiti svoje zakonodavne okvire. Isto tako, dogodile se i izmjene i dopune zakona o cestama koje je usvojio Hrvatski sabor 19. travnja 2013. godine. Direktive su zahtijevale uvođenje ITS-a u području cestovnih prometa i ostalih modova prometa. Tokom 2014. godine je napravljen nacionalni program za razvoj i implementaciju ITS-a u periodu 2014-2018 [2].

Postoji određeni nedostatak sustavnog pristupa na državnoj razini (nedostatak zakonodavnog okvira, nedostatak odgovarajućih smjernica, neuspjeh u korištenju odgovarajuće analize troškova i koristi te drugi „alati“) koji uzrokuje smanjenu

interoperabilnost sustava (elektronička naplata cestarine), povećane troškove održavanja (nadzor), lošu koordinaciju na cijeloj cestovnoj mreži u Hrvatskoj i koordinaciju prema susjednim zemljama (nepostojanje nacionalnog centra za upravljanje prometom), nedostatak intermodalnih rješenja itd. Situacija je takva na razini državnih i drugih cesta, kao i u gradskom prometu. Došlo je do značajnih promjena u razvoju ITS-a nakon pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji, kao rezultat obveznog usklađivanja hrvatskog zakonodavstva s onim u Europske unije. Uvođenje ITS-a u Zakon o cestama, a posebno u osnivanje Nacionalnog vijeća za razvoj i implementaciju ITS-a u Republici Hrvatskoj je po prvi put uspostavilo pravu „infrastrukturnu organizacijsku osnovu“ za učinkovit razvoj svih aspekata ITS-a [2].

Najnoviji pomaci u izgradnji i modernizaciji autocesta i drugih segmenata prometne infrastrukture doveli su Republiku Hrvatsku u sam vrh regije što se tiče sustava upravljanja prometom na brzim i drugim cestama, sigurnosnih sustava i zaštite na cestama i cestovnim objektima (osobito tunelima) itd. Suvremene ICT tehnologije provode se na svim hrvatskim autocestama i nekim važnijim brzim cestama (Rijeka i Splitska regija) te omogućuju daljnji napredak prema integraciji cestovne infrastrukture čime predstavljaju značajan korak u razvoju usklađenog upravljanja prometom u zemlji, regiji i šire. Implementirana tehnologija dobrim je dijelom proizvod domaće industrije, gdje je jedan od učinaka izgradnja i modernizacija autocesta, te razvoj prometne infrastrukture kroz respektabilan porast malih i srednjih poduzeća u smislu opreme cestovne telematike, te kroz istraživanje i razvoj, projektiranje, proizvodnju, montažu i održavanje telematičkih sustava različitih funkcionalnosti. Određene hrvatske tvrtke specijalizirale su se za isporuku potpuno integriranih tehnoloških rješenja za napredno upravljanje prometom na autocestama. Potrebno je naglasiti da su takva unaprjeđenja prometnog sustava dovela do pozitivnih učinka na turizam koji je važan faktor u hrvatskoj ekonomiji [2].

U bliskoj budućnosti potrebno je razviti koncept javno-privatnog partnerstva kroz zajedničke aktivnosti javnog i privatnog sektora u razvoju i implementaciji različitih sustava, kao i u pružanju raznih usluga iz područja Inteligentnih transportnih sustava. Rezultat javno-privatnog partnerstva na ovom području trebao bi uzrokovati bržu, ekonomičniju i učinkovitiju primjenu ITS-a i njegovih usluga u Republici Hrvatskoj. Pri tome je posebno važno uspostaviti sustav upravljanja prometnim podacima (prvenstveno podacima u stvarnom vremenu), kako bi se pojedinim pružateljima omogućile usluge razmjene

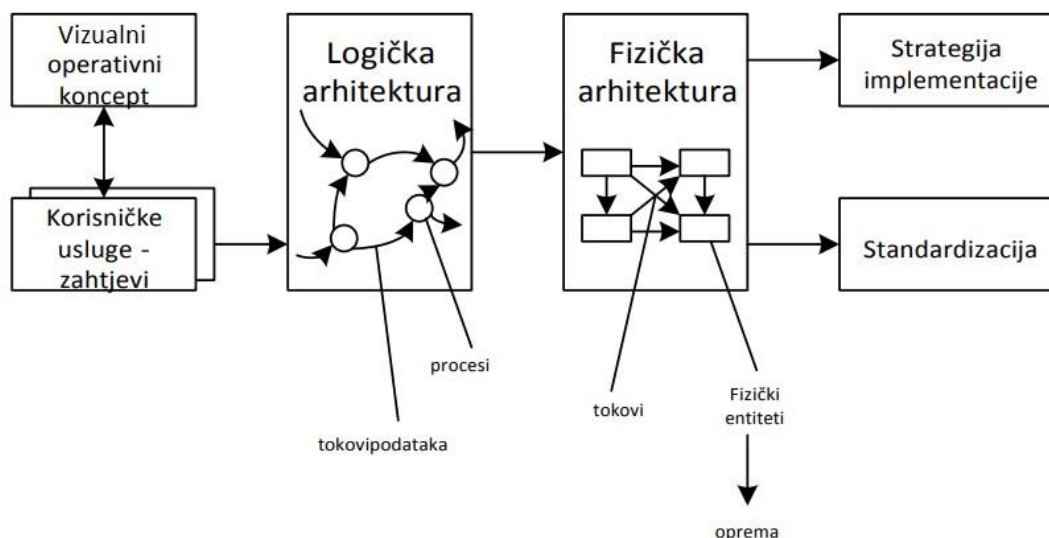
prometnih informacija, te razvoj njihovih usluga i aplikacija u ovom području. Republika Hrvatska će dobiti 9 milijardi eura iz kohezijskih fondova u razdoblju od 2021. do 2027. godine u okviru Sporazuma o partnerstvu s Komisijom za promicanje gospodarske, socijalne i teritorijalne kohezije svojih regija te zelenih i digitalnih prijelaza. Cilj je razvijati prometni sustav koji je okrenut prema učinkovitosti upotrebe energije, razvoju ostalih modova prometa i edukacija novih stručnjaka [15].

3. ARHITEKTURA SUSTAVA UPRAVLJANJA GRADSKIM PROMETOM

Sustav je skup ključnih komponenata povezanih u jednu cjelinu koji održavaju određenu funkciju. U samoj definiciji je vidljivo da se sustav sastoji od komponenata relacija i funkcija. Promet kao sustav predstavlja proces obavljanja prijevoza ili prijenosa transportnih entiteta (roba, ljudi, informacija) odgovarajućim prometnim entitetima zauzimanjem određenih kapaciteta prometnice sukladno određenim pravilima i protokolima [16].

Arhitektura sustava ITS-a je temeljna organizacija sustava koja sadrži ključne komponente, njihove odnose i veze prema okolini te načela njihova dizajniranja i razvoja. Arhitekturom sustava ITS-a moguće je definirati strukturu i ponašanje sustava, stvoriti opći predložak prema kojem je moguće planiranje, dizajniranje i implementacija promatranog sustava u realni sustav.

Na *slici 1.* prikazan je tijek razvoja arhitekture ITS-a. Prvi korak prilikom razvoja arhitekture je prikupljanje korisničkih zahtjeva, odnosno definiranje njihovih potreba. Da bi se ti zahtjevi zadovoljili potrebno je istražiti funkcionalni ili logički aspekt sustava gdje su vidljive njegove funkcije. Logičkom arhitekturom se prikazuju procesi i tipovi podataka koji su potrebni za izvedbu korisničkih zahtjeva. Fizička arhitektura daje prikaz tokova podataka kroz fizičke komponente. Na kraju, potrebno je provesti standardizaciju i strategiju implementacije arhitekture promatranog sustava.

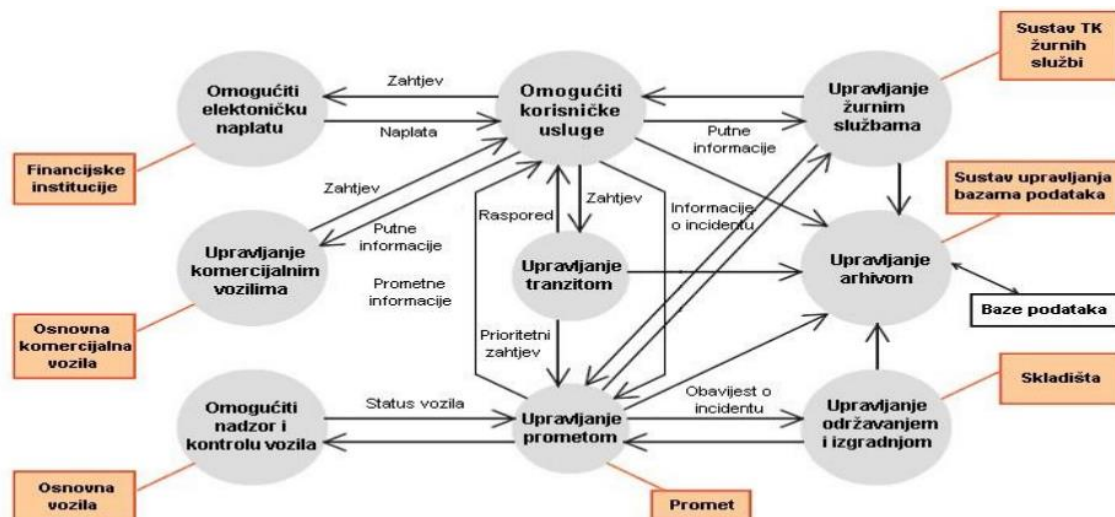


Slika 1. Tijek razvoja ITS arhitekture [16]

Arhitektura sustava se može sagledati kroz tri prikaza, to su fizički, logički i komunikacijski prikaz.

3.1. Logički prikaz ITS arhitekture

Logička ili funkcionalna arhitektura izvodi se iz specificiranih korisničkih zahtjeva i služi za izradbu fizičke arhitekture. Ova vrsta arhitekture prikazuje potrebne funkcijske procese i tokove podataka koji su potrebni da bi se zadovoljili zahtjevi korisnika i neovisna je o tehničko-tehnološkoj implementaciji (opremi). Funkcionalni tokovi podataka mogu se promatrati kao zasebna arhitektura ili kao dio logičke ili funkcionalne arhitekture. Logička arhitektura se izvodi iz precizno navedenih korisničkih zahtjeva te primarno služi pri izradi fizičke arhitekture. Slika 2. pokazuje logičku povezanost raznih sudionika u procesu upravljanja prometom [17].



Slika 2. Prikaz logičke ITS arhitekture [6]

3.2. Fizički prikaz ITS arhitekture

Fizička ITS arhitektura definira i opisuje načine kojima dijelovi funkcionalne arhitekture mogu biti povezani tako da formiraju fizičke entitete. Temeljna značajka fizičkih entiteta je da mogu provoditi jednu ili više fizičkih usluga zahtijevanih od korisnika te da mogu biti fizički realizirani. [17]

Fizička arhitektura pokazuje gdje će se funkcijski procesi smjestiti i prikazuje sučelja između glavnih komponenata sustava (centri, vozač/putnik, vozilo, prometnica). Žičane i bežične komunikacijske mreže omogućuju komunikaciju između komponenata. Komunikacijska arhitektura predstavlja dio fizičke arhitekture ITS-a i služi kao alat za realiziranje postavljenih ciljeva razvoja, kompatibilnosti i interoperabilnosti te omogućava širenje i modernizaciju sustava uz prihvatljive troškove.

3.3. Komunikacijski prikaz ITS arhitekture

Komunikacijska arhitektura definira i opisuje načine na koje se razmjenjuju informacije između različitih dijelova sustava i to korištenjem fizičke razmjene podataka koja je opisana fizičkom arhitekturom. Kooperativni prometni sustav omogućuje suradnju između vozila i prometne infrastrukture korištenjem bežičnih mreža u stvarnom vremenu. Obično postoje četiri vrste komunikacije u inteligentnom prometnom sustavu to su:

- vozilo-vozilo (V2V),
- vozilo-infrastruktura (V2I),
- vozilo-pješak (V2P) i
- vozilo-mreža (V2N) [18].

Vozilo-vozilo (V2V) je način komunikacije gdje vozila međusobno šalju i primaju informacije tokom vožnje. Informacije koje se najčešće izmjenjuju su GPS pozicija, brzina, smjer kretanja. Te informacije susjedno vozilo može iskoristiti da izračuna udaljenost između dva vozila koja međusobno komuniciraju. Unutarnjem računalu vozila te informacije mogu dati uvid u stanje na prometnici i preporučiti određene radnje kako bi se održala najveća razina sigurnosti.

Vozilo-infrastruktura (V2I) je komunikacija koja bilježi podatke o prometu koje generira vozilo, bežično dajući informacije poput savjeta infrastrukture vozilu koje informiraju vozača o sigurnosti, mobilnosti ili uvjetima povezanim s okolišem. Prilikom izvanrednih događaja u prometu poput prometnih nezgoda i nesreća ili radova na infrastrukturi koji stvaraju rep čekanja, vozila pravovremenim informiranjem mogu koristiti alternativni put do odredišta. Nadalje, tu su situacije vozila koja imaju prednost pri dolasku na prometni čvor poput javnog gradskog prijevoza (JGP-a). Komunikacija s infrastrukturom daje mogućnost manipulacije određene signalne grupe u prednost vozilu JGP-a. Isti princip je primjenjiv za vozila hitnih službi prilikom njihovog odaziva na intervenciju.

Komunikacija vozilo-pješak (V2P) uvelike povećava sigurnost pješaka u prometu gdje vozilo koristeći senzore ima mogućnost prepoznati pješaka i spriječiti mogućnost naleta na pješaka [19]. *Slika 3.* pokazuje mali segment prometne mreže u gradskoj sredini gdje je vidljivo kako prometna infrastruktura komunicira s JGP-om, žurnim službama, pješacima i vozilima.



Slika 3. Prikaz komunikacije između vozila, vlakova, žurnih službi, pješaka i infrastrukture [20]

3.4. Načela ITS arhitektura

Koncept arhitekture korišten je uz dizajn građevina koji prethodi detaljno građevinsko inženjerskom dizajnu ili projektiranju. Arhitekt vidi rješenje globalno fokusirajući se na dijelove koji su bitni za potrebe korisnika i okolinu. Pritom treba uvažavati tehničko-tehnološke mogućnosti i ekonomska ograničenja te načela. Načela „dobre“ arhitekture su:

1. Konzistentnost - uz djelomično znanje sustava moguće je predvidjeti ostatak sustava
2. Ortogonalnost - međusobno neovisne funkcije se trebaju držati odvojene u specifikaciji
3. Umjesnost (eng. Propriety) - dobra arhitektura ne sadrži uporabne funkcije
4. Transparentnost - funkcije su jasne korisnicima
5. Općenitost - funkcije se mogu višestruko koristiti
6. Otvorenost (eng. Open-endness) - mogućnost drugačijeg korištenja
7. Kompletnost - visoka razina zadovoljenja potreba korisnika uz zadana ograničenja

Dobra arhitektura također treba i uvažavati tehničko-tehnološke mogućnosti te ekonomska ograničenja.

3.5. Razina kontrole prometa u gradovima

Razina kontrole prometnog sustava u gradovima se dijeli s obzirom na kompleksnost i veličinu obuhvata. Izolirana kontrola način je upravljanja jednim izoliranim semaforiziranim raskrižjem bez komunikacije sa susjednim raskrižjima i/ili glavnim centrom za upravljanje prometom. Malo kompleksniji način upravljanja je kontrola manjeg dijela prometne mreže gdje je uspostavljena komunikacija između više semaforiziranih raskrižja te je izvedena na način da je jedan semaforski uređaj „glavni” (engl. master) i prema njemu se vrši optimizacija signalnih planova na ostalim raskrižjima. Takav način upravljanja optimalno omogućuje vođenje prometa kroz svoj nadzirani dio mreže. Problem koji nastaje je u području oko kontroliranog dijela prometne mreže jer optimalni protok mreže dovodi do zagušenja na idućem raskrižju koji nije upravljan na takav način.

„Arterijalna” kontrola je kontrola i optimizacija prometnog toka na određenom dijelu arterijalne prometnice ili glavnog prometnog pravca. Koordinacijom signalnih planova duž koridora u oba smjera.

Kontrola cijele gradske prometne mreže (svih ili većine semaforiziranih raskrižja) može biti izvedena jedino uz prisustvo centra za nadzor i upravljanje prometom. Takav centar bi dobivao ulazne podatke od svih segmenata u svojoj prometnoj mreži te bi pokušavao stvoriti optimalne uvjete vođenja prometa na razini cijele mreže. Primjena takvog sustava zahtijeva velike napore u implementaciji jer su potrebni kontrolni uređaji koji određuju logiku rada semaforiziranog raskrižja, senzori koji daju informacije o prometnom toku, uvjetima na prometnici i lociranju JGP-a. Uz to, primjena takvog sustava zahtijeva primjenu komunikacijske infrastrukture s mogućnošću pravovremenog prikupljanja i slanja podatka u centar za upravljanje. Sami centar za upravljanje mora sadržavati kompleksne algoritme za upravljanje prometom cijele nadzirane mreže. Vrste upravljanja nadzirane mreže su:

1. potpuno adaptivni sustavi,
2. lokalni prometno ovisni sustavi,
3. sustavi generiranja fiksnih signalnih planova,

4. sustavi odabira prethodno definiranih signalnih planova,
5. fiksni (ustaljeni) signalni planovi.

Prometni adaptivni sustavi prilagođavaju se svim parametrima na mreži koji utječu na vođenje prometa, dok se lokalno prometno ovisni sustavi prilagođavaju ovisno o parametrima koji su lokalno prikupljeni, poput broja vozila na raskrižju, prisutnosti vozila na određenom privozu, prisutnosti pješaka te prisutnosti JGP-a. Ostali načini upravljanja signalnim planovima sadrže više različitih signalnih planova koji su kreirani na temelju povijesnih podataka prikupljenih na tom raskrižju. Takvi signalni planovi se aktiviraju najčešće u odnosu na određeni vremenski period. Tu se posebno obraća pažnja na vršne sate gdje je u danu najveća gustoća vozila na prometnoj mreži, a zatim na ostale sate tokom dana te na noćne sate [21].

4. PRIMJER INTEGRACIJE KOOPERATIVNOG KONCEPTA

Prepoznato je raskrižje u Remetincu koje je zbog konstantnog povećanja broja vozila kroz godine i željezničkim prijelazom u razini gdje vlakovi učestalo prelaze i stvaraju dodatne kolone pogodno za primjenu kooperativnog sustava s namjenom boljeg vođenja i upravljanja prometa. U ovom primjeru postoje razne infrastrukturne komponente i razni prijevozni entiteti (cestovna vozila i vlakovi) koji imaju potencijal da kooperativnim sustavom dovedu do značajnih unaprjeđenja razine usluge na tom području.

4.1. Odabrani koridor - područje obuhvata

Slika 4. prikazuje prostorni obuhvat raskrižja čijim promatranjem je vidljivo da se veći dio prometa odvija upravo zbog okolnih objekata i atrakcije obližnjih zona. Smjer Remetinečki gaj (sjeverni privoz) privlači vozila zbog stambenih zona, trgovačkih atrakcija (trgovački objekt Arena centar i drugi manji trgovački centri), sportsko-rekreacijskih (sportska dvorana Arena), policijske postaje, doma zdravlja i centra za kulturu. Remetinečka cesta (istočni privoz) je izložena velikom broju vozila javnog prijevoza koji idu prema okretištu Savski most i na Glavni kolodvor u Zagrebu. Iz smjera Naletilićeve ulice (južni privoz) vozila se kreću iz stambenih objekata prema gradu na posao te se vraćaju u poslijepodnevnom vršnom satu. U neposrednoj blizini nakon raskrižja se nalazi željeznička stanica s velikim prometom, kako teretnih, tako i putničkih vlakova.



Slika 4. Šire područje obuhvata

Na *slici 5.* je поближе prikazano raskrižje gdje širine prometnih traka na svim privozima iznose 3 m, poprečni nagib je prilagođen za odvodnju 2,5%, brzina prilaznja raskrižju označena prometnim znakovima je 60 km/h. Prosječna brzina prolaska kroz raskrižje je 40 km/h u idealnom slučaju, ali zbog povećane količine vozila ta brzina je znatno manja od idealne. Također, biciklistička staza ne postoji u cijeloj zoni raskrižja i na svim privozima raskrižju, već samo na sjevernom i istočnom. Širine pješačkih prijelaza su 3,5 m, a biciklističkih staza 1,25 m. Označen nagib pri prilasku željezničko-cestovnom prijelazu za cestovna vozila je 8%. Širina kolosijeka u Hrvatskoj je standardizirana i iznosi 1435 mm [22].

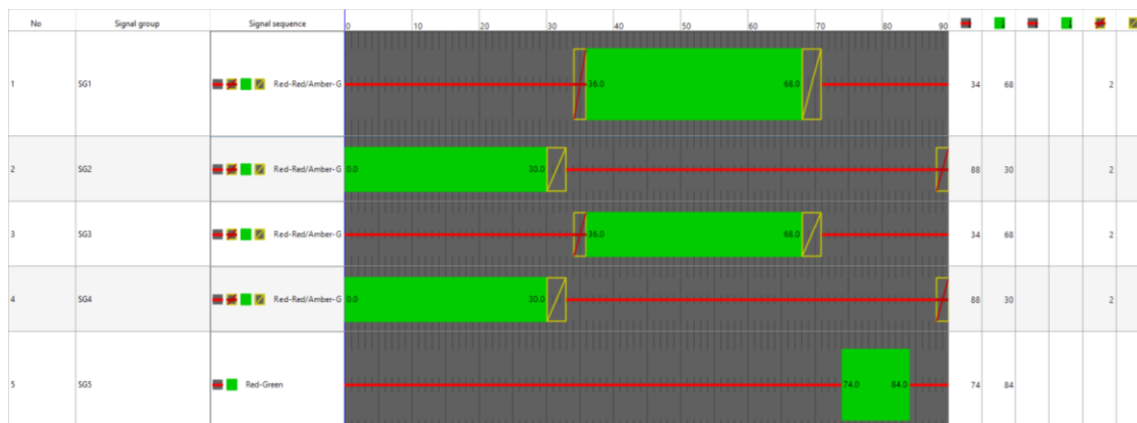


Slika 5. Uže područje obuhvata

4.2. Analiza signalnog plana

Signalni ciklus predstavlja vremenski period koji je potreban za obavljanje izmjene cijele sekvence određenih signalnih faza, odnosno ciklus označava vrijeme trajanja jednostrukog isteka definiranog signalnog plana. Trajanje signalnog ciklusa uvjetno je podijeljeno prema broju faza definiranih na jednom raskrižju sa semaforima. Signalna faza definirana je kao dio signalnog ciklusa u kojem određeni prometni tokovi imaju istodobno neometan prolaz, pri čemu je može činiti samo jedna ili više signalnih grupa. Zakonom o sigurnosti cestovnog prometa definirani su sljedeći signalni pojmovi: crveno svjetlo, žuto svjetlo, zeleno svjetlo, crveno-žuto svjetlo te treptajuće žuto svjetlo. Zaštitno međuvrijeme definirano je kao razlika dviju konfliktnih signalnih grupa koje dolaze za redom te ovise o tri vremenske komponente: provozno vrijeme, vrijeme pražnjenja i vrijeme naleta. Ciklus traje 90 sekundi i uključuje dvije faze. U prvoj fazi zeleno svjetlo je na Remetinečkoj cesti i Karlovačkoj cesti traje 32 sekundi s 3 sekunde zaštitnog međuvremena. Sveukupno, prva faza traje 35 sekunde, nakon čega se prelazi na drugu fazu. Zatim, za signalne grupe koje predstavljaju Remetinečki gaj i Naletilićevu ulicu koji ima fazu u duljini od 30 sekundi te duljinom zaštitnog međuvremena u trajanju od 3 sekunde. Postoje dodatna zelena svjetla u duljini od 15 sekundi kada vozila i Naletilićeve ulice skreću u Remetinečku cestu i obrnuto,

te kada vozila s Karlovačke ceste skreću u Remetinečki gaj. *Slika 6.* pokazuje signalni plan raskrižja.



Slika 6. Signalni plan raskrižja Remetinečka - Naletilićeva

Vođenje pješачkih tokova odvija se unutar pojedine faze kretanja vozila te oni nisu posebno šticeeni. Također, biciklistička staza ne postoji u cijeloj zoni raskrižja i na svim privozima raskrižju već samo na sjevernom i istočnom. Širine pješāčkih prijelaza su 3,5 m, a biciklističkih staza 1,25 m. Trak za odvajanje vozila infrastrukturno je izveden samo na privozu Remetinečki gaj. Na privozu Remetinečki gaj čini poseban trak za lijevo skretanje i poseban trak za vozila koja voze ravno te su vozila koja skreću desno neovisna o semaforском ciklusu. S Karlovačke ceste čini poseban trak za desno skretanje te zajednički trak za vozila koja nastavljaju ravno i skreću lijevo. Remetinečka cesta sadrži poseban trak za lijevo skretanje, a zajednički za desno i ravno.

Sustav upravljanja prometom prometnim svjetlima izravno je povezan s prometnom signalizacijom na željezničko–cestovnom prijelazu Remetinec, koja uzrokuje prekid rada semaforског uređaja u trenutku detekcije nailaska vlaka i postavlja ga u rad treptećeg žutog svjetla. Ta situacija ponavlja se svakog puta kada jednokolosječnom prugom naiđe vlak, spusti se polubranik i time je prolazak vozilima južnog privoza onemogućen stvarajući tako postepeno velik rep čekanja sa svih privoza. Prijelaz je osiguran polubranicima i svjetlosnom signalizacijom. Intervali prolaska vlakova su između 20-25 minuta za vrijeme vršnih sati. Prijelaz je osiguran najvišim stupnjem sigurnosti, polubranicima i svjetlosni signalom, te ovim prijelazom prolazi samo jedan kolosijek. U neposrednoj blizini željezničko-cestovnog

prijelaza nalazi se stajalište za putnike koji se ukrcavaju u putničke vlakove koji dodatno otežavaju prolazak kroz raskrižje zbog dužeg stajanja na prijelazu.

Smještaj autobusnih stajališta iza raskrižja upravljanih prometnim svjetlima osigurava dobro odvijanje prometnog toka ostalih vozila sve do trenutka uključenja više autobusa javnog prijevoza u prometni tok čime se utječe na smanjenje propusne moći u području raskrižja, a posljedično se i povećava broj pješaka na pješačkim prijelazima. Duljina autobusnog stajališta na istočnom privozu je 40 m, a na zapadnom 50 m. Geometrijski oblik raskrižja je pravilan te nema velikih odnosno malih kutova pri ulasku u raskrižje jer su svi su približno 90°. Raslinje i ostale prirodne prepreke ne smanjuju vidno polje vozača i pješaka u ni u jednom godišnjem dobu [23].

4.3. Prikupljanje relevantnih prometnih podataka

Brojanje prometa predstavlja osnovicu prometnog prognoziranja, planiranja, projektiranja i gospodarenja prometnim sustavom i cestama. Podatci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Cilj brojanja prometa je sustavno prikupljanje podataka o značajkama cestovnog prometa na što je moguće većem dijelu cestovne mreže u svrhu:

- prometnog i urbanističkog planiranja,
- planiranja perspektive prometne mreže nekoga većeg područja ili oblikovanja nekoga prometnog čvora,
- eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže i izgradnje novih prometnih pravaca,
- reorganizacije prometnih tokova.

Kvalitetan sustav brojanja prometa na cestama od posebne je važnosti jer prikupljeni i statistički obrađeni podaci omogućuju praćenje i analiziranje prometnih potreba, uočavanje nedostataka te na činjenicama utemeljeno prognoziranje, planiranje i projektiranje raznovrsnih elemenata modernog prometnog i transportnog sustava. Brojanje prometa se može provoditi tokom jednog ili više dana, kontinuirano ili prekidno. Prilikom svakog brojanja potrebno je odrediti vremenske intervale unutar jednog dana, odnosno broji li se samo nekoliko specifičnih sati u danu ili kontinuirano svi sati.

Postojeća podjela načina brojanja prometa je [24]:

- ručno,
- automatsko,
- kamerom,
- naplatno,
- satelitsko,
- brojanje vozila prevezenih trajektima,
- brojanje na parkirališnim površinama.

U *tablici 1.* prikazani su rezultati brojanja prometa koje je provedeno u terminu od 16h do 18h. Privoz sjever predstavlja Remetinečki gaj, Istok predstavlja Karlovačku cestu, Zapad predstavlja Remetinečku cestu i Južni privoz predstavlja Naletilićevu ulicu dok oznaka TTV označuje teško teretno vozilo.

Tablica 1. Rezultati brojanja prometa (5. Travanj 2023., 16:00 – 18:00 sati)

| Vrijeme | Privoz Sjever | | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | Lijevo | | | Ravno | | | Desno | | |
| | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus |
| 16:00 - 16:15 | 18 | 0 | 0 | 62 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| 16:15 - 16:30 | 42 | 0 | 1 | 26 | 0 | 0 | 18 | 1 | 1 |
| 16:30 - 16:45 | 25 | 1 | 1 | 43 | 5 | 0 | 25 | 0 | 0 |
| 16:45 - 17:00 | 24 | 1 | 1 | 92 | 2 | 1 | 12 | 1 | 0 |
| 17:00 - 17:15 | 18 | 0 | 0 | 62 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| 17:15 - 17:30 | 42 | 0 | 1 | 26 | 0 | 0 | 18 | 1 | 1 |
| 17:30 - 17:45 | 25 | 1 | 1 | 43 | 5 | 0 | 25 | 0 | 0 |
| 17:45 - 18:00 | 24 | 1 | 1 | 92 | 2 | 0 | 12 | 1 | 0 |
| Ukupno | 218 | 4 | 6 | 446 | 14 | 1 | 138 | 4 | 2 |
| | 228 | | | 461 | | | 144 | | |
| Vrijeme | Privoz Istok | | | | | | | | |
| | Lijevo | | | Ravno | | | Desno | | |
| | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus |
| 16:00 - 16:15 | 53 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 16:15 - 16:30 | 110 | 8 | 1 | 79 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 16:30 - 16:45 | 72 | 0 | 2 | 82 | 5 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 16:45 - 17:00 | 73 | 0 | 0 | 71 | 1 | 0 | 13 | 1 | 0 |
| 17:00 - 17:15 | 85 | 1 | 1 | 62 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 17:15 - 17:30 | 56 | 1 | 0 | 71 | 0 | 0 | 10 | 1 | 0 |
| 17:30 - 17:45 | 53 | 0 | 1 | 55 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 17:45 - 18:00 | 223 | 8 | 4 | 247 | 5 | 0 | 48 | 0 | 0 |
| Ukupno | 725 | 18 | 9 | 727 | 16 | 0 | 110 | 2 | 0 |
| | 752 | | | 743 | | | 112 | | |
| Vrijeme | privoz Jug | | | | | | | | |
| | Lijevo | | | Ravno | | | Desno | | |
| | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus |
| 16:00 - 16:15 | 53 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 16:15 - 16:30 | 110 | 8 | 1 | 79 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 16:30 - 16:45 | 72 | 0 | 2 | 82 | 5 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 16:45 - 17:00 | 73 | 0 | 0 | 71 | 1 | 0 | 13 | 1 | 0 |
| 17:00 - 17:15 | 85 | 1 | 1 | 62 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 17:15 - 17:30 | 56 | 1 | 0 | 71 | 0 | 0 | 10 | 1 | 0 |
| 17:30 - 17:45 | 53 | 0 | 1 | 55 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 17:45 - 18:00 | 223 | 8 | 4 | 247 | 5 | 0 | 48 | 0 | 0 |
| Ukupno | 725 | 18 | 9 | 727 | 16 | 0 | 110 | 2 | 0 |
| | 752 | | | 743 | | | 112 | | |
| Vrijeme | privoz Zapad | | | | | | | | |
| | Lijevo | | | Ravno | | | Desno | | |
| | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus | Automobil | TTV | Bus |
| 16:00 - 16:15 | 53 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 16:15 - 16:30 | 110 | 8 | 1 | 79 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 16:30 - 16:45 | 72 | 0 | 2 | 82 | 5 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 16:45 - 17:00 | 73 | 0 | 0 | 71 | 1 | 0 | 13 | 1 | 0 |
| 17:00 - 17:15 | 85 | 1 | 1 | 62 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 17:15 - 17:30 | 56 | 1 | 0 | 71 | 0 | 0 | 10 | 1 | 0 |
| 17:30 - 17:45 | 53 | 0 | 1 | 55 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 17:45 - 18:00 | 223 | 8 | 4 | 247 | 5 | 0 | 48 | 0 | 0 |
| Ukupno | 725 | 18 | 9 | 727 | 16 | 0 | 110 | 2 | 0 |
| | 752 | | | 743 | | | 112 | | |

4.4. Simulacijski alati

PTV Vissim je multimodalni softverski paket koji služi za simulaciju prometnog toka te je korišten u svrhu izrade ovoga rada. Razvijen je od strane njemačke softverske kompanije PTV Group, a po prvi puta se pojavljuje 1992. godine. Ime proizlazi iz “**Verkehr In Stadten – SIM**ulationsmodell” (njem. Promet u gradovima – simulacijski model). Opseg primjene seže od raznih pitanja prometnog inženjerstva, javnog prijevoza, urbanizma, zaštite od požara, pa sve do 3D vizualizacije za bolji prikaz te bolje prenošenje informacija [25]. PTV Vissim simulacijski alat omogućuje korisniku stvaranje potrebne prometne mreže, postavljanje parametara mreže poput duljine, prometnih pravila i sl., te definiranje količine i vrste prometa s ciljem dobivanja bitnih informacija o samom djelovanju prometa temeljem kojih se mogu istraživati i stvoriti nova optimalna rješenja za buduće bolje djelovanje prometa, te povećanje sigurnosti i doprinos ekološkim utjecajima prometa.

VisVap je ekstenzija programskog softverskog alata PTV Vissim i preko dijagrama toka koji ima mogućnost očitavanja podataka sa detektora daje dodatne mogućnosti u razvoju signalnih planova za semafore. Kada je novi signalni plan ispravno izrađen u VisVapu generira .vap tip datoteke koji se pozove u simulaciji i prema njemu vodi promet na raskrižju.

4.5. Postavljanje simulacije

Korištenjem mikrosimulacijskog alata PTV Vissim stvoren je novi projekt. Pokretanjem alata dobiven je kartografski prikaz svijeta na kojem izrađujemo željeni model. U prvom koraku bilo je potrebno kreirati linkove (eng. *Links*), odnosno prometnu mrežu koja se promatra. Svaki link ima određene parametre koje je potrebno urediti poput naziva, širine prometne trake, broja prometnih traka te broja traka u suprotnom smjeru.

Kada su postavljeni svi linkovi te je kreirana željena prometna mreža, bilo je potrebno definirati pravila za vođenje prometa. Prvi segment su područja reducirane brzine (eng. *Reduced Speed Areas*) koja definiraju određene segmente linkova, tj. prometnica gdje prilikom skretanja sva vozila kreću usporeno. Postavljeni parametri su: dužina područja za usporenje i brzina kojom se vozila kreću tom dužinom. Ukoliko se taj segment ne definira, vozila bi se kretala neprirodnom brzinom. Brzina koja je definirana je 12 km/h.

Prometna mreža koja je kreirana ima određene konfliktne točke (eng. Conflict Areas). Raskrižje je semaforizirano, ali zbog konflikata potrebno je definirati koje vozilo ima prednost. Pravilo koje se primjenjuje u tom slučaju je pravilo suprotnog smjera gdje vozilo koje zadržava smjer kretanja ima prednost nad vozilom suprotnog smjera koje skreće. To pravilo je definirano u skladu sa Zakonom o sigurnosti prometa na cestama, članak 57. [26].

Nadalje, postavljeni su semafori i njihovi pripadajući signalni planovi. Signalni plan svakog semafora postavljen je prema trenutnoj prometnoj signalizaciji opisanoj u poglavlju 4.2. Definiranjem signalnih planova postavljaju se semafori sa svojim pripadajućim signalnim planom.

Nakon signalnih planova, potrebno je napraviti kompoziciju vozila (eng. Vehicle composition) kojim su se definirale skupine vozila za pojedine dionice cesta. To je određeno na način da su definirani omjeri pojave različitih vrste vozila u odnosu na cjelokupni broj vozila izbrojanih u jednom satu. Zatim je bilo potrebno definirati unos vozila (eng. Vehicle input) za svaki privoz izrađenog modela. Na primjer, na privozu Sjever izbrojano je 481 vozilo u jednom satu. Nakon unosa broja vozila potrebno je definirati sva moguća kretanja vozila cijelom prometnom mrežom te im pridijeliti odgovarajući broj vozila koji su određeni brojanjem prometa (eng. Vehicle routes).

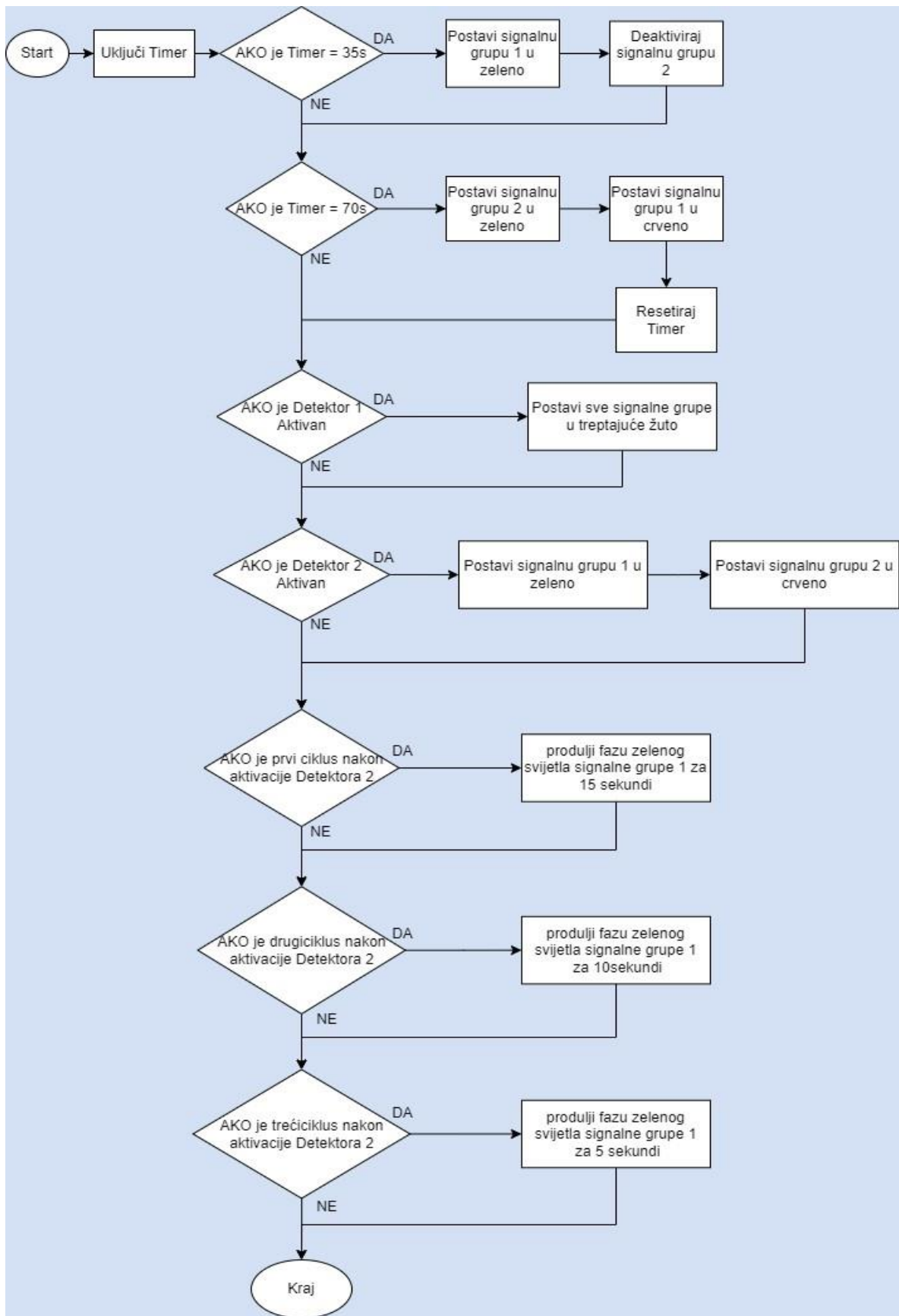
Na definiranoj dionici postoji segment željezničke infrastrukture gdje je potrebno definirati položaj infrastrukture od tračnica do stajališta. U programskom alatu PTV Vissim, pomoću opcije stajališta željezničkog prijevoza (eng. Public transport stop) moguće je definirati naziv lokacija te duljinu stanica.

Isto tako, potrebno je definirati linije javnog prijevoza (eng. Public transport lines) te njima pridodati naziv linije. Uz to, potrebno je odrediti o kojoj vrsti JGP-a se radi, brzina kojom se kreće, kojom rutom prolazi te raspored vremena polaska. Pravila vožnje tipa vozila javnog prijevoza određuju se kroz PT parametre. Određuju se kapacitet vozila JGP-a, vrijeme stajanja na stanici, vrijeme ukrcaja putnika itd.

Za potrebe prikupljanja detaljnih parametara koji će se koristiti za analizu simulacije u odnosu na omjer autonomnih vozila, definirana su područja raskrižja (engl. Nodes), točke prikupljanja podataka (engl. Data Collection Points) te područje izmjere vremena putovanja (eng. Vehicle Travel Times). Nakon definiranja svih prethodno navedenih parametara, moguće je pokrenuti simulaciju te dobiti podatke za analizu trenutne prometne situacije.

Prema trenutnom signalnom planu generirana je datoteka formata .pua koja definira koliko ima signalnih grupa, koji im je redoslijed te koja stanja posjeduju. Nadalje, u VisVap-u je kreiran novi signalni plan koji je predložen kao novo rješenje i generiran je .vap tip datoteke. Obje datoteke su pozvane u simulaciji na željeno raskrižje te simulacija predloženog rješenja može polučiti nove podatke. Način rada u simulaciji je što u svakoj sekundi simulacije program prođe jednom kroz dijagram toka.

VisVap dijagram toka novog signalnog plana je prikazan na slici 8. Inicijalno je signalna grupa 1 (Karlovačka ulica – Remetinečka cesta) postavljena u stanje crvenog svijetla dok je signalna grupa 2 (Naletilićeva ulica- Remetinečki gaj) postavljena u zeleno. Nakon predviđenog vremena zelenog svijetla signalna grupa 2 se postavlja u crveno, a signalna grupa dva prijelazi u zeleno. Takav proces se ponavlja u krug sve dok se detektor 1 ne pobudi. On pali žuta svijetla na raskrižju radi prijelaza vlaka. Detektor 2 se aktivira kada vlak prolazi željezničko-cestovnim prijelazom te je omogućen siguran prolazak automobila. Nakon toga, signalna grupa 2 duljinu zelenog svijetla u prvom ciklusu ima produljenu 15 sekundi. U drugom ciklusu je produljenje 10 sekundi i u trećem ciklusu je 5 sekundi. Nakon toga signalne grupe se izmjenjuju u vremenima prethodno definiranim sve dok ponovo vlak aktivira Detektor 1.



Slika 7 Dijagram toka novog signalnog plana

4.6. Rezultati simulacije trenutnog stanja

U nastavku su priložene tablice s relevantnim podacima dobivenim iz provedenih simulacija s parametrima koji opisuju trenutno stanje promatranog raskrižja. Svi rezultati sadrže prosječnu vrijednost više provedenih simulacija. *Tablica 2.* daje vrijednosti vremena putovanja kroz raskrižje svim smjerovima smjera te vrijeme putovanja vozila kroz raskrižje.

Tablica 2. Vrijeme putovanja vozila trenutnog stanja

| Promatrana dionica | Broj vozila | Vrijeme putovanja [s] | Prijedena udaljenost [m] |
|--|-------------|-----------------------|--------------------------|
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 40.39 | 208.13 |
| Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta | 221 | 58.67 | 154.43 |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 330 | 19.25 | 123.18 |
| Remetinečka cesta - Remetinečki gaj | 93 | 24.53 | 164.91 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 230 | 55.68 | 217.88 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 70 | 57.98 | 221.85 |
| Karlovačka cesta - Remetinečki gaj | 70 | 30.65 | 169.84 |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 304 | 18.84 | 176.15 |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 139 | 48.04 | 213.26 |
| Remetinečki gaj - Remetinečka cesta | 24 | 22.1 | 144.81 |
| Remetinečki gaj - Karlovačka cesta | 65 | 112.76 | 126.5 |
| Remetinečki gaj - Naletilićeva ulica | 88 | 55.18 | 223.81 |

Tablica 3. opisuje razinu usluge svih promatranih raskrižja, te podatke bitne za ekološku analizu, kao što su potrošnja goriva i zagađenje zraka ispušnim plinovima poput CO, NOX i štetnih čestica VOC (engl. *Volatile organic compounds*).

Tablica 3. Rezultati čvora Naletilićeve ulice trenutnog stanja

| Dionica | Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Najveća duljina kolone (broj vozila) | 162.7 | 162.7 | 162.7 |
| Broj vozila | 230 | 210 | 72 |
| Razina usluge | B | B | C |
| Kašnjenje [s] | 102.32 | 101.1 | 86.13 |
| Kašnjenje zbog zaustavljanja [s] | 76.2 | 77.78 | 63.29 |
| CO [g] | 860.477 | 713.849 | 485.973 |
| NOX [g] | 167.417 | 138.889 | 94.553 |
| VOC [g] | 199.424 | 165.441 | 112.629 |
| Potrošnja [gal] | 12.31 | 10.212 | 6.952 |

Tablica 4. opisuje za koju razinu usluge je pridodano prosječno kašnjenje. Ocjene razine usluge propisane su prema HCMu (engl. *Highway Capacity Manual*).

Tablica 4. Razina usluge prometnice

| Razina usluge | Prosječno kašnjenje [s/voz] |
|---------------|-----------------------------|
| A | 10 |
| B | >10 i 20 |
| C | >20 i 35 |
| D | >35 i 55 |
| E | >55 i 80 |
| F | >80 |

Tablica 5. prikazuje prosječne harmonijske i aritmetičke brzine vozila na određenoj dionici mreže te zauzeće.

Tablica 5. Rezultati točaka za prikupljanje podataka trenutnog stanja

| Privoz | Broj vozila | Prosječna aritmetička brzina [km/h] | Prosječna harmonijska brzina [km/h] | Zauzeće [%] |
|--|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 367 | 26.8 | 16.7 | 33.89% |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 125 | 11.84 | 4.2 | 35.58% |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 16.28 | 13.73 | 16.63% |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 419 | 23.7 | 13.78 | 51.54% |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 305 | 22.01 | 9.51 | 62.66% |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 211 | 13.25 | 5.1 | 33.70% |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 367 | 26.8 | 16.7 | 33.89% |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 125 | 11.84 | 4.2 | 35.58% |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 16.28 | 13.73 | 16.63% |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 419 | 23.7 | 13.78 | 51.54% |

Formule za izračun prosječne aritmetičke i harmonijske brzine su:

- Prosječna aritmetička brzina

$$(1) \bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

- Prosječna harmonijske brzina

$$(2) \bar{x} = n (\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i})^{-1}$$

Gdje je:

\bar{x} - Prosječna aritmetička i harmonijska brzina.

n - Broj brzina.

$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$ - Zbroj vrijednosti brzina.

Zauzeće (eng. *Occupancy*) prometnice predstavlja postotak vremena na promatranoj cesti gdje je dionica zauzeta vozilima ili ukupno vrijeme boravka vozila u zoni detekcije u promatranom intervalu (%).

Na kraju slijedi *tablica 6.* koja prikazuje prikupljene podatke o kašnjenju na svakoj dionici. Tablica sadrži podatke o prosječnom zaustavnom kašnjenju, prosječnom broju zaustavljanja po vozilu te prosječnom kašnjenju svih vozila.

Tablica 6. Rezultati kašnjenja vozila trenutnog stanja

| Dionica | Prosječno zaustavljeno kašnjenje [s] | Prosječni broj zaustavljanja po vozilu [%] | Prosječno kašnjenje svih vozila [s] |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 16.87 | 1.21 | 20.34 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 31.9 | 0.7 | 39.73 |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 5.53 | 0.6 | 10.31 |
| Karlovačka cesta - Remetinečki gaj | 5.04 | 0.91 | 7.6 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 30.78 | 1.23 | 41.49 |
| Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta | 26.44 | 6.54 | 35.34 |
| Remetinečka cesta - Remetinečki gaj | 9.04 | 0.47 | 11.9 |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 1.85 | 1.48 | 6.82 |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 16.92 | 3.65 | 25.9 |
| Remetinečki gaj - Karlovačka cesta | 3.35 | 0.88 | 5.95 |
| Remetinečki gaj - Remetinečka cesta | 84.46 | 5.57 | 93.9 |
| Remetinečki gaj - Naletilićeva ulica | 29.97 | 1.56 | 40.43 |

4.7. Rezultati simulacije predloženog stanja

Za simulaciju sa predloženim signalnim planom priložene su sljedeće tablice. *Tablica 7.* iskazuje podatke o vremenu putovanja, *tablica 8.* prikazuje razinu usluge, *tablica 9.* daje uvid na ekološke parametre i brzine vozila kroz raskrižje. Naposljetku, *tablica 10.* prikazuje kašnjenje na raskrižju.

Tablica 7. Vrijeme putovanja vozila predloženog stanja

| Promatrana dionica | Broj vozila | Vrijeme putovanja [s] | Prijedena udaljenost [m] |
|--|-------------|-----------------------|--------------------------|
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 45.98 | 208.13 |
| Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta | 221 | 48.93 | 154.43 |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 330 | 19.64 | 123.18 |
| Remetinečka cesta - Remetinečki gaj | 93 | 24.99 | 164.91 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 230 | 46.39 | 217.88 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 71 | 50.18 | 221.85 |
| Karlovačka cesta - Remetinečki gaj | 71 | 30.07 | 169.84 |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 304 | 18.25 | 176.15 |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 140 | 46.13 | 213.26 |
| Remetinečki gaj - Remetinečka cesta | 29 | 18.32 | 144.81 |
| Remetinečki gaj - Karlovačka cesta | 91 | 82.9 | 126.51 |
| Remetinečki gaj - Naletilićeva ulica | 111 | 46.03 | 223.81 |

Tablica 8. Rezultati čvora Naletilićeve ulice predloženog stanja

| Dionica | Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Najveća duljina kolone (broj vozila) | 157.1 | 157.1 | 157.1 |
| Broj vozila | 230 | 210 | 72 |
| Razina usluge | A | A | B |
| Kašnjenje [s] | 59.98 | 60.77 | 47.23 |
| Kašnjenje zbog zaustavljanja [s] | 41.45 | 43.74 | 30.98 |
| CO [g] | 555.037 | 496.8 | 196.038 |
| NOX [g] | 107.99 | 96.659 | 38.142 |
| VOC [g] | 128.635 | 115.138 | 45.434 |
| Potrošnja [gal] | 7.94 | 7.107 | 2.805 |

Tablica 9. Rezultati točaka za prikupljanje podataka predloženog stanja

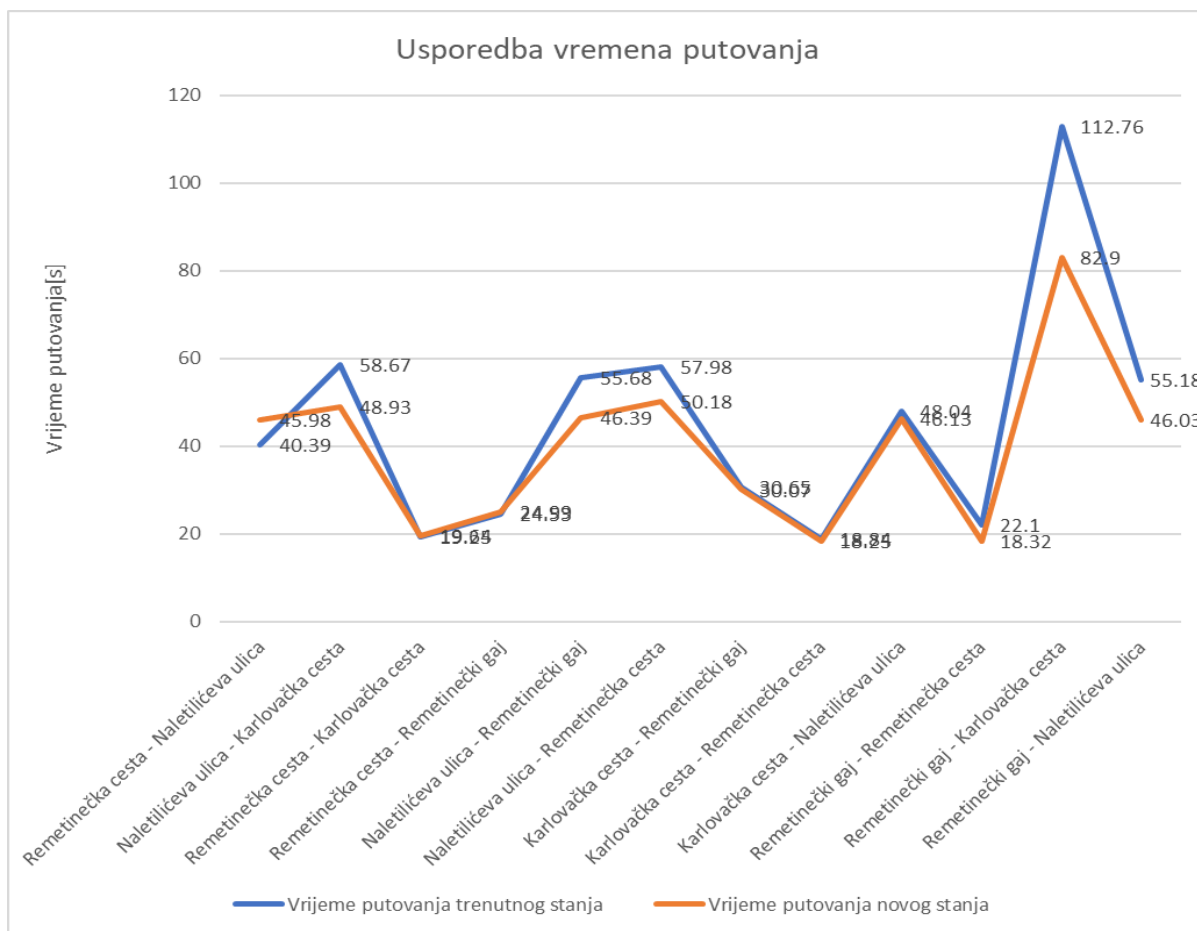
| Privoz | Broj vozila | Prosječna aritmetička brzina [km/h] | Prosječna harmonijska brzina [km/h] | Zauzeće [%] |
|--|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 376 | 26.5 | 13.28 | 33.02% |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 140 | 11.94 | 4.58 | 35.12% |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 14.64 | 12.62 | 24.83% |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 424 | 23.46 | 15.6 | 56.50% |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 304 | 23.63 | 11.73 | 49.34% |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 222 | 13.74 | 4.38 | 37.46% |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 376 | 26.5 | 13.28 | 33.02% |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 140 | 11.94 | 4.58 | 35.12% |
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 72 | 14.64 | 12.62 | 24.83% |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 424 | 23.46 | 15.6 | 56.50% |

Tablica 10. Rezultati kašnjenja vozila predloženog stanja

| Dionica | Prosječno zaustavljeno kašnjenje [s] | Prosječni broj zaustavljanja po vozilu [%] | Prosječno kašnjenje svih vozila [s] |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Karlovačka cesta - Naletilićeva ulica | 22.32 | 0.67 | 25.82 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | 22.79 | 0.6 | 29.95 |
| Karlovačka cesta - Remetinečka cesta | 6.36 | 0.33 | 10.71 |
| Karlovačka cesta - Remetinečki gaj | 5.78 | 0.48 | 8.01 |
| Naletilićeva ulica - Remetinečki gaj | 23.29 | 0.81 | 32.19 |
| Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta | 18.86 | 1.75 | 27.5 |
| Remetinečka cesta - Remetinečki gaj | 8.85 | 0.39 | 11.31 |
| Remetinečka cesta - Karlovačka cesta | 1.63 | 0.5 | 6.22 |
| Remetinečka cesta - Naletilićeva ulica | 15.91 | 1.89 | 23.91 |
| Remetinečki gaj - Karlovačka cesta | 0.34 | 0.38 | 2.43 |
| Remetinečki gaj - Remetinečka cesta | 56.25 | 3.82 | 64.01 |
| Remetinečki gaj - Naletilićeva ulica | 21.96 | 0.93 | 31.33 |

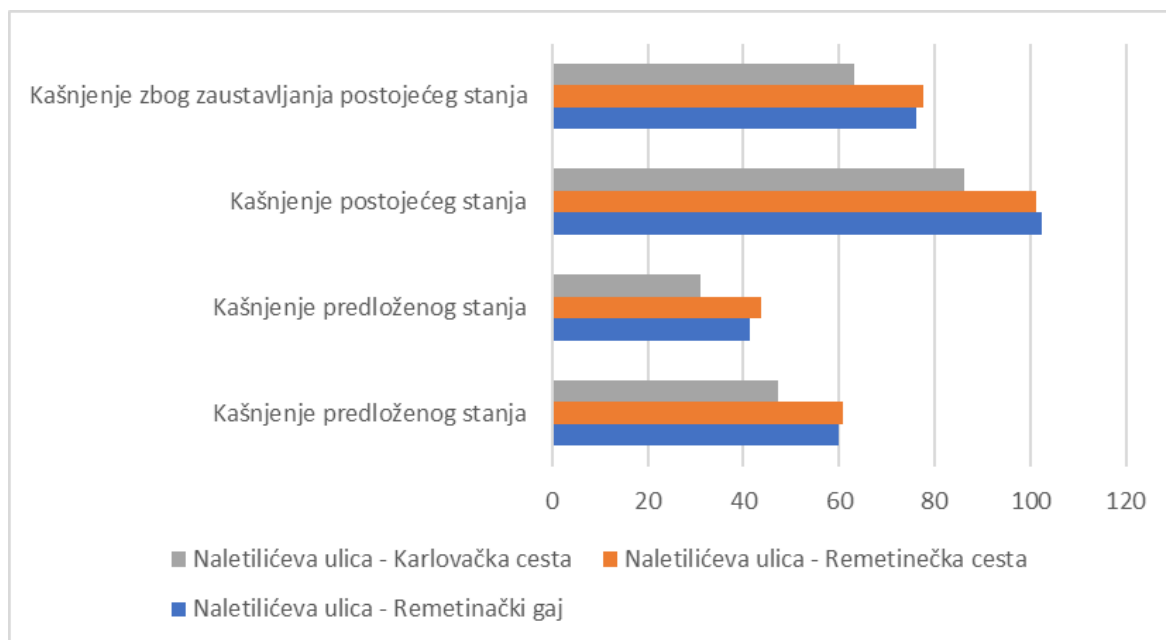
5. ANALIZA UČINKA INTEGRACIJE KOOPERATIVNOG KONCEPTA

Nakon svih provedenih simulacija te izvučenih relevantnih podataka, potrebno je provesti analizu i usporedbu podataka u pronalaženju optimalnog rješenja. Za početak, *grafikon 1.* sagledati će vremena putovanja vozila za svaki pojedini smjer putovanja kroz raskrižje. Vidljivo je da vrijeme putovanja u svim smjerovima kroz raskrižje manje ili isto. Naletilićeva ulica koja na raskrižju predstavlja najveće poteškoće pri normalnom prometovanju zbog cestovno-željezničkog prijelaza u svakom smjeru kretanja ima smanjeno vrijeme putovanja.



Grafikon 1. Usporedba vremena putovanja postojećeg i novopredloženog stanja

Grafikon 2. pokazuje kašnjenje i kašnjenje zbog zaustavljanja Naletilićeve ulice. Prikazana ulica u postojećem stanju ima kašnjenje u rasponu od 65 sekundi do 105 sekundi. Primjenom predloženog stanja kašnjenja su u rasponu od otprilike 30 sekundi do maksimalno 61 sekundu.



Grafikon 2. Kašnjenje na Naletilićevoj ulici

Razina usluge podatak je koji opisuje kvalitetu koju nudi samo raskrižje. Razina usluge ovisi o vremenu kašnjenja, duljini kolone te ostalim parametrima koji utječu na kvalitetu raskrižja. U tablici 11. vidljivo je kako se razina usluge na Naletilićevoj ulici povećala sa razine B i C na razine A. Takav rezultat je očekivan jer Naletilićeva ulica ima niže vrijeme kašnjenja i duljinu kolone.

Tablica 11. Razina usluge Naletilićeve ulice

| Dionica | Naletilićeva ulica - Remetinački gaj | Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta |
|---------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Razina usluge | B | B | C |
| Razina usluge | A | A | A |

Tablica 12. pokazuje razinu ispušnih plinova CO, NOX i VOC koju su vozila emitirala tokom simulacija. Trenutno stanje pokazuje velike vrijednosti emisije kao rezultat čestog zaustavljanja u koloni pred semaforom te vožnjom iz zaustavljenog stanja. Predloženo stanje uvelike utječe pozitivno na razinu ispušnih plinova emitiranih od automobila jer je reducirano vrijeme zaustavljanja duljine kolone te vrijeme putovanja kroz raskrižje. Rezultati pokazuju da se razine CO-a smanjile sa 860 grama na 555 grama, NOX se smanjio za otprilike 60 grama i VOC za 70 grama na pravcu Naletilićeva ulica - Remetinački gaj. Prateći isti trend vidljivo je kako se potrošnja u galonima smanjila za 5 galona u prosjeku.

Tablica 12. Razine ispušnih plinova trenutnog i novog stanja

| Dionica | Naletilićeva ulica - Remetinački gaj | Naletilićeva ulica - Remetinečka cesta | Naletilićeva ulica - Karlovačka cesta |
|-------------------------------|---|---|--|
| Trenutno stanje | | | |
| CO [g] | 860.477 | 713.849 | 485.973 |
| NOX [g] | 167.417 | 138.889 | 94.553 |
| VOC [g] | 199.424 | 165.441 | 112.629 |
| Potrošnja [galoni] | 12.31 | 10.212 | 6.952 |
| Predloženo stanje | | | |
| CO [g] | 555.037 | 496.8 | 196.038 |
| NOX [g] | 107.99 | 96.659 | 38.142 |
| VOC [g] | 128.635 | 115.138 | 45.434 |
| Potrošnja [galoni] | 7.94 | 7.107 | 2.805 |

ZAKLJUČAK

Prometni sustav je kompleksan te u svim svojim segmentima pruža mogućnost unaprijeđena. Kooperacijski sustavi su jedan od tih aspekata koji razmjenom informacija utječu na kvalitetu prometovanja. Kooperativni koncept je ponikao iz razvoja ITS-a (inteligentnih transportnih sustava). ITS je nadogradnja klasičnog prometnog sustava i postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu te udobnost i zaštitu putnika. Kooperacijski sustavi imaju prednosti poput sigurnosti, reduciranog zagušenja i zagađenja okoliša, povećane efektivnosti i zadovoljstva korisnika, ali susreće se s izazovima poput složenosti provedbe, sigurnosti podataka i privatnosti, interoperabilnosti, infrastrukture i financiranja, prihvaćanja od korisnika i zakonskih regulativa koje otežavaju primjenu kooperativnog sustava. Kooperacijski sustavi se razvijaju koristeći koncept arhitekture kao primjer najpovoljnijeg načina izrade. Arhitektura se dijeli na tri aspekta: logička, fizička i komunikacijska. Logička arhitektura pokazuje kako bi taj sustav radio, tko su dionici, koje informacije su potrebne te sve ostalo što će dati uvid u logiku rada kooperacijskog sustava. Fizički dio arhitekture kooperacijskog sustava pokazuje sve fizičke komponente koje takav sustav mora sadržavati kako bi održao funkcionalan rad. Na fizičku arhitekturu se oslanja komunikacijska arhitektura koja preko fizičkih komponenti definira komunikacijske kanale i informacije koje prenose kroz cijeli kooperacijski sustav. Vrste komunikacije kooperacijskih sustava su: komunikacija vozila s vozilom, infrastrukturom, pješacima, žurnim službama i JGP-om. Razina kontrole kooperativnog sustava se može dijeliti na kompleksnost i veličinu obuhvata. Prostorni obuhvat može biti na razini zasebnog semafora, grupe semafora od kojih je jedan nadležan i kontrolira ostale. Još veći prostorni obuhvat bi kontrolirao cijelu gradsku mrežu. Primjer primjene kooperacijskog sustava u realnom sustavu je prepoznat na cestovno - željezničkom prijelazu Naletilićeva- savski gaj. Širim i užim područjem obuhvata su prepoznate interesne točke kojima gravitira stanovništvo i time utječu na tok vozila tim raskrižjem. Opisani su svi infrastrukturni elementi, proučen je signalni plan raskrižja i provedeno je brojanje prometa kako bi se prikupili podaci kao ulazne varijable. Izrađena je simulacija u Vissim programskom alatu te je time rekreirano trenutno stanje prometnog sustava. Primjenom kooperativnog sustava moguće je unaprjeđenje na način da se komunikacijom detektora na pruzi koji očitava prisutnost vlaka šalju informacije semaforiziranom raskrižju. Nakon prolaza vlaka i podizanja polubranika za slobodni prolaz

automobila, semaforizirano raskrižje produljuje fazu zelenog svijetla u prvom ciklusu 15 sekundi, u drugom 10 sekundi, a u trećem ciklusu 5 sekundi. Nakon tih faza duljina zelenog svijetla ciklus postavlja na početno stanje dok se ne dogodi detekcija vlaka. Polučeni su rezultati u Vissim-u kao prijedlog stanja prometnog sustava. Pokazano je da po svim prometnim parametrima novo predloženo stanje predstavlja kvalitetnije rješenje. Vrijeme putovanja se smanjilo na Naletilićevoj ulici za 10 sekundi, kašnjenje i kašnjenje zbog zaustavljanja se smanjilo za otprilike 50% i razina usluge se podigla s razina B i C na razinu A. Vissim daje mogućnost procjene emisija štetnih plinova te je i u tom aspektu drastično smanjena razina CO-a, NOX-a I VOC-a kao posljedica boljeg prometovanja prometnim sustavom. Kooperacijski sustavi daju dodatnu mogućnost unaprjeđenja koje omogućuje kvalitetniju prometnu uslugu. U budućnosti takvi sustavi će biti sve aplikabilniji zbog razvoja infrastrukture i isplativosti.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojem mentoru doc.dr.sc. Miroslavu Vujiću na usmjeravanju, savjetima i vođenju prilikom pisanja ovog rada. Također se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima za potporu tijekom mojeg studiranja.

LITERATURA

- [1] D. & M. M. & J. N. & T. L. Cvetek, »A Survey of Methods and Technologies for Congestion Estimation Based on Multisource Data Fusion,« 2021. [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/publication/349849224_A_Survey_of_Methods_and_Technologies_for_Congestion_Estimation_Based_on_Multisource_Data_Fusion. [Pokušaj pristupa 29 04 2021].
- [2] T. A. I. MINISTRY OF MARITIME AFFAIRS, *NATIONAL PROGRAMME FOR THE DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN ROAD TRANSPORT FOR THE 2014-2018 PERIOD*, 2014.
- [3] DMI, »Connected Transport Corridors,« 09 2020. [Mrežno]. Available: <https://topsectorlogistiek.nl/wp-content/uploads/2020/09/folder-connected-transport-corridors-mei-20201.pdf>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [4] d. d. s. K. d. s. M. Š. prof. dr. sc. Ivan Dadić, *TEORIJA PROMETNOG TOKA*, Zagreb: SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI, 2014.
- [5] d. d. s. M. Vujić, *Sustav dinamičkih prioriteta za vozila javnog gradskog prijevoza u automatskom upravljanju prometom*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2013.
- [6] I. Bošnjak, »Inteligentni transportni sustavi,« u *ITS 1*, Zagreb, 2006.
- [7] N. H. T. S. Administration, »NHTSA - Traffic Records,« [Mrežno]. Available: <https://www.nhtsa.gov/data/traffic-records> . [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [8] I. Lukšić, »Prikupljanje prometnih i putnih podataka u kooperativnom okruženju,« 2015. [Mrežno]. Available: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A789/datastream/PDF/view>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [9] A. Bubnić, *Utjecaj prometne infrastrukture na kvalitetu života u urbanim sredinama*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2019.

- [10] p. i. i. Ministarstvo mora, *Strateška studija utjecaja na okoliš Strategije prometnog razvoja Republike Hrvatske 2017 - 2030*, Zagreb, 2017.
- [11] M. Andrić, *Utjecaj suvremenih prometnica na okoliš i mjere*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021.
- [12] J. Krpina, *Onečišćenje prometnom bukom: izloženost, utjecaj na zdravlje i metode kontrole onečišćenja*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 2020.
- [13] »Traffic Data Systems,« [Mrežno]. Available: <https://www.traffic-data-systems.net/en/company/>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [14] »GENERAL DATA PROTECTION REGULATION (GDPR),« Traffic Data Systems, [Mrežno]. Available: <https://www.traffic-data-systems.net/en/data-protection/>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [15] *EU Cohesion Policy*, Brussels, 2022.
- [16] I. B. D. Bošnjak, *Osnove prometnog inženjerstva*, Sveučilište u Zagrebu, 2005.
- [17] I. Bošnjak, *Inteligentni transportni sustavi 1*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.
- [18] M. Vujić, *Komunikacijska ITS arhitektura, materijali za predavanja iz kolegija*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2019.
- [19] P. L. a. M. K. Muhammad Naeem Tahir, *Connected Vehicles: V2V and V2I Road Weather and Traffic Communication Using Cellular Technologies*, Oulu: University of Oulu,, 2022.
- [20] O. o. t. a. s. f. r. a. tehnology, *Intelligent Transportation Systems - Vehicle to Infrastructure (V2I) Deployment Guidance and Resources*.
- [21] M. Vujić, *materijali za predavanja iz kolegija Telematika u prevoznim sredstvima*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2023..

- [22] A. Stipetić, *Kolodvori i kolodvorska postrojenja*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2012.
- [23] A. Mravak, *Vrednovanje varijanata prometnih rješenja užeg gravitacijskog područja željezničko-cestovnog prijelaza Remetinec*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2018.
- [24] D. N. L. Hozjan, *Cestovne prometnice 2*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2009.
- [25] »Traffic Simulation Software MyPTV,« PTV Vissim , [Mrežno]. Available: www.myptv.com/en/mobility-software/ptv-vissim. [Pokušaj pristupa 30 04 30.4.2023].
- [26] *Zakon o sigurnosti prometa na cestama*, Zagreb, 2023.
- [27] T. & K. J. Reed, »HERE Real-Time Traffic,« INRIX , [Mrežno]. Available: <https://www.here.com/en/vision/innovation/traffic-dashboard/>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [28] T. I. BV, »TOMTOM TRAFFIC INDEX,« TomTom, [Mrežno]. Available: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [29] »Transportation Cost and Benefit Analysis II—Congestion Costs,« Victoria Transport Institute, [Mrežno]. Available: <https://www.vtpi.org/tca/>. [Pokušaj pristupa 29 04 2023].
- [30] A. S. J. R. F. & S. Z. Dingil, »Transport indicator analysis and comparison of 151 urban areas, based on open source data,« *Stringer Open*, 13 12 2008.
- [31] J. & L. H. Falcocchio, *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*, Zagreb: NYU Polytechnic School of Engineering, New York, USA, 2015.
- [32] P. Sukennik, *Micro-Simulation Guide for Automated Vehicles*, 2020.

POPIS SLIKA, GRAFIKONA I TABLICA

| | |
|--|----|
| <i>Slika 1. Tijek razvoja ITS arhitekture [16]</i> | 13 |
| <i>Slika 2. Prikaz logičke ITS arhitekture [6]</i> | 14 |
| <i>Slika 3. Prikaz komunikacije između vozila, vlakova, žurnih službi, pješaka i infrastrukture [20]</i> | 16 |
| <i>Slika 4. Šire područje obuhvata</i> | 20 |
| <i>Slika 5. Uže područje obuhvata</i> | 21 |
| <i>Slika 6. Signalni plan raskrižja Remetinečka - Naletilićeva</i> | 22 |
| <i>Slika 8 Dijagram toka novog signalnog plana</i> | 29 |
| | |
| <i>Grafikon 1. Usporedba vremena putovanja postojećeg i novopredloženog stanja</i> | 35 |
| <i>Grafikon 2. Kašnjenje na Naletilićevoj ulici</i> | 36 |
| | |
| <i>Tablica 1. Rezultati brojanja prometa (5. Travanj 2023., 16:00 – 18:00 sati)</i> | 25 |
| <i>Tablica 2. Vrijeme putovanja vozila trenutnog stanja</i> | 30 |
| <i>Tablica 3. Rezultati čvora Naletilićeve ulice trenutnog stanja</i> | 30 |
| <i>Tablica 4. Razina usluge prometnice</i> | 31 |
| <i>Tablica 5. Rezultati točaka za prikupljanje podataka trenutnog stanja</i> | 31 |
| <i>Tablica 6. Rezultati kašnjenja vozila trenutnog stanja</i> | 32 |
| <i>Tablica 7. Vrijeme putovanja vozila predloženog stanja</i> | 33 |
| <i>Tablica 8. Rezultati čvora Naletilićeve ulice predloženog stanja</i> | 33 |
| <i>Tablica 9. Rezultati točaka za prikupljanje podataka predloženog stanja</i> | 34 |
| <i>Tablica 10. Rezultati kašnjenja vozila predloženog stanja</i> | 34 |
| <i>Tablica 11. Razina usluge Naletilićeve ulice</i> | 36 |
| <i>Tablica 12. Razine ispušnih plinova trenutnog i novog stanja</i> | 37 |



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 **Integracija kooperativnog koncepta u upravljanju gradskim prometom**

_____ repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, _____ 8.9.2023 _____

Bubnić
(potpis)