Mogućnosti poboljšanja prometnog sustava grada Zagreba

Plivelić, Zvonimir

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:119:198910

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

Zvonimir Plivelić

MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA PROMETNOG SUSTAVA GRADA ZAGREBA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za gradski promet**
Predmet: **Upravljanje prometnim sustavom u urbanim sredinama**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4375

Pristupnik: **Zvonimir Plivelić (0135214132)**
Studij: Promet
Smjer: Gradski promet

Zadatak: **Mogućnosti poboljšanja prometnog sustava grada Zagreba**

Opis zadatka:

Radi brzoga rasta urbanih sredina postojeći prometni sustav, u kome dominira osobno vozilo, više ne zadovoljava prometnu potražnju, osobito kad se u njemu vozi samo jedna osoba. Središnja ideja rada je da ključ uspješnog prometa u gradu leži u upravljanju prometom i davanju prioriteta javnom i nemotoriziranom prometu. Stoga će se istraživanja fokusirati na mogućnosti poboljšanja prometa u gradu kroz mjere upravljanja prometom.
Svrha istraživanja je dati uvid u sadašnje stanje, te razmotriti načine poboljšnje prometnog sustava u Gradu Zagrebu. Cilj istraživanja je predložiti mjere kojima se smanjuju zagušenje, zastoji, kašnjenja, potrošnja goriva, a povećava propusna moć ceste i energetska učinkovitost prijevoznih sredstava. Konačan cilj rada je prijedlog mjera upravljanja prometa u svrhu stvaranja održivog prometnog sustava i grada koji će biti ugodan za život sljedećih generacija.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA PROMETNOG SUSTAVA GRADA ZAGREBA

POSIBILITIES OF ENHANCING TRAFFIC SYSTEM IN CITY OF ZAGREB

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

Student: Zvonimir Plivelić, 0135214132

Zagreb, 2017.

SAŽETAK

Grad Zagreb je suočen s problemom dugogodišnjeg rasta stupnja motorizacije. Zbog velikog broja osobnih vozila javljaju se zagušenja na cestovnoj mreži osobito u vrijeme vršnog sata. Zagušenja uzrokuju vremenske i financijske gubitke i povećanje buke i emisija štetnih tvari. Kako bi se smanjili negativni utjecaji zagušenja, potrebna je promjena modalne raspodjele gradskih putovanja s osobnog vozila na održive oblike prijevoza. Niska operativna brzina tramvajskog podsustava u gradu Zagrebu smanjuje atraktivnost istog. Implementacijom sustava adaptivnog upravljanja prometa moguće je smanjiti zagušenja cestovne mreže i dati prioritet vozilima javnog gradskog prijevoza i hitnih službi.Tramvajski podsustav je dominantan u gradu Zagrebu, pa davanje prioriteta tramvajima na semaforizranim raskrižjima mogao bi povećati operativnu brzinu tramvajskog podsustava. Uvođenjem adaptivnih upravljačkih logika vremena putovanja se smanjuju, te se povećava opća razina usluge.

Ključne riječi: tramvajski podsustav, adaptivno upravljanje prometom, prioritet javnog gradskog prijevoza, operativna brzina, vremena putovanja, razina usluge

SUMMARY

The city of Zagreb is confronted with a long – lasting increasein motorization rate. City streets are saturated with private cars, therefore in peak hours most of the city road network is congested. Network congestion leads to time and financial losses, and with this state emission of air pollutants and noise reach their peak levels. Modal split change in favour of public transport and sustainable transport variations is a key measure to reduce negative effects on the environment. Low operating speed of light rail subsystem in the City of Zagreb presents a problem which is making that transport mode less attractive. By implementing adaptive traffic control systems it is possible to reduce congestion and give priority to public transport vehicles. Tram subsystem is the dominant mode in the City of Zagreb and therefore giving priority on signalized intersections to trams would increase operating speed of tram subsystem. The implementation of adaptive traffic control can reduce time travel, and increase level of service.

Key words: tram subsystem, adaptive traffic control, public transport priority, operating speed, travel time, level of service

SADRŽAJ

1.UVOD 1

2. PROMETNI PROBLEMI URBANIH SREDINA 4

3. ALTERNATIVNI OBLICI PRIJEVOZA 8

4. UPRAVLJANJE PROMETOM NA RASKRIŽJIMA 14

4.1.PRIORITET TRAMVAJSKOG PODSUSTAVA 17

4.1.1. DEFINICIJA PRIORITETA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 20

4.1.2. ZNAČAJ DAVANJA PRIORITETA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 21

4.2. ČIMBENICI SMETNJE 23

4.2.1. TRANSVERZALNI ČIMBENICI SMETNJE 23

4.2.2. LONGITUDINALNI ČIMBENICI SMETNJE 24

4.2.3. KUMULATIVNI EFEKT NERAVNOMJERNOSTI PROTOKA JGP–a 24

4.3. RJEŠENJA ZA UNAPRJEĐENJE PRIORITETA JGP–a 25

4.3.1. RJEŠENJA U OBLIKU ZAKONODAVNOG PRIORITETA 26

4.3.2. RJEŠENJA U OBLIKU FIZIČKOG PRIORITETA 28

4.3.3. RJEŠENJA U OBLIKU OPERATIVNOG PRIORITETA 29

4.4.ADAPTIVNO UPRAVLJANJE PROMETOM 29

4.4.1. SCOOT 31

4.4.2. SCATS 32

4.4.3. UTOPIA 33

4.4.4. RHODES 35

4.4.5. MOTION 36

5. ANALIZA TRAMVAJSKOG PODSUSTAVA GRADA ZAGREBA 37

5.1. KVATERNIKOV TRG 41

5.2.RASKRIŽJE DRAŠKOVIĆEVA – VLAŠKA – ŠOŠTARIĆEVA 42

5.3. RASKRIŽJA NA KORIDORU SAVSKE ULICE 43

5.4. RASKRIŽJA NA KORIDORIMA ZELENIH VALOVA 45

5.5. RASKRIŽJE „VUKOVARSKA-DRŽIĆEVA“ 46

6. STUDIJE SLUČAJA 47

6.1.ISTRAŽIVANJE U SKLOPU PROJEKTA „CIVITAS ELAN ZAGREB“ 47

6.2. STUDIJA SLUČAJA U TORINU (UTOPIA) 50

6.3. PRIMJENA PRIORITETA TRAMVAJSKOG SUSTAVA 54
6.4. RAZVOJ PRIORITETA JGP–a SELEKTIVNOM DETEKCIJOM VOZILA 55
7. ISTRAŽIVANJE PRIORITETA TRAMVAJA NA SEMAFORIZIRANIM RASKRIŽJIMA GRADA ZAGREBA 57
8. ZAKLJUČAK 63
POPIS LITERATURE 65
POPIS KRATICA 67
POPIS SLIKA 69
POPIS TABLICA 71
POPIS GRAFIKONA 71

1.UVOD

U novije vrijeme, tehnologije koje se primjenjuju u prometu se razvijaju iz dana u dan. Bez sumnje, razvoj tehnologije je od velike pomoći čovjeku. Od primjene industrijskih strojeva do današnjih automobila razvijena su mnoga sofisticirana pomagala koja čine svakodnevnicu lakšom. Naime, kod tehnologije je čest slučaj da kada je korištena na krivi način više škodi, no što pruža koristi u cijelosti. Svaki urbani prometni sustav susreće se sa zagušenjima cestovne mreže, koja eskaliraju unutar jutarnjih i podnevnih vršnih sati. Problem nastaje u povećanom broju promenih entiteta čiji kapacitet nije niti približno ispunjen transportnim entitetom. Teretna vozila koja prevoze razna dobra ne mogu se isključiti iz prometnoga sustava, a činjenica je da usporavaju prometni tok. Unatoč tome, teretna vozila često voze gotovo punih kapaciteta, te generiraju ekonomske prihode. U suprotnom, prazne vožnje su trošak prijevozniku. Naime, cestovna razina prometne mreže urbanih sredina često broji velik broj osobnih vozila, dok je rijedak slučaj da se u vozilu prevozi više od 3 putnika. Takvi korisnici prometnoga sustava zagušuju prometnu mrežu. Cilj je odvratiti te ljude od korištenja automobila kao prijevoznog sredstva.

Cestovna raskrižja u gradovima su mjesta velikog broja kolizijskih točaka. Više od 50% prometnih nesreća u urbanim sredinama se događa na raskrižjima. Osim što smanjuju sigurnost prometa, na njima se stvaraju i zagušenja. Promet je jedan od najvećih polutanata zagađivača zraka, tla i vode, a uz sve to još i generira visoke razine buke. Za vrijeme vršnih satova i zagušenja na mreži, njihove emisije dosežu iznimno visoke razine. S takvim problemom je suočena svaka urbana sredina.

Uspostavljanje održive mobilnosti u gradovima leži u promjeni modalne raspodjele prema alternativnim načinima prijevoza automobilu. Praksa budućnosti je stvarati zbijene gradove, visoke gustoće naseljenosti sa što više interesnih lokacija blisko raspoređenih u prostoru. U takvoj sredini tramvaj i metro su idealni modovi prijevoza. Tramvajski sustavi su pogonjeni električnom energijom. Stoga ne emitiraju štetne tvari i relativno su tiha vozila. Jedino onečišćenje koje tramvajski sustav proizvodi je tokom proizvodnje električne energije. Metro sustavi su sutavi koji su potpuno odvojeni od ostalih slojeva prometne mreže, kreću se visokom

brzinom, te posjeduju velike prijevozne kapacitete. Kombinacijom više sustava moguće je postići visoku mobilnost, te korisniku sustava pružiti prihvatljivu alternativu automobilu. Tramvajski podsustavi nemaju prijevoznu moć metroa, niti je operativna brzina sustava na razini metroa. Unatoč tome, tramvaj je veoma efikasno prijevozno sredstvo na kratkim i srednjim udaljenostima. Da bi se postigla veća atraktivnost tramvajskog podsustava, oni moraju biti što efikasniji u radu. Problem tramvajskog podsustava je taj što često dijeli cestovnu mrežu s motornim vozilima koja uzrokuju prekidanje tramvajskih tokova.

Prometni sustav je složen sustav pa često jedna promjena nije krajnje rješenje problematike nekog sustava. Kako bi se uspostavio efikasniji, održiv sustav potreban je čitav niz promjena koje bi doprinijele generalnom poboljšanju. Također, određena mjera može imati pozitivno djelovanje na jedan podsustav, a negativno utjecati na drugi prometni podsustav. Uz pravovremeno planiranje,racionalno raspolaganje s postojećim resursima moguće je postaviti temelje za konstantan napredak prema prometnoj održivosti. Davanje prioriteta tramvajskome podsustavu je jedno od mnogih mogućih poboljšanja prometnoga sustava koje može donijeti vremenske i monetarne uštede. Takvo poboljšanje tramvajskog podsustava može povećati brzinu sustava,smanjiti vrijeme putovanja i doprinijeti stabilnijem voznom redu. Pretpostavka je, da bi davanje prioriteta tramvajima na raskrižjima definitivno doprinijelo povećanju atraktivnosti prometnoga podsustava. Time bi bila uklonjena čekanja na semaforiziranim raskrižjima, koja generira glavninu nepotrebnih troškova podsustava.

Rad je koncipiran kroz osam poglavlja:

- Prvo poglavlje je uvod u rad gdje je ukratko predstavljena problematikate je razrađena tematika rada,
- Drugo poglavlje pokriva prometne probleme urbanih sredina te globalni utjecaj navedenih problema. Biti će spomenut i pojam održive mobilnosti te na koji način mjere održive mobilnosti koje doprinose boljem radu sustava,
- Treće poglavlje predstavlja alternative automobilu kao prijevoznome sredstvu, njihove osnovne karakteristike i primjenjivost tih modaliteta prijevoza,
- Četvrto poglavlje obuhvaća upravljanje prometom u gradovima, razvoj i primjenu ITS sustava u urbanoj sredini, te načine na koji novi suvremeni sustavi pozitivno utječu na prometni sustav. Pobliže će biti razrađeno upravljanje semaforiziranim raskrižjima koja

prekidaju prometni tok, te će se predstaviti rješenja za poboljšavanje protočnosti gradskih prometnica,

- Peto poglavlje sadrži analizu prometnog sustava grada Zagreba. Analiza je provedena isključivo na problemu davanja prioriteta JGP–a. Ponajprije su razmotreni elementi koji stvaraju poteškoće tramvajskom podsustavu, a zatim prezentirane lokacije na kojima se poteškoće javljaju,
- Šesto poglavlje rada sadrži studije slučaja vezane uz prioritet javnog gradskog prijevoza i sustava automatskog upravljanja prometom, te prijedloge za unaprijeđenje prometnog sustava grada Zagreba. Razmotrena su i rješenja prometnih problema na lokacijama navedenim u petom poglavlju rada,
- Sedmo poglavlje sadrži analizu prioriteta semaforiziranih raskrižja grada Zagreba provedenu u sklopu rada,
- Osmo poglavlje sadrži zaključak u kojemu se ističu najbitnije spoznaje stečene u tijeku istraživanja.

2. PROMETNI PROBLEMI URBANIH SREDINA

Problem gradskog prijevoza je kompleksan jer predstavlja skup međusobno povezanih problema koji se mogu razvrstati u tri glavne kategorije:

- zagušenost,
- mobilnost,
- vanjski utjecaji.[1]

Sredinom 19. stoljeća javlja se potreba za automobilom kao prijevoznim sredstvom jer se gradovi šire daleko izvan svojih prirodnih okvira. Razvijeni mehanizirani oblici prometa su do tada bili uglavnom u službi javnosti. Osobni automobili nadopunjavali postojeći sustav, prvenstveno zato jer su bili dostupni samo bogatijem dijelu stanovništva.

S povećanjem broja automobila rastu gužve na ulicama. Javni prijevoz koji koristi ulice za prometovanje gubi na brzini i atraktivnosti. Tako je stvoren začaran krug na štetu JGP–a u kojem se sve više građana koristi osobnim vozilom, a javni prijevoz pada u zaborav. Tako javnom prijevozu padaju prihodi, a s padom potražnje pada i frekvencija prijevoza. "Velik broj putnika po liniji javnog prometa može se ostvariti u uvjetima velike gustoće stanovanja i zaposlenosti, a trend masovne automobilizacije djeluje upravo suprotno, potičući disperziju stanovništva i radnih mjesta, dakle smanjenju gustoće.[1]

Mnoge su strategije kojima se pokušava destimulirati korištenje automobila:

- naknade za uporabu cesta,
- ograničavanje broja vozilate zabrane prema broju registarske pločice,
- destimulacije kroz cijenu goriva,
- naplata zagušenja,
- naplata i ograničavanje vremena parkiranja,
- zone smanjenih emisija ispušnih plinova.

Pojam održivosti sustava javlja se 1980 – ih godina pa se koristi u smislu održivosti života na planeti Zemlji. Iz ljudske perspektive gledano, održivost je potencijal dugoročnog održavanja blagostanja koje ovisi o prirodnom svijetu i odgovornom iskorištavanju prirodnih resursa. To je pojam koji se primjenjuje na sve oblike života na zemlji. Obilje je znanstvenih

dokaza koji tvrde da čovječanstvo živi neodrživim načinom života. Pojam održivosti sustava se očituje kroz tri stupa (ekonomija, okoliš i društvo) koji nisu uzajamno isključivi, već se mogu podupirati međusobno. Održivost je ideja o osiguravanju bolje kvalitete života svim bićima, a koja se ostvaruje kroz društveni napredak koji uvažava potrebe svih, efikasnu zaštitu okoliša, racionalnu eksploataciju prirodnih resursa te održavanje stabilne razine ekonomskog rasta i zaposlenosti. Pojam održivosti je blizak pojmu profitabilnosti jer potiče što manje potrebe potrošnje i nudi širok spektar usluga koje potiču dugovječnost budućim generacijama. Održivost u prometnom smislu, znači razvoj na način da se odgovorno daje visoka razina mobilnosti građanima bez negativnih posljedica na buduće generacije. Ključna je težnja prometnog sustava je osiguranju dostupnosti i mobilnosti te korištenju obnovljivih izvora energije, a pritom svođenje negativnih aspekta prijevoza na minimum. Pod negativne aspekte prometa spadaju prometne nesreće, zagušenja, te slijedno tome emisije štetnih tvari i buke.

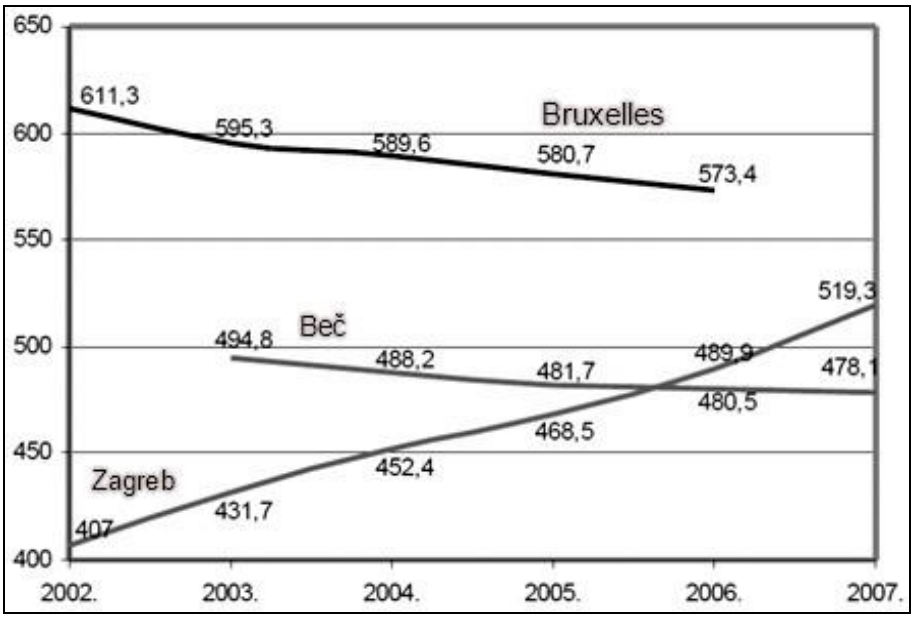
Strategije održivog prijevoza su slijedeće:

- unaprijeđenje prijevoznih sredstava,
- unaprijeđenje odvijanja prijevoza,
- upravljanje prijevoznim zahtjevima,
- stvaranje integriranog transportnog sustava EU,
- efikasna naplata,
- efikasna infrastruktura,
- uključivanje političara u promet.

Demografske procjene su da će više od 60% stanovnika do 2030. godine živjeti u gradovima. Postojeći modeli života u gradovima u bilo kojem smislu postaju neodrživi. Deficit prostora koji stvara prekomjerna uporaba vozila se osjeti na više razina. Značenje javnog prostora građanima se odražava u vidu pješačkih i biciklističkih infrastruktura, zelenih površina, rekreacijskih prostora, te mjesta sličnih sadržaja.

Stupanj razvijenosti cestovnog prometa se prikazuje putem stupnja motorizacije. Stupanj motorizacije je omjer broja automobila po stanovniku nekog mjesta. On je u konstantnom rastu. Kada je povećan stupanj motorizacije javljaju se zagušenja cestovne mreže. Zagušenja nastaju kada kapacitet prometnice ne može zadovoljiti potražnju sustava. Cestovni promet je jedan od vodećih svjetskih polutanata, a prema količini emisija polutanata podjednak je teškoj industriji.

Cestovna vozila emitiraju i buku koja smeta živim bićima. Diljem svijeta se ulažu kolektivni napori kako bi se stupanj motorizacije snizio na prihvatljive razine. Na slici 2.1. je prikaz stupnja motorizacije Beča, Bruxellesa i Zagreba. Sa slike se vidi da u navedenom periodu stupanj motorizacije u Beču i Bruxellesu polako i konstantno pada, dok u gradu Zagrebu ubrzano raste.



Slika 2.1. Razine stupnja motorizacije europskih metropola u razdoblju 2002. – 2007. godine.

Izvor: [2]

Promjena pogonskog goriva u vozilima bi riješila ekološki aspekt ove problematike, ali prometni stručnjaci bi još uvijek vodili borbu sa zagušenjima cestovne mreže. Osim zagušenja, velik problem predstavlja promet u mirovanju. Automobili češće zauzimaju prostor nego što isti koriste (vožnja). Potreban je broj parkirnih mjesta, koja zauzimaju ogromne površine, koje svakako mogu biti iskoristive u svrhe nemotoriziranog prometa ili zelenih površina. Električna vozila svakako mogu doprinijeti poboljšanju zdravlja okoliša, ali cilj prometnih stručnjaka je ukloniti ili reducirati potrebu za korištenjem automobila unutar urbanih sredina.

Izuzev poboljšanja drugih oblika prijevoza, potrebno je racionalnije raspolagati s resursima. Za kratke, do 5 kilometara, osobe imaju mogućnost pješačenja ili bicikliranja. Za pješaka je prihvatljivo hodati 500 – 1500m, a za udaljenosti od 1500 – 5000m je iskoristiv bicikl

kao prijevozno sredstvo. Pri ovakvim udaljenostima vožnja automobilom je vremenski ekvivalentna pješačenju ili bicikliranju. Za srednje udaljenosti su pogodni tramvaji i auobusi, dok se tramvaji više koriste u gradskim središtima, a prema periferiji su aktualni autobusi kako bi spojili šire gradsko područje s urbanom sredinom. Za daleke udaljenosti unutar gradskog tkiva pogoduje je laka željeznica ili metro. Takvi oblici prijevoza imaju razdvojena stajališta, a pritom razvijaju velike brzine i imaju visoku prijevoznu moć. Dužnost je gradskih vlasti omogućiti svakom građaninu što veći izbor prijevoznih modaliteta u njegovim kretanjima. Osobno vozilo nije u potpunosti negativan oblik. Također, pojedinac treba biti svjestan "alata" koji su mu ponuđeni. U cilju gradskih uprava je da osiguraju građanima adekvatne oblike prijevoza za obligatorna putovanja (kuća – posao). Kada su mu prijevozni kapaciteti popunjeni, automobil je ekološki ekvivalentan punome autobusu. Stoga se može zaključiti da bi pojedinac trebao težiti izbjegavanju putovanja automobilom na kraćim udaljenostima, pogotovo ako je sam unutar vozila. Ne smijemo zaboraviti, da je automobil najkomforniji oblik prijevoza, te daje pristupačnost od "vrata do vrata" i pruža velik stupanj slobode u prijevozu. Automobil je korisno prijevozno sredstvo u smislu nabavke kućnih potrepština. Teško je nametnuti nekome nova vjerovanja i poglede, ali za vrijeme zagušenja osoba može sjediti u autu zarobljen u prometu. Naime, za vrijeme zagušenja osoba unutar automobila je primorana svjesno čekati unutar reda čekanja kako bi se raskrižje rasčistilo. Vozila JGP–a imaju vlastitog vozača koji je odgovoran za prijevoz, te ista osoba može provesti vrijeme čitajući, komunicirajući sa suputnicima, ili uz čitav niz radnji koje predstavlja sloboda vožnje tramvajem. Automobil se može prezentirati kao mod prijevoza koji je disciplinirano spontan, a tramvaj spontano discipliniran. To bi značilo da automobil daje čovjeku slobodu koja je usklađena prometnim uvjetima. Suprotno tome, tramvaj disciplinirano putuje unutar vlastitih tračnica, ali putnik ima slobodu unutar vožnje.

JGP je danas glavni konkurent osobnim vozilima. Projektiranje uspješnog sustava JGP je glavni cilj urbanog planiranja. Ponajviše korišteni modalitet je autobus, koji je efektivan na kratkim i srednjim udaljenostima. U svijetu su razvijene i BRT linije koje mogu povezati točke na dugim udaljenostima.

3. ALTERNATIVNI OBLICI PRIJEVOZA

U ovom poglavlju rada su razmotreni svi oblici prijevoza iskoristivi u gradskome središtu. Ti oblici prijevoza su konkurentni automobilu. Kako bi se uspostavio efektivan sustav, potrebno je djelovati na više razina, te pružiti alternativu na kratkim, srednjim i dužim udaljenostima. Takav sustav se mora promatrati kao cijelina, gdje bi se prema prijevoznoj moći postavila hijerarhija sustava. Tako bi glavni sustav (metro) bio "hranjen" od strane podređenog podsustava (autobus, tramvaj).

Pješačenje ili hodanje je osnova kretanja čovjeka. Hodanje je u današnje doba podcijenjeno jer se vidi kao gubitak vremena. Naime, pješaci hodaju brzinom od 1,2 do 1,6 m/s, to jest od 4,3 do 5,8 km/h, ukoliko su dobroga zdravlja. Između ostaloga, kod prosječne osobe u 5 kilometara hodanja potroši se 400 kalorija, što je otprilike petina dnevnog kalorijskog unosa. Hodanje je po prirodi opuštajuće i uključuje većinu mišića u tijelu.

Bicikl je prijevozno sredstvo na dva kotača, čiji je čovjek ujedno i motor. Danas su razvijeni i električni bicikli, ali takve inačice vozila su skupe. Biciklist vozi prosječnom brzinom od 15 km/h, stoga je bicikl privlačan na srednjim udaljenostima. Uz to, bicikl je tiho prijevozno sredstvo jer su emisije buke minimalne. Ukoliko JGP ima mogućnost prijevoza bicikla, u kombinaciji su savršeni za "door to door" prijevoz. Bicikl nije skup za održavanje, a također nema emisije štetnih tvarijer je čovjek pokretačka snaga. Biciklom se nažalost nemogu prevaliti veće udaljenosti u kratkom roku, te doseg jednog biciklista u jednome satu može biti 30 kmovisno o terenu po kojem se vozi. Bicikl čini manje atraktivnim ovisnost o vremenskim uvjetimate sama konfiguracija terena po kojem se vozi. Vožnje uz brijegi u vjetar su vrlo iscrpne. Nakon vožnje s biciklom, vozač u najmanjem slučaju treba zamjensku odjeću. Bicikl je apsolutno održivo prijevozno sredstvo te bi njigova upotreba trebala biti poticana. Zahtjeva minimalne infrastruktune resurse, a korisnici bicikala mogu u svojim putovanjima biti prilagodljivi, te se voziti usporednim ulicama. Sa stajališta sigurnosti prometa je bolje za bicikliste da se koriste biciklističkim stazama. Izuzev biciklističkih staza potrebna su i mjesta gdje se mogu sigurno odložiti bicikli.

Kao nov instrument održive urbane mobilnosti, 1965. godine javljaju se i javni bicikli, tzv. "Bike – sharing" sustavi. Javni bicikli su slični iznajmljivanju bicikala, samo što javni bicikli

imaju svoje postaje gdje moraju biti vraćeni. Često sustav funkcionira da je besplatan određeno vrijeme, a zatim se počinje naplaćivati. Sustavi su jeftini i pomoću njih se ostvaruje veća mobilnost unutar gradskih središta. Hrvatska privatna tvrtka SUSTAV JAVNIH BICIKALA d.o.o. i njemačka tvrtka NEXTBIKE u svojstvu operatera, temeljem javno–privatnog partnerstva s Gradom Zagrebom u svibnju 2013. godine uspostavili su sustav najma javnih bicikala u Zagrebu. Na početku poslovanja tvrtka je imala 6 stanica za posudbu bicikala. Trenutno NEXTBIKE ima 21 postaju za preuzimanje i ostavljanje bicikala diljem grada Zagreba. [3]



Slika 3.1. Sustav javnih bicikala Grada Zagreba "Nextbike"

Izvor:[4]

Autobusni prijevoz je najčešći oblik JGP–a, te se dvije trećine putovanja obavlja autobusom. Autobusna stajališta moraju biti postavljena na odgovarajućim udaljenostima duž linija. Većina stajališta bi trebala imati minimalnu opremu sa sjedalima i informativnim stupom. Međustajališne udaljenosti se određuju tako da se promatra linija, broj ulaza i izlaza putnika te raspodjela protoka putnika duž linija. U središtima gradova su međustajališne udaljenosti kraće, dok su na periferiji sve duže prema prigradskim zonama. Optimalno vrijeme putovanja svedeno je na najmanju mjeru kada su stajališta postavljena na udaljenosti od 550 metara.[1]

Autobusni prijevoz najčešće dijeli mrežu s osobnim vozilima, stoga je podložan zagušenjima i kašnjenjima. Takve anomalije u voznome redu smanjuju razinu usluge. Autobusi nisu u mogućnosti razviti velike brzine, ali su efikasni u prijevozu putnika na kraćim

udaljenostima. U današnja doba javljaju se i električni autobusi, a često autobusi voze na prirodni plin. Prijevozna moć autobusa doseže 12.000 putnika/smjeru/satu.



Slika 3.2. Autobusna vozila ZET-a

Izvor: [5]

Jedan oblik autobusa je i trolejbus koji je ekološki prihvatljiviji radi korištenja električne mreže. U stalnoj je vezi s mrežom, te je ograničenog kretanja radi povezanosti na nju. Iskoristivi su na brdskim terenima, te ne emitiraju buku. Nedostatak trolejbusa je manjak fleksibilnosti i estetike radi visećih žica s mreže.



Slika 3.3. Trolejbus u Bratislavi

Izvor: [6]

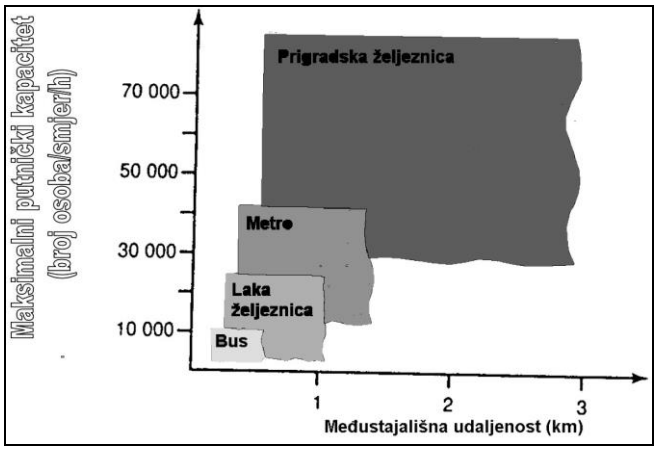
Ostala električna vozila u JGP – u su tramvaji, brza gradska željeznica (metro) i specijalna električna vozila. Navedena vozila kao i trolejbus crpe električnu energiju iz mreže. Napajanje tramvaja i nekih metroa ostvaruju se iz kontaktne mreže preko krovnog oduzimača struje (pantografa), a strujni krug se zatvara preko tračnica. Neke izvedbe metroa su napajane preko treće tračnice. Tramvaj je električno vozilo za prijevoz putnika u JGP – u koje se kreće po tračnicama, a napaja se iz kontaktne mreže preko krovnog oduzimača struje te zatvara strujni krug preko tračnica koji služe kao povratni vod. Podrobniji opis tramvajskog podsustava je u poglavlju 4.



Slika 3.4. ZET-ov vozni park tramvaja

Izvor: [5]

Metro je opći naziv za električnu podzemnu željeznicu koja služi javnom gradskom prijevozu putnika u velikim gradovima. Predstavlja optimalan oblik masovnog prijevoza putnika. Odvija se potpuno izdvojeno od ostalog prometa, stoga nema interferencija s ostalim podsustavima. Karakterizira ga vođenje prometa na visokoj razini s visokim stupnjem automatizacije i visoka prosječna brzina vožnje. To vodi ka točnosti u voznome redu, pouzdanosti sustava, te je odvijanje prometa prilično sigurno. Organizacija prijevoza metroom pretpostavlja povezivanje s drugim vrstama prijevoza te usmjerivanje putnika odgovarajućim prilaznim trasama, pokretnim stepenicama, dizalima i sl.[7]



Slika 3.5.Odnos kapaciteta i međustajališne udaljenosti

Izvor:[1]

Na slici 3.1. je prikaz ovisnosti maksimalnog putničkog kapaciteta o međustajališnim udaljenostima prema modalitetu JGP–a. Vidljivo je, da autobus operira na kraćim udaljenostimate ima manju prijevoznu moć. Slijedi ga tramvajski podsustav to jest laka željeznica s kapacitetom do 25.000 putnika/smjeru/h, sa međustajališnim udaljenostima do kilometra. Metro ima prijevoznu moć čak do 45,000 putnika/smjer/h, s međustajališnim udaljenostima do 1.5 kilometara. Prigradska željeznica ima najveće kapacitete do 90 tisuća putnika/smjer/h, te je međustajališna udaljenost čak do 3 kilometra.



Slika 3.6. Izgled metro sustava, Maharashtra, India

Izvor: [8]

Tablica 3.1. Usporedba tračničkih sustava prema značajkama

Značajkemoda prijevoza/Mod prijevoza	**LRT**	**Metro**	**Prigradska željeznica**
Maksimalna brzina u km/h	70 – 80	80 – 100	80 – 130
Operativna brzina u km/h	20 – 40	25 – 60	40 – 70
Pouzdanost	Visoka	Veoma visoka	Veoma visoka
Duljina prijevoznog sredstva u metrima	14 – 32	16 – 23	20 – 26
Broj putnika	200	250	180
Međustajališna udaljenost u m	300 – 800	500 – 2000	2000+
Prosječna duljina putovanja	Kratka do srednja	Srednja do dugačka	Dugačka

Izvor:[1]

Tramvajski sustav (LRT) nemože biti u potpunosti odvojen od cestovnog prometa. Međutim, kada bi se postigla potpuna odvojenost, kao i prednost na raskrižjima s cestovnim prometom, tada bi se postigla maksimalna pouzdanost usluge i povećana brzina vožnje.[1]

Unutar gradova pristupačno vozilo može biti i motocikl ili moped. Potrošnja goriva je nešto manja nego kod automobila, ali proizvode više buke što je mana. Motocikli zauzimaju manje mjesta, te ih je moguće parkirati gotovo bilo gdje. Ako osoba putuje sama, predstavljaju optimalno cestovno vozilo za središte grada. U današnja doba, također, prometnim sredstvom mogu se smatrati i role, rolšuhe, skateboardi, romobili (razvijaju električne verzije), hoverboardi i slična vozila. Naime, navedena vozila su većinom sredstva zabave i rekreacije mladih.

4. UPRAVLJANJE PROMETOM NA RASKRIŽJIMA

Postoje četiri načina upravljanja prometom na raskrižjima unutar urbanih sredina:

- pravilo desne strane,
- prometni znakovi,
- prometna svjetla,
- ovlaštena osoba.

Na pojedinom raskrižju, najbolji način upravljanja prometom na raskrižjima je pomoću ovlaštene osobe. Prometna policija može najbolje reagirati na prometna opterećenja u realnom vremenu. Pravilo desne strane je bazično prometno pravilo, prilikom kojeg je vozač koji dolazi u susret drugom vozilu na nekoj prometnoj površini, a ono mu prilazi sa desne strane, dužan ga propustiti. U slučajevima kada se vozilima ne sijeku putanje, vozila mogu proći raskrižje istovremeno. Prometni znakovi prenose sudionicima prometa realno stanje na cesti i opća pravila ponašanja na njoj. Također, mogu služiti regulaciji prometa na raskrižjima. Sustav prometnih svjetala služi za pružanje prednosti prolaza pojedinim privozima na raskrižjima. Prometno svijetlo ili semafor se sastoji od vanjske opreme (lanterne, tipkala, detektora), upravljačke jedinice i popratne opreme (stupovi, kablovi, nosači). Semafori se postavljaju u slijedećim slučajevima:

- velik broj nesreća na raskrižju,
- slaba vidljivost prilaza raskrižja,
- radi zaštite nemotoriziranog prometa,
- visokog intenziteta prometnih tokova raskrižja,
- visokog intenziteta pješačkih tokova raskrižja,
- visokih brzina kretanja u zonama raskrižja,
- potrebe osiguranja prolaza posebnih vozila.

Nedostatci semaforiziranih raskrižja su ti što smanjuju propusnost raskrižja, povećavaju potrošnju goriva, te slijedno tome povećavaju emisiju ispušnih plinova i buke. Iako postoje razne alternative, semaforizirana raskržja su u puno situacija unutar grada neizbježna.

Svjetlosni signali ili prometna svjetla su optički prenositelji informacije; crvenog, žutog ili zelenog svijetla. U smislu prometa razdvajaju prolazak konfliktnih prometnih tokova kroz istu točku. Signale mogu koristiti motorna vozila, pješaci, biciklisti, javni gradski prijevozi i drugi. U nekim slučajevima semafori imaju i zvučne signale za potrebe slijepih. Također, postoje dopunski signali i signali brzine. Informacije se prenose uglavnom vizualno u vidu boja ili oblika signala, a semaforska svjetla se postavljaju na stupove, konzole ili portale. Iznimno se mogu postaviti i na neka mjesta poput nadvožnjaka, mostova itd. Za ispravan rad semafora nužno je osigurati kontrolu ispravnosti crvenog signalnog pojma. Ako na jednom od prilaza raskrižja prestane raditi crveni signalni pojam, cijelo raskrižje mora prijeći na treptajuće žuto. Na isti način se provodi kontrola ostalih signalnih planova. Signalni uređaj služi da bi se uključili i isključili pojedini signalni pojmovi na raskrižju. Postoje relejni, elektronički i mikroprocesorski.

Pješački detektori služe za povezivanje pješačke faze na raskrižjima s malim intenzitetom pješaka. Većinom se koriste tipkala, ali postoje i automatski detektori (video, mikrovalni). Detektori za vozila povezuju signalnu grupu ovisno o modu rada semafora. Koriste se indukcijske petlje, video, mirkovalni i radarski detektori.

Postoje tri osnovna tipa upravljanja semaforiziranim raskrižjima:

- izolirana kontrola raskrižja,
- arterijska kontrola,
- kontrola mreže.

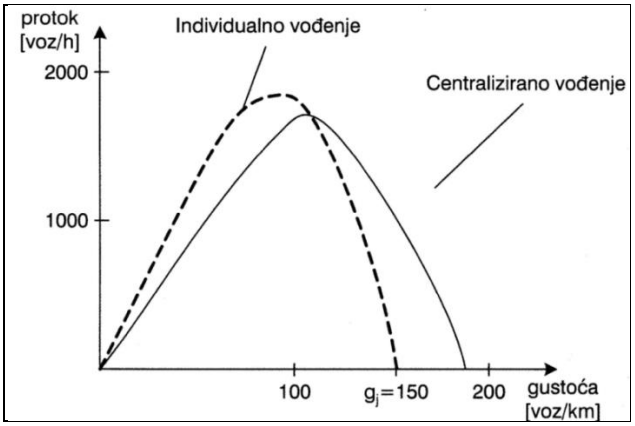
Kod izoliranih raskrižja signalima se upravlja samo na jednome raskrižju i ono radi neovisno o signalnim planovima drugih raskrižja.Za produbljeno sustavno razumijevanje upravljanja prometom potrebno je razumjeti temeljne razlike između dvaju osnovnih načina vođenja prometnog toka u gradskim središtima, a to suindividualno vođenje prometa te centralizirano ili automatsko vođenje prometa.

Individualno vođenje prometa podrazumijeva:

- zajedničko korištenje raspoloživih kapaciteta prema utvrđenim pravilima,
- razmaci između vozila ovise o individualnoj procjeni vozača,
- prometni podatci se individualno prikupljaju i obrađuju u realnom vremenu,
- odluke su trenutačne i nisu programibilne.[9]

Centralizirano ili automatsko vođenje prometa podrazumijeva:

- osiguranje ekskluzivnoga korištenja kapaciteta prometnice gdje nema ometanja drugih sudionika,
- razmaci među vozilima su predterminirani za sigurno odvijanje prometa,
- podatci se prikupljaju i obrađuju u realnom vremenu,
- odluke su programirane i korektivno djelovanje je instantno.[9]



Slika 4.1. Krivulja protok – gustoća za individualno i centralizirano vođenje

Izvor: [9]

Arterijske kontrole i kontrole mreže su koordinirani sustavi rada semafora, takozvani zeleni valovi. Zahtijevaju žičnu ili bežičnu povezanost semaforskih uređaja na raskrižjima. Vozila koja putuju koridorom s nizom povezanih raskrižja, određenom brzinom, ne prekidaju vožnju jer dobivaju zeleno svjetlo na svakom raskrižju.Takav način koordinacije signalnih planova semafora pogodan je za višetračne jednosmjerne, ali i dvosmjerne ulice, s brzinama kretanja vozila 40 do 60 kmh. Sva raskrižja mogu imati istu dužinu ciklusa pomaknutu za vrijeme vožnje između raskrižja, a mogu uzimati u obzir skretače, promet na sporednoj ulici, te produljivati ili skraćivati faze.

Kod kontrole mreže se optimizira protok na cijeloj prometnoj mreži, takvi sustavi su često proširenja arterijskih kontrola u urbanim sredinama. Upravljanje prometa je adaptivno i zahtjeva centar za upravljanje prometom i povezana semaforizirana raskrižja sa upravljačkim središtem. Sustav doprinosi boljem odvijanju prometa, te time smanjuje vremenske i financijske

troškove u prometnom sustavu. Zahtjevaju složene računalne i mrežne algoritme te su radi toga još uvijek u razvoju.

Sustavi koji koriste fiksne cikluse funkcioniraju sa unaprijed određenim varijablama ciklusa (faze i offseti). Faze se ponavljaju bez obzira na prometnu potražnju. Takav način upravljanja se koristi najčešće na lokacijama gdje je velik protok pješaka i vozila, a njihove su varijacije predvidljive. Podesivi su prema raznim periodima dana: jutarnjem vršnom satu, podnevnom vršnom satu, dnevnom i noćnom radu.

Sustav također može biti aktiviran vozilom, to jest preko detektora se mogu prilagoditi prometnoj potražnji. Vozila mogu biti detektirana pomoću induktivnih petlji, radara, raznim optičkim detektorima i drugim uređajima. Na nekim raskrižjima pješaci mogu zatražiti slobodan prolaz pritiskom tipkala, a slabovidni i slijepi su obaviješteni zvučnim signalima.

4.1.PRIORITET TRAMVAJSKOG PODSUSTAVA

Tramvajski podsustav je uz autobusni jedan od značajnijih u JGP na uličnim mrežama gradova jer posjeduje mogućnost masovnog prijevoza putnika. Nešto je manje fleksibilan mod prijevoza i putovanja često traju duže. Vremena putovanja su parametri na koje se može utjecati davanjem prioriteta JGP – u, što povećava i atraktivnost moda. [10] Dodjela prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza uključuje aktiviranje zelenog svjetla na raskrižjima kada god prometna situacija to dopušta. Kašnjenja na raskrižjima prouzrokuju približno 50% kašnjenja u cijeloj mreži.

Osnovan princip tramvajskih signalnih sustava su:

- prioritet prolaska na raskrižjima treba dati tramvajima,
- na prijelazima u razini, potrebno je osigurati optimalno trajanje faza tramvaja, cestovnih vozila i pješaka.

Strategije davanja prioriteta prolaska tramvaja na raskrižjima:

- Pasivan prioritet
- Aktivan prioritet

U slučaju sustava sa pasivnim prioritetom detekcija vozila nije potrebna. Zelena faza se pali na temelju prosječne brzine tramvaja. Prednost se daje po standardnoj proceduri: povoljni vremenski ciklus, povoljna zelena vremena u svakoj fazi ciklusa ili koordinacija. Aktivan prioritet prolaska zahtjeva tehnologije detekcije vozila. Sustav reagira na vozilo (tramvaj) koji prilazi raskrižju. Signal se šalje prometnom upravljačkom sklopu za promjenu signala u unaprijed definiranim granicama signala u svoju korist.

Četiri su "tehnike" koje sustav sa aktivnim prioritetom primjenjuje:

- Produljenje zelene faze
- Kraćenje crvene faze
- Rotacija faza
- Ubacivanje faze



Slika 4.2. Produljenje zelene faze



Slika 4.3. Kraćenje crvene faze

Na slici 4.2. je vidljiv primjer produljenja zelene faze u slučaju kašnjenja vozila na raskrižje. Slika 4.3. prikazuje kraćenje crvene semaforske faze u slučaju ranijeg dolaska vozila na raskrižje. U slučaju da je potrebno, faze se mogu rotirati ili se dodatna predeterminirana faza može ubaciti kako bi se oslobodilo raskrižje, te bi bio omogućen prolazak vozila.

U gradu Zagrebu dominantan mod JGP–a je tramvaj. Prednosti tramvajskog prijevoza putnika su sljedeće:

- smanjenje ukupnih troškova sustava po putniku (pogonski i investicijski troškovi) s povećanjem prijevozne potražnje,

- mogućnost prijevoza većeg broja putnika zbog pogodnosti koje pruža električna mreža (veći kapaciteti tramvajskih kompozicija),
- manji utjecaj na okoliš – tramvajski promet ne emitira štetne plinove, izuzev emisija plinova nastalih pri proizvodnji električne energije
- mogućnost fizičkog odvajanja na uličnoj mreži, pa slijedno tome i veća sigurnost putnika

Nedostatci tramvajskog podsustava nalaze se u:

- manjim operativnim brzinama ukoliko se sustav nalazi pod utjecajem ostalog prometa,
- manjoj udobnosti vožnje zbog načina vođenja vozila,
- nedostatci vezani za električnu mrežu (razni kvarovi, utjecaj atmosferskih neprilika, veći troškovi održavanja),
- nemogućnost manevriranja vozila u slučaju kvara drugog vozila (nastane čep radi kojega se stvara zastoj svih vozila na toj dionici mreže).

Tramvaj je pogodniji modalitet područja u zbijenim područjima i užim gradskim centrima, gdje su veći protoci putnika, gdje je veći utjecaj prometa na okoliš te gdje je veći protok osobnih automobila. Uloga autobusnog podsustava se nadovezuje na tramvajski u smislu sakupljanja i distribucije većih putničkih tokova u komunikaciji s gradskom periferijom. Tramvajski promet se odvija na pojedinačnoj liniji koja je dio mreže linija. Linija javnog gradskog prijevoza se sastoji od trase, stajališta i terminala. Trasa linije JGP–a je unaprijed utvrđen pravac po kojemu prometuju prijevozna sredstva. Duljina linije je jednosmjerna udaljenost između dva terminala bez obzira na to prometuje li linija sama ili se preklapa s drugim linijama.[11]

Karakteristike linija variraju s kategorijom prava prolaza, što predstavlja gradsku površinu na kojoj prometuju linije JGP–a. Obično se odnosi na infrastrukturu koju koriste isključivo prijevozna sredstvva javnog prijevoza od ulice do podzemnog ili nadzemnog sustava. Najvažnije za javni prijevoz je stupanj odvajanja od drugih vozila i pješaka. U odnosu na tu karakteristiku, prava prolaza ili prioriteta može se klasificirati u tri kategorije:

- Kategorija 1. – je u potpunosti kontrolirana linija s pravom prvenstva javnog prijevoza, bez križanja ceste i željezničke pruge u razini ili bez mogućnosti bilo kakvog pristupa vozila i osoba. Linija može biti denivelirana, u tunelu, na nasipu ili iznad površine. Najčešće na takvim linijama prometuju vozila metroa.

- Kategorija 2. – uključuje različite vrste linija s pravom prvenstva javnog prijevoza koje su longitudinalno fizički odvojene od ostalog prometa (pločnici, barijere, zeleni trakovi). Imaju prijelaze u razini za vozila i pješake, uključujući ulična raskrižja. Ta kategorija definira polubrzi oblik javnog gradskog prijevoza, čije je najpoznatije vozilo tramvaj.
- Kategorija 3. – sadrži površinsku cestu s mješovitim prometom. Prijevozna sredstva dijele prostor ulice s drugim vozilima i pješacima. Postoji mogućnost njihovog odvajanja oznakama na kolniku (žute trake), no nisu fizički odvojene od ostalog prometa. Prijevozna sredstva vezana za tu kategoriju su autobus, trolejbus i tramvaj. Linije te kategorije uključuju neznatne investicije i mogu se prilično lako modificirati ili premjestiti.[11]

4.1.1. DEFINICIJA PRIORITETA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Tramvajska vozila na svome putu između odredišta obavljaju radnje vožnje i izmjene putnika. Vremena zadržavanja na stajalištima u svrhu ulaza i izlaza putnika obavezna. Kako bi se taj proces odvio, tramvaj mora usporiti sa svoje optimalne brzine, zaustaviti se i nakon obavljene izmjene ubrzati nazad na optimalnu brzinu. Vrijeme zadržavanja na stajalištima je varijabla koja ovisi o mnogim faktorima poput vrste vozila (kapacitet i tehničke osobine), konstrukcije stajališta, količini putnika (mogući stariji ljudi i osobe s poteškoćama u kretanju) koji ulaze i izlaze iz kompozicije,način naplate karata, mogućem repu čekanja na stajalištu i drugom. Kada se vozilo zaustavi, vrijeme čekanja na stajalištima postaje proizvod tehnološkog procesa te je vrijeme čekanja na stajalištima apsolutna veličina. Prioritet vozila JGP–a je skup mjera koje omogućuju tramvajskome sustavu da prometuje uz što manje interferencija na međustajališnoj udaljenosti. Prioritetnost tramvajskog sustava se može prikazati koeficijentom iskorištenja brzine:

$$p_n = \frac{V_{avg}}{V_{max}}$$

Prethodna jednadžba je navedeni omjer prosječne brzine (V_{avg}) i najveće dopuštene brzine (V_{max}), što daje prioritetnost sustava (p_n). Što je iznos bliži broju 1, manje smetnji postoji na dijelu mreže. Također je potrebno napomenuti, da se prioritet tramvajskih vozila može jedino

podrazumijevati dok je brzina vozila veća od nule, odnosno prioritetom se ne utječe na proces zadržavanja na stajalištima.[10]

4.1.2. ZNAČAJ DAVANJA PRIORITETA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Prioritet vozila javnog gradskog prijevoza je od velikog značaja jer ima izravan utjecaj na vrijeme vožnje i na vrijeme putovanja. Slijedno tome, porastom prioriteta dolazi do smanjenja odstupanja u vremenima putovanja i smanjenja vremena obrta. Vrijeme zadržavanja vozila na stanicama radi ukrcaja i iskrcaja putnika nema utjecaj na prioritet vozila.

Prioritiziranje JGP–a ima mnoge prednosti:

- Prosječna brzina vozila javnog gradskog prijevoza poraste, što vodi ka kraćim trajanjima putovanja. Stoga putnici gube manje vremena, posebno u vršnim satima.
- Vozni redovi postanu stabilniji, pouzdaniji, precizniji i točniji.
- Povećanje brzine vožnje povećava atrakciju JGP–a, te privuče ljude na korištenje autobusa ili tramvaja. Time je na cesti manje osobnih vozila.
- Emisije vozila JGP–a se smanje jer provode manje vremena u zagušenjima, ali je i očekivan ukupan pad emisija štetnih tvari. [10]

Prioritet ima utjecaj na slijed vozila radi promjene maksimalne frekvencije na mreži linija koja postaje ovisna većinom o vremenima čekanja na stajalištima. Vremena čekanja na stajalištima su mnogo kraća od vremena čekanja na semaforiziranim raskrižjima Naime, vremena čekanja su nužna radi ukrcaja korisnika sustava, stoga nemogu biti uključena u kalkulacije. S postizanjem stabilne frekvencije vozila, vremena čekanja bi također postala zanemariva. Krajnji rezultat je smanjenje potrebnog broja vozila u radu linije i na mreži linija javnog gradskog prijevoza, odnosno racionalizacija tramvajskog podsustava. Davanjem prioriteta tramvajskom podsustavu postigle bi se mnoge energetske uštede na samoj električnoj mreži. Naime, cilj prioriteta nije uštedjeti električnu energiju, već povećati atraktivnost sustava. U slučaju da se na semaforiziranim raskrižjima uspostavi prioritetnost tramvajskog podsustava, moguće je očekivati smanjenje broja korisnika osobnih vozila ili pak rasterećenje prometnica na kojima prometuju tramvajske linije. Prilikom odabira načina prijevoza, putnicima je u interesu putovati uz što veću udobnost vožnje i što manje vrijeme putovanja. Pri tome je tramvaj konkurentan osobnom

sutomobilu samo na srednjim udaljenostima. Osobni automobil obavalja prijevoz „od vrata do vrata“, što znači da nije potrebno čekati na dolazak vozila javnog gradskog prijevoza niti dijeliti zajednički prostor s ostalim putnicima. Također, osobni automobil je mnogo pogodnije sredstvo u svrhu opskrbe kućanstva i kupovine. Vrijeme putovanja je s putničke perspektive ključan faktor u odabiru načina prijevoza, stoga često i odabiru osobni automobil. Putničko vrijeme putovanja se sastoji od vremena pješačenja, vremena čekanja vozila JGP–a i vremena vožnje u vozilu. Operater JGP–a može utjecati na vrijeme vožnje i vrijeme čekanja, stoga operaterova zadaća je da omogući stabilan vozni red i što kraće vrijeme putovanja. Pod pretpostavkom da su dolazak putnika i tramvajskog vozila na stajalište ili terminal slučajna pojava, vrijedi da je prosječno vrijeme čekanja vozila jednako polovini slijeda vozila na toj liniji.

Također, u interesu operatera bi trebalo biti vrijeme koje im vozači provedu u radu. Postizanjem visokog prioriteta JGP – .a i skraćenjem vremena vožnje, i sam vozač bi imao frekventnije odmore. Zbog raznih utjecaja na gradskim prometnicama vožnja tramvaja je jedna od najzahtjevnijih zadaća čovjeka u gradskom prometnu. Stoga stabilniji vozni red utječe i na vozače. Osiguravanje adekvatnog vremena odmora za vozače je ključno za njihovu operativnu sposobnost. Razna istraživanja su zaključila da rad u sjedećem položaju stvara mnoge negativne efekte na ljudski organizam. Vožnja bilo kakvog prometnog vozila se pretežito izvodi u modificiranom sjedećem položaju. Taj položaj je također nepogodan ljudskome tijelu radi dugotrajnih stresova koje položaj tijela i utjecaj vanjskih sila te vibracija proizvodi na organizam. Vozačima bi frekventniji odmori doprinijeli očuvanju zdravlja. Ni u jednoj radnoj djelatnosti nije se moguće u potpunosti očuvati od radnih stresova, ali za brigu o vlastitome organizmu je odgovoran i sam vozač.

Prioritet vozila JGP–a je u interesu prijevoznika i opće zajednice jer se smanjuje potreban broj vozila u mreži linija, što povlači mnogobrojne pozitivne učinke:

- smanjenje troškova prijevozničke tvrtke odnosno subvencija nadležnog tijela,
- smanjenje eksternih troškova šire zajednice u prometu,
- smanjenog negativnog utjecaja na okoliš,
- smanjenje trajanja putovanja,
- mogućnost rasterećenja gradskog prometa,
- ravnomjerniju ponudu usluge.[10]

4.2. ČIMBENICI SMETNJE

Čimbenicima smetnje prioritetu tramvajskih vozila nazivaju se svi elemetni prometnog sustava čiji utjecaj uzrokuje nemogućnost kretanja tramvajskih vozila u idealnom, slobodnom prometovanju. Također, smetnjom se može smatrati svaka pojava koja uzrokuje smanjenje brzine vožnje.

Čimbenici smetnje mogu se podijeliti na sljedeće načine:

- prema načinu pružanja (longitudinalni i transverzalni),
- prema načinu djelovanja (izravni i posredni),
- prema poštivanju zakonske regulative (zakonite i nezakonite).[10]

4.2.1. TRANSVERZALNI ČIMBENICI SMETNJE

Transverzalni čimbenici smetnje se pružaju poprečno na smjer kretanja tramvajskih vozila, a njihovo područje djelovanja je maleno. Zbog toga je za njih karakteristično da vozila pri nailasku na njih moraju intenzivnije usporavati i prema potrebi se zaustaviti, za vrijeme dok je područje djelovanja zauzeto. Transverzalni čimbenici su pješački prijelazi i semaforizirana raskrižja.

Pješački prijelazi se pružaju okomito na tramvajski kolosijek. Tramvaj smije proći jedino ako na prijelazu ili u njegovoj neposrednoj okolini nema pješaka. Čest slučaj je da pješak stoji kraj pješačkog prijelaza i njegove namjere se nemogu razaznati. Pješaci često propuštaju vozila iz navike. Semaforizirana raskrižja imaju zadaću ravnomjerno propuštati prometne tokove uz veću sigurnost i udobnost vožnje. Prometom se upravlja pomoću faza koje su sastavni dio ciklusa raskrižja, a tramvajsko vozilo ima vlastitu fazu tokom koje ima slobodu prolaza raskrižjem.[10]

4.2.2. LONGITUDINALNI ČIMBENICI SMETNJE

Longitudinalni čimbenici smetnje se pružaju duž trase, odnosno dijele isti prometni trak s tramvajskim prometom. Dijele se u dvije skupine: tokovi vozila JGP i tokovi ostalih vozila u prometnom toku. Oni nastaju u ovisnosti je li trak u kojem se odvija tramvajski promet:

- fizički odvojen trak,
- zakonski odvojen trak,
- mješoviti trak.

Transverzalne i longitudinalne čimbenike smetnje se može svrstati u skupinu zakonskih čimbenika, jer je njihovo djelovanje u potpunosti u skladu sa zakonskim propisima nadležnog tijela. Na mrežama linija je česta pojava nezakonitih čimbenika smetnje, koji bi trebali biti podložni sankcijama. Protuzakonite radnje u prometu koje stvaraju takve čimbenike smetnje su:

- oduzimanje prednosti tramvajima na semaforiziranom ili nesemaforiziranom raskrižju od strane cestovnih vozila ili drugih tramvaja,
- oduzimanje prednosti tramvajima duž linije od strane pješaka,
- oduzimanje prednosti tramvajima prilikom izlaska vozila s parkirnog mjesta ili zbog nepropisnog parkiranja vozila pored tramvajskog kolosijeka,
- nepoštivanje žutih trakova na način da se koriste neovlašteno od strane ostalih sudionika u prometu (osobna, dostavna i teretna vozila).

Oduzimanje prednosti u bilo kakvom obliku predstavlja opasnost za sve putnike unutar vozila, te može doći do teških prometnih nesreća. Iz sigurnosnih aspekata je potrebno razmotriti i identificirati potencijalno opasna mjesta. Sankcionirati bi se trebala i nepropisno parkirana vozila pored tramvajskog kolosijekate nepošitavnja žutih trakova. Takvi mali zastoji povećavaju vrijeme putovanja putnika i stvaraju neravnomjernosti u voznome redu.[10]

4.2.3. KUMULATIVNI EFEKT NERAVNOMJERNOSTI PROTOKA JGP–a

Kumulativni efekt neravnomjernosti protoka JGP–a je učinak koji se javlja kad je zajednički doprinos više čimbenika smetnje takav da postane veći nego što bi bio zbroj doprinosa

svakog od čimbenika posebno. U tramvajskom podsustavu on je čest, a nastaje pojavom posrednih čimbenika smetnje.

Posredni čimbenici smetnje su svi čimbenici koji neposredno utječu na vrijeme putovanja. Neki posredni čimbenici, kad bi se promatrali odvojeno, ne bi imali nikakav utjecaj na tramvaje da se nisu pojavili u kombinaciji s izravnim ili drugim posrednim čimbenicima smetnje. Neki od primjera takvih čimbenika su:

- semaforizirano raskrižje pored stajališta koje uzrokuje zadržavanje vozila u području stajališta koje uzrokuje nemogućnost dolaska tramvaja na stajalište,
- tok pješaka na bočnom pješačkom prijelazu koji zaustavlja tok desnih skretača koji se nalaze u istom traku kao i tramvaj,
- semaforizirano raskrižje koje zadržava tok vozila za jednu fazu, a isti zadržava tramvaj koji prolazi u različitoj fazi.

Posljedica kumulativnog efekta je nagli rast vremena vožnje i nepravilnosti u vremenima putovanja, budući da se javlja u nepravilnim vremenskim razmacima. Kumulativni efekt može nastupiti i zbog nezakonitih čimbenika smetnje, a ekstremni slučajevi su izvanredni događaju koji onemogućuju daljnje funkcioniranje sustava.[10]

4.3. RJEŠENJA ZA UNAPRJEĐENJE PRIORITETA JGP–a

Kao unapređenje prioriteta JGP–a se smatra eliminacija neželjenih učinaka koje čimbenici smetnje stvaraju, a manifestiraju se u obliku gubitka brzine na međustajališnim udaljenostima. Prioritet se može podijeliti u tri skupine:

- zakonodavni,
- fizički,
- operativni (prometni).

U današnje vrijeme prioritet tramvajskog podsustava se mora oslanjati na uporabu:

- informacijsko – komunikacijske tehnologije,
- inteligentnih transportnih sustava,
- transportne telematike.

Gradski promet je gotovo nezamisljiv bez podrške ITS – a radi sve većih prometnih, ekonomskih i ekoloških zahtjeva koji se postavljaju na njegovo normalno funkcioniranje. [10]

4.3.1. RJEŠENJA U OBLIKU ZAKONODAVNOG PRIORITETA

Zakonodavni prioritet je skup zakonskih smjernica koje određuju pravila ponašanja tramvajskih vozila u prometnom sustavu. Većinom su bazirane na općim karakteristikama vozila i infrastrukture kojima se sustav služi. Zakonodavni prioritet služi kao alat kojime se eliminiraju nezakoniti čimbenici smetnje, odnosno preventivnog je karaktera te njegovo područje obuhvata se nalazi duž cijele linije.

Zakonske odrednice koje određuju ponašanje tramvajskih vozila u prometnom sustavu odnosi se na prednosti prilikom upravljanja na raskrižju. Tako su mjerodavni redom: ovlaštena osoba (prometni policajac), potom ju slijedi svjetlosna signalizacija, pa vertikalna signalizacija, s prometnim pravilima na začelju.

Regulacije vezane za tramvajski promet imaju slijedeće posljedice:

- za tramvajska vozila koja prilaze semaforiziranom raskrižju vrijede jednaka ograničenja kao i za sva ostala vozila (ne smiju proći raskrižjem ukoliko nije aktivna vlastita faza),
- tramvajska vozila koja prilaze na pješačke prijelaze obavezna su pješake koji imaju namjeru kretati se ili se kreću po pješačkom prijelazu,
- za tramvajska vozila koja prilaze nesemaforiziranom raskrižju s vertikalnom signalizacijom vrijedi da trebaju poštivati signalizaciju (u pravilu je ona postavljena u korist tramvaja),
- za tramvajska vozila koja prilaze nesemaforiziranom raskrižju bez prometnih znakova vrijedi da imaju prednost prolaska nad ostalim vozilima (to uređuje pravilo o tračničkim vozilima)
- za tramvajska vozila koja prilaze nesemaforiziranom raskrižju s drugim tramvajima bez vertikalne signalizacije međusobno vrijede ista pravila koja vrijede za cestovna vozila, no tračnička vozila imaju prednost prolaska u odnosu na ostala vozila,
- ako je namjena prometnih površina (trakova) takva da je mogu koristiti druga vozila, za njih će vrijediti ista pravila kao i za tramvaje.

Za prometne površne po kojima se kreću tramvaji vrijedi slijedeće:

- zabranjeno je zaustavljanje ili parkiranje na obilježenim stajalištima ili u blizini istih,
- obavezno je propuštanje tramvaja ukoliko kreće sa stajališta,
- obavezno je poštivanje žutih trakova za skupine vozila koje se nesmiju koristiti žutim trakovima,
- zabranjeno je kretanje pješaka po tramvajskom kolosijeku.

Osim preventivnog, zakonodavni prioritet mora biti i represivnog (korektivnog) karaktera, odnosno mora propisati sankcije u slučajevima nepoštivanja zakonske regulative. Obično dolazi do problema u tom pogledu, jer je mreža linija JGP–a razmjerno velika, te bi bilo praktički nemoguće angažirati radnu snagu u sklopu prometne policije koja bi obavljala te zadaće uz postojeće troškove radne snage, Najveći problem obično predstavlja nepoštivanje žutih trakova.

S obzirom na dostignuća postojeće tehnologije, problemu se može pristupiti primjenom sustava za nadgledanje i praćenje poštivanja prometnih propisa. Sljedeće su tehnologije potrebne za implementaciju navedenih sustava:

- CCTV kamere za videonadzor,
- program za automatsko rasponavanje registarskih oznaka,
- GPS sustav.

Kamere mogu biti ugrađene na dva načina, u vozilu i izvan vozila. Prednost ugradnje u vozilo je izravno praćenje čimbenika smetnje u vozilu, dok se nedostatak očituje u nepouzdanosti GPS sustava. Ugradnja izvan vozila omogućuje točno nadgledanje mjesta posebne važnosti za koje je utvrđeno da se bilježe česti slučajevi prometnih prekršaja. Kamere moraju imati mogućnost fotografiranja više slika odjednom, i biti opremljene senzorima radi pravovremene detekcije prekršitelja i snimanja za vrijeme dok je prekršaj u tijeku.

Ovakav sustav nadzora pruža velike mogućnosti u postizanju poboljšanja prioriteta sustava jer se uz početne troškove ugradnje mogu dobiti elektronički podatci o mjestu, vremenu i vlasniku vozila koji je napravio prekršaj. Jedini nedostatak ovakvog sustava je moguće narušavanje privatnosti osoba, što može predstavljati pravnu prepreku za implementaciju sustava pa je stoga važno provesti inicijative za postizanje prihvaćanja javnosti.

Svi sustavi moraju biti integrirani u jedan zajednički sustav koji ima ulogu automatskog detektiranja prekršaja, slanja podataka u centar za nadzor i upravljanje prometom, te komunkacije s nadležnim zakonodavnim tijelom u svrhu određivanja sankcije (policijom). [10]

4.3.2. RJEŠENJA U OBLIKU FIZIČKOG PRIORITETA

Pod pojmom fizičkog prioriteta smatraju se različiti oblici rezerviranja određenih površina na kolniku namjenjenih vozilima javnog gradskog prijevoza kao posebno izdvojeni prometni trakovi, posebni prilazi namjenjeni vozilima JGP–a, kolnici koji daju prvenstvo JGP i kolnici namijenjeni isključivo za gradski prijevoz. Fizički prioritet u odnosu na zakonodavni prioritet je superiornija mogućnost jer eliminira nezakonite čimbenike smetnje pa predstavlja osnovu za daljnje poboljšanje prioriteta. Često pripada u domenu građevinarstva i proizvod je prostornih mogućnosti koje pružakoridor kojim prolaze vozila JGP–a. Najteže ga je ostvariti u središtima gradova jer su zahtjevi za prostorom na tom području najveći. U periferiji grada je manje takvih problema jer se trase linija obično pružaju duž širokih avenija.

Tri su glavne skupine ostvarivanja prioriteta – nadzeman, podzeman i u razini. Nadzemni i podzemni prioriteti se koriste kod tračničkih sustava uslijed velikih potražnji za prijevozom. Kod tramvajskog podsustava prioritet je manje važnosti zbog manje prijevozne sposobnosti i veće osjetljivosti ulične mreže prema većim zahvatima, pa je u pravilu u razini.

Može se klasificirati kao:

- potpuni fizički prioritet u razini,
- kvazi – fizički prioritet u razini,

Kada se tramvajskom sustavu da potpuni prioritet, nemoguća je interferencija s ostalim prometom na trasi linije JGP–a. Kolosijeci se izvode na razne načine (bez kolosiječnog zastora, šljinčani ili zemljani zastor). Moguće je dodati fizičke barijere između koridora tramvajskog prijevoza i kolnika. Kvazi – fizički prioritet se postiže izdvajanjem pomoću fizički izdignutih oznaka na kolniku između traka ili određivanjem kretanja vozila JGP–a suprotnim smjerom u odnosu na ostali promet. [10]

4.3.3. RJEŠENJA U OBLIKU OPERATIVNOG PRIORITETA

Operativni prioritet možemo nazvati i prometni prioritet. Daje se na prometnoj razini sustava, te je dan u sklopu upravljanja prometom. Operativni prioritet pomaže izolirati tramvaj od ostalih modova prometa za vrijeme prolaska trasom. Transverzalni čimbenici smetnje su velik problem u postizanju veće razine usluge tramvajskog podsustava. Oni uzrokuju nepotrebna zadržavanja koja imaju najveći utjecaj na vrijeme vožnje. Postizanje boljeg operativnog prioriteta se može postići eliminacijom utjecaja transverzalnih čimbenika smetnje, te omogućavanjem prolaska tramvaja bez zaustavljanja.

Poprečni pješački prijelazi su slučaj gdje pješaci imaju prednost prolaska zbog zakonskih propisa. Načini da se uklone smetnje poprečnih pješačkih prijelaza su organizacija pješačkih tokova, semaforizacija pješačkih prijelaza ili kreiranja pješačkih prijelaza van razine (pothodnici ili nathodnici).

Razvijeni su adaptivni sustavi upravljanja semaforiziranim raskrižjima. Navedeni sustavi mogu dati prioritet JGP – u i time poboljšati operativne varijable sustava i samanjiti troškove unutar prometnog sustava. U idućem poglavlju su razrađeni operacijska razina semaforiziranih raskrižja i sustavi adaptivnog upravljanja prometom. [10]

4.4.ADAPTIVNO UPRAVLJANJE PROMETOM

Adaptivno upravljanje prometnom jedna je od grana ITS – a. Inteligentni transportni sustavi (ITS) omogućuju informacijsku transparentnost, upravljivost i poboljšan odaziv prometnog sustava, a čime on dobiva atribute inteligentnoga. Atribut inteligentan označuje sposobnost adaptivnog djelovanja u promjenjivim uvjetima i situacijama pri čemu je potrebno prikupiti dovoljno podataka i obraditi ih u realnom vremenu. Ne postoji točna definicija ITS – a, ali ga se može definirati kao holističku, upravljačku i informacijsko – komunikacijsku (kibernetsku) nadogradnju klasičnog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika, manja onečišćenja okoliša, itd.[2]

Adaptivne upravljačke logike se provode na svim razinama upravljanja, ali najčešće na arterijskim ili središnjim upravljanjima prometom. Provodi se radi koordinacije raskrižja, optimiziranja vremena putovanja i smanjenja broja zaustavljanja na koridoru ili cijeloj mreži. Korištenjem prometnih podataka s ulaza i izlaza u sustave ili podsustave na mreži se može osigurati učinkovitiji nadzor prometa. Prilagodljivom kontrolom prometa se predviđa prometna potražnja na jednom raskrižju na temelju prometa i rada signala na raskrižjima u okolini. Sustavi su fleksibilni i omogućuju mijenjanje duljine ciklusa i mijenjanje vremena pojedinih faza unutar ciklusa. Također, unutar sustava je moguće nadodati detektore za vozila i opremu pomoću koje vozila JGP–a mogu imati osiguranu prednost prolaska raskrižjem. Cijeli se proces zbiva u realnom vremenu te se prilagođava okolnostima prometnog sustava svakog trenutka. [12]

Mora se uzeti u obzir da su navedeni sustavi podjednaki, razlikuju se u principu rada i ponekim osobinama. Teško ih je usporediti jer na kraju krajeva svaki grad je drugačije građen i ima drugačije potrebe. Svaki sustav u krajnjem slučaju povećava protočnost prometa uz čitav niz pozitivnih utjecaja. Pritome se mora na umu imati, da uspostavljanje takvih sustava zahtjeva visoke operacijske i tehnološke resurse za razliku od semaforiziranih raskrižja gdje se promet vodi individualno.

Možemo svrstati sustave adaptivnog upravljanja u dvije generalne skupine:

- Adaptivni sa selektivnim planovima,
- Potpuno adaptivni sustavi.

Adaptivni sustavi sa selektivnim planovima se mogu nositi s povremenim promjenama manjeg intenziteta, pogodni za arterijsko upravljanje sustavom i puno su jeftiniji od potpuno adaptivnih sustava. Njihovi nedostatci su: zahtjevaju velike baze podataka, detektori mogu prouzročiti razne probleme, mogu nastati problemi u promjeni signalnih planova, te je teško predvidjeti sva zbivanja u prometu. Potpuno adaptivni sustavi imaju signalni plan koji se kroz vrijeme mijenja i napreduje pa ne zahtjeva nikakvo fizičko ažuriranje, dobro podnosi sve vrste odstupanja, reagiraju automatski na nezgode i mogu dati podatke o prometu u stvarnome vremenu. Nedostaci sustava se javljaju povremeno i to: u malim kvarovima na detektorima koji na kraju rezultiraju u padu efikasnosti; sustavi su skupi za uspostaviti, zahtjevaju centralnu jedinicu za upravljanje te nije ih teško, ali ih je nužno često održavati. [12]

Razni sustavi adaptivnog upravljanja su razvijeni i pokušava ih se unaprijediti. Navedeni sustavi mogu prilagoditi prioritet raskrižja tramvajskom podsustavu JGP–a. Najpoznatiji sustavi adaptivnog upravljanja su:

- SCOOT,
- SCATS,
- UTOPIA,
- RHODES,
- MOTION.

U tablici 4.2. su sadržani mjerljivi pozitivni učinci ITS nadogradnje sustava. U prvome stupcu tablice su vidljiva poboljšanja uz adaptivne upravljačke logike. U drugome stupcu se nalazi dodana nadogradnja pravovremenih informacija dostupnih vozaču. Treći stupac predstavlja učinak dodatnih mjera upravljanja prometnom potražnjom.

Tablica 4.2. Koristi integracije ITS rješenja

	Adaptivno vođenje prometa	+ Informiranje vozača	+Upravljanje prometnom potražnjom
Vremenske uštede osobnih vozila	Do 20%	Do 22% na čitavom putu	>22%
Vremenske uštede JGP–a	Do 15%	Do 20%	>20%
Smanjenje onečišćenja okoliša	5 – 7% lokalno	Do 18% lokalno Do 8% globalno	Do 21% lokalno Do 11% globalno

Izvor: [8]

4.4.1. SCOOT

SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) je često korišten sustav adaptivnog upravljanja prometomte je implementiran u više od 250 gradova u svijetu. Sustav koristi podatke u stvarnom vremenu kako bi prilagodio signalna vremena unutar ciklusa. Kao detektor vozila koristi induktivne petlje, a u prometnom centru se procjenjuje tok prometa i prometna potražnja. Sustav koristi optimizacijske procese kako bi se odredilo vrijeme ciklusa, faze i „offseta“. SCOOT može smanjiti zastoje u gradu čak i do 20%. Induktivne petlje šalju binarne signale o

zauzetosti traka svake sekunde kako bi se osigurala frekventna promjena signalnih planova. SCOOT izvršava velik broj malenih optimizacijskih odluka, često i preko 10.000 u satu na 100 raskrižja.

SCOOT je fleksibilan sustav jer može upravljati suprotnim regijama istovremeno. Ima sustave strategijskih prilagodbi, te može štititi neku zonu od prevelike količine prometa, ili dati prioritet autobusima kako bi održali točnost voznog reda. Unatoč malim promjenama koje mu je dozvoljeno primjeniti u sklopu svoje optimizacijske procedure, jako dobro podnosi nagle promjene i šokvalove u prometnome toku. Studije govore da u Torontu nakon bejzbol utakmica su smanjena vremena čekanja za 61%, u usporedbi sa fisknim signalnim planom. [12]

Sustav je implementiran većinom u Velikoj Britaniji, a nakon implementacije su zabilježena smanjenja zagušenja za 10%.Teoretski beneficije uvođenja sustava su najizraženije pri teškim, kompleksnim i nepredvidivim tokovima prometa. Smanjenje repa čekanja i sanacija kritičnih područja je glavni zadatak sustava. Baziran na zastojima na raskrižjima, relativan performans SCOOT – a u usporedbi s temeljnim sustavom se poboljšava u uvjetima događaja visoke važnosti za razliku kada mora upravljati raskrižjima manjeg volumena u vršnom satu. Pogodan je većinom na raskrižjima s visokim kapacitetom, pogotovo nakon sportskih, političkih, kulturnih i sličnih događaja. Sustav ima svojih odstupanja od normale, ali većinu vremena sustav je konstantan i ne uzrokuje prometne probleme. [13]

4.4.2. SCATS

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) je sustav koji koristi bazu podataka fiksnih signalnih planova koji su razvijeni da bi riješili razne prometne situacije. Sustav tako koristi veliku količinu predterminiranih podataka kako bi osigurao protočnost sustava. Funkcionira na dvije razine, višoj koja upravlja odabirom „offset – a“ signalnog plana i nižoj koja optimizira ostale parametre raskrižja.

Sustav u hodu obrađuje podatke i primjenjuje ih na mrežu trenutno. Signalni planovi nisu opsežni, te se koriste manje baze podataka. Prema podatcima dobivenim na mreži centralna postaja može raditi promjene od 2% na prethodnu signalnu fazu. Sustav može postaviti tri prioriteta za vozila, niski, srednji i visoki. Tramvaji se pritom vode kao visoki prioritet, autobusi

kao srednji te ostatak prometa niski. Takva raspodjela se radi kako bi se smanjila vremena čekanja masovnih modaliteta prijevoza.

Nedostatak sustava je optimizacija „offset“ dijela ciklusa koji ima utjecaj na progresiju vozila među regijama. Baziran je na detekciji na stop liniji, što znači da ne raspoznaje duljinu repa čekanja. Kod rješavanja repova čekanja i problema sa zagušenjima ima svojstvo prepoznavanja najzauzetije faze. Također, vrlo dobro podnosi velike količine prometa koje graniče sa zagušenjima, kompleksne prometne tokove i nepredvidive varijacije. [12]

4.4.3. UTOPIA

UTOPIA (Urban Traffic Optimization by Integrated Automation) je sustav adaptivnog upravljanja s hijerarhijsko decentraliziranom strategijom. Cilj je minimalizirati ukupno izgubljeno vrijeme vozila, a vozila JGP–a se prioritetiziraju kako ne bi stajala na semaforiziranim raskrižjima. Bazirana je na optimizaciji funkcije troška ovisno o zaustavljanjima vozila, kašnjenjima vozila JGP–a, odstupanjima voznog reda i prethodnim povijesnim signalnim planovima. Optimizacija se vrši i na lokalnoj i mrežnoj razini. Lokalna razina određuje signalna vremena bazirana na funkciji troškova i optimizira se za svakih 120 sekundi, a proces se ponavlja svake tri sekunde. Na razini mreže funkcija troška uzima u obzir susjedna raskrižja da održi dinamiku signalne koordinacije.

UTOPIA ima tri razine hijerarhijske arhitekture sustava:

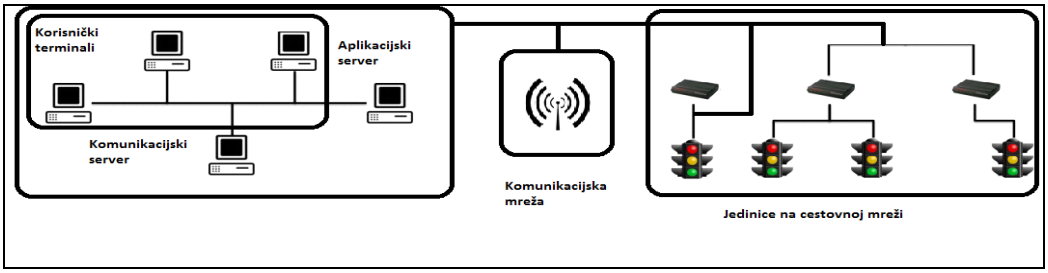
- Lokalna razina (Središnji sustav) – primjenjuje mikroskopske modele da procjeni stanje raskrižja direktnim prikupljanjem mjera koje karakteriziraju raskrižje (gustoća toka, postotak skretača, zastoji).
- Razina područja (Sustav komunikacije) – manje detaljan prometni model koji prati stanje cijele kontrolirane mreže. Ta razina vrednuje lokalnu detekciju pa zatim provjerava promjene u prometnim podatcima u skladu s povijesnim podatcima.
- Razina nadgledatelja grada (Jedinice na mreži) – integrira informacije o zagušenju dane od strane sustava sa podatcima ostalih podsustava (vremena vožnje autobusa). Ova razina koristi makroskopski model te je osebujna u sakupljanju podataka iz cijeloga grada od svakog podsustava.

Sustav UTOPIA je raširen u Europi, ali većina gradova koji koriste sustav su u Italiji. UTOPIA je sustav smišljen upravo kako bi se postavio prioritet JGP–a, stoga se kombinira sa SPOT (System for Priority and Optimisation of Traffic) sučeljem koje povećava trajanje zelenog svjetla kako bi se podudarala vremena dolaska autobusa na stanice. Tehnologija lociranja autobusa je osmišljena da djeluje na velikoj udaljenosti od semaforiziranih raskrižja, a kako bi sustav mogao stupnjevito prilagoditi nadolazeća raskrižja kako bi se vremena dolazaka slagala. UTOPIA koristi detektore petlji na ključnim lokacijama mreže. Sustav je u gradu Torinu utjecao na smanjenje vremena putovanja JGP–a za 20% i 10 – 15% za ostala vozila.

UTOPIA je adaptivna u širokim mrežama, ali funkcija troška koja se koristi nije sasvim pouzdana. Potrebna su česta održavanja kako bi se osigurala dostatna efikasnost. Sustav karakterizira visoka ovisnost o preciznom predviđanju vremena putovanja i detekcijskoj tehnologiji kako bi se dao prioritet javnome prijevozu. [12]

Središnji sustav se sastoji od LAN arhitekture iz kojeg se sustav grana u razdvojene jedinice koje su spojene u jedan zajednički sustav koji radi na visokoj razini. Komunikacijska mreža je fleksibilna WAN arhitekture, te je u mogućnosti pokriti opširno područje. Jedinice uz cestu su inteligentne upravljačke jedinice, spojive s raznim uređajima. [14]

Kroz sljedeća potpoglavlja biti će rasčlanjena arhitektura sustava UTOPIA. Osnovni princip sustava UTOPIA je konstantno aktivno izvođenje optimizacije prometnih signala u svrhu smanjenja ukupnih troškova prometnog sustava. Smanjenje troškova se manifestira kroz smanjenje zagušenja i smanjenje emisija, redukciju vremena putovanja osobnih vozila i vozila JGP–a. Na slici je ugrubo predstavljena arhitektura sustava UTOPIA.



Slika 4.4.: Arhitektura sustava UTOPIA

Izvor: [14]

Središnji dio sustava je na višoj razini od ostala dva podsustava. On razrađuje optimizacijske strategije za cijelu mrežu. Temeljen je na LAN serverima i pruža širok spektar navedenih funkcija:

- Mrežno praćenje sustava,
- Dijagnostiku sustava,
- Upravljanje prometom i prioritetom JGP–a,
- Sinergijsko praćenje i kontrolu,
- Grafički interaktivno korisničko sučelje. [14]

Druga razina sustava UTOPIA koja upravlja ispod središnjeg sustava je bazirana na mreži opreme postavljenoj na uličnu mrežu. Sustav je opremljen računalima na kojima se radi u „SPOT“ software–u. Software “SPOT“ izvršava sljedeće funkcije na razinama raskrižja:

- Sučelje za upravljanje prometnim signalima,
- Adaptivnu kontrolu raskrižja i selekciju signalnoga plana,
- Procjenu stanja na raskrižju,
- Prioritet JGP–a,
- Dijagnostiku lokalne razine. [14]

Komunikacija sustava UTOPIA je ključan dio mreže jer povezuje svu tehnologiju postavljenu na mrežu, središnji sustav, te je nužna i za informiranost korisnika sustava. Kako bi sustav ispravno radio cestovnim jedinicama su konstantno potrebni podatci iz središnjeg dijela sustava i sa susjednih jedinica. Komunikacija je potrebna između softwarea “SPOT“, korištenog na cestovnim jedinicama i upravljača ugrađenih na raskrižja. [14]

4.4.4. RHODES

RHODES (Real – time Hierarchial Optimized Distributed and Effective System) je sustav s tri razine hijerarhije, sličan sustavu UTOPIA. Najviši nivo dodjeljuje promet mreži kako bi procjenio temeljne količine prometa s obzirom da se razvija prometna potražnja i mrežna geometrija. Niža razina sustava je bazirana na predviđenom dolasku niza vozila kako bi se

odredila signalna vremena. Završna razina je razina na raskrižju i u njoj se modeliraju individualne kretnje vozila.

Prednost sustava je ta što se prilagođava stohastičkom ponašanju prometa. Rad sustava bazira se na dva procesa: predviđanju prometa i odluke. Prvi stadij je baziran na trenutno skupljenim podatcima o toku, a drugi gdje se prilagođavaju faze i ciklusi u svrhu optimizacije. [14]

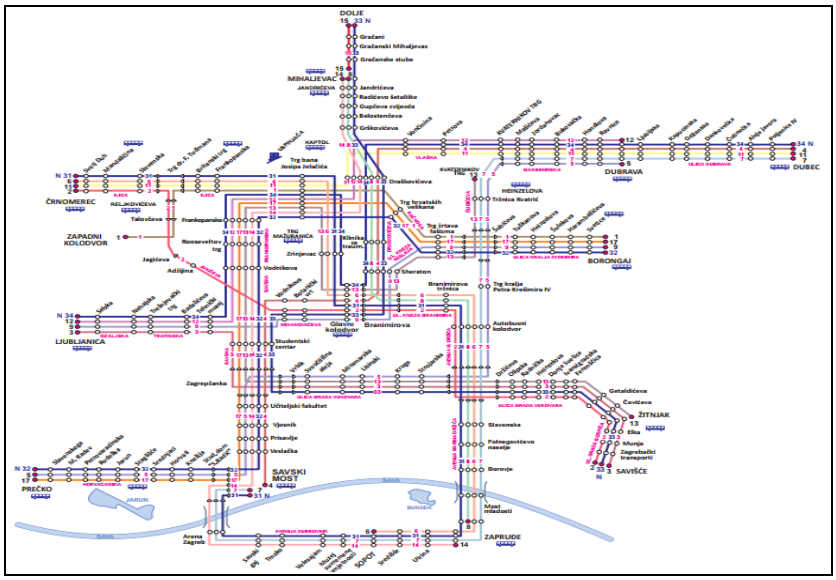
4.4.5. MOTION

MOTION (Method for the Optimization of Traffic signals In Online controlled Networks) se sastoji od dvije glavne komponente: centralne i lokalne. Centralna ima funkciju kreiranja planova koji mogu biti podešeni s lokalne komponente. MOTION upravlja na četiri različita funkcionalna nivoa:

- Prikupljanje podataka – podatci o ulasku i izlasku vozila, detekcija nezgoda.
- Dinamički prometni model –procjena kritičnih pojedinih prometnih tokova i analiza prometa procjenom trenutnog stanja prometa.
- Optimiziranje kontrolnih varijabli – pomoću iteracija sličnih vremena ciklusa i faza određuju se optimalna zelena vremena. Koristi se model slijeda vozila kako bi se optimizirala vremena „offseta“ između raskrižja,
- Odluka – novi preračunati signalni planovi se uspoređuju s trenutnim signalnim planovima. Ako su prisutne anomalije, potrebno je podešavanje. Sustav nije osjetljiv na male promjene. [14]

5. ANALIZA TRAMVAJSKOG PODSUSTAVA GRADA ZAGREBA

Grad Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske. Političko, kulturno i gospodarsko je središte, površine 640km2, sa 779.000 stanovnika. Nalazi se južno od planine Medvednica, te okružuje rijeku Savu. U gradu Zagrebu prevladava ortogonalan tip ulične mreže.Operater JGP–a u gradu Zagrebu je ZET, te svoje usluge građanima pruža pomoću tramvaja, autobusa, uspinjače i ostalih specijaliziranih vozila. U rujnu 1891. godine su prvi put, planski i organizirano kroz grad Zagreb krenula tramvajska kola, pokretana jednom konjskom snagom. Elektrifikacija mreže je provedena 1910. godine, a 1931. Godine su u promet dodane i autobusne linije. Uspinjača ZET–ase smatra neizostavnom, te je u pogonu od 1890. godine. U ZET–om prometu je bila prisutna i Sljemenska žičara, koja je u prometu bila od 1963. do 2007. godine. Trenutno je u izgradnji nova, suvremenija žičara. Vozila ZET–a tri puta dnevno obiđu ekvator, a godišnje 109 puta prijeđu put do mjeseca i natrag. Danas na 119.2 km tramvajskih pruga na 15 dnevnih i 4 noćne linije se godišnje preveze više od 200 milijuna putnika. Tramvajska vozila prometuju na metarskom kolosijeku. Veliki pomak u tramvajskom podsustavu se dogodio 2005. godine kada su na ulice grada stigli modernizirani niskopodni tramvaji domaće proizvodnje. Na slici 1. su prikazane sve trase tramvajskih linija ZET–a.



Slika 5.1. Pregled tramvajske mreže grada Zagreba

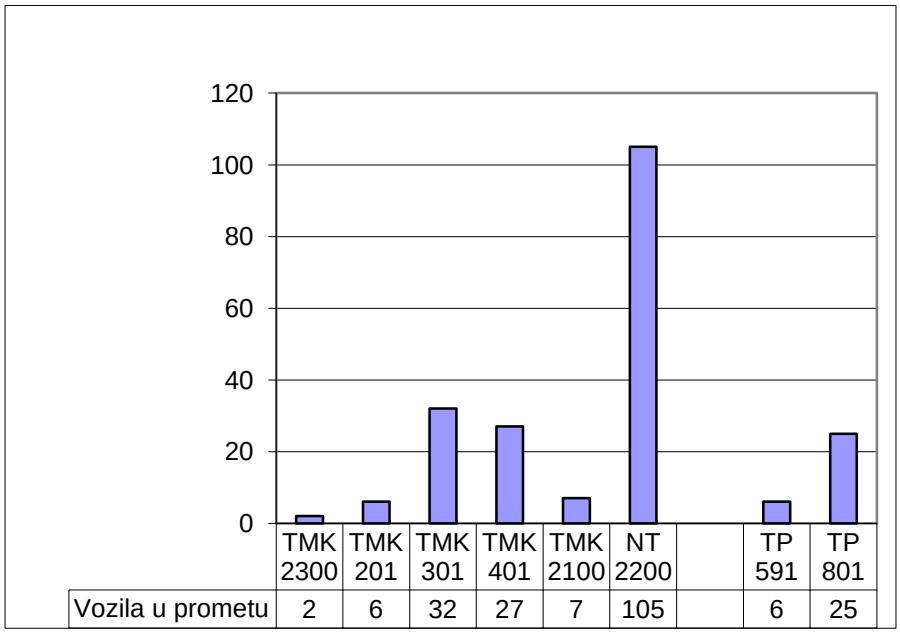
Izvor: [5]

Na slici se vidi da u gradu Zagrebu prevladavaju linije koje spajaju suprotne dijelove grada. Te linije se mogu nazvati dijagonalnim linjama koje prolaze kroz gradsko središte. Linije se većinom pružaju duž glavnih gradskih prometnica. Tramvajskome sustavu grada Zagreba je potreban komplementarni podsustav veće prijevozne moći i brzine.

Kroz grad prometuje prigradska željeznica na relaciji istok – zapad. Ona omogućuje veliku povezivost, a kako je grad eliptičnog oblika može služiti kao glavna žila JGP–a. Poželjno bi bilo nadograditi istu kako bi se postigla bolja povezivost s jugozapadnim dijelom grada. Također, kada bi se takva promjena dogodila, potrebna bi bila rekonstrukcija prometnih tokova tramvajskih i autobusnih vozila kako bi se željeznički sustav učinio dostupnijim. Takav sustav bi zasigurno podigao razine mobilnosti na dužim udaljenostima JGP.

Naime, u radu se govori o unapređenju tramvajskoga sustava davanjem prioriteta. Tramvajski sustav je već razvijen dio, a radi dugih linija linearno su i vremena putovanja duža. Pružanje prioriteta podsustavu JGP–a bi povećalo brzinu sustava, te bi se vremena putovanja smanjila. Time bi se uvođenje prioriteta isplatilo jer na većini linija je vrijeme obrta duže od jednoga sata.

Grafikon 5.1. Dnevni vozni park ZET–a



Izvor: [5]

Grafikon prikazuje vozila koja prometuju na dnevnoj bazi. Generalno pod kraticama se mogu razlikovati tri tipa vozila:

- TMK – Tramvajska motorna kola,
- NT – Niskopodni tramvaj,
- TP – Tramvajska prikolica.

ZET je sa unaprijeđenjem voznoga parka započeo u travnju 2005. Godine, kada su se pojavile prve inačice niskopodnih tramvaja. Ukupan broj motornih vozila ZET–a na dnevnim linijama je 179, te je pristuna 31 tramvajska prikolica. S grafikona je vidljivo da je danas na tramvajskim linijama pristuno 105 niskopodnih vozila, što čini 59% voznog parka. Na nekim dijelovima mreže prometuju starija vozila zbog povećane energetske potrošnje vozila NT2200.

Tablica 5.1. Eksploatacijski pokazatelji tramvajskog prometa (03.04.2017.)

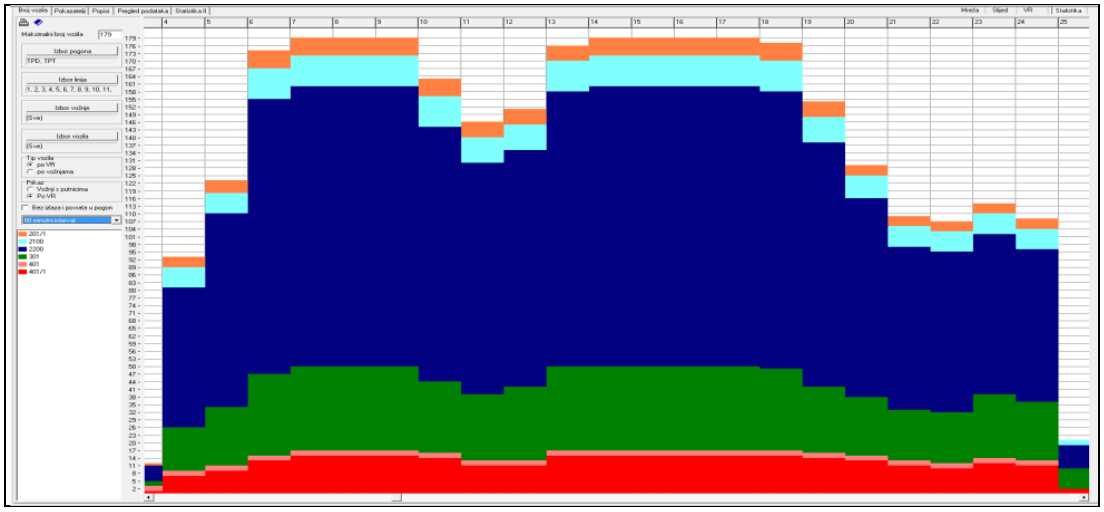
broj linije	duljina linije l (m)	tip vlaka	statički kapacitet C (PMJ)	broj vlakova	slijed vlakova i (min)	frekvencija vlakova f (vlakova/h)	dinamički kapacitet Q (PMJ/h)	vrijeme obrta To (min)	brzina obrta Vo (km/h)
1	5.915	301	150	5 + 0	12,20	4,92	738	31 + 30	11,45
2	10.723	2200/201	206	14 + 6	7,79	7,71	1.588	52 + 57	12,37
3	10.178	301	150	8 + 0	12,38	4,85	727	48 + 51	12,72
4	12.630	401/2200	211	14 + 9	9,43	6,36	1.343	65 + 67	11,66
5	14.448	2100/2200	225	12 + 0	11,92	5,03	1.133	74 + 69	11,71
6	10.472	401/2200	209	16 + 8	6,19	9,70	2.027	48 + 51	13,09
7	16.400	401/2200	208	18 + 8	7,72	7,77	1.616	69 + 70	14,26
8	8.384	2300/2200	187	5 + 0	14,80	4,05	758	37 + 37	13,60
9	7.384	301/2300	148	10 + 0	8,20	7,32	1.083	41 + 41	10,81
11	11.998	2200	202	18 + 0	6,17	9,73	1.965	56 + 55	12,85
12	9.336	2200	202	14 + 0	6,79	8,84	1.786	48 + 47	11,67
13	11.267	301	150	10 + 0	11,80	5,08	763	59 + 59	11,46
14	12.900	2200	202	16 + 0	7,25	8,28	1.672	55 + 61	14,07
15	2.711	401	103	2 + 0	11,50	5,22	537	11 + 12	14,78
17	12.596	2200	202	17 + 0	7,24	8,29	1.675	64 + 59	11,81
+	**157.339**			**179 + 31**		**98,23**	**18.673**		
prosječna vrijednost:					**8,51**	**7,02**	**1.334**		**12,63**

Izvor: [5]

Eksploatacijski pokazatelji iz tablice pokazuju 15 dnevnih linija koje prometuju mrežom tramvajskog podsustava. Prikazane su duljine linija, tip i broj vozila na linijama, statički i dinamički kapacitet, slijed i frekvencija vozila, te vremena i brzine obrta. Ukupna duljina linija mreže je 157,34 kilometra, a prosječna brzina obrta je 12,63 km/h. Također se nemogu

zanemariti vremena obrta koja su na svim linijama osim linije 15 duža od sat vremena, a na većini linija su vremena obrta nešto manja od 2 sata.

Grafikon 5.2. Raspodjela tramvajskih vozila ZET–a u prometu kroz dan



Izvor:[5]

Prethodni grafikon 5.2. prikazuje potrebu za vozilima na tramvajskoj mreži. Vidljivo je da su u vremena vršnih satova potrebna sva vozila na mreži. Noćni sati su zastupljeni sa 4 noćne linije, a u 4 sata ujutro počinje promet dnevnih vozila, koji do 7 sati doseže maksimum. Potreba za vozilima se snizi za dvadesetak posto u periodu od 10 do 13 sati. Zatim počinje podnevni vršni sat te je maksimalan broj vozila u radu sve do 19 sati kada se smanjuje potreba za vozilima 15%, a nakon 21 sat je u prometu 60% vozila.

U svrhu postizanja prioritetnosti sustava, može se zaključiti da je potrebno ukloniti smetnje u kretanju tramvajskih vozila. Problem u gradu Zagrebu predstavlja ovisnost tramvajskog sustava o cestovnim vozilima. Fizički je odvojeno 53% tramvajskog prometa, što ostatak mreže čini podložnom ostatku prometa. Nevezano za fizičku odvojenost podsustava, javljaju se smetnje drugih oblika prometa. Generalno se one mogu podijeliti u transverzalne i longitudinalne faktore smetnje. Veći problem predstavljaju transverzalni (semaforizirana raskrižja i pješački prijelazi) jer radi njih su vozila najčešćeprimorana u potpunosti se zaustaviti.

5.1. KVATERNIKOV TRG

Kvaternikov trg je prometni terminal u centru grada Zagreba. U smjeru istoka i zapada pružaju se Maksimirska cesta (istok) i Vlaška ulica, a na raskrižje se spajaju Domjanićeva ulica (sjever) i Heinzelova ulica (jug). U neposrednoj blizini terminala na Heinzelovu ulicu se spaja Šubićeva ulica, koja preko Avenije Marina Držića vodi na Autobusni kolodvor. U blizini terminala se također nalaze brojne ustanove i mjesta gdje se građanstvo okuplja.



Slika 5.2. Područje Kvaternikovog trga, pogled s Vlaške ulice (zapadni privoz)

Izvor: [15]

Kroz promatrani presjek na Kvaternikovom trgu prometuju linije 4 (Dubec – Savski most), 5 (Dubrava – Prečko), 7 (Dubec – Savski most), 11 (Dubec – Črnomerec) i 12 (Dubrava – Ljubljanica). Tramvajska stanica Kvaternikov trg nalazi se prije semaforiziranog raskrižja Maksimirske ceste i Domjanićeve ulice. Na navedenoj stanici se stvara velik prometni čep tramvajskog prometa, a što se može vidjeti iz priloženih slika. Iz toga čepa nastaje šok val koji se odražava na cijelu tramvajsku mrežu.



Slika 5.3. Snimak prometnog stanja raskrižja

Izvor: [15]

Čep često nastaje radi prelazaka pješaka preko pješačkog prijelaza radi kojih desni skretači s Maksimirske ceste nemogu rasčistiti tramvajsku trasu. Nakon što prvi tramvaj prođe kroz raskrižje, drugi mora stati radi iskrcaja putnika. Tako nastane kumulativni efekt na jednom raskrižju koji poremeti vozni red cijelom slijedu tramvaja. Sličan efekt se zna dogoditi na Trešnjevačkome trgu, na zapadnoj strani grada.

Nekoliko raskrižja istočno, na raskrižju Bukovačka – Maksimirska gdje radi prevelikog toka vozila prema sjeveru (bolnica Rebro) te pješačkog prijelaza u neposrednoj blizini raskrižja na sjevernom privozu nastane red čekanja vozila koji tramvajsko vozilo s istočnog privoza mora čekati da bi prošlo kroz raskrižje.

5.2.RASKRIŽJE DRAŠKOVIĆEVA – VLAŠKA – ŠOŠTARIĆEVA

Navedenim raskrižjem prolazi pet tramvajskih linija: 4 (Dubec – Savski most), 11 (Dubec – Črnomerec),12 (Dubrava – Ljubljanica), 8 i 14 (Mihaljevac – Zapruđe). Sjeverni privoz Šoštarićeva ulica je jednosmjerna prema sjeveru, južni privoz je nedostupan svim vozilima osim vozilima JGP–a, taksija ili hitnih službi. Istočni i zapadni privoz Vlaške ulice vodi jednosmjerno prema raskrižju. Zastoji također nastaju radi velike koncentracije pješaka, ali i radi visoke

koncentracije prometa s istočnog privoza raskrižju koja imaju jedinu mogućnost ići na sjeverni privoz. Raskrižje nije regulirano semaforiziranim raskrižjem što predstavlja problem za dodjeljivanje prioriteta vozilima.



Slika 5.4. Snimak sa sjevernog privoza raskrižju

Izvor: [15]

5.3. RASKRIŽJA NA KORIDORU SAVSKE ULICE

Dva su raskrižja na koridoru Savske ulice koja predstavljaju longitudinalan čimbenik smetnje tramvajskom prometu. Raskrižja Slavonske avenije i Ulice grada Vukovara su slično regulirana. U blizini oba raskrižja na Savskoj ulici su odvajanja trakova za prolaz ravno i desno skretanje izvedena preko tramvajskih trakova.



Slika 5.5. Snimak prometne gužve prije raskrižja s Ulicom grada Vukovara

Izvor: [15]

Raskrižja su izvedena na ovaj način zbog manjka prostora za tramvajska stajališta i mogućnosti za manipulaciju trase tramvajskog prometa. Na slici 2 je prikazan tramvaj kod stajališta kako vrši ukrcaj i iskrcaj putnika. Na koridoru Savske ceste su 2 takva raskrižja i stanice. Obje lokacije predstavljaju smetnju slobodnom kretanju tramvajskih vozila.



Slika 5.6. Prikaz odvajanja trakova i tramvajske stanice u daljini

Izvor: [15]

5.4. RASKRIŽJA NA KORIDORIMA ZELENIH VALOVA

Središtem Zagreba u smjeru istok-zapad pružaju se dvije paralelne, jednosmjerne prometnice suprotnih smjerova. Na oba koridora prometuje se na tri prometna traka. Vozači osobnih vozila ukoliko voze brzinom od 40 km/h mogu slobodno proći cijelim koridorom. Navedeni koridori pogoduju cestovnim vozilima, te rasterećuju gradsku mrežu. Navedenim koridorima semaforiziranih raskrižja upravlja se koordiniranim arterijskim načinom upravljanja. Obje prometnice se križaju sa tramvajskim podsustavom na Draškovićevoj i Praškoj ulici, te Savskoj cesti. Zeleni valovi predstavljaju promet prioritetnosti tramvaja jer na njima faze uvijek moraju biti jednakog trajanja, kako bi arterijsko upravljanje imalo efekta. Svrha zelenih valova je rasterećenje gradskog središta. Prekidanje tih tokova stvorilo bi velika zagušenja na cestovnoj mreži. Stoga je na navedenim privozima teško oduzeti pravo prolaska osobnim vozilima, a prioritet dati tramvajskome prometu koji prometuje sporednim prometnicama.



Slika 5.7. Raskrižje Praške ulice i Boškovićeve ulice

Izvor:[15]

5.5. RASKRIŽJE „VUKOVARSKA-DRŽIĆEVA“

Raskrižje Ulice grada Vukovara i Avenije Marina Držića je jedno od kompleksnijih raskrižja u gradu Zagrebu. Raskrižje se nalazi u neposrednoj blizini Autobusnog kolodvora Zagreb. Slika 5.8. daje pogled sa sjevera na raskrižje navedenih avenija, a svakim privozom prometuju tramvajska vozila (linije 2, 3, 5, 6, 7, 8 i 13). Na raskrižju je nemoguće dodjeljivati prednost prolaska tramvajima koji dolaze sa istoka, zapada i juga, jer je sjeverni privoz dominantan. Signalni plan faza mora imati dodatnu petu fazu kako se sjeverni privoz ne bi preopteretio. Na privozu je ugrađena tehnologija za detekciju tramvajskih vozila, a faza se uključuje samo u slučaju detekcije istog. Navedena tehnologija nije u mogućnosti odrediti smjer kretanja vozila. Zbog velikog broja tramvajskih vozila koja prometuju raskrižjem, teško bi bilo odrediti kojem vozilu dati prioritet. Taj problem može biti riješen pomoću brojača putnika u vozilima. Na taj način moguće je odrediti vozilo koje vozilo prevozi više putnika i na osnovu toga dodijeliti prioritet.



Slike 5.8. Ptičja perspektiva raskrižja Ulice grada Vukovara i Avenije Marina Držića

Izvor: [15]

6. STUDIJE SLUČAJA

Poglavlje sadrži studije slučaja koje daju pobliže razumijevanje prioriteta JGP–a i razvoja adaptivnih sustava za upravljanje prometom.

6.1.ISTRAŽIVANJE U SKLOPU PROJEKTA „CIVITAS ELAN ZAGREB“

Osnovni princip urbane mobilnosti je povećanje korištenja JGP–a u modalnoj raspodjeli putovanja. Kako bi sustav bio što atraktivniji, njegova efikasnost u vršnom satu mora biti pri maksimalnim razinama, a kako bi se prevezlo što više putnika u što manje vremena. Dva osnovna parametra utječu na efikasnost, a to su vremena čekanja na stajalištima i vrijeme vožnje između stajališta. Navedeni parametri utječu na operativnu brzinu na linijama i vrijeme vožnje, pa time utječu na razinu usluge sustava. Smanjenje vremena vožnje se može postići prijevoznim prioritetom na tri razine:

- prioritet dan fizičkim odvajanjem podsustava,
- prioritet dan zakonskim odredbama,
- signalni prioritet na semaforiziranim raskrižjima. [16]

Prioritet JGP–a je subjekt mnogobrojnih istraživanja radi njegovog značajnog utjecaja na razinu usluge sustava. Mnoge su metode i rješenja vezana za prioritet JGP–a razvijene kako bi se povećala razina usluge mreže tramvajskog podsustava. Jedno od istraživanja provedeno na tramvajskoj mreži u Ateni je došlo do zaključka da uspostavom prioritetnosti na semaforiziranim raskrižjima je moguće povećati operativnu brzinu sustava između 15% i 25%. Ukoliko se navedeno poboljšanje sustava uspješno provede na mreži, uz povećanje komercijalne brzine sustava smanjuje se vrijeme putovanja. Takav pozitivan pomak zasigurno može privući ljude na korištenje tramvaja za obavljanje svakodnevnih radnji i na dužim relacijama.

U sklopu projekta Civitas – Elan na tramvajskoj mreži grada Zagreba je provedena mjera pod nazivom „Ustupanje prioriteta JGP – u“. Na tri raskrižja na Savskoj ulici su dani prioriteti tramvajskim vozilima, što je dovelo do smanjenja vremena vožnje na koridoru od 5%. U sklopu je još i proveden pilot projekt unutar kojega su prometni policajci na koridoru Savske ulice kontrolirali poštivanje žutih trakova za JGP. Vremenska ušteda postignuta nakon provođenja pilot projekta je 25%, što je značajan napredak.

Tramvajska mreža u Zagrebu se može podijeliti na:

- u potpunosti odvojene dijelove trase (53%),
- trase na kojima vozila prometuju žutim trakom (21%),
- trase s bijelim trakovima gdje JGP dijeli mrežu sa cestovnim prometom (26%).

U razdoblju od 1999. do 2009. godine komercijalna brzina se snizila sa 15.4 km/h na 13 km/h, što je pad od 16%. Pad brzine je rezultat porasta broja osobnih vozila na cestovnoj mreži, što zagušuje bijele trakove. Osim toga, unutar sustava se rijetko kontrolira poštivanje žutih trakova, što dovodi do toga da je 47% tramvajske mreže u istoj razini sa cestovnim vozilima. Interferencija dva prometna podsustava negativno utječe na brzinu obrta tramvajskog podsustava. Cilj bi trebao biti dati prednost masovnom obliku prijevoza. [16]

U istraživanju su korišteni podatci preuzeti od ZET–a, operatera uslugama JGP–a u gradu Zagrebu. Za svaku od linija su dostupni sljedeći podatci skupljeni za vrijeme vršnog sata:

- Kapacitet prijevoznih jedinica prema tipu vozila,
- Broj prijevoznih jedinica prema tipu,
- Operativna brzina (V_{ol}),
- Duljina trase (L_{Tl}),
- Ukupna duljina žutih trakova (L_{Yl}).

Iz navedenih podataka može se izvesti sljedeće:

- Dodatkom kapaciteta prijevoznih jedinica prema tipu dobiva se kapacitet linije (C_l),
- Dodatkom kapaciteta linije može se dobiti kapacitet mreže,
- Dodatkom prijevoznih jedinica prema tipu dobiva se broj prijevoznih jedinica na liniji (N_l).

Komercijalna brzina sustava (V) je prosječna brzina svih prijevoznih jedinica na mreži:

$$V = \frac{\sum_L * V_{OL} * N_L}{\sum_L * N_L}$$

Postotak žutih linija na prijevoznoj liniji (P_l) je omjer ukupne duljine žutih trakova i ukupne duljine trase:

$$P_l = \frac{L_{Yl}}{L_{T,i}}$$

Prijevozni kapacitet linije (Q_l) se može izračunati iz osnovne jednadžbe trasportnih procesa na mreži JGP:

$$Q_L = \frac{V_{O,i} * C_L}{L_{T,i}}$$

Metodologija istraživanja profesora Brčića, Slavulja i Šojata (2012) je bazirana na rezultatima, a unutar nje tramvajska linija broj 4 (Dubec – Savski most) sa postotkom p_4 kreira porast operativne brzine i_4. Jednostavan linearni model je korišten kako bi se procjenio porast operativne brzine i_l za svaku prijevoznu liniju poznavajući njihove postotke žutih trakova P_l:

$$i_{\check{c}} = \frac{i_4}{p_4} * P_i$$

Pretpostavka koja opravdava predloženi model je činjenica da linija 4 ima najveći postotak žutih linija u mreži i prolazi kroz ključne dijelove grada. To je čini najreprezentativnijom linijom u uzorku što se tiče kršenja pravila o poštivanju žutih linija, stoga autori istraživanja pretpostavljaju da upravo ta linija može dati vjerodostojan linearni model. [16]

Iz navedenog porasta mogu se izračunati nove operativne brzine, za svaku prijevoznu liniju V_{ol} može biti izračunato:

$$V_{ol} = (1 + i_i) * V_{oi}$$

Bazirani na modelu, dva su scenarija razmatrana sa strane autora:

- Scenarij 1 – ako broj prijevoznih jedinica na svakoj liniji ostane nepromijenjen, nova prijevozna brzina mreže (V) kao pokazatelj putničke razine usluge.
- Scenarij 2 – ako prijevozni kapacitet svake linije ostane nepromijenjen, prijevozni kapacitet (Q_L) kao pokazatelj uštede prijevoznika.

Iz dobivenih rezultata su dobiveni podatci za svaki od scenarija:

- u prvom scenariju komercijalna brzina mreže za isti broj jedinica je narastao na 12.8 *km/h* što je povećanje od 3.6%
- u drugom scenariju kapacitet mreže za isti operativni kapacitet se snizio na 33,662*pm*, što je pad od 1,210*pm*, to jest 3,5%.

Uštede u mrežnim kapacitetu se mogu prikazati kao isključivanje 6 vozila 2200, 5 vozila 2100, ili cijela tramvajska linija 3 sa mreže tramvajskog podsustava.

Oba proučavana scenarija u istraživanju imaju određene mane. Prvenstveno, vjerojatnost da će doći do kršenja zakonske regulative žutih trakova je kompleksna jer ovisi o prometu u susjednim trakovima, pješacima na pješačkim prijelazima, parkirnim mjestima uz kolnik i sličnim smetnjama za tramvajski promet. Također, nesmije se izostaviti kumulativni efekt koji te smetnje mogu proizvesti. Stoga, linearni model je korišten da bi se prikazao utjecaj može služiti samo kao procjena. U stvarnosti je potrebno razviti empirijski model koji bi pružio podatke za svaki zaseban dio mreže.

Još jedna od mana je pretpostavka da je moguće povezati pad operativne brzine s kršenjem žutih trakova, a u realnosti veza te dvije varijable je indirektna. Kršenje zakonske regulacije žutih trakova direktno utječe na vrijeme vožnje, a kako bi se imala potpunija slika potrebno je tramvajske linije podijeliti na sekcije. Prijevozni proces korišten pri istražvanju je pojednostavljen te su vremena na terminalima ugrubo iznešena, a volumen vozila je pretpostavljen da je 100%. Ti elementi su ključni u procesu optimizacije, stoga moraju biti uzeti u obzir.

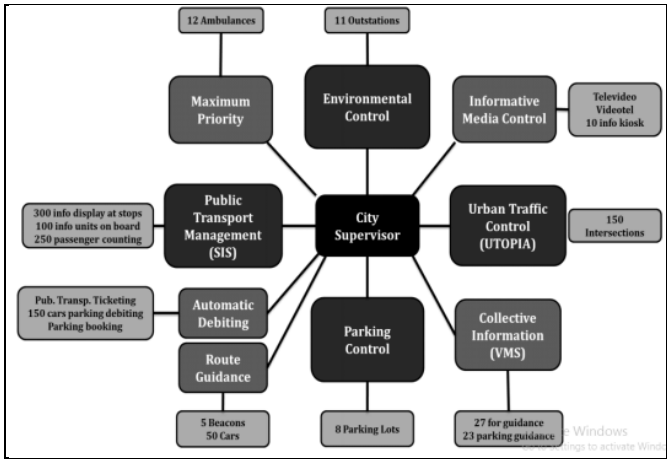
S putničke perspektive, porast od 3,5% nije značajan, ali kada bi se minimizirala kršenja žutih linija oscilacije u voznome redu bi se također smanjile. To bi dovelo do povećanja razine usluge, te putnici se ne bi trebali pripremati za predugačka putovanja. Nije za zanemariti ni to da mali porasti komercijalne brzine sustava mogu znatno smanjiti vanjske troškove puta. Iako ušteda kapaciteta od 3,5% ne izgleda kao znatan pomak, on može biti osjetan na manjem broju prijevoznih sredstava u radu, što vodi do ušteda upravljanja vozila, plaćanja osoblja, održavanja vozila, zagušenosti mreže i mogućnosti oscilacija unutar mreže napajanja za manji broj vozila. Autori istraživanja Brčić, Slavulj i Šojat su također došli do zaključka da ukoliko se uspije primjeniti prioritet na sve tri razine, očekivani porast brzine bi bio i 30%.[16]

6.2. STUDIJA SLUČAJA U TORINU (UTOPIA)

Torino je glavni grad regije Piemont, a pruža se na 130 kvadratnih kilometara. U gradu živi oko 900.000 stanovnika. Iako je kroz zadnjih 40 godina zabilježen pad populacije grada s 1.5 milijuna na trenutan broj od 900.000 ljudi, broj osobnih vozila se povećao za 65% u istome periodu i modalna raspodjela je porasla 40% u korist automobila.

Grad je razvio telematički projekt nazvan 5T (Telematics Technologies for Transport and Traffic in Turin), koji obuhvaća dva projekta: „QUARTET Project“ financiran od Europske Unije i „Environment and Traffic project“ financiran od talijanskoj ministarstva okoliša. Projekt je započet 1992. godine, kroz godine je razvijen, a 2008. godine postaje tvrtka u javnome vlasništvu. Gradske vlasti grada Torina su primjetile porast stanovnika, stupnja motorizacije i porast korištenja automobila, te su odlučile stvoriti integriranu strategiju fokusiranu na javni gradski prijevoz i osobna vozila. Cilj je bio zamijeniti veliki broj putovanja automobilima u korist putovanja javnim gradskim prijevozom. Također, ciljevi su bili: poboljšati prometne tokove i sigurnost, reducirati emisije štetnih tvari, povećanje efikasnosti i kvalitete javnog gradskog prijevoza, davanje točnih informacija putnicima, razvoj strategijskog sustava nadgledanja za sve podsustave, funkcionalnu integraciju podsustava te davanje prioriteta autobusnom prijevozu za velik dio mreže. Dugoročni cilj je bio smanjiti vremena putovanja za 25%, smanjiti emisije štetnih tvari i potrošnju energije za 18% te promijeniti modalnu raspodjelu u svrhu javnog gradskog prijevoza. Sustav 5T je proizašao iz integracije postojećih razvijeniih podsustava. Struktura sustava je otvorena, bazirana na sljedećim faktorima:

- razviti autonomni sustav,
- smanjiti troškove dijeleći zajednička postrojenja,
- implementirati nadglednu funkciju kako bi se osigurala zajednička mobilnost svih podsustava.



Slika 6.1. Struktura sustava 5T

Izvor: [14]

City Supervisor ima veliku ulogu u sustavu, taj dio sustava koordinira radnje svih podsustava. On prati i procjenjuje mobilnost i okolinu grada kako bi pružio prikladnu, zajedničku kontrolnu strategiju ostalim podsustavima koji utječu na ponašanje prometa. On omogućava integraciju podsustava kako bi se generirala što bolja usluga građanima. Svakih nekoliko minuta se ažuriraju promjene u sustavu, testiraju se zagađenja zraka, predviđaju se kretanja za nadolazeće sate, te se razvijaju strategije za održavanje ekvilibrija s naglaskom na očuvanje okoliša.

PTM (Public Transport Management) je podsustav koji upravlja javnim gradskim prijevozom te prati i daje prioritet na semaforiziranim raskrižjima unutar razvijenih strategija sa Supervisor razine. Pruža razne podatke o stanju u prometu na 200 ekrana na stajalištima, uređajima za najavu sljedeće stanice i opremom za brojanje putnika.

UTC (Urban Traffic Control) je podsustav koji upravlja semaforiziranim raskrižjima na adaptivan način prema lokalnim mjerenjima prometa. Pruža prioritet javnome gradskome prijevozu na 150 križanja u urbanom području, te pokriva isto područje sa 700 senzora (2000.). Ime jedinice za adaptivno upravljanje je UTOPIA.

EMC (Environment Monitoring and Control) koristi vremensku prognozu, podatke s 11 stanica koje imaju detektore polucije raznih štetnih čestica. PCM (Parking Control and Management) podsustav koji je povezan s 8 automatskih parkinga, daje podatke o dostupnim mjestima i omogućava telematičko bukiranje mjesta klijentima sa smart karticama.

VMS (Variable Message Signs) podsustav omogućava kolektivno dinamičko navođenje prema gradskim četvrtima. VMS je povezan s PCM te pruža informacije o slobodnim parkirnim mjestima. IMC (Information Media Control) pruža sve informacije o trenutnom stanju JGP–a, prometa, parkinga i okoliša preko Interneta. Omogućava korisnicima planiranje puta preko Interneta, te daje korisniku širok spektar mogućnosti pri odabiru rute putovanja i modaliteta prijevoza.

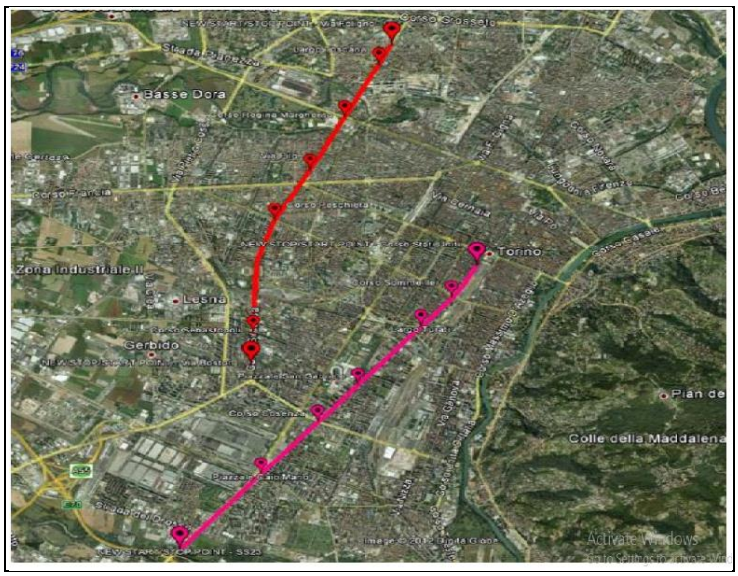
FD (Fares and Debiting) podsustav omogućava naplatu preko smart kartica. Većinom se koristi pri naplati cestarina na autocestama. MP (Maximum Priority) je podsusav koji pomaže vozilima hitnih službi, naročito hitnoj pomoći. RG (Route Guidance) pomaže korisnicima osobnih vozila pri navigaciji kroz mrežu, uz odabir optimalne rute.

2000. godine je na području djelovanja sustava 5T živjelo 30% građana. Noviji podatci tvrde da više od pola signaliziranih raskrižja je upravljano sustavom UTOPIA. Vremena putovanja na relacijama dom – posao su smanjena 17%, vremena putovanja JGP – om su smanjena za 13%, dok je komercijalna brzina JGP–a porasla za 17%, emisije plinova su snižene za 10% i potrošnja benzina je snižena za 8%.

2012. godine dvije su ulice odabrane i promatrani su rezultati postignuti uvođenjem sustava. Dva su puta odabrana:

- Siracusa – Potenza (6,9km), prikazana na slici crvenom bojom,
- Unione Sovietica – Sacchi (7,0km), prikazana ljubičastom bojom.

Mjerenja su vršena u dva različita perioda. Za jedno mjerenje odabran je jutarnji vršni sat od 7 do 9 sati, a za drugo mjerenje niža razina prometa između 12 i 14 sati. Dana su i dva scenarija, kada je sustav 5T radio i kada su ga ugasili. Vremena putovanja osobnih vozila na ruti Potenza – Siracusa su smanjena za 12%. Mjerenje vršeno na tramvajskoj liniji 4. Sovietica – Via Sacchi je pokazalo da je vrijeme putovanja smanjeno za 11%. Izračunato je da se u prosjeku uštedi 7 minuta po putovanju, te su se emisije plinova smanjile za 10%. [14]



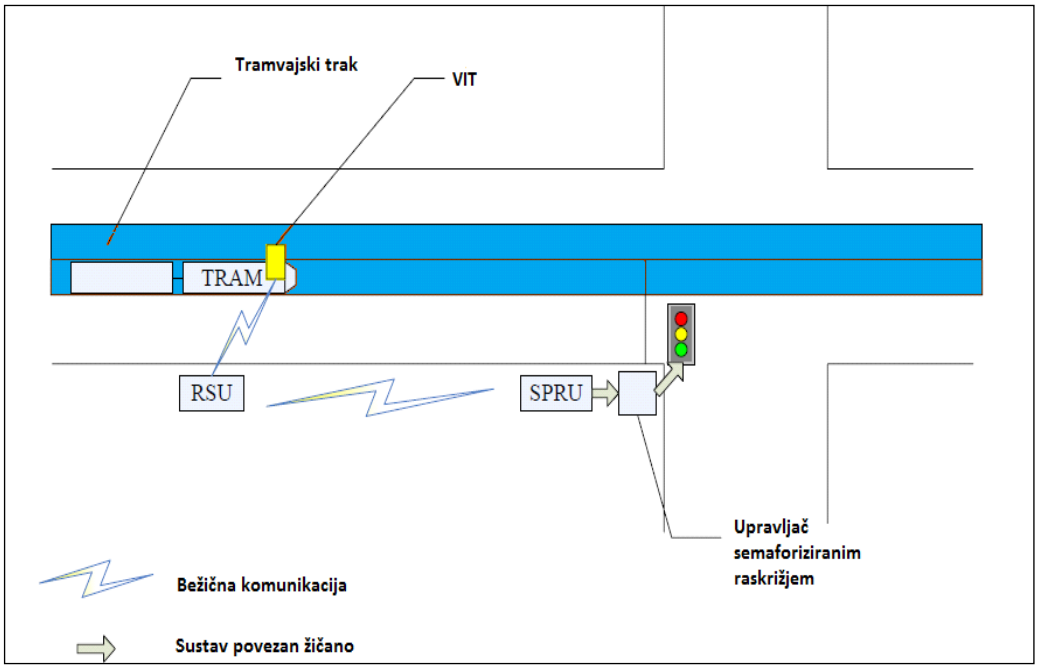
Slika 6.2. Prikaz linija na kojima je mjereno: Siracusa – Potenza (crvena); Sovietica – Via Sacchi (ljubičasta)

Izvor: [14]

Sustav UTOPIA u gradu Torinu je veoma razvijen sustav, te je tehnološka podrška i pokrivenost mreže na visokoj razini. Više od 50% raskrižja, 330 od 600, su kontrolirana dinamički, adaptivnom regulacijom prometa. Sustav ima 3.000 induktivnih petlji, 25 senzora iznad zemlje, 71 kameru na 23 raskrižja i 2 sustava kontrole brzine.[14]

6.3. PRIMJENA PRIORITETA TRAMVAJSKOG SUSTAVA

U Kini je provedeno istraživanje primjene prioriteta tramvajskog podsustava. Semaforizirana raskrižja negativno utječu na prometnu brzinu tramvaja radi potreba usporavanja i ubrzavanja, te čekanja na samome raskrižju. Time utječu i na dulja vremena putovanja. Istraživanje je bazirano na parametrima poput prava prolaza, brzine vozila, ubrzavanja i usporavanja, te karakteristikama vozila. Proučena je primjena prioriteta tramvajskog sustava na različite tipove raskrižja. U središtima gradova je pojava zagušenja izraženija. Smatra se da je postizanje prioriteta značajan korak u uspostavljanju boljeg prometnog sustava. [17]



Slika 6.3. Primjer sustava koji pruža tramvaju prioritet prolaska raskrižjem

Izvor: [17]

Sustav za davanje prioriteta se sastoji od tri dijela:

- VIT (Vehicle intelligent terminal) koji je ugrađen u svako vozilo te sadrži podatke o svakome vozilu,
- RSU (Road side unit) – cestovna jedinica koja se nalazi stotinjak metara od zaustavne linije, ona šalje podatke o prolasku vozila,
- SPRU (Signal priority request unit) – jedinica koja je instalirana unutar upravljača semaforiziranog raskrižja, SPRU prima zahtjeve od RSU i pretvara informaciju na koju upravljač reagira.

Sustav radi na principu kada tramvaj prođe pokraj RSU koji se nalazi 80 do 100 metara od zaustavne linije, RSU koristi informacije iz VIT koji se nalazi u tramvaju i šalje informacije do SPRU. Vrijeme tokom kojeg je tramvaju potrebno od RSU do zaustavne linije je proračunato, te prema njemu SPRU podešava signalni plan kako bi osigurao prednost prolaska.

Model je razvijen za više tipova raskrižja i vođenja tramvajskog prometa. Promatrano je 5 različitih tipova raskrižja i za svako od njih su izvedeni signalni planovi prema kojima se semafor prilagođava prometu. Na temelju istraživanja je zaključeno da se uspostavom efektivnih strategija i pristupom prioritetnosti mogu postići velike promjena. Vremena putovanja bi se smanjila, što bi usljedilo višom razinom usluge. [17]

6.4. RAZVOJ PRIORITETA JGP–a SELEKTIVNOM DETEKCIJOM VOZILA

U Ujedinjenom Kraljevstvu Velike Britanije i Sjeverne Irske 1998. godine DETR (Department of the Environment Transport) su pokrenuli program UTMC (Urban Traffic Management and Control). Inicijativa je prvenstveno usmjerena k razvoju fleksibilnog, multimodalnog sustava. Prvi korak projekta je nazvan UTMC01 project; "Selective Vehicle Priority". Nove aplikacije su bazirane na nadogradnji klasičnih raskrižja s fiksnim signalnim planovima. Želja je bila postići prioritet JGP–a na semaforiziranim raskrižjima. Takav zadatak je zahtijevao od sustava mogućnost konstantne prilagodbe na prometne zadaće. Da bi se pružio prioritet JGP–u trebao bi sustav koji može intervenirati unutar klasičnog signalnog plana te prema potrebi produžiti prednost prolaska ili je dati određenim vozilima.

Kada bi se osmislile određene intervencije u signalnom planu vozila s prioritetom imaju prednost prolaska, ali vozila koja nemaju prioritet su primorana čekati. Pitanje je bilo jesu li takvi gubitci prihvatljivi. Razumljivo je da povremene niskofrekventne intervencije, neki takvi gubitci bili prihvatljivi. Takav sustav zahtjeva detektore nadolazećih vozila u bližoj okolini raskrižja. Unutar projekta UTMC01 je stvoren kontrolni softver nazvan Strategy Tools Module (STM). On odabire primjerenu radnju sustava baziranu na trenutnom vremenu ciklusa, trenutnoj procjeni prioriteta potražnje, postojećim i predviđenim redovima čekanja. Svi moduli su prethodno programirani od strane inžinjera. Svaka radnja ili intervencija sustava je sekvenca, sa stanjem definiranja plana za svaki čvor u grupi. Svi planovi imaju isto vrijeme ciklusa kao pozadinski plan. [18]

7. ISTRAŽIVANJE PRIORITETA TRAMVAJA NA SEMAFORIZIRANIM RASKRIŽJIMA GRADA ZAGREBA

Unutar diplomskog rada kao dio analize prometnog sustava grada Zagreba analiziran je prioritet tramvajskih vozila na semaforiziranim raskrižjima. Ideja analize je proučiti koliko semaforizirana raskrižja utječu na tok tramvajskih vozila kroz gradsko tkivo. Niska operativna brzina sustava je velik problem, a njeno povećanje bi zasigurno povećalo atraktivnost sustava. Za analizu tramvajske mreže razmatrane su metoda dijagrama kretanja vozila i metoda najbržeg vozila.

Korišteni podatci su prikupljeni na mreži tramvajskog podsustava grada Zagreba uz pomoć GPS lokatora, čija je rezolucija mjerenja jedna sekunda. Studenti su uz pomoć lokatora zabilježavali vremena na stajalištima JGP–a. Mjerenja su obavljana uz vozačke kabine tramvajskih vozila u poslijepodnevnom vršnom periodu. Podatci su prikupljani u periodu listopada i studenog 2016. godine, što predstavlja realnu sliku kretanja tramvajskih vozila u gradu Zagrebu. Dobiveni uzorci se smatraju kvalitetnima unatoč mogućim smetnjama koje mogu prouzročiti krov tramvaja i visokonaponski nadzemni vodovi za tramvaje kod takvih vrsta mjerenja. Raskrižja koja bi što više odgovarala analizi su izdvojena uz pomoć aplikacije GoogleMaps i StreetView. U svrhu analize nije obuhvaćena cijela mreža tramvajskih linija, već samo odsječci u kojima su raskrižja jedini operatori prioritetnosti, kako bi se dobili što precizniji podatci o maksimalnim i prosječnim brzinama vozilaza izračun prioritetnosti pojedinog dijela trase sustava. Izračun prioritetnosti u radu nam može pokazati koliko semaforizirana raskrižja utječu na protok tramvajskog prometa, čime bi se saznao gubitak vremena na semaforiziranim raksižjima. Isključeni su svi dijelovi mreže koji nisu potpuno odvojeni od prometa te kompletna linija 15. Također, isključeni su svi dijelovi trase koji između stajališta nemaju niti jedan semaforski uređaj te odsječci duljine manje od 150 metara. Također, kod nekih mjerenja je bilo odstupanja te su i takve očite greške u mjerenjima isključene. Prikupljeni podatci analizirani su u aplikacijama Micosoft Excel–u (aplikaciji za analiziranje tablica) i Qgis, platformi koja ima mogućnost pregleda GPS podataka, te mogućnosti uređivanja i analize istih. Ako se prilagode formati datoteka, podatci iz Excel–a su primjenjivi u Qgis–u i obrnuto.

Za izračun minimalnog vremena kretanja vozila po odsječku uzete su u obzir dvije moguće metode. Metoda dijagrama kretanja vozila za izračun koristi formulu:

$$\Delta t_{min} = \frac{v}{2a} - \frac{v}{2b} + \frac{l}{v},$$

Čije su pripadajuće varijable:

- $\Delta t_{min} - \ minimalno\ vrijeme\ vožnje\ kroz\ odsječak$
- $v - maksimalna\ brzna$
- $a - ubrzanje\ vozila$
- $b - usporenje\ vozila$
- $l - duljina\ promatranog\ odsječka.$

Ona ne bi dala dobre rezultate jer se razne situacije u prometu nemogu kvalitetno opisati, npr. situacije poput određenih zakonskih regulativa koje nameću različita pravila restrikcije i regulacije, tramvajski kolosjeci u zavoju, nepredvidljiva ponašanja svih sudionika prometa te zbog toga nije korištena.

Za izračun je odabrana metoda najbržeg vozila koja daje dovoljno dobre rezultate na dovoljno velikom uzorku jer uzima minimalna vremena kao referencu. Minimalno vrijeme na uzorku vozila može biti nerealno zbog ekstremnih vozila (premaleno, jer vozači ne poštuju zakonska ograničenja) ili koordinirani signalni planovi između raskrižja (preveliko, jer signalni planovi susjednih raskrižja imaju jednake cikluse, stoga su sinkornizirani).

Metoda najbržeg vozila koristi slijedeću formulu za izračun minimalnog vremena na odsječku:

$$\Delta t_{min} = k * {}^{t_{min}}_{v}\, t_v$$

Koju definiraju varijable:

- $\Delta t_{min} - \ minimalno\ vrijeme\ vožnje\ kroz\ odsječak$
- $k -$ $korekcijski\ koeficijent\ \ (za\ eventualne\ korekcije\ vremena\ zbog\ ekstremnih\ vozila)$
- $t_v - \ \ vrijeme\ vožnje\ v - tog\ vozila\ na\ odsječku$

Od 372 dijela trase na kojemu su vršena mjerenja, u uzorak analize je prihvaćeno 100 međustajališnih udaljenosti, što iznosi 27% od ukupnog uzorka radi što veće točnosti izračuna. Ukupna dužina trasa tramvajskih linija u Zagrebu je 119,6km, ali u mjerenjima nisu obuhvaćeni dijelovi trasa na terminalima. Od ukupnih 107,9 km na kojima je mjereno analizirana su 42,3 kilometra trase, što iznosi 39% analiziranih kilometara trase. Uz izdvojene trase kraće od 150

metara, isključene su i trase na kojima su maksimalne brzine veće od 50 km/h, radi mogućih kršenja zakonskih regulacija prometa, ali i potencijalnih pogrešaka u mjerenjima. Brzine su izračunate pomoću izmjerenih vremena i dužina mjerenih trasa. Nakon što su dobiveni iznosi maksimalnih i prosječnih brzina za svaku dionicu, izračunati su prioritet i težinski prioritet. Slijedeće formule su korištene za izračun:

$$v_{max} = d/t_{min}$$

$$v_{avg} = d/t_{avg}$$

- $v_{max} - maksimalna\ brzina$
- $v_{avg} - prosječna\ brzina$
- $d - dužine\ linkova, udaljenosti\ između\ čvorova$
- $t_{min} - minimalno\ vrijeme$
- $t_{avg} - prosječno\ vrijeme.$

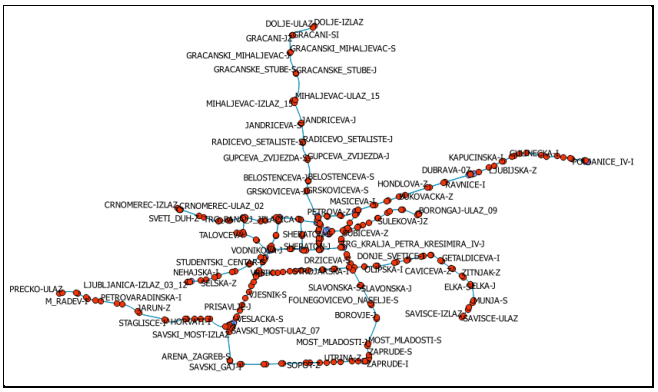
$$p_n = \frac{V_{avg}}{V_{max}}$$

- $p_n - prioritet\ tramvajskog\ podsustava$

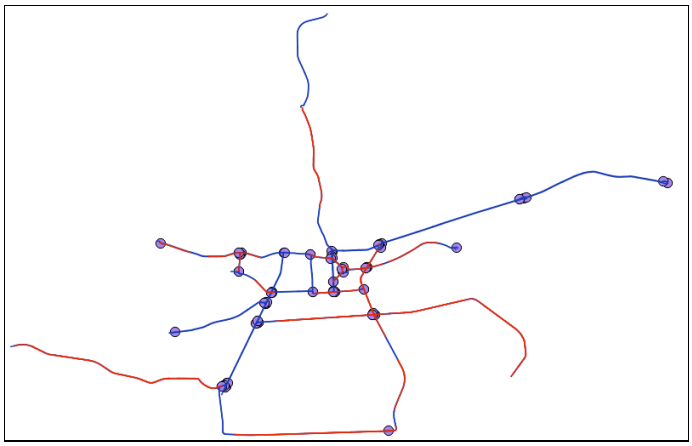
Kako bi odredili težinski prioritet potreban nam je umnožak svih dužina trasa i pojedinačnih prioriteta na pripadnim trasama, te ukupna duljina promatranih dionica. Težinski prioritet nam može reći koliko sustav odstupa od svoga maksimuma. Točnije, prioritet govori kolika je iskorištenost brzine sustava. Jednadžba parametra težinskog prioriteta je slijedeća:

$$\%_P = \frac{\sum \%_{Pn} * d_n}{\sum d_n}$$

Na slikama7.1 i 7.2je prikaz obrade dijelova mreže kompatibilnih istraživanju u programu Qgis. Na slikama 7.3 i 7.4 su dijelovi izračuna težinskog prioriteta u sučelju Microsoft Excel. Prikazan je proces izdvajanja trasa koje odgovaraju kriterijima istraživanja, te dio tabličnih izračuna prioritetnosti u potpunosti fizički odvojenih dijelova trase s barem jednim semaforskim uređajem na međustajališnoj udaljenosti. Radi većeg uzoraka nije moguće prikazati sve obrađene podatke unutar tablica, ali će biti prikazani svi ključni dijelovi izračuna prioritetnosti izdvojenih linija.



Slika 7.1. Pregled tramvajskih linija i stajališta mreže grada Zagreba u Qgis–u



Slika 7.2. Dijelovi mreže koji su kompatibilni istraživanju (crvena boja)

	G(LINE)	I	M	D	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L11	L12	L13	L14	L15	L17	OD	DO	OD	DO	OD	DO
2	562316179,4	0	NE	207		T3S29E01			T1S47E01	T3S21E01	T1S35E01	T3S13E01								15:21:09	15:22:36	15:50:58	15:51:25	17:28:20	17:30:04
3	84304690361	1	DA	282		T3S27E01			T1S45E01	T3S19E01	T1S33E01	T3S11E01								15:20:00	15:20:39	15:49:32	15:50:35	17:27:09	17:27:50
4	99649215 49	2	NE	81		T3S25E07			T1S43E05	T3S17E05	T1S31E05	T3S09E05								15:19:17	15:19:30	15:48:56	15:49:10	17:26:49	17:26:49
5	69371444357	3	NE	274		T1S25E01			T3S15E01	T1S25E01	T3S21E01	T1S21E01								16:14:29	16:15:07	15:28:57	15:29:45	15:51:31	15:52:40
6	248920426 50	4	NE	290		T1S23E03			T3S13E03	T1S23E03	T3S19E03	T1S19E03								16:13:19	16:13:59	15:27:28	15:28:35	15:50:23	15:51:01
7	03012561798	5	DA	414		T1S43E01	T1S45E01									T3S55E01				15:31:23	15:33:13	16:20:36	16:21:26	16:27:15	16:27:40
8	98008704 19,	6	DA	356		T1S41E01	T1S43E01									T3S53E01				15:30:15	15:30:53	16:18:52	16:20:06	16:25:27	16:26:55
9	4219860885	7	DA	320		T1S39E01	T1S41E01									T3S51E01				15:29:22	15:29:58	16:17:26	16:18:22	16:24:03	16:25:01
10	974052906,4	8	DA	266		T1S37E01	T1S39E01									T3S49E01				15:28:15	15:29:06	16:16:25	16:17:12	16:23:02	16:23:47
11	6496244669,	9	DA	418		T1S35E01	T1S37E01									T3S47E01				15:26:56	15:27:45	16:15:02	16:16:11	16:21:30	16:22:36
12	56643434800	10	DA	333		T1S33E01	T1S35E01									T3S45E01				15:25:16	15:26:32	16:13:00	16:14:32	16:19:01	16:21:04
13	76215172,46	11	DA	520		T1S31E01	T1S33E01									T3S43E01				15:22:35	15:24:46	16:11:49	16:12:30	16:17:52	16:18:31
14	06455594301	12	DA	320		T1S29E01	T1S31E01									T3S41E01				15:21:14	15:22:02	16:10:31	16:11:19	16:16:38	16:17:33
15	5137165785,	13	DA	265		T1S27E01	T1S29E01									T3S39E01				15:20:25	15:20:59	16:09:03	16:10:01	16:13:56	16:14:42
16	4249211997	14	NE	58		T1S25E07	T1S27E05									T3S37E05				15:20:00	15:20:11	16:06:59	16:07:30		
17	1845873155	15	NE	106						T1S25E05	T3S21E05	T1S21E05								16:15:17	16:15:39	15:29:47	15:30:07	15:21:21	15:21:42
18	7880398035	16	NE	33		T1S25E05														15:19:35	15:20:00				
19	9926566109 5	17	NE	43					T1S43E03											17:26:01	17:26:29				
20	6316922903,	18	NE	15		T1S25E03				T1S25E03	T3S21E03	T1S21E03								16:15:07	16:15:17	15:29:45	15:29:47	15:21:14	15:21:21
21	4483251572,	19	NE	7		T3S25E05				T3S17E03	T1S31E03	T3S09E03								15:19:15	15:19:17	15:48:54	15:48:56	15:51:12	15:51:15
22	5613263845,	20	DA	328		T1S51E01	T1S53E01													15:56:51	15:37:27	16:25:52	16:26:39		
23	74255359 17	21	DA	227		T1S49E01	T1S51E01													15:36:09	15:36:38	16:24:59	16:25:52		
24	922.4930177	22	DA	415		T1S47E01	T1S49E01													15:35:13	15:35:57	16:23:56	16:24:38		
25	37119313329	23	DA	326		T1S45E01	T1S47E01													15:33:25	15:35:00	16:21:49	16:23:35		
26	1122756004,	24	DA	318		T3S09E01	T3S09E01									T1S01E01				15:43:49	15:44:33	16:02:29	16:37:18	16:33:57	16:34:37
27	21296089887	25	DA	327		T3S07E01	T3S07E01													15:42:56	15:43:34	16:35:21	16:36:17		
28	88356678 19	26	DA	212		T3S01E01	T3S01E01													15:40:11	15:40:41	16:32:00	16:32:51		
29	0641411692	27	DA	354		T3S11E01	T3S11E01									T1S03E01				15:45:03	15:46:46	16:37:38	16:38:25	16:03:07	16:35:50
30	1768590286 8	28	DA	232		T3S15E01	T3S15E01									T1S07E01				15:48:50	15:49:20	16:37:53	16:39:19	16:37:13	16:38:21

Slika 7.3. Dio obrađivanih podataka u Microsoft Excel – u

52	48	0	0	0	0	0	48	50,0	33,21112	31,88268	DA	96,0000	42510,24
127	98	0	0	0	0	0	98	112,5	23,7168	20,65997	DA	87,1111	56241,02
61	57	0	0	0	0	0	57	59,0	33,26842	32,14068	DA	96,6102	50889,41
62	60	0	0	0	0	0	60	61,0	32,20542	31,67746	DA	98,3607	52795,77
68	88	0	0	0	0	0	68	78,0	30,24614	26,36843	DA	87,1795	49807,04
75	113	0	0	0	0	0	75	94,0	24,62822	19,65018	DA	79,7872	40937,87
83	62	52	0	0	0	0	52	65,7	30,12272	23,85353	DA	79,1878	34455,09
108	98	101	138	60	0	0	60	101,0	27,86982	16,55633	DA	59,4059	27593,88
56	46	0	0	0	0	0	46	51,0	41,52295	37,45207	DA	90,1961	47855,42
27	35	0	0	0	0	0	27	31,0	30,30787	26,39717	DA	87,0968	19797,88
						∑D=	42261					∑ tp_n	3268963
												77,35266	

Slika 7.4. Konačan izračun prioritetnosti odabranog uzorka sustava

Na slici 7.1. je prikaz kompletne mreže tramvajskog podsustava Grada Zagreba sa svim pripadajućim stajalištima na linijama. U svrhu istraživanja ovoga rada nisu kompatibilni svi dijelovi trasa na tramvajskoj mreži. Za istraživanje prioriteta je potreban neprekidan prometni tok tramvaja, gdje samo semaforizirana razskižja utječu na protok. Smetnje pješačkih prijelaza na navedenim trasama nisu uzete u obzir, ali se mora uzimati u obzir da su jedan od ključnih transverzalnih čimbenika smetnji. Nakon izdvajanja svih dijelova trasa koje ne odgovaraju proračunu (slika 7.2), pomoću dužina trasa (d), te prosječnih i minimalnih vremena putovanja su izračunate prosječna brzina sustava (v_{avg}) i maksimalna brzina sustava (v_{max}). Pomoću navedenih brzina izračunat je prioritet svakog dijela trase (p_n). Težinski prioritet dobiven sumom svih umnožaka prioriteta i promatranih dijelova trasa je 77,35%. Na slici 7.4 je vidljiva suma dužina trasa u metrima, te suma umnožaka težinskih prioriteta i dužina trasa.

Iz rezultata dobivenih se može zaključiti da je u uzorku koji je odabran moguće povećanje operativne brzine od 23,65%. Takvo povećanje je značajno jer većina tramvajskih linija ZET–a prometuje dijagonalno kroz gradsko središte, stoga bi se linearno prema dužini linija i smanjila vremena putovanja vozila. Slijedno tome se može zaključiti kako bi uspostava sustava adaptivnog upravljanja na trasama po kojima putuje bila isplativa jer ti sustavi smanjuju vremena putovanja u tome rasponu.

Mora se napomenuti da je mana prometnog sustava grada Zagreba visok udio dijeljenih dijelova trase pod žutim ili bijelim trakovima (47%). Za rješavanje toga problema bi bila potrebna uspostava striktnih mjera sa strane zakonodavnog i pravosudnog dijela sustava, te poboljšanje i opremanje sustava kamerama sa čitačima prometnih tablica na vozilima. U takvome sustavu tramvaj bi se trebao tretirati kao vlak, što je teška zadaća. Naime, u središtu

grada se tramvaj teško može tretirati na taj način, bila bi potrebna prilagoba svih građana na takav sustav. Takve promjene ne bi obuhvaćale samo cestovna vozila, već bicikliste i pješake.

Pozitivan aspekt davanja potpunog prioriteta tramvajskome podsustavu bi bilo smanjenje prometne brzine na cijeloj prometnoj mreži. Prva pomisao na smanjenje prometne brzine mreže je negativan efekt, ali kada bi se smanjila prometna brzina osobnim vozilima moguć je pozitivan globalni efekt. Davanje prioriteta vozilima JGP–a može represivno djelovati na brzinu prometnog sustava, što bi u konačnosti djelovalo negativno na atraktivnost osobnih vozila. Stoga može biti korištena i kao mjera upravljanja prijevoznom potražnjom. Moguće je očekivati promjenu modalne raspodjele u korist tramvajskog, te ostalih modaliteta prijevoza. Može se zaključiti da bi smanjenje brzine unutar sustava povećalo opću sigurnost prometa.

Tablica 7.1: Modificirani eksploatacijski podatci nakon pretpostavljene primjene prioriteta

Br. Linije	Brzina obrta v_o (km/h)	Vrijeme obrta T_o (min)	v_o' (km/h)	T_o' (min)
1	11,45	61	14,157925	46,5735
2	12,37	109	15,295505	83,2215
3	12,72	99	15,72828	75,5865
4	11,66	132	14,41759	100,782
5	11,71	143	14,479415	109,181
6	13,09	99	16,185785	75,5865
7	14,26	139	17,63249	106,127
8	13,6	74	16,8164	56,499
9	10,81	82	13,366565	62,607
11	12,85	111	15,889025	84,7485
12	11,67	95	14,429955	72,5325
13	11,46	118	14,17029	90,093
14	14,07	116	17,397555	88,566
15	14,78	23	18,27547	17,5605
17	11,81	123	14,603065	93,9105
		$\%_P$ =0,2365		

Tablica 7.1. sadrži vremena obrta (T_o) i brzine obrta (v_o) pojedinih linija iz tablice 5.1, te je na iste primjenjen dobiven težinski prioritet ($\%_P$). Na pojedinim linijama su moguće vremenske uštede od 30 minuta, a iste rastu linearno s dužinama linija. Nova prosječna brzina obrta sustava bi porasla na 15.52 km/h sa prethodnih 12.63 km/h.

8. ZAKLJUČAK

Zbog porasta stupnja motorizacije u gradu Zagrebu cestovna mreža je sve zagušenija. Zagušenja na cestovnoj mreži se očituju u vremenskim i financijskim troškovima, te emisijama buke i štetnih plinova. Jedna od mjera održive mobilnosti je dodjeljivanje prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza. Davanjem prioriteta tramvajskome podsustavu moguće je otkloniti komponentu stajanja na semaforiziranim raskrižjima. Takvo poboljšanje sustava dovelo bi do velikih ušteda vremenskih, monetarnih, energetskih i ljudskih resursa. Također, podsustav bi time dobio na atraktivnosti, a za očekivati je i smanjenje broja cestovnih vozila na mreži. Svakako je potrebno pokriti grad raznim modovima prijevoza kako bi se postigla što veća mobilnost, te bi se pružila adekvatna alternativa osobnim vozilima.

Prioritet vozila JGP–a je od velikog značaja jer ima izravan utjecaj na vrijeme vožnje i na vrijeme putovanja. Tada prosječna brzina sustava raste, sa čime slijedno se smanjuju vremena obrta vozila. Postiže se i stabilnost, točnost i pouzdanost voznih redova, stabilnija frekvencija vozila, te je moguće i smanjiti broj potrebnih vozila u radu. Osim toga, postižu se i energetske uštede tei uštede u radnom osoblju. Uvođenje takve mjere dovodi do smanjenja troškova, negativnih utjecaja na okoliš, povećanja sigurnosti u prometu, rasterećenju gradske mreže i daje alternativu osobnome vozilu. Istraživanja koja su vezana za adaptivne sustave većinom promatraju mikrorazinu sustava. Pojedina promatraju koridor arterijskog upravljanja sa adaptivnom logikom. Sva istraživanja su dobila slične mjerljive podatke. Vremenske uštede korisnika osobnih vozila iznose 15–20%. Davanjem prioriteta JGP–u moguće je ostvariti vremenske uštede od 20% do 30%. Uvođenje sustava smanjuje emisije štetnih tvari za 10% – 20%, ovisno o lokaciji raskrižja.

Kako rad ne bi bio potpune heurističke prirode, unutar rada je provedena analiza prioriteta tramvajskog podsustava grada Zagreba. Unutar izračuna prioritetnosti sustava obuhvaćeno je 39% tramvajskih trasa grada Zagreba. Iz istraživanja su dobiveni prihvatljivi rezultati pa je izračunat prioritet promatranih dijelova sustava 77%. Proračunat vremenski gubitak je samo radi semaforiziranih raskrižja. U obzir se mora uzeti da je 47% tramvajske mreže odvojeno, te je ostatak tramvajske mreže grada Zagreba dijeljen s ostatkom prometa. Taj podatak nam govori da je na fizički izdvojenoj tramvajskoj mreži prisutan gubitak od 24%. Uz

ovakvo poboljšanje prioriteta postojeća operativna brzina na mreži sa 12.6 km/h porasla bi na 15.5, što je u skladu sa standardom u radu europskih gradova gdje se prometuje prosječnom brzinom od 16 km/h.

U sklopu rada proučeno je istraživanje za projekt "Civitas Elan Zagreb" gdje je istraživan utjecaj poštivanja žutih trakova i prioritet tramvajskog prometa na 3 semaforizirana raskrižja koridora Savske ulice. Na promatranom koriduoru su ostvarena smanjena vremena vožnje od 5%. Kada bi se oba istraživanja uzela u obzir, u idealnim uvjetima ostvarene vremenske uštede bi iznosile čak i do 30%. Zbog stohastične prirode prometnog sustava, unutar istraživanja nisu obuhvaćeni razni faktori. Jednostavni matematički izračuni nemogu opisati kompleksnost i entropiju prometnog sustava. Kako bi istraživanje bilo potpunije i kako bi se proučio stvaran utjecaj adaptivnih sustava, potrebno je provesti makrosimulacije na cijeloj mreži. Istraživanja drugih autora pokazuju kako makrosimulacijski modeli daju ekvivalentne mjerljive podatke s realnim prometnim sustavom.

Promatranja adaptivnih sustava te istraživanja provedena u radu potrvđuju da bi se uspostavom prioriteta vozila JGP–a ostvarile uštede na više razina. Važno je znati, da u gradu Zagrebu je na nekim lokacijama teško provesti veće fizičke preinake na mreži zbog manjka prostora, ali operativni prioritet na većini semaforiziranih raskrižja je moguće ustupiti vozilima. Zabrinjavajući faktori za uspostavu prioriteta tramvajskog podsustava predstavljaju kršenje regulacije žutih trakova te nesemaforizirani pješački prijelazi. Kako bi se uspostavio potpuni prioritet na mreži grada Zagreba, potrebna je striktna zakonska regulacija provedene mjere. Svako kršenje i gubitak vremena tramvajskog vozila radi vanjskog utjecaja moglo bi se provesti uz pomoć kamera koje evidentiraju čimbenika smetnje, a pravne ustanove bi se bavile sa zakonodavnim restrikcijama. Kroz rad se može zaključiti da navedeni sustavi imaju mogućnost donijeti svakoj sredini poboljštanje i prosperitet sustava.

Uvođenje adaptivnih logika je inicijalno skup pothvat, ali navedeni sustavi od trenutka implementacije donose vremenske, financijske i energetske uštede. Sofisticirani sustavi poput sustava UTOPIA su možda i napredni za grad poput Zagreba, te je moguća implementacija sustava koji bi na detekciju samog tramvajskog vozila upravljao signalnim planom. Također, postavlja se pitanje tramvaja kao dominantnog modaliteta.

POPIS LITERATURE

[1] Štefančić G.: Tehnologija gradskog prometa I, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, 2008.[2] Perković Z.: Promet u velikim gradovima – neke tendencije I problemi, Geografski glasnik, Zagreb, Hrvatska, 1993.

[2] Ivčić B.: Usporedba zagrebačkog prometnog sustava s prometnim sustavima europskih gradova, Zelena akcija, Zagreb, Hrvatska, rujan 2008.

[3] http://www.nextbike.hr/hr/zagreb/ (rujan 2017.)

[4] http://www.srednja.hr/novosti/hrvatska/javni-bicikli-u-zagrebu-jeftiniji-i-na-vise-lokacija/ (rujan 2017.)

[5] http://www.zet.hr/ (rujan 2017.)

[6] https://www.skoda.cz/en/references/trolleybus-30-tr/?from=prod (kolovoz 2017.)

[7] http://www.tendersinfo.com/blogs/metro-railway-tenders-maharashtra/ (rujan 2017.)

[8]Zavada J.: Vozila za javni gradski prijevoz, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, 2006.

[9] Bošnjak I.: Inteligentni transportni sustavi 1, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, 2006.

[10] Šojat. D: Analiza prioriteta tramvajskog podsustava u gradu Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, 2012.

[11] Štefančić G.: Tehnologija gradskog prometa II, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, 2010.

[12] Hamilton A., Waterson B., Cherrett T., Robinson A., Snell I.: The evolution of urban traffic control: Changing policy and technology, Transportation research group, University of Southampton, Southampton, UK, 2013.

[13] Jayakrishnan R., Mattingly S.P., McNally M.G.: Performance study of SCOOT traffic control system with non – ideal detectorization: Field operational test in the city of Anaheim., University of California, Irvine; Irvine California, 2000.

[14] Ketabdari M., Studer L., Marchioni G.: Analysis of adaptive traffic control systems and design of a decision support system for better choice, Politecnico di Milano; Milano, Italia, 2013.
[15] gsw
[16] Brčić D., Slavulj M., Šojat D.: The impact of public transport performance improvements on sustainable urban mobility – an example of the City of Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, Hrvatska, 2014.
[17] Zhao B., Zhang Y., Zhang Z., Jin M., Li Z.:Study on signal priority implement technology of tram system, Department of automation, Tsinghua university, Beijing, China, 2013.
[18] Fox K., Hallworth M., Collier B., Jones S.: Strategic public transport priority using selective vehicle detection – Does it work? Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds, UK, 2000.

POPIS KRATICA

EU	Europska Unija
JGP	Javni Gradski Prijevoz
BRT	Bus Rapid Transit
LRT	Light Rail Transit
CCTV	Closed Circuit TeleVision
GPS	Global Positioning System
ITS	Inteligentni Transportni Sustavi
SCOOT	Split Cycle Offset Optimization Technique
SCATS	Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
UTOPIA	Urban Traffic OPtimization by Integrated Automation
RHODES	Real – time Hierarchial Optimized Distributed and Effective System
MOTION	Method for the Optimization of Traffic signals In Online controlled Networks
SPOT	System for Priority and Optimisation of Traffic
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
ZET	Zagrebački Električni Tramvaj
TMK	Tramvajska Motorna Kola
NT	Niskopodni Tramvaj
TP	Tramvajska Prikolica
5T	Telematics Technologies for Transport and Traffic in Turin

PTM	Public Transport Management
UTC	Urban Traffic Control
EMC	Environment Monitoring and Control
VMS	Variable Message Signs
IMC	Information Media Control
FD	Fares and Debiting
MP	Maximum Priority
RG	Route Guidance
VIT	Vehicle Intelligent Terminal
RSU	Road Side Unit
SPRU	Signal Priority Request Unit
DETR	Department of the Environment Transport
UTMC	Urban Traffic Management and Control
STM	Strategy Tools Module

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Razine stupnja motorizacije europskih metropola u razdoblju 2002. – 2007. godine.....6

Slika 3.1. Sustav javnih bicikala Grada Zagreba "Nextbike".....9

Slika 3.2. Autobusna vozila ZET-a.....10

Slika 3.3. Trolejbus u Bratislavi.....10

Slika 3.4. ZET-ov vozni park tramvaja.....11

Slika 3.5.Odnos kapaciteta i međustajališne udaljenosti.....12

Slika 3.6. Izgled metro sustava, Maharashtra, India.....12

Slika 4.1. Krivulja protok – gustoća za individualno i centralizirano vođenje.....16

Slika 4.2. Produljenje zelene faze.....18

Slika 4.3. Kraćenje crvene faze.....18

Slika 4.4.: Arhitektura sustava UTOPIA.....34

Slika 5.1. Pregled tramvajske mreže grada Zagreba.....37

Slika 5.2. Snimak područja Kvaternikovog trga s Vlaške ulice (zapadni privoz).....41

Slika 5.3. Snimak prometnog stanja raskrižja.....42

Slika 5.4. Snimak sa sjevernog privoza raskrižju.....43

Slika 5.5. Snimak prometne gužve prije raskrižja s Ulicom grada Vukovara.....44

Slika 5.6. Prikaz odvajanja trakova i tramvajske stanice u daljini.....44

Slika 5.7. Raskrižje Praške ulice i Boškovićeve ulice.....45

Slike 5.8. Ptičja perspektiva raskrižja Ulice grada Vukovara i Avenije Marina Držića.....46

Slika 6.1. Struktura sustava 5T.....51

Slika 6.2. Prikaz linija na kojima je mjereno: Siracusa – Potenza (crvena); Sovietica – Via Sacchi (ljubičasta).....53

Slika 6.3. Primjer sustava koji pruža tramvaju prioritet prolaska raskrižjem.....54

Slika 7.1. Pregled tramvajskih linija i stajališta mreže grada Zagreba u Qgis–u.....60

Slika 7.2. Dijelovi mreže koji su kompatibilni istraživanju (crvena boja).....60

Slika 7.3. Dio obrađivanih podataka u Microsoft Excel – u.....60

Slika 7.4. Konačan izračun prioritetnosti odabranog uzorka sustava.....61

POPIS TABLICA

Tablica 3.1.Usporedba tračničkih sustava prema značajkama.....13

Tablica 4.2. Koristi integracije ITS rješenja.....31

Tablica 5.1.Eksploatacijski pokazatelji tramvajskog prometa (03.04.2017.).....39

Tablica 7.1. Modificirani eksploatacijski podatci nakon pretpostavljene primjene prioriteta.....62

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 5.1. Dnevni vozni park ZET–a.....38

Grafikon 5.2. Raspodjela tramvajskih vozila ZET–a u prometu kroz dan.....40

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 **Mogućnosti poboljšanja prometnog sustava Grada Zagreba** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 18.9.2017

Student/ica:

(potpis)