

# Primjena ITS tehnologija u izradi prometnih modela gradova

---

**Dankić, Josip**

**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:119:136728>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Josip Dankić**

**PRIMJENA ITS TEHNOLOGIJA U IZRADI PROMETNIH  
MODELA GRADOVA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2017.**



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

DIPLOMSKI RAD

**PRIMJENA ITS TEHNOLOGIJA U IZRADI PROMETNIH  
MODELA GRADOVA**

**IMPLEMENTATION OF ITS TECHNOLOGIES IN  
DEVELOPMENT OF TRAFFIC MODELS**

Mentor: doc. dr. sc. Luka Novačko

Student: Josip Dankić

JMBAG: 0135227863

Zagreb, rujan 2017.

# SAŽETAK

**Autor:** Josip Dankić

**Naslov rada:** Primjena ITS tehnologija u izradi prometnih modela gradova

## **Tekst sadržaja:**

Osnovna ideja ovog rada je prikazati kakav utjecaj imaju ITS tehnologije u izradi prometnih modela gradova. Inteligentni transportni sustavi imaju sve veći utjecaj na izgled grada kao cjeline koja objedinjuje niz modova prijevoza, te pozitivne utjecaje na okoliš ali i na život ljudi u gradovima. Glavni cilj je prikazati u kojem smjeru djeluju takve tehnologije i kako i na koji način one djeluju pri izradi prometnih modela gradova. Europski primjeri korištenja takvih tehnologija pri planiranju u prometu daju smjernicu kako bi se ubuduće trebao razvijati promet i transport u gradovima, uzimajući u obzir kakav sociološki, ekološki i ekonomski čimbenik predstavljaju tehnologije koje se implementiraju na prometnicama gradova. U konačnici, promet kao disciplina drastično se mijenja uvođenjem digitalizacije, pa u budućnosti treba očekivati veliku i rasprostranjenu primjenu takvih tehnologija.

## **Ključne riječi:**

Inteligentni transportni sustavi; prometni model; informiranje u prometu; pametni gradovi; programski alati

## SUMMARY

**Author:** Josip Dankić

**Title:** Implementation of ITS Technologies in Development of Traffic Models

**Abstract:**

The basic idea of this paper is to demonstrate the impact of ITS technology on developing traffic models. Intelligent transportation systems have an increasing impact on the appearance of the city as a unity, which combines a number of modes of transportation, as well as positive impacts on the environment but also on the lives of people in cities. The main goal is to show in which direction these technologies work and how they work in a terms of developing traffic models. European examples of the use of such technologies in traffic planning give guidance on how to develop traffic and transport in cities in the future, taking into consideration the kind of sociological, ecological and economic factors of technologies that are implemented on the city roads. Ultimately, traffic as a discipline is drastically changing by the introduction of digitalization, so in the future one should expect large and widespread use of such technologies.

**Key words:**

Intelligent transportation systems; traffic model; traffic informing; smart cities; software tools

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PREGLED PRIMJERA PRIMJENE ITS TEHNOLOGIJA U PROMETNOM MODELIRANJU U SVIJETU</b> .....	3
<b>3. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA ULAZNIH PODATAKA ZA IZRADU PROMETNIH MODELA PRIMJENOM ITS TEHNOLOGIJA</b> .....	10
<b>4. PRIKAZ KLASIČNOG ČETVEROSTUPNJEVANOG PROMETNOG MODELA</b> 21	
<b>4.1 Podmodel generiranja putovanja</b> .....	22
<b>4.2 Podmodel distribucije putovanja</b> .....	25
<b>4.3 Podmodel modalne raspodjele</b> .....	27
<b>4.4 Podmodel dodjele putovanja</b> .....	29
<b>5. IZRADA PROMETNOG MODELA GRADA SAMOBORA PRIMJENOM PROGRAMSKOG ALATA PTV VISUM</b> .....	34
<b>6. KALIBRACIJA I VALIDACIJA PROMETNOG MODELA PRIMJENOM ITS TEHNOLOGIJA</b> .....	45
<b>6.1 Kalibracija prometnog modela</b> .....	46
<b>6.2 Validacija prometnog modela</b> .....	47
<b>7. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA ODVIJANJA PROMETNIH TOKOVA U SAMOBORU</b> .....	50
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	58
<b>LITERATURA</b> .....	59
<b>POPIS SLIKA</b> .....	61
<b>POPIS TABLICA</b> .....	62

## 1. UVOD

ITS (Inteligentni transportni sustavi) tehnologije u današnjem svijetu uvelike pridonose boljem stanju u prometnoj okolini. Sve više se reducira posao izgradnje nove cestovne infrastrukture, odnosno nova infrastruktura se gradi u slučaju gdje je to stvarno potrebno. Što se više smanjuje posao izgradnje nove cestovne infrastrukture, to više utjecaj tehnologija ITS-a dolazi do izražaja. U današnjim gradovima, koji su prenapučeni različitim modovima prijevoza, buka, emisija ispušnih plinova i veća potrošnja goriva nepovoljno utječu na život ljudi u gradovima. ITS tehnologije u vidu predputnog i putnog informiranja omogućuju vozaču bolju informiranost u prometu te rerutiranje na prometnicu koja je manje zagušena. U svrhu detektiranja prometnog zagušenja, ali i ostalih nepovoljnih prometnih učinaka, izrađuju se prometni modeli.

Prometni model daje predodžbu stvarnog stanja u prometu, prikazujući ulazno-izlazne zone, kretanja osobnih vozila, vozila JGP (javni gradski prijevoz), teških teretnih vozila, biciklista i pješaka, centroide zone i slično. U ovom radu prikazat će se prometni model grada Samobora, te detektirati problemi, ali i obilježiti pozitivni aspekti koji čine grad Samobor takvim kakav je.

U drugom poglavlju, opisat će se vrste prometnih modela koje se koriste u svijetu, koji su najprihvatljiviji, najkorišteniji, ali i koji od njih uzimaju ITS u obzir te kako se ponašaju u skladu s tim. Nakon toga, opisat će se ITS tehnologije koje pomažu vozačima u prometu da savladaju sve prepreke koje se nalaze na njihovom putu.

U trećem poglavlju, prikazat će se načini prikupljanja ulaznih podataka za izradu prometnog modela primjenom ITS tehnologija. Opisat će se klasične metode kao što su anketiranje, brojanje prometa i slično. Na kraju poglavlja iznijet će se načini prikupljanja prometnih podataka u nekoliko država Europe i Sjedinjenim Američkim Državama – SAD.

U četvrtom poglavlju, prikazat će se četverostupnjevani prometni model te koji se postupci moraju poduzeti u svakom podmodelu kako bi prometni model činio smislenu cjelinu.

U petom poglavlju, pomoću programskog alata PTV Visum prikazat će se prometni



model grada Samobora sa svim pripadajućim atributima, te će se opisati elementi koji su potrebni za izradu prometnog modela.

U šestom poglavlju, kalibracija i validacija prometnog modela dolaze do izražaja kao postupci koji se moraju napraviti nakon izrade prometnog modela kako bi se ustvrdila moguća poboljšanja na prometnoj mreži.

U sedmom poglavlju, predložit će se ITS tehnologije koje mogu poboljšati prometnu situaciju grada Samobora po uzoru na manje europske gradove, iz razloga što bi bilo neefikasno, neprimjereno i nepotrebno da se ITS tehnologije za veće gradove primjenjuju na manje gradove. Direktive Europske Unije - EU uvelike pridonose razvitku gradova u prometnom smislu, pa ITS tehnologije koje se predlažu za grad Samobor dobivaju još više na značaju.

U osmom poglavlju, ujedno i zaključnom dijelu rada, iznijet će se zaključak koje tehnologije su danas najkorištenije, što se može učiniti za poboljšanje stanja u prenapučenim gradovima, te kakav utjecaj to ima na život građana. Izradom prometnih modela te detektiranjem problema, saznat će se što je to što u tom trenutku uzrokuje nepovoljno stanje u prometu u gradu.

## 2. PREGLED PRIMJERA PRIMJENE ITS TEHNOLOGIJA U PROMETNOM MODELIRANJU U SVIJETU

Rast urbanog prometa rezultirao je velikim prometnim zagušenjima u većini gradova. Pošto se razina korisničkih zahtjeva za putovanjem povećala više od kapaciteta prometnice, situacija će se nastaviti pogoršavati sve dok se ne implementiraju bolje prometne strategije. Jedna od najatraktivnijih trenutnih metoda za rješavanje problema prometnog zagušenja je implementacija inteligentnih transportnih sustava. ITS predstavlja područje primjene trenutnih i razvijajućih tehnologija transportnih sustava te integraciju funkcija sustava za pružanje efektivnih i efikasnih rješenja za multimodalne transportne probleme. Prometni simulacijski modeli postaju važni za kontrolu prometa. Simulacije su potrebne, ne samo u svrhu postizanja koristi od ITS-a u planiranju, nego u generiranju scenarija, optimizacijske kontrole i predviđanja ponašanja prometne mreže na određenoj razini. Simulacije daju prometnom inženjeru cjelovitu sliku prometa te mogućnost detektiranja problema i projektiranja mogućih prometnih rješenja. Prometni simulacijski modeli detaljno su proučavani u posljednjih trideset godina. Različiti simulacijski alati kao što su Corsim, Transyt 7F i Aimsun razvijani su za proučavanje konvencionalnih prometnih modela. Simulacijski modeli kao što su Integration, Dynasmart i Metropolis specifično su razvijeni za proučavanje efektivnosti alternativnih informacijskih strategija za urbane prometne mreže s ATIS-om (engl. *Advanced Traveler Information System*) i/ili ATMS-om (engl. *Advanced Traffic Management System*).

Integration je razvijen kasnih 80-ih godina na sveučilištu u Queensu. To je mezoskopski rutno orijentirani simulacijski model za integrirane autoceste te uličnu prometnu mrežu. Referencirajući se na ITS, to je prvi simulacijski model koji je u obzir uzeo rutno orijentirane informacije pružene od strane ITS-a.

Dynasmart je primarno deskriptivni analitički alat za evaluaciju informacijskih strategija, prometnih kontrolnih mjera i pravila dodjeljivanja ruta na mrežnoj razini. Drugim riječima, Dynasmart ne pronalazi najbolje konfiguracije za ITS sustave, ali umjesto toga proučava efektivnost već postojećih konfiguracija.

Paramics je još jedan u nizu prometnih simulacijskih modela koji predstavlja ITS. Uloga mu je proučavanje mogućnosti ITS-a, te na kraju implementiranje sustava gdje su mogućnosti Paramicsa, uključujući sveobuhvatnu vizualizaciju i mikroskopsku prometnu

simulaciju, ključne komponente simulacijskog dijela koje se tiču ITS arhitekture. Trenutno, potencijalna područja za implementiranje Paramicsa uključuju: prometno upravljanje i kontrolu, modeliranje prometnog kontrolnog centra te osobni pristup za predviđanje putnih informacija. Nekoliko istraživačkih projekata je već obavljeno koristeći Paramics kao bazu za proučavanje dinamičkog donošenja odluke nalazeći se na ruti [1].

Dinamički transportni mrežni modeli mogu se uzeti u obzir za različite ITS tehnologije, uključujući ATIS, ATMS i AHS (engl. *Automated Highway Systems*). Od mnogih različitih implementacijskih mogućnosti koje trebaju biti identificirane, pažnja je usmjerena na: predviđanje prometa, dinamički rutni vodič, integrirane prometne kontrolne i informacijske sustave, upravljanje incidentnim situacijama, troškove prometnog zagušenja, automatske analize sustava autocesta i transportnog planiranja [2].

Trenutne metode upravljanja prometom u gradovima pomažu u reduciranju kašnjenja u prometnim tokovima na način da pružaju različite strategije faza signalnih planova i takve strategije su vrlo efektivne u planiranim ili standardnim uvjetima. Metode podrazumijevaju dva pristupa: predviđajući pristup baziran na modelu i reaktivni pristup. Potonji su bazirani na kompleksnim matematičkim modelima, gdje su rješenja prikazana kao rezultati velikog broja jednadžbi. Reaktivni pristupi, kao što su SCOOT (engl. *Split Cycle Offset Optimization Technique*) i SCATS (engl. *The Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*), bazirani su na jednostavnim prometnim modelima unutar skupine prometnih svjetala i kao takvi su brži te se prilagođavaju promjenama prometnog toka u njihovom lokalnom području. Oba pristupa nisu dizajnirana za adekvatan rad u neplaniranim situacijama, kao što su blokada prometnice u slučaju incidentne situacije ili nepovoljne situacije vezane uz meteorološke nepogode. Predviđajući pristupi su računski skuplji i slabo se ističu, zahtijevajući nekoliko sati za pružanje strategije koja se implementira. S druge strane, reaktivni pristupi su ekstremno brzi, ali se oslanjaju na predračunsko znanje i vrlo pojednostavljene prometne modele, gdje implementirane strategije nisu toliko efektivne.

Iako se već dugo razmatra područje umjetne inteligencije kao dio ITS-a u cestovnom prometu, vrlo je malo implementiranih metoda u prometnom planiranju u gradovima, no misao o centraliziranim automatskim upravljačkim metodama dolazi sve više do izražaja. Takve metode mogu se suočiti s iznimnim prometnim uvjetima te multi-objektivnom optimizacijom generirajući efektivni plan promjena prometnih svjetala. Prva takva metoda

predstavlja automatsko planiranje prometom u gradovima kao pomoć u iznimnim uvjetima, kao na primjer situacije u kojoj prometnice u mreži prometnica budu blokirane zbog nekog neplaniranog incidenta. Pretpostavlja se da svako vozilo može biti usmjereno od strane urbanista na način da ta osoba limitira broj čvorova u prometnoj mreži, te prateći informacije koje dobije, vozilo prometuje kako treba. Rasporedni pristup, nazvan još i Surtrac, predložen je od strane Xie, Smitha i Barlowa. Oni su usredotočeni na eksploataciju decentraliziranih rasporednih tehnika za sinkroniziranje grupe prometnih svjetala. Svako raskrižje je kontrolirano izvršiteljem rasporeda, koji komunicira sa svakim prometnim čvorom za predviđanje buduće prometne potražnje te reduciranje vremena čekanja vozila na semaforu [3].

Upravljanje incidentnim situacijama u prometu je vrlo značajno područje ITS-a. Tehnološka ekspanzija u tom području reflektira se na prikupljanje i obrađivanje podataka. Studije pokazuju da su predloženi i evaluirani različiti modeli i sustavi za upravljanje incidentnim situacijama. Takvi sustavi su: CIMS (engl. *Critical incident management system*), CPS (engl. *Cyber physical system*), sustavi za donošenje odluka, mnogi različiti programi za prikupljanje stvarnovremenskih podataka i prometno upravljanje u incidentnim situacijama.

Sustavi upravljanja prometom imaju glavnu ulogu u transportnim sustavima. Povećavaju ukupnu transportnu efikasnost u prometnim tokovima, poboljšavaju sigurnost u prometu, omogućuju bolju mobilnost, ekonomsku produktivnost te imaju vrlo važnu ulogu u prometnom okruženju općenito kao dio ITS-a. Takvi sustavi prikupljaju stvarnovremenske podatke s različitih hardver komponenti kao što su kamere i senzori brzine te se takvi podaci šalju u prometni upravljački centar gdje su procesirani i analizirani.

Sustavi za prikupljanje podataka o vozilima prikupljaju podatke koji su vezani za performanse i kvalitetu vozila koje se analizira, procesiraju ih te se daljinski nadgledaju. Sustav se bazira na ulazu vozila, okvirnom softverskom poslužitelju, bazi podataka i *web* baziranim sučeljima. Aplikacija takvog sustava pruža podršku praćenju vozila, predviđenom održavanju, inženjerstvu, vojsci te testiranju trajnosti.

TSP (engl. *Transit Signal Priority*) sustav omogućuje putne usluge bržima, pouzdanijima i jeftinijima. Glavna uloga sustava je efikasnost pridržavanja rasporeda, vrijeme putovanja i kretanje prometa kroz kontrolirajuća prometna raskrižja.

FCD (engl. *Floating Car Data*) u transportnim sustavima određuje brzinu prometa na cesti. FCD radi s različitim vrstama podataka vezanim za brzinu, smjer putovanja, vrijeme i lociranje podataka s mobilnih uređaja kada se mobilni uređaj ponaša kao senzor. Valjana kartica podataka je ugrađeni sustav kroz koji se podaci prikupljaju na temelju lokacije vozila u konstantnim vremenskim intervalima. Predviđeni podaci dolaze s detektorske petlje, a automatsko prepoznavanje vozila u drugim uvjetima dolazi s mjerenja baziranih na vozilima [4].



Slika 1. Prikaz FCD-a s različitim prometnim podacima, [5]

Urbano područje je kompleksno prometno područje. U kontekstu razmatranja povezanosti prometnih sustava mogu se ustanoviti tri podsustava. To su: aktivnost, prometna potražnja te prometna ponuda.

Aktivni podsustav predstavljen je individualnim socio-ekonomskim potrebama i ponašanjem korisnika sustava kao što su: organizacije, institucije, poslovi i slično. Oni su

povezani s različitim prometnim zahtjevima u različitim teritorijalnim jedinicama grada. Različite lokacije ljudskih aktivnosti generiraju veličinu prometnih zahtjeva te njihovu prostornu i vremensku distribuciju.

Sljedeći podsustav se odnosi na zahtjev za putovanjem. On potječe od potrebe za pristupom urbanim funkcijama i uslugama i određen je prostornom disperzijom elemenata aktivnog sustava u području grada. Tokovi prometne potražnje rezultat su ljudskih izbora u smislu njihovog putovanja prometnom mrežom. Isto tako, povezani su i prijevozom dobara. Rezultati takvih odabira su agregirani prometni tokovi u prometnoj mreži koji se sastoje od vozila koja prevoze korisnike i dobra.

Posljednji podsustav predstavlja prometnu ponudu. Opisan je specifičnim atributima kvalitativnog i kvantitativnog karaktera. Svaki element prometne mreže određen je kapacitetom, koji je podudaren najvećem broju jedinica prometnog toka. U situaciji kada je veličina prometnog toka dosegla razinu kapaciteta, efekt prometnog zagušenja postaje prisutan. To dovodi do pada kvalitete funkcioniranja prometnog sustava grada, uzrokujući povećanje vremena putovanja i putnih troškova.

Zagušenje u urbanoj prometnoj mreži promatrano je s dva gledišta. Prvo gledište odnosi se na prometnicu u obliku ometanja prometnog toka i šok-valova, a drugo gledište na prekomjerno popunjene autobuse i tramvaje, što se afektira na široko rasprostranjenu neudobnost i neugodnost života u gradovima. U određenom trenutku, potrebno je poduzeti adekvatne mjere, koje vode do povećanja atrakcije prometnog gradskog sustava. Takve mjere podrazumijevaju ITS usluge čiji će utjecaj uvelike pridonositi rješavanju problema ne samo zagušenja, već i ostalih problema koji se mogu dogoditi u urbanoj prometnoj mreži [6].

Prometne institucije, osobito one s velikim brojem urbanih signaliziranih raskrižja u njihovom području, konstantno se suočavaju s problemima promjene prometne potražnje i prometnog režima općenito. Fiksni kontrolni sustavi nemaju mogućnost odgovoriti na sve moderne zahtjeve koje postavlja prometna mreža. Kao rješenje, prometne ustanove najčešće spominju implementaciju ATCS-a (engl. *Adaptive Traffic Control Systems*). Takvi sustavi se odnose na adaptivno upravljanje semaforiziranim raskrižjima. Osnovna premisa operacija koje obavlja ATCS su kontinuirane i sitne prilagodbe parametara vremenskih signala kao odgovor na promjenu prometne potražnje i režima prometa. Tipični ATCS bazira se na visoko razvijenim kontrolnim algoritmima, prometnim modelima, različitim detektorskim

konfiguracijama te centraliziranoj ili decentraliziranoj arhitekturi. Obično su takvi sustavi implementirani za poboljšanje efektivnosti prometne mreže, reduciranje prometnog zagušenja, poticanje odgovornosti poglavito što se tiče incidentnih situacija i reduciranje troškova ponovnog vremenskog usklađivanja na raskrižju. Općenito, ATCS-i su odlični u rukovanju nepredvidivih prometnih uvjeta utječući na duljinu trajanja ciklusa, podjeli, razmaku te duljini trajanja faze. No, trenutno se ATCS suočava s problemima koji se tiču određenih sudionika prometa, a tu se prvenstveno misli na vozila žurnih službi te pješake. Iako je većina ATCS-a imala svoje početke u akademskim ili istraživačkim projektima, većina ih se afirmirala kao proizvod različitih kompanija te su brzo prodani. ATCS-i, kao integrirani softver i hardver, obično se razlikuju ovisno o kompaniji koja ih je proizvela, te su dostavljeni u obliku crne kutije, kao zakonom zaštićeni optimizacijski algoritmi. U skladu s poboljšanjem procesa donošenja odluka i bolje implementacije, prometne institucije prvo trebaju informacije o značajkama ATCS-a. Najpoznatiji ATCS-i su:

1. SCOOT (engl. *Split Cycle Offset Optimization Technique*);
2. SCATS (engl. *The Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*);
3. UTOPIA (engl. *The Urban Traffic Optimization by Integrated Automation*);
4. SPOT (engl. *System for Priority and Optimization of Traffic*);
5. BALANCE (engl. *Balancing Adaptive Network Control Method*);
6. MOTION (engl. *Method for the Optimization of Traffic Signals in Online-Controlled Networks*);
7. RHODES (engl. *Real Time Hierarchical Optimized Distributed Effective System*);
8. OPAC (engl. *Optimized Policies for Adaptive Control*);
9. LA-ATCS (engl. *Los Angeles Adaptive Traffic Control System*).

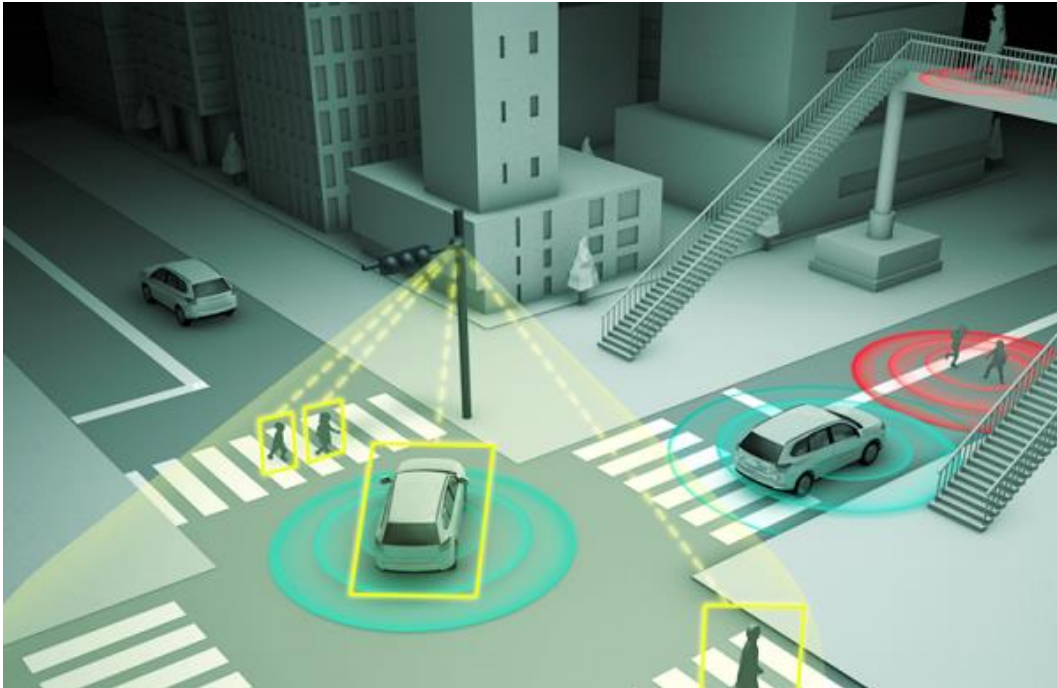
Pozitivni aspekti ATCS-a su:

- efektivno suočavanje s promjenama prometnih uvjeta;
- kratko vrijeme odziva sustava na promjenjive zahtjeve;
- spremljena velika količina podataka;
- efektivno suočavanje sa specijalnim pojavama.

Negativni aspekti ATCS-a su:

- vrlo teško razumljive operacije unutar crne kutije;

- puno održavanja i operacijskih učinaka za održavanje sustava u optimalnim performansama;
- strma krivulja učenja;
- nedostatak podrške;
- početni plan vremena i troškovi [7].



Slika 2. Prikaz adaptivnog upravljanja semaforiziranim raskrižjima, [8]

Pregledom svih postojećih tehnologija koje su dio ITS-a, ustanovljeno je da postoji veliki prostor za napredovanje, a neki od sustava koji su već implementirani u svijetu pokazuju da su inteligentni transportni sustavi neizostavan dio prometnog sustava te da će se u budućnosti prometni problemi sagledavati na jedan sasvim drugačiji inženjerski način.



### 3. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA ULAZNIH PODATAKA ZA IZRADU PROMETNIH MODELA PRIMJENOM ITS TEHNOLOGIJA

Podaci u statistici se najčešće analiziraju iz uzorka koji je izdvojen iz ukupne populacije, s obzirom da ne bi bilo ekonomski i tehnički izvedivo promatrati cijelu populaciju. Dizajniranje uzorka ima za cilj da prikupljeni podaci pružaju najveći mogući broj korisnih informacija o populaciji uz najmanji trošak. Uzorak se definira kao skup jedinki koje su izabrane kako bi reprezentirale veću populaciju s određenim atributima interesa (npr. godine starosti, dohodak, visina itd.). Većina metoda uzimanja uzorka ili uzorkovanja bazirana je na slučajnom odabiru jedinki populacije. Svaka jedinka bira se neovisno i svaka ima jednaku vjerojatnost da bude odabrana u uzorak. Razlikuju se dvije osnovne metode:

1. Jednostavno slučajno uzorkovanje;
2. Stratificirano slučajno uzorkovanje.

Jednostavno slučajno uzorkovanje je najjednostavnija metoda i baza svih ostalih metoda. Metodologija se sastoji od označavanja svake jedinice populacije brojem, a nakon toga se ti brojevi slučajno izvlače te se dobiva uzorak. Kod stratificiranog slučajnog uzorkovanja prije uzorkovanja koriste se *a priori* informacije kojima se populacija raspodjeljuje u homogene grupe. Nakon toga se unutar tako definiranih homogenih grupa slučajnim odabirom odabiru jedinice koje čine uzorak. Smanjuje se greška uzorkovanja i povećava reprezentativnost uzorka. Postoje dva oblika pogrešaka koje se mogu dogoditi prilikom uzimanja uzoraka. Prva pogreška odnosi se na činjenicu da se o nekoj populaciji zaključuje na temelju slučajno odabranih jedinki. Druga pogreška, odstupanje uzorkovanja, uzrokovana je odabirom krive populacije, odabirom krive metode uzorkovanja ili bilo kojim drugim pogreškama u procesu uzorkovanja, odabirom uzorka koji ne reprezentira populaciju i sl. Odabir najprikladnije metode prikupljanja podataka najviše ovisi o vrsti modela koji se koristi u nekoj prometnoj studiji, odnosno o potrebnim ulaznim podacima za izradu modela. Ključni parametri u odabiru metode prikupljanja podataka su:

- vremenski rok izrade studije;
- vremenski horizont za koji se izrađuje studija;
- ograničenja u izradi studije;

- financijski proračun predviđen za izradu studije.

Podaci koji se koriste za izradu prometnog modela trebali bi imati sljedeće karakteristike:

- sadrže detaljne podatke o svakoj etapi putovanja - specifikacija korištenih modova prijevoza, lokacija putovanja, dobu dana, vremenu putovanja itd.;
- uključuju sve modove prijevoza pa i pješaćenje;
- sadrže podatke o svrhama putovanja;
- uključuju najširi mogući vremenski period npr.: 24 sata u danu, 7 dana u tjednu;
- sadrže podatke od svih članova analiziranih kućanstava;
- da su dio integriranog sustava prikupljanja podataka.

Osnovne metode prikupljanja podataka u prometnom modeliranju su:

- anketiranje kućanstava;
- kordonska anketiranja - vanjski kordon;
- kordonska anketiranja - unutarnji kordon;
- brojanje vozila i ljudi;
- mjerenje vremena putovanja;
- podaci o korištenju zemljišta (rezidencijalna zona, industrijska zona, parkiralište);
- infrastrukturni objekti i podaci o prijevoznim uslugama (prometna mreža, cijena prijevoznih karata, frekvencija vozila JGP-a, lokacije semaforiziranih raskrižja).

U anketiranju kućanstava, anketom se dobivaju podaci o putovanjima svih članova kućanstava svim modovima prijevoza unutar područja promatranja. Važno je da se anketom prikupe socio-ekonomski podaci o dohotku, posjedovanju osobnog automobila, veličini kućanstva i njegovoj strukturi, itd. Preporuča se anketiranje provoditi od sredine rujna do kraja studenoga kada su rute putovanja najviše ustaljene tijekom godine (kraj ljetnih godišnjih odmora, početak škole). Anketar prikuplja detaljne informacije o svim putovanjima napravljenima prošloga dana, uključujući vrijeme početka i kraja putovanja, lokaciju izvora i odredišta putovanja, svrsi putovanja, korištenim modovima prijevoza, rutama putovanja i mjestima eventualnih transfera tijekom putovanja. Prikupljaju se i osnovni demografski podaci članova kućanstava: dob, spol, zanimanje, posjedovanje vozačke dozvole, te na razini kućanstava: prosječni mjesečni prihod i posjedovanje osobnog automobila.

Telefonska anketiranja nisu preporučljiva iz sljedećih razloga:

- iako se obrazac s pitanjima koja će se postavljati telefonski mogu unaprijed poslati na kućne adrese, ne može se isključiti mogućnost da će ih ispuniti jedna osoba za sve ostale članove kućanstva;
- veliki udio vlasnika telefonskih priključaka nema prijavljen broj u telefonskom imeniku;
- veliki broj ljudi više ne koristi fiksne telefonske linije već samo mobilne telefone. Istovremeno zvanje korisnika na telefone i mobilne uređaje nije moguće jer bi došlo do miješanja uzorkovanja baziranog na kućanstvu i na pojedincu.

Kod sastavljanja anketnog obrasca redoslijed pitanja treba smanjiti otpor ispitanika prema odgovaranju na pitanja. Iz tog razloga, teška pitanja (npr. prihod kućanstva) se obično stavljaju na kraj obrasca. Anketni obrazac treba zadovoljiti sljedeće kriterije:

- pitanja trebaju biti jednostavna i direktna;
- izbjegavati nepotrebna pitanja i osigurati da svako pitanje ima određenu svrhu;
- pitanja u kojima se očekuje od ispitanika da nešto sami napišu, komentiraju treba minimizirati;
- informacije o putovanjima moraju uključiti svrhu putovanja;
- informacije o svim korištenim modovima prijevoza tijekom putovanja;
- svi članovi kućanstva trebaju biti uključeni u anketu;
- s obzirom da se ljudi često teško prisjećaju nekih prošlih putovanja preporuča se unaprijed poslati dnevnik u koji će za zadani dan unositi podatke o svim svojim putovanjima.

Preporuka je da anketa bude sastavljena u dva dijela:

- 1) značajke kućanstva i pojedinih članova kućanstva i
- 2) podaci o putovanjima.

U prvom dijelu prikupljaju se podaci o članovima kućanstva: spol, dob, posjedovanje vozačke dozvole, stupanj obrazovanja, zanimanje, osobni dohodak itd. U drugom dijelu cilj je detektirati i opisati sva putovanja svih članova kućanstva. Svako putovanje treba razdvojiti po etapama, gdje etape čine promjene modova prijevoza. U svakoj etapi putovanja potrebno je

prikupiti podatke o: svrsi putovanja, vremenu početka i kraja putovanja, troškovima prijevoza itd. Kordonska istraživanja se koriste kao nadopuna anketama kućanstava na način da se na definiranim lokacijama utvrđuje broj putovanja koja ulaze, izlaze ili samo prolaze kroz definirano kordonsko područje. Kordonsko područje je najčešće područje poslovnih zona, trgovačkih centara i ostalih zona koje akumuliraju veliki broj vozila. Anketiranjem vozača dobivaju se podaci o putovanjima između zona promatranog područja, ali i podaci koji nisu registrirani prilikom anketiranja kućanstava, na primjer tranzitna putovanja. Problem predstavlja sama realizacija anketiranja. Ovi intervjui su vrlo kratki, do jedne minute i do pet pitanja: svrha putovanja, izvor, odredište i ruta putovanja. U novije vrijeme primjenjuju se i nove metode. Na primjer, bilježe se samo registracije vozila, a vozačima i putnicima se daju formulari koje oni elektroničkom poštom ispunjene vraćaju. U Nizozemskoj se pomoću ANPR (engl. *Automated Number Plate Recognition* – automatsko prepoznavanje registarskih pločica) tehnologije bilježe vozila koja ulaze u kordonsko područje, te se automatski na temelju baze podataka vozačima šalju formulari elektroničkom poštom. Istraživanje vremena putovanja na linkovima prometne mreže važno je za kalibraciju i validaciju prometnog modela, ali ono predstavlja i ključni element prometnih troškova. Vrijeme putovanja za osobna vozila najčešće se određuje vožnjom ispitivača u vozilu prosječnom brzinom prometnoga toka [9].

Veličine uzoraka različitih podataka se prikupljaju i računaju se sa željenih odabranih razina točnosti koji su povezani s ciljem studije. Minimalna veličina uzorka, predstavljena kao  $n$ , iznosi:

$$n = \left(\frac{sk}{e}\right)^2 \quad (1)$$

gdje je:

$n$  – minimalna veličina uzorka;

$s$  – standardna devijacija uzorka;

$k$  – konstanta koja je odgovarajuća željenoj razini pouzdanosti;

$e$  – dopuštena greška ili željena točnost.

Pošto je standardna devijacija uzorka nepoznata prije prikupljenih podataka, analitičar bi trebao dati inženjersku pretpostavku baziranu na prijašnjim iskustvima ili podacima koji su već prikupljeni na sličnim lokacijama. Karakteristična razina pouzdanosti je 95%, iako

analitičar može izabrati višu ili nižu razinu pouzdanosti ovisno o namjeni projekta. Važno je zabilježiti da bi više razine pouzdanosti zahtijevale veću količinu uzorka.

Postojeći prikupljeni podaci trebaju biti iskorišteni što je više moguće kako bi se minimizirali troškovi projekta. Izvori postojećih podataka trebaju se istražiti prije nego što se počnu prikupljati novi podaci s terena.

Kada se odrede metoda prikupljanja podataka i analitički pristup, nakon toga se može pristupiti razvijanju i integriranju rasporeda prikupljanja podataka kao važnom indikatoru projekta. Raspored prikupljanja podataka pokazuje ljudske resurse, opremu i vrijeme potrebno za obavljanje zadatka prikupljanja ulaznih podataka. Da bi se osigurala kvaliteta prikupljanja podataka kao i kvaliteta cjelokupnog procesa, ljudski resursi trebaju imati dovoljno iskustva u obavljanju takvog posla. Kada se predlože nove metode prikupljanja podataka ili tehnologije kojima se podaci prikupljaju, provodi se pilot projekt prije nego što se stvarno pristupi prikupljanju podataka kako bi se razumjela točnost podataka prikupljena od strane nove implementirane tehnologije [10].

Brojanje prometa važna je metoda prikupljanja ulaznih podataka. Tehnologije koje obilježavaju takvu metodu dijele se u dvije kategorije: intruzivne i neintruzivne metode. Intruzivne metode se općenito sastoje od uređaja za zapisivanje podataka i senzora koji su pozicionirani na cesti ili u cesti. Najvažnije intruzivne metode su:

**Pneumatske cestovne cijevi** – gumene cijevi su pozicionirane preko cijelog kolnika za detektiranje vozila na način da vozila prelaskom preko cijevi stvaraju pritisak gumom vozila. Puls zraka koji je kreiran, zabilježen je i procesiran od brojača prometa koji je pozicioniran s rubne strane ceste. Glavni nedostatak ove tehnologije jest limitiranost pokrivanja prometne trake i njena efikasnost ovisi o vremenskim prilikama, temperaturi i prometnim uvjetima. Isto tako, ova tehnologija ne može biti efikasna u mjerenju sporih prometnih tokova.

**Piezoelektrični senzori** – senzori su postavljeni u žlijebovima površine ceste koja se nadzire. Glavni princip ove tehnologije je pretvaranje mehaničke energije u električnu energiju. Mehanička deformacija piezoelektričnog materijala modificira gustoću površinskog naboja materijala kako bi se potencijalna razlika mogla odvijati između elektroda. Amplituda i frekvencija signala je proporcionalna stupnju deformacije. Ovakva tehnologija služi za mjerenje težine i brzine.

**Magnetne petlje** - najstandardnija tehnologija za prikupljanje prometnih podataka. Petlje su ugrađene na cestama u kvadratnom formatu koji generira magnetsko polje. Informacije su prenesene uređaju za brojanje prometa koji je pozicioniran s bočne strane ceste. Takve magnetne petlje su kratkog vijeka jer mogu biti oštećene teškim vozilima, ali nisu podložne oštećenjima uzrokovanih vremenskim nepogodama. Tehnologija magnetnih petlji rasprostranjena je po Europi u zadnjih nekoliko desetljeća, no njena implementacija i održavanje obilježeni su velikim troškovima.

Neintruzivne tehnologije su bazirane na daljinskim promatranjima. Iako je fizičko brojanje prometa najkorištenija metoda, pojavile su se nove tehnologije koje se čine vrlo obećavajućima. Neintruzivne metode su:

**Klasično fizičko brojanje prometa** – najtradicionalnija metoda. U ovom slučaju, promatrači prikupljaju prometne podatke koji ne mogu efikasno biti dobiveni kroz automatsko brojanje prometa, a takvi prometni podaci odnose se na: pješake, klasifikaciju vozila i razinu zauzeća vozila, odnosno popunjenosti vozila. Najčešće korištena oprema su obrazac za ispunjavanje, mehanički i elektronički brojači prometa.

**Pasivni i aktivni *infra-red* senzori** – postojanje, brzina i tip vozila detektirani su putem *infra-red* energije koja zrači iz detekcijske zone. Glavni nedostatak je djelovanje u lošim vremenskim uvjetima te ograničenost prometnih traka.

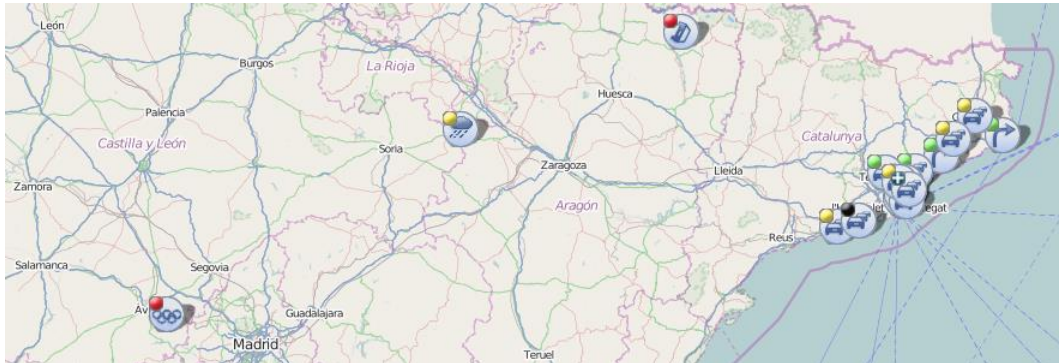
**Pasivni magnetski senzori** – magnetski senzori koji su postavljeni ispod ili iznad asfalta. Oni broje vozila, njihovu vrstu i brzinu. U operativnim uvjetima senzori mogu imati poteškoću raspoznavanja udaljenosti vozila.

**Detekcija pomoću video – snimke** – videokamera bilježi broj, vrstu i brzinu vozila različitim video tehnikama kao što su *tracking* i putanja putovanja. Ova tehnologija može biti osjetljiva na meteorološke uvjete.

U inozemstvu, metoda prikupljanja podataka može se zasnivati i na *online* izvorima koji daju stvarnovremenske prometne podatke. Stvarnovremenski podaci su takvi da pokazuju stanje u prometu dnevno, satno pa čak i u minutama (korišteno u SAD-u) i takve podatke daju nacionalni prometni centri.

U Španjolskoj od ljeta 2007. godine DGT (esp. Dirección General de Trafico) pruža veliku količinu stvarnovremenskih podataka koji su integrirani u Google Maps. Korisnik

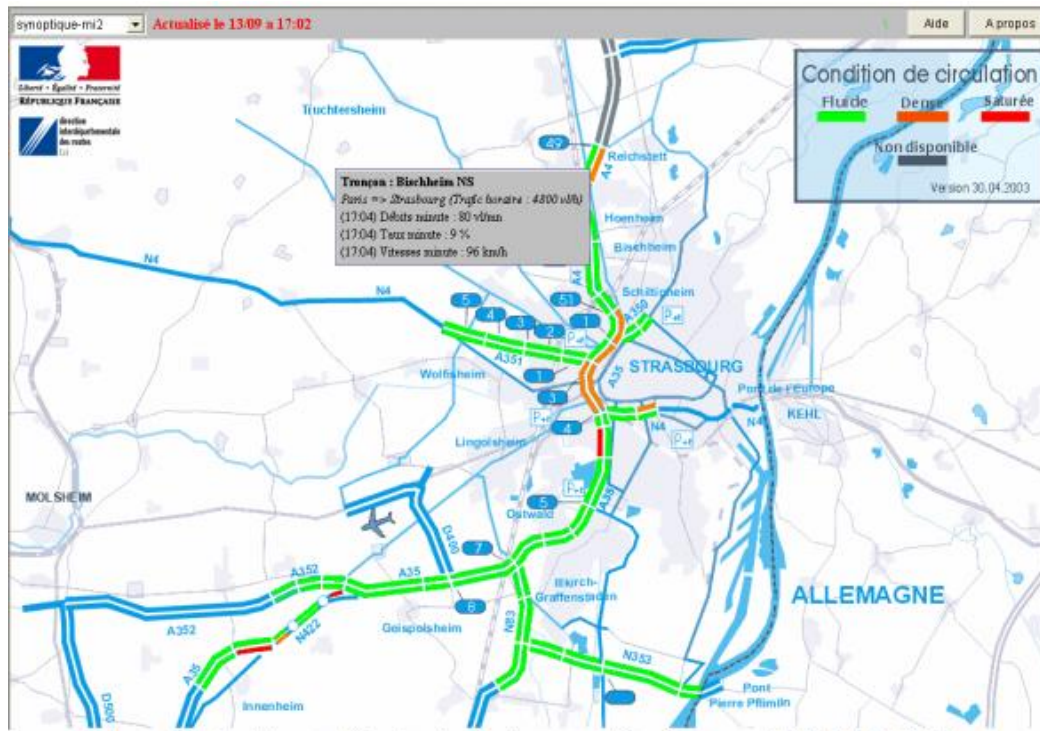
može lako prikupiti podatke vezane za prosječnu brzinu i prometni tok sa 4000 senzora pozicioniranih na španjolskoj prometnoj mreži. To je jedan od najboljih prometnih informacijskih alata u Europi i besplatno mu se može pristupiti u Europi [11].



Slika 3. Prikaz sustava DGT-a u Španjolskoj sa stvarnovremenskim prometnim podacima, [12]

U Finskoj, Finnish Road Administration pruža stvarnovremenske informacije mjerene s 330 automatskih brojačkih postaja koje su pozicionirane duž finske prometne mreže. Prometni podaci tiču se prometnih tokova i prosječne brzine na većim finskim cestama u ovih sedam regija: područje Helsinkija, Tampere, južna Finska, Jyvaskyla, Turku, Oulu i jugoistočni dio Finske.

U Francuskoj, slučaj je sličan kao i kod Španjolske, ali pokriva samo jednu specifičnu zonu. Interaktivna karta područja Strasbourga pruža korisniku stvarnovremenska mjerenja prometnog toka, prosječne brzine i razinu zauzeća na cestama Strasbourga. Zadnja verzija automatskog sustava nazvanog Gutenberg postavljena je 2006. godine. Prometni podaci prikupljani su svake minute sa 42 prometne stanice preko senzorskih petlji koje su pozicionirane na svakom kilometru prometnice. Kako bi se mjerenja poboljšala, 50 videokamera postavljeno je na prometnoj mreži. Nakon toga, podaci su prikazani na interaktivnoj karti koju pruža Direction Départementale du Bas-Rhin preko njihove internetske stranice. Nedostatak je da ovaj interaktivni alat ne pokriva ostatak francuske prometne mreže.



Slika 4. Prikaz sustava koji je implementiran u Strasbourgu, [11]

U Portugalu, velika količina prometnih podataka dostupna je na internetskoj stranici Estradas de Portugal koju je izdala SICIT (por. *Sistema Integrado de Controlo e Informacao de Trafego*). Sastoji se od opreme i aplikacija koje prikupljaju i šire stvarnovremenske prometne podatke sa zadatkom poboljšanja sigurnosti prometa i pružanja poboljšanja vođenja prometa na prometnoj mreži. Za tu namjeru, kreirana je aplikacija Alqueva kao garancija za pristup svim prometnim informacijama u svakom trenutku. Svi podaci prikupljeni su s više od 300 automatskih brojača prometa instaliranih na većim portugalskim cestama.

Prometni podaci koji su dostupni različite su prirode, kao na primjer: prometni tok klasificiran po kategoriji vozila, prosječna brzina, težina vozila i slično. Takvim podacima može se pristupiti u različitim vremenskim rezolucijama (godišnje, mjesečno, dnevno, satno, 15-minuta, 5-minuta i 1-minuta). Slični sustavi implementirani su u Danskoj i Belgiji.

U Italiji, OCTO Telematics *online* pruža stvarnovremenske informacije o brzini i broju vozila na talijanskim autocestama kao i cestama u područjima velikih gradova. Prometni podaci pruženi su od strane najveće FCD flote u Europi, odnosno stotine tisuća anonimnih korisnika čija su vozila opremljena GPS-om tvrtke. Podaci nakon toga mogu biti korišteni za navigacijske sustave (TomTom i Garmin u Italiji) i mogu pridonositi optimizaciji

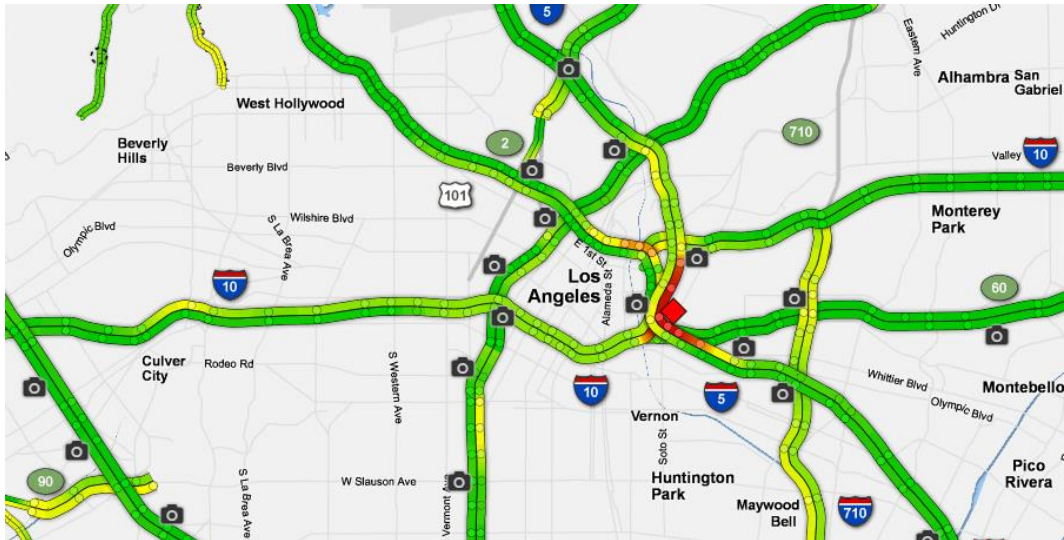


planiranja rute. To će pomoći korisnicima u smislu reduciranja vremena putovanja, čuvanja energije i novca.

U Njemačkoj, The Traffic Information System prikazuje trenutnu prometnu situaciju i prometnu prognozu (30 i 60 minuta) na cestovnoj mreži u području North Rhein Westphalia, duljine 2250 kilometara. Prometni simulacijski model podržan je stvarnovremenskim podacima koji se tiču brzine vozila i prometnog toka prikupljenih s 2500 automatskih detektorskih jedinica koji su ažurirani svake minute. Ovakav projekt predložen je od strane ministarstva prometa, energije i prostornog planiranja Nordrhein – Westfalen. To je jedan od najvažnijih i najpouzdanijih izvora prometne prognoze u Europi. Isto tako, bavarsko ministarstvo unutarnjih poslova daje stvarnovremenske informacije koje pokrivaju glavne gradove regije. Važno je za naglasiti da je FCD, baziran na GPS-u, korišten od flote taksista za prikupljanje prometnih podataka.

U SAD-u, u saveznom državama Washington, Južna Karolina i Maryland, implementirane su različite varijante sustava koji su implementirani u Europi. U Alabami, ALDOT (engl. *Alabama Department of Transportation*) pruža podatke o prometnom toku svaki sat kroz *Traffic Polling Data System*. Interaktivna karta dopušta korisniku da dobije prometne informacije sa širokog spektra prometnica kroz saveznu državu. Isto tako, dostupni su i povijesni podaci iz razdoblja 1996. - 2006. No, ne postoje novije prometne informacije od zadnjeg ažuriranja sustava koje se dogodilo u siječnju 2007. godine.

U Kaliforniji, tvrtka Sigalert pruža uživo prometne informacije (brzina, prometne nesreće) za osobna prometna izvješća. Pokriva područje južne Kalifornije (zapadni i istočni Los Angeles, okrug Orange, Ventura, Inland Empire, San Diego), sjeverne Kalifornije (San Francisco, Sacramento), Phoenix (Arizona) i ostale manje gradove. Podaci o brzinama direktno su prikupljeni s detektora i prikazani na njihovoj internet stranici [11].



Slika 5. Prikaz sustava koji je implementiran u Kaliforniji s pogledom na trenutnu prometnu situaciju u Los Angelesu, [13]



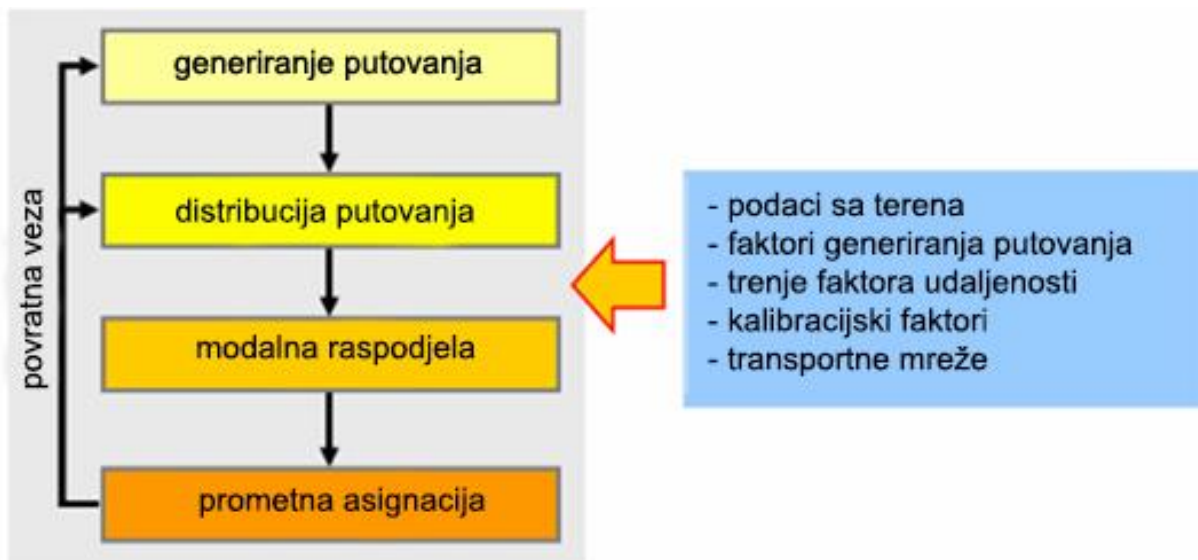
Slika 6. Prikaz sustava koji je implementiran u Kaliforniji s prikazom brzina i prometnih nesreća u okrugu Pasadena, [11]

U inozemstvu postoji velik spektar raznih tehnologija koje su implementirane kako bi se prikupljali prometni stvarnovremenski podaci za potrebe prometnih modela ili za potrebe određenih projekata. Kako se tehnologija razvija velikim brzinama, tako se i u prometu vodi

briga da se zastarjeli načini prikupljanja podataka zamijene novim tehnologijama, no takvi zastarjeli načini prikupljanja mogu poslužiti kao povijesni podaci, ako ne postoji osnova za početak projekta ili simulacije u nekom softverskom alatu za prometnu simulaciju.

#### 4. PRIKAZ KLASIČNOG ČETVEROSTUPNJEVANOG PROMETNOG MODELA

Povijest modeliranja prijevozne potražnje za korisnička putovanja prikazuje dominaciju prometnog modeliranja koja se kasnije ispostavila kao preteča četverostupnjevani prometnog modela. Putovanje, koje je u teoriji uvijek izvedeno kao aktivnost prometne potražnje, u praksi je modelirano više kao pojam koji je zasnovan na putovanju, nego na aktivnosti. Četverostupnjevani prometni model je primarni alat za predviđanje potražnje transportnog sustava, tipično definiranog na regionalnoj ili sub-regionalnoj razini. On mora biti prikladan za buduće moguće alternativne intervencije. Modeli sustava razvijani su za evaluiranje velikih infrastrukturnih projekata, a ne za kompleksne politike koje uključuju upravljanje i kontrolu postojeće infrastrukture ili uvođenje prometne politike koja direktno utječe na ponašanje u putovanju. Provedba predviđanja modela putovanja je kontinuirani proces. Razdoblje koje zahtijeva prikupljanje podataka, estimaciju modela i kasnije predviđanje odnosi se na period od nekoliko godina, tijekom kojih se transportni sustavi mijenjaju prema interesu prometne politike, najčešće zahtijevajući novo prikupljanje podataka i modeliranje. Malo vremena je zapravo dostupno za sistematsku studiju validacije modela nakon što je predstavljeno realno stanje.



Slika 7. Klasični četverostupnjevani prometni model, [14]

Nakon toga se definira područje studije koje definiraju kordonske linije, pa se takva istraživanja nazivaju i kordonska istraživanja. Područje unutar kordona sačinjeno je od prometnih analitičkih zona. Interakcija između područja izvan kordona definirana je putem eksternih granica koja prikazuju ulaz, izlaz i prolazak kroz područje istraživanja.

Unutarnji aktivni sustav reprezentiran je socio-ekonomskim, demografskim podacima te podacima upotrebe zemljišta definirane prometnim analitičkim zonama ili drugim prostornim jedinicama. Broj takvih zona, baziran na svrsi modela i dostupnosti podataka, može značajno varirati. Analiza takvih zona ili prostornih jedinica varira o podmodelima četverostupnjevskog modela i može biti na razini pojedinca, kućanstva, prometne analitičke zone ili nekog većeg broja ljudi.

Transportni sustav je tipično reprezentiran mrežnim grafovima definiranih linkovima i čvorovima. Čvorovi i linkovi su povezani atributima, primjerice: duljina, brzina, kapacitet linka, zabrana skretanja i kazne. Aktivni sustav je povezan s transportnim sustavom putem centroida koji predstavljaju apstraktne poveznice između centroida prometnih analitičkih zona i pristupnih točaka fizičke prometne mreže.

#### **4.1 Podmodel generiranja putovanja**

Podmodel generiranja putovanja predstavlja procjenu ukupnog broja putovanja koje generira polazište i privlači odredište svake zone u analiziranom području. Kod putovanja baziranih na kućanstvu definirano je nekoliko kategorija putovanja: putovanja na posao, putovanja u školu ili fakultet, putovanja u kupovinu, socijalna i rekreacijska putovanja i ostala putovanja. Prve dvije kategorije su obično obavezna putovanja, a sva ostala su opcionalna. Putovanja koja nisu bazirana na kućanstvima najčešće se svrstavaju samo u jednu zajedničku kategoriju jer u prosjeku čine samo 15-20% svih putovanja. Putovanja se mogu podijeliti i prema značajkama pojedinca: osobni dohodak (najčešće tri kategorije: nizak, srednji i visoki prihod), posjedovanje automobila (tipično tri kategorije: 0, 1, 2 ili više automobila) te veličini kućanstva i strukturi. Faktori koji utječu na produkciju putovanja su: osobna novčana primanja, posjedovanje automobila, veličina obitelji, struktura kućanstva, vrijednost zemljišta, gustoća stanovanja i dostupnost. Faktori atrakcije putovanja nisu toliko istraženi kao faktori

produkcije putovanja i najčešće su bazirani na značajkama zemljišta zone, odnosno industrijskim, komercijalnim i drugim funkcijama zemljišta.

Metoda regresijske analize koristi se kako bi se utvrdila statistička zavisnost između ostvarenih putovanja i značajka pojedinaca, zone i prometne mreže. Ako bi se proveo eksperiment u kojem bi se promatrale vrijednosti neke varijable  $Y = \{Y_i\}$  koje se dobivaju na temelju neke druge varijable  $X$  te uz uvjet da eksperiment nije deterministički, dobivale bi se različite vrijednosti  $Y_i$  za iste vrijednost  $X_i$ . Nakon što su iz uzorka dobiveni faktori generiranja putovanja temeljeni na kućanstvu, da bi se dobila ukupna produkcija pojedinih zona potrebno je broj kućanstava svake zone pomnožiti s faktorom generiranja putovanja. S obzirom na česti problem nelinearnosti, regresijska analiza se danas kod definiranja produkcije putovanja najčešće zamjenjuje kategorijskom analizom. Kod procjenjivanja atrakcije putovanja prema zonama i dalje se najčešće koristi regresijska analiza. Faktori koji utječu na privlačenje putovanja su:

- površina namijenjena za industriju, trgovinu i usluge;
- stupanj zaposlenosti zone;
- pristupačnost prijevoznih sustava;
- broj učenika i studenata u školama i fakultetima;
- broj objekata posebne namjene: prometni terminali, sportski stadioni, turističke i religijske atrakcije itd.

Najčešće korištena metoda za utvrđivanje produkcije putovanja danas je kategorijska analiza. Bazirana je na procjeni broja putovanja koja se stvaraju ili privlače u ovisnosti o atributima kućanstva. Stope generiranja putovanja za svaki tip kućanstva utvrđuju se empirijski na temelju velikog broja podataka iz anketnih istraživanja. Prilikom izrade modela treba pažljivo definirati broj tipova kućanstava jer preveliki broj tipova može stvoriti probleme prilikom uzorkovanja. Prednost kategorijske analize je da nije ovisna o svojstvima pojedinih zona promatranog područja. Ključni nedostaci su da zahtijeva velik broj uzoraka kućanstava kako bi se mogli raspodijeliti u odgovarajuće homogene skupine te predviđanje budućeg broja kućanstava unutar određene homogene skupine kućanstava [15].

Cilj podmodela generiranja putovanja je definiranje cjelokupnog broja dnevnih putovanja na razini kućanstava i zonalnoj razini, a ta putovanja se obavljaju u različite svrhe. U ovoj

prvoj fazi predstavljena je transformacija aktivnog baziranog četverostupnjevanog modela u model koji se bazira na putovanjima. Isto tako, svako putovanje razdvaja se na produkciju i atrakciju, na način da se efektivno preventiraju mjere performanse prometne mreže od utjecaja na frekventnost putovanja. Sve vrste modela su definirane za diskretne prostorne sustave od 100-2000 prometnih analitičkih zona. Najmanje tri različite svrhe putovanja su definirane, a to su najčešće: kuća-posao putovanja, putovanja koja započinju od kućanstva ali krajnje odredište nije posao i putovanja koja nisu bazirana na kućanstvu. Velika većina putovanja odnosi se na putovanja koja su bazirana na kućanstvu, odnosno čije je polazište ili odredište kuća. Putovanja koja nisu bazirana na kućanstvu zasnivaju se na tome da njihovo krajnje odredište nije kuća. Završeci putovanja su najčešće modelirani kao produkcija ili atrakcija. Završetak putovanja kod kuće uvijek predstavlja produkciju, jer je to kućanstvo i njegovi zahtjevi aktivnosti produciraju sva putovanja. S druge strane, završeci putovanja koja nisu bazirana na kućanstvima predstavljaju atrakciju (kod putovanja koja nisu bazirana na kućanstvima polazište predstavlja produkciju, a odredište atrakciju).

Putovanja mogu biti modelirana kao: zonalna, putovanja koja su bazirana na kućanstvu i putovanja pojedinca. Putovanja bazirana na kućanstvu najčešće su prikazana kao produkcijska putovanja, a zonalna putovanja kao atrakcijska putovanja. Za produkcijska putovanja koja su bazirana na kućanstvu, sva putovanja su generirana kod kuće, a putovanja koja nisu bazirana na kućanstvu moraju biti alocirana kako bi bila producirana u polazište zone putovanja. Kategorijski modeli više su poznatiji od regresijskih modela i pružaju razumno točna mjerenja frekventnosti putovanja na razini kućanstva i, kad su agregirana, na zonalnoj razini. Neovisno modeliranje završetaka putovanja ograničilo je mogućnosti za integriranje mjerenja pristupačnosti varijabli u modele generiranja putovanja. Atrakcijska putovanja primarno služe za mjerenja sljedećih izbora odredišta putovanja. Takvi modeli pružaju mjerenja relativne atrakcije za različite svrhe putovanja u funkciji socio-ekonomskih i demografskih varijabli. Estimacija je još problematičnija, prvotno zbog uzorka koji je baziran na istraživanjima regionalnih putovanja na razini kućanstva a ne na nestambenoj upotrebi zemljišta. Drugi razlog je taj da objašnjavajući dio varijabli atrakcije i nije tako dobar. Zbog tih razloga, skupljanje istraživačkih podataka se zahtijeva prije povezivanja uzoraka putovanja s varijablama atrakcije putovanja i to putem regresijske analize. Iduće atrakcijske razine, koje su inače normalizirane s produkcijskim razinama svake svrhe putovanja, trebaju biti posebno proučavane ako konačni rezultati mogu značajno varirati u ovisnosti o produkciji. Posebni

generatori putovanja, kao što su fakulteti, implementirani su u neovisne modele putovanja i lokacije koje nisu dobro prezentirane u standardnim modelima [16].

#### 4.2 Podmodel distribucije putovanja

OD (engl. *Origin – Destination*) matrica putovanja predstavlja izvorišno – odredišnu matricu putovanja, kao i broj putovanja između njih u nekom vremenskom periodu. Dezagregirana je prema aktivnostima koje se provode (posao, trgovina, edukacija, rekreacija i sl.), homogenoj skupini putnika (studenti, radnici, umirovljenici i sl.) te modovima prijevoza (osobna vozila, javni gradski prijevoz). Ukoliko postoje pouzdani podaci za procjenu  $O_i$  i  $D_j$  tada model mora zadovoljiti oba uvjeta i kaže se da je model dvostruko ograničen. Ako postoje podaci samo za jedno ograničenje, na primjer ako se može samo procijeniti  $O_i$ , onda se smatra da je model jednostruko ograničen. Tijekom povijesti razvilo se nekoliko modela za utvrđivanje distribucije putovanja između zona:

- metode faktora rasta;
- gravitacijski model;
- model maksimizacije entropije.

Troškovi ili otpori putovanja mogu biti razmatrani kao: prijedena udaljenost, vrijeme putovanja, novčani troškovi i tome slično. S obzirom da troškove putovanja ne treba razmatrati zasebno, potrebno ih je generalizirati, odnosno svesti na zajedničku mjernu jedinicu. Generalizirani trošak putovanja predstavlja mjeru koja u sebi kombinira sve glavne attribute koji se odnose na nekorisnost (otpore) odabranog putovanja. Generalizirani trošak putovanja predstavlja kompromis između objektivnih i subjektivnih prepreka u nastajanju putovanja:

- putnici - rade kompromis između vremena i novčanih troškova;
- vozači – parkiraju vozila na većim udaljenostima od odredišta kako bi platili manju parkirnu kartu;
- naplata cestarine – vožnja obilazno po cestama kako bi se izbjegla cestarina.

Razina do koje su spremni ići u takvim uštedama ovisi o njihovom vrednovanju vlastitog vremena, što pak ovisi o njihovom osobnom dohotku ili radnoj satnici. Količina novca koju su



putnici spremni potrošiti kako bi uštedjeli jednu jedinicu vremena putovanja naziva se vrijednost vremena VOT (engl. *value-of-time*). Prema istraživanjima pokazalo se da je generalizirani trošak bolje prikazivati u vremenskim nego u novčanim jedinicama. Na primjer, ako se izražava u novčanim jedinicama tada bi porast osobnog dohotka povećao VOT i time bi se povećao trošak putovanja i ista destinacija učinila skupljom. Ako bi s druge strane generalizirani trošak bio izražen u vremenskim jedinicama, povećanje osobnog dohotka bi smanjilo troškove putovanja do odredišta.

Gravitacijski model najviše se primjenjuje za predviđanje putovanja između zona. Analogija iz Newtonovog zakona - sila privlačenja između dvaju tijela proporcionalna masama tih tijela, a obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti između njih. Primijenjeno u području prometnog modeliranja, interakcija između dviju zona ovisi o snazi generiranja odnosno privlačenja putovanja tih zona i njihovoj međusobnoj udaljenosti. Gravitacijski model u općem obliku definira da je broj putovanja između izvorne i odredišne zone proporcionalan  $s$ : mogućnošću produkcije izvorišne zone, mogućnošću atrakcije odredišne zone i faktorom koji ovisi o troškovima putovanja između tih zona. Uskoro je utvrđeno da je ovaj model prejednostavan te se predlaže uključivanje ukupnog broja putovanja koja nastaju u zoni  $i$   $O_i$  i ukupnog broja putovanja koja su privučena u zonu  $j$   $D_j$  umjesto ukupnog broja stanovništva. Korištenje samo troškova putovanja nije se pokazalo najboljim rješenjem s obzirom na specifičnosti putovanja u svakom gradu. Generalizacija se provodi pod pretpostavkom da se udaljenost koju putnik mora prijeći između zona bolje može opisati padajućom distribucijskom funkcijom generaliziranog troška putovanja [17].

Dakle, cilj podmodela distribucije putovanja je rekombinacija završetaka putovanja od generiranja putovanja u putovanja, iako su definirani kao produkcijsko-atrakcijski parovi, a ne kao izvorišno-odredišni parovi. Većina modela generiranja putovanja ne reflektiraju impedanciju putovanja ili ikakva općenita mjerenja pristupačnosti s obzirom na razdjelu putovanja u produkcijska i atrakcijska. Impedancija putovanja je korištena u kasnijim fazama u obliku binarnog stabla, a vremena putovanja su najčešće korištena kao inicijalni prolaz kroz sve faze četverostupnjevnanog prometnog modela [16].

### **4.3 Podmodel modalne raspodjele**

Odabir vrste prijevoza (npr. osobni automobil, javni prijevoz, bicikl, pješaćenje) ovisi o dostupnosti modova prijevoza (posebice osobnog automobila) i troškovima prijevoza pojedinim modom od izvora do odredišta putovanja. Na odabir moda prijevoza značajno utječe i svrha putovanja. Faktori koji utječu na odabir vrste prijevoza mogu se podijeliti u tri grupe značajki:

#### **1. Značajke putnika:**

- posjedovanje osobnog automobila;
- posjedovanje vozačke dozvole;
- struktura kućanstva (mladi, par s djecom, umirovljenici, samci itd.);
- dohodak;
- odluke donesene na nekom drugom mjestu, npr. nužnost korištenja osobnog automobila na poslu;
- gustoća stambenih jedinica.

#### **2. Značajke putovanja:**

- svrha putovanja – putovanje na posao je obično jednostavnije izvesti javnim gradskim prijevozom zbog njegove redovitosti;
- dio dana u kojem se ostvaruje putovanje – npr. noćna putovanja je teže ostvariti javnim gradskim prijevozom;
- da li se putovanje ostvaruje samostalno ili s drugim putnicima.

#### **3. Značajke prometnog sustava:**

- komponente vremena putovanja: vrijeme u vozilu, vrijeme čekanja i vrijeme pješaćenja do svakog moda prijevoza;
- komponente novčanih troškova (prijevozna karta, cestarina, troškovi goriva i drugi operativni troškovi);
- dostupnost i troškovi parkiranja;
- pouzdanost vremena putovanja i redovitost usluge;
- udobnost i praktičnost;

- sigurnost vožnje i zaštita tijekom vožnje;
- zahtjevi za vozačkim vještinama;
- mogućnosti provođenja drugih aktivnosti tijekom vožnje (telefoniranje, čitanje itd.).

Jedna od najvećih inovacija u analizi prijevozne potražnje je razvoj dezagregiranih (raslojavanje, razjedinjavanje) modela prijevozne potražnje. Takvi modeli, za razliku od agregiranih modela kod kojih su atributi svih putnika koncentrirani u centroidu zone, procjenjuju parametre na temelju individualnih značajki putnika. Na dezagregiranoj (mikrorazina) razini promatra se ponašanje pojedinca, kućanstva ili tvrtke pomoću diskretnih varijabli. Diskretne varijable su najčešće kvalitativne varijable, odnosno varijable s unaprijed definiranim konačnim skupom vrijednosti. Diskretna varijabla ne može imati sve vrijednosti unutar granica skupa. Kontinuirane varijable mogu poprimiti bilo koju vrijednost unutar skupa (na primjer: visina i masa ljudi, vrijeme čekanja između dva autobusa na stajalištu, prometno opterećenje). Osnovni problem analize diskretnog odabira je modeliranje izbora između skupa različitih varijanti. Kao rješenje uzima se maksimizacija korisnosti. Donositelj odluke odabire varijantu s najvećom korisnosti u vremenskom periodu odabira. Operacionalni model sastoji se od parametizirane funkcije korisnosti koja se sastoji od nezavisnih varijabli i nepoznatih parametara koji se procjenjuju iz uzorka. Nije moguće definirati i procijeniti modele diskretnog odabira koji će uvijek uspjeti prognozirati odabir varijanti od strane pojedinaca. Iz tog razloga prihvatilo se koncept slučajne korisnosti. Stvarne korisnosti varijanti se smatraju slučajnim varijablama tako da je vjerojatnost odabira neke varijante definirana kao vjerojatnost koja ima najveću korisnost između svih mogućih varijantnih rješenja. Izbor varijante može se promatrati kao rezultat višestepnog procesa donošenja odluka:

1. Definiranje problema izbora;
2. Generiranje varijantnih rješenja;
3. Evaluacija atributa varijantnih rješenja;
4. Izbor varijante;
5. Primjena [18].

Ovakvi podmodeli su najčešće dezagregirani modeli koji su estimirani na razdvojenim uzorcima i reflektiraju moguće izbore individualaca koji putuju. Različiti modovi prijevoza pojavljuju se u svijetu, pa se tako sve više spominje mod prijevoza *carpooling*. Prosječno zauzeće vozila reflektirano cjelokupnim brojem putovanja osoba usporedno sa cjelokupnim brojem putovanja vozila korišteno je za produciranje tablice putovanja automobilom ignorirajući putovanja ostalim modovima prijevoza. To bi bilo ispravno samo onda kada bi proporcija putovanja ostalim modovima prijevoza bila vrlo mala, ali dopušta stvaranje ilustracije kako su tablice putovanja vozilom assignirane na cestovnu mrežu. Neki softveri dopuštaju simultanu ekvibraciju multimodalnih mreža i takve metode trebaju biti korištene kada postoje jedinstveni odabiri [16].

#### **4.4 Podmodel dodjele putovanja**

Spajanje prijevozne potražnje i ponude karakterizira podmodel dodjele putovanja. Više ruta putovanja između izvorišta i odredišta podrazumijeva odabir rute s najmanjim generaliziranim troškom putovanja. Ruta putovanja predstavlja skup linkova između izvorišta i odredišta putovanja. Osnovno je načelo da putnik teži minimizirati svoje troškove putovanja. To ima za posljedicu isprobavanje više varijantnih ruta, traženje novih i odabir najbolje nakon više pokušaja i pogrešaka. Potrebno je razdvojiti putovanja iz OD matrice i prometna opterećenja linkova – prosječna zaposjednutost vozila. Podmodel dodjeljivanja putovanja ima pet funkcija u prometnom planiranju:

- Dobivanje detaljnog uvida u karakteristike prometne mreže – nedostaci postojeće prometne mreže (nedovoljna propusna moć ili nedostatak linka);
- Prometno prognoziranje – analiza postojećeg stanja i budućih scenarija u odabranim vremenskim razdobljima;
- Izračun izvedenih utjecaja – razina buke, potrošnja energije, stupanj emisije štetnih plinova te razina prometne sigurnosti;
- Dobivanje ulaznih podataka za projektiranje elemenata mreže – podaci o prometnom opterećenju linkova utjecati će na njihovu tehničku izvedbu (broj trakova);
- Dobivanje kalibracijskih podataka – vrijeme putovanja, troškovi putovanja, udaljenosti.

Obvezni ulazni podaci za provođenje dodjeljivanja putovanja simulacijskim alatom su:

- OD matrica putovanja između zona;
- izrađena prometna mreža;
- značajke elemenata prometne mreže (linkovi i čvorovi);
- model odabira rute putovanja.

Izlazni podaci nakon provođenja dodjeljivanja putovanja su:

- rute putovanja;
- značajke ruta (vrijeme putovanja, udaljenosti, troškovi);
- prometno opterećenje ruta;
- prometno opterećenje linkova i čvorova.

Osnovna premisa u dodjeljivanju putovanja je pretpostavka racionalnog putnika. Racionalni putnik je onaj putnik koji do odredišta odabire rutu za koju percipira najmanje troškove putovanja. Utvrđeno je da kombinacija vremena putovanja i udaljenosti daje najbolje rezultate, ali je uspješnost u odabiru optimalne rute na temelju ta dva kriterija od 60 do 80%. S obzirom da je utjecaj drugih faktora na odabir optimalne rute vrlo malen, uzroci ovog odstupanja se mogu pripisati različitoj ljudskoj percepciji, nedovoljnim informacijama o troškovima rute i nekim drugim greškama. Činjenica da različiti vozači odabiru različite rute putovanja između istih izvorišta i odredišta putovanja proizlazi iz sljedećih razloga:

1. Razlike u individualnoj percepciji o tome što čini najbolju rutu: neki žele minimizirati vrijeme putovanja, neki potrošnju goriva itd;
2. Razina znanja o mogućim varijantnim rutama do odredišta je različita između putnika.

Postoje detaljnije sljedeće metode za dodjeljivanje putovanja:

- metoda „sve ili ništa“;
- stohastička metoda;
- ekvilibrirana metoda;
- metoda dinamičkog dodjeljivanja putovanja;
- metoda dodjeljivanja putovanja javnim gradskim prijevozom.

Metoda „sve ili ništa“ (engl. *All or Nothing* – AON) je najjednostavnija jer pretpostavlja kako na promatranoj mreži nema prometnih zagušenja te kako svi vozači jednako uočavaju troškove putovanja na različitim rutama između izvorišta i odredišta. Izostanak prometnog zagušenja znači kako su generalizirani troškovi linkova fiksni, a jednako poimanje vozača vezano uz troškove linkova znači kako svi koriste istu rutu od  $i$  prema  $j$ . Može se koristiti samo na nezagušenoj mreži gdje postoji mali broj varijantnih ruta s izrazito različitim troškovima. Jedna je od osnovnih zamjerki visoka razina nestabilnosti modela jer male promjene na prometnoj mreži mogu izazvati velike promjene u izlaznom rezultatu, odnosno u prometnom opterećenju linkova.

Stohastička metoda temelji se na promjenjivosti vozačevih uočavanja troškova putovanja. Ova metoda mora uzeti u obzir i druge rute putovanja između izvorišta i odredišta putovanja. Dvije su se metode istaknule: simulacijska i proporcionalna metoda. Simulacijska stohastička metoda koristi ideje iz Monte Carlo simulacijske metode unoseći promjenjivost vozačeva uočavanja troškova u percipirane troškove ruta od strane vozača. Proporcionalna stohastička metoda alocira prometne tokove na varijantne rute proporcionalno rezultatima dobivenim korištenjem najčešće Logit i Kirchhoff modela. Simulacijska je stohastička metoda temeljena na sljedećim pretpostavkama:

1. Za svaki je link na mreži potrebno razlučiti objektivne troškove putovanja (utvrđene od strane izrađivača modela) i subjektivne troškove putovanja (koje vozači uočavaju). Pretpostavlja se kako postoji distribucija tih uočenih troškova za svaki link pri čemu objektivni trošak predstavlja srednju vrijednost. Standardna devijacija predstavlja mjeru različitosti ponašanja putnika;
2. Distribucije su uočenih troškova neovisne jedna o drugoj;
3. Vozači odabiru rutu koja minimizira njihove troškove, a koja se dobiva zbrajanjem troškova svakoga linka koji čini rutu.

Proporcionalnu je stohastičku metodu prvi predložio Dial i temeljila se na korištenju Logit modela za razdvajanje putovanja između  $i$  i  $j$  na varijantne rute  $r$ . Nedostatak je ove metode u tome što pretpostavlja da su sve varijantne rute podjednako vjerojatne, odnosno što se izjednačavaju različite kategorije cesta (autoceste su ravnopravne s lokalnim cestama).

Distribucija prijevozne potražnje na linkove prometne mreže kod proporcionalne stohastičke asignacije provodi se korištenjem različitih modela: Logit, Kirchoff, Box-Cox, Lohse i sl. Korištenjem navedenih modela variraju troškovi na pojedinim linkovima te simuliraju nepotpune informacije i različita poimanja i želje korisnika prometne mreže. Potrebno je slične rute po troškovima svrstati u istu skupinu te uvesti faktor istovjetnosti. Ovaj faktor utvrđuje nezavisnost svake rute, odnosno utvrđuje sličnosti i razlike pojedinih ruta. Na temelju dobivenih rezultata preporučuje se korištenje Kirchoffove ili Lohseove distribucije putovanja po rutama s obzirom da ostale metode daju lošije i nerealne rezultate.

Kod ekvilibrirane metode, putnici iz fiksne OD matrice putovanja traže rute kako bi svoje troškove putovanja sveli na najmanju moguću mjeru. To dovodi do isprobavanja varijantnih ruta, istraživanja novih te potom i do stabiliziranja u jednoj ruti nakon mnoštva pokušaja i pogrešaka. Smatra se da je postignut ekvilibrij onda kada putnici više ne mogu naći troškovno povoljniju rutu između izvorišta i odredišta putovanja od one koju trenutno koriste. Ova se metoda danas najčešće koristi u slučajevima zagušene prometne mreže u urbanim sredinama, a temeljena je na ograničenom kapacitetu linkova prometne mreže te na funkciji trošak – prometni tok. Metodu je prvi predložio Wardrop te je i temeljena na Wardropovom prvom principu kojem se teži i koji glasi: *"U uvjetima ekvilibrija promet se raspoređuje po linkovima zagušene prometne mreže tako da sve iskorištene rute između OD parova imaju iste i minimizirane troškove, dok sve neiskorištene rute imaju veće ili iste troškove"*. Danas se najčešće za rješavanje problema postizanja ekvilibrija koristi Frank-Wolfe algoritam. Važan je korak primjene Frank-Wolfeovog algoritma i definiranje kriterija konvergencije jer ono ima značajan utjecaj na izlazne rezultate. Kriterij zaustavljanja iteracija algoritma predstavlja kompromis između točnosti i vremena računanja (računalnoga procesiranja). Mogu biti korišteni sljedeći kriteriji zaustavljanja:

- STOP kada se izlazni rezultati više ne mijenjaju - ovaj je pristup rizičan jer ne jamči postizanje optimuma, a nastavak iteriranja može dovesti do značajnih razlika u rezultatima;
- STOP nakon fiksno definiranoga broja iteracija - ovaj postupak uopće ne jamči postizanje konvergencije, osim ako nije odabran velik broj iteracija. S druge je strane samo četiri do šest iteracija dovoljno za pronalaženje ekvilibrija prometnih tokova na velikoj gradskoj mreži;

- STOP ako je razlika između najkraće i najdulje rute dovoljno mala.

Statičke metode dodjeljivanja putovanja pretpostavljaju da su prijevozna potražnja i ponuda vremenski neovisne te time i stalne u promatranom vremenskom periodu. Dinamički modeli koriste realističniju pretpostavku da su izvorišno-odredišna potražnja i značajke linkova varijabilni u promatranom vremenu. Postoje dvije vrste dinamičkoga dodjeljivanja putovanja:

1. Dinamičko ekvilibrirano dodjeljivanje putovanja;
2. Dinamičko stohastičko dodjeljivanje putovanja.

Nakon dodjeljivanja OD matrice putovanja na prometnu mrežu potrebno je usporediti rezultate s podacima iz brojanja prometa. To će se izvesti izračunom koeficijenta determinacije  $R^2$ , relativnog srednjeg kvadrata pogreške RelRMSE, standardne devijacije, parametara pravca linearne regresije i GEH-a. Koeficijent je determinacije pokazatelj reprezentativnosti regresijskoga modela. Njime se utvrđuje koliki je postotak zbroja kvadrata odstupanja vrijednosti varijable Y od aritmetičke sredine protumačen regresijskim modelom. Vrijednosti su od 0 do 1. Kada se što više varijabilnosti u promatranom parametru y može opisati regresijskim pravcem, koeficijent determinacije bit će blizu 1, a kada su te varijacije raspršene oko regresijskoga pravca, bit će bliže 0. U nekim se područjima prometnoga inženjerstva vrijednosti  $R^2 \geq 0.6$  smatraju prihvatljivima, a  $R^2 \geq 0.9$  najpovoljnijima. Relativni srednji kvadrat pogreške RelRMSE služi za utvrđivanje podudarnosti stvarnih izmjerenih podataka i podataka dobivenih modelom, odnosno pokazuje u kojem se postotku međusobno razlikuju stvarni i modelirani rezultati (na primjer prometno opterećenje linkova). GEH vrijednosti, nazvane po Geoffrey E. Haversu, manje od 5.0 smatraju se prihvatljivima i predstavljaju dobru podudarnost stvarnih i modeliranih podataka. Isto tako na 60% do 85% linkova prometno opterećenje treba imati GEH manji od 5.0 [19].



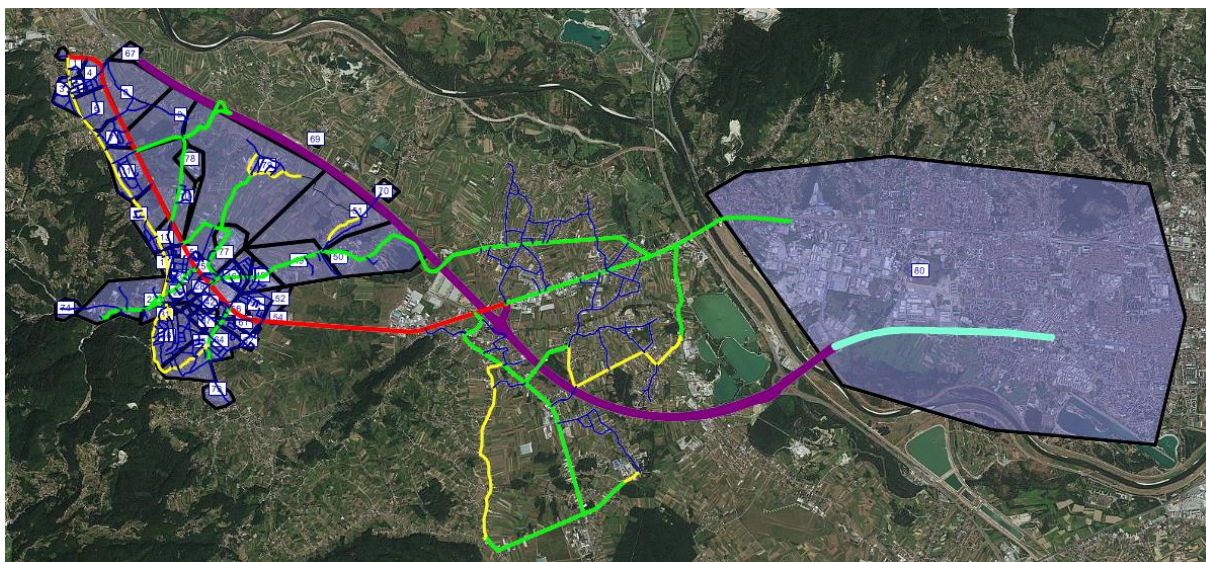
## **5. IZRADA PROMETNOG MODELA GRADA SAMOBORA PRIMJENOM PROGRAMSKOG ALATA PTV VISUM**

Za definiranje parametara prijevozne ponude potrebni su: zoniranje, prometna mreža i prijevozni sustavi. Zoniranje ili raspodjela promatranog područja na prometne zone koriste se za okrupnjavanje individualnih kućanstava i drugih prostora u homogene skupine radi lakšeg korištenja u prometnom modeliranju. Zone predstavljaju geografska područja između koji se definira i računa broj putovanja. Dvije su glavne dimenzije sustava zoniranja: broj zona i njihova veličina. Potrebno je definirati granice u skladu s kontekstom donošenja odluka, scenarija koji će se modelirati i o vrsti putovanja koja će se analizirati: obvezna, opcionalna, velike ili male udaljenosti itd. Na primjer, ako se analizira mreža nacionalnih linija brze željeznice tada će područje analize biti cijela država, ali i susjedne države. Kod strateških studija treba težiti da većina putovanja ima izvorište i odredište putovanja u području analize. Kod manjih gradova – veliki tranzitni promet te veliki broj putovanja izvan područja analize (putovanje na posao u drugi grad). Područje analize treba prostorno biti veće od stvarnih granica nekoga naselja kako bi se mogla testirati različita varijantna rješenja: rerutiranje vozila, izgradnja novih objekata itd. Broj unutarnjih zona zahtijeva iskustvena znanja te ovisi o veličini područja, broju stanovnika i zahtijevanim izlaznim podacima iz prometnog modela. Centroid zone predstavlja točku unutar zone u kojoj su koncentrirani svi atributi i značajke zone. Lokaciju centroida unutar zone treba odabrati na način da predstavlja centar gravitacije zone. Vrijeme putovanja i udaljenost između zona računa se između centroida zona. Centroidi zona su povezani s prometnom mrežom pomoću konektora. Konektori predstavljaju prosječni trošak (udaljenost, vrijeme) uključivanja nekog putovanja u prometni sustav. Konektori se vežu za čvorove izlaska/ulaska iz zone te je po mogućnosti potrebno unijeti podatke o razdiobi putovanja po svim mogućim čvorovima izlaska/ulaska u zonu. Pravila za definiranje granica i broja zona su sljedeća:

- veličina zone treba biti takva da je greška okrupnjavanja svih aktivnosti zone u centroidu minimalna. Preporuča se da se prvo počinju formirati male zone, koje se kasnije prema potrebi mogu spajati s drugim zonama;
- sustav zoniranja trebao bi biti kompatibilan s administrativnim granicama, posebno s granicama statističkih zona;

- zone trebaju biti što je više moguće homogene u namjeni zemljišta i strukturi populacije;
- oblik zone treba biti takav da omogućuje lako utvrđivanje njezinog centroida i konektora. Zone trebaju reprezentirati prirodno područje gravitiranja stanovništva;
- zone ne trebaju biti iste veličine. Preporuča se definirati granice zona prema vremenu putovanja. Iz toga razloga u zagušenim područjima je potrebno formirati više manjih zona, a u nezagušenim područjima veće zone;
- preporuča se odvojiti zone sačinjene od samo stambenih objekata od velikih atraktora i produktora putovanja. Za zone velikih atraktora i produktora putovanja moraju se posebno definirati faktori generiranja putovanja te se ne mogu koristiti podaci iz zona stambenog karaktera;
- posebne zone treba definirati za velike atraktore i produkte putovanja kao što su: osnovna i srednja škola, bolnice i ambulante, fakulteti, tvornice, administrativna središta grada, poslovne zone, zračne luke, trgovački centri, parkirališta i garaže (*Park & Ride* sustavi), transportni terminali, veliki rekreacijski centri i parkovi;
- na svim ulazima/izlazima u grad definirati vanjske zone, čija atrakcija i produkcija putovanja se može procjenjivati iz brojanja prometa [20].

Na idućoj slici prikazana je prometna mreža grada Samobora s poveznicom u gradu Svetoj Nedelji. Mreža sadrži 73 zone, a jedna od ulazno – izlaznih zona je grad Zagreb.



Slika 8. Prometna mreža grada Samobora i Svete Nedelje sa Zagrebom

Na temelju podataka iz ankete kućanstava provedene u sklopu projekta SocialCar napravljen je model u jutarnjem vršnom periodu. Od ukupno 1000 slučajno odabranih uzoraka adresa kućanstava na području grada Samobora, prikupljeno je 209 ispunjenih anketa kućanstava. Podaci o putovanjima ispunjavali su se samo za ukućane starije od 14 godina s obzirom da djeca u osnovnu školu većinom putuju pješice.

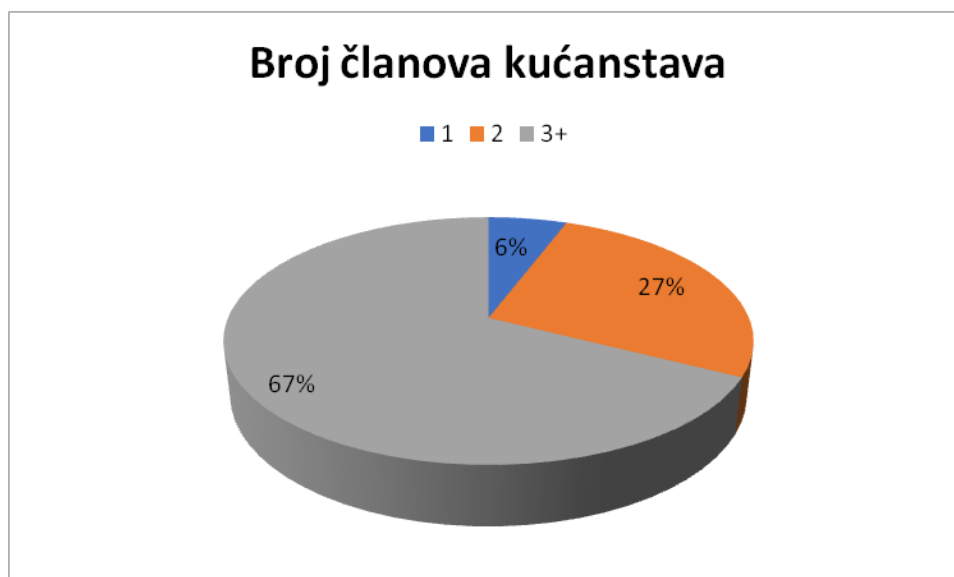
Tablica 1. Prikaz prosječnog broja članova kućanstava i prosječnog broja putovanja

<b>Prosječan broj svih članova kućanstava</b>	<b>3,26</b>
<b>Prosječan broj članova kućanstava starijih od 14 godina</b>	<b>2,62</b>
<b>Prosječan broj putovanja po stanovniku (stariji od 14 godina) u danu</b>	<b>2,60</b>
<b>Prosječan broj putovanja kućanstva u danu (ukućani stariji od 14 godina)</b>	<b>6,81</b>
<b>Prosječan broj automobila u kućanstvu</b>	<b>1,40</b>

<b>Prosječan broj zaposlenih članova kućanstava</b>	<b>1,46</b>
<b>Prosječan broj članova koji primaju mirovinu ili socijalnu pomoć</b>	<b>0,69</b>
<b>Mod mjesečnih primanja kućanstava</b>	<b>8.000 - 11.000 HRK</b>

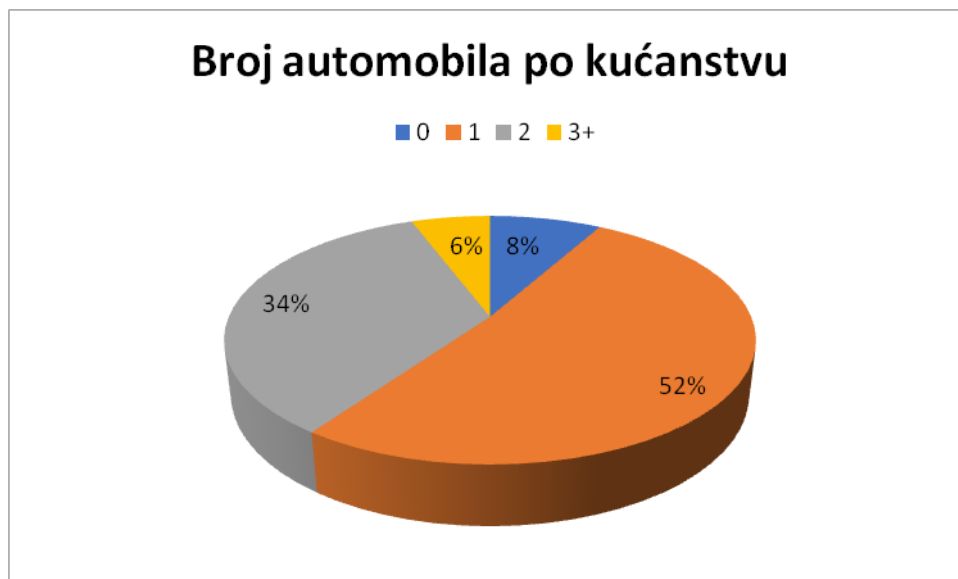
Izvor: [21]

Mod mjesečnih primanja kućanstava je vrijednost u skupu s najvećom frekvencijom pojavljivanja [21]. Temeljem obrade rezultata ankete u Tablici 1. prikazani su rezultati koji su važni za izradu prometnog modela u programskom alatu PTV Visum.



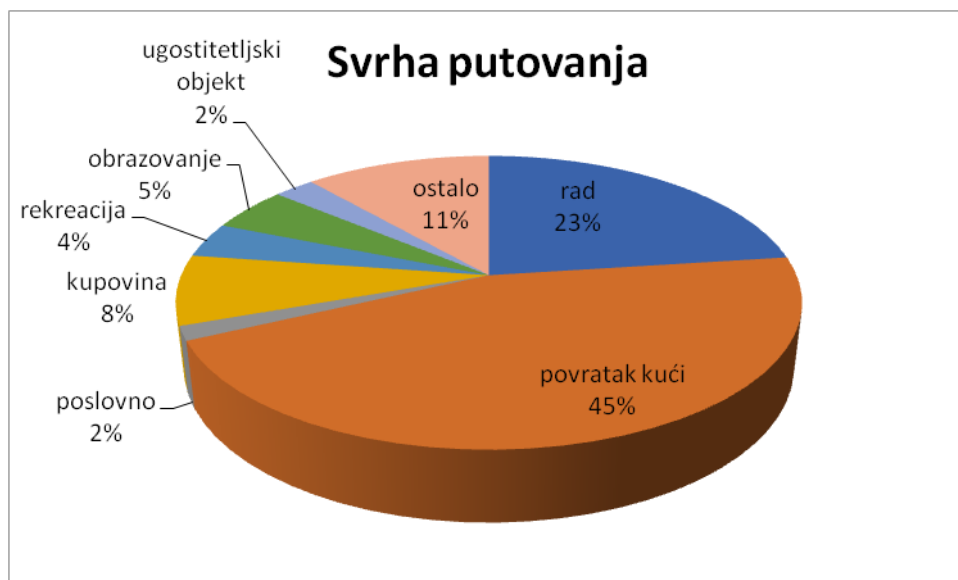
Slika 9. Postotni udio kućanstava prema broju članova, [21]

Na Slici 9. može se primijetiti da čak 67% kućanstava ima tri i više članova, a najmanje je samačkih kućanstava 6%.



Slika 10. Postotni udio broja automobila po kućanstvu, [21]

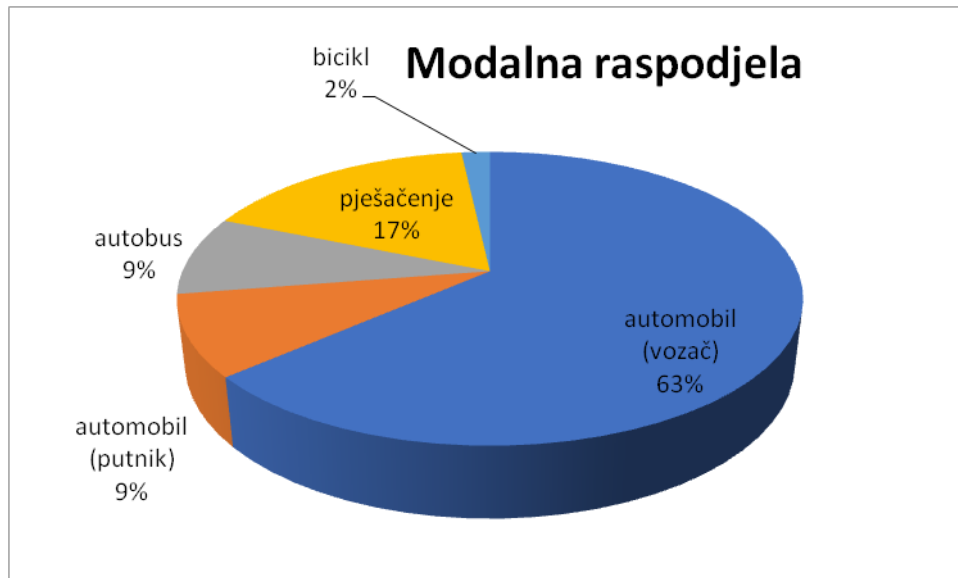
Na Slici 10. uočljivo je da većina kućanstava posjeduje jedan automobil (52%), a 34% kućanstava posjeduje dva automobila. Samo 8% anketiranih kućanstava nema automobil što ukazuje na visoku razinu ovisnosti mobilnosti o posjedovanju automobila i nisku razinu usluge javnog prijevoza.



Slika 11. Postotna raspodjela putovanja prema svrhama putovanja, [21]

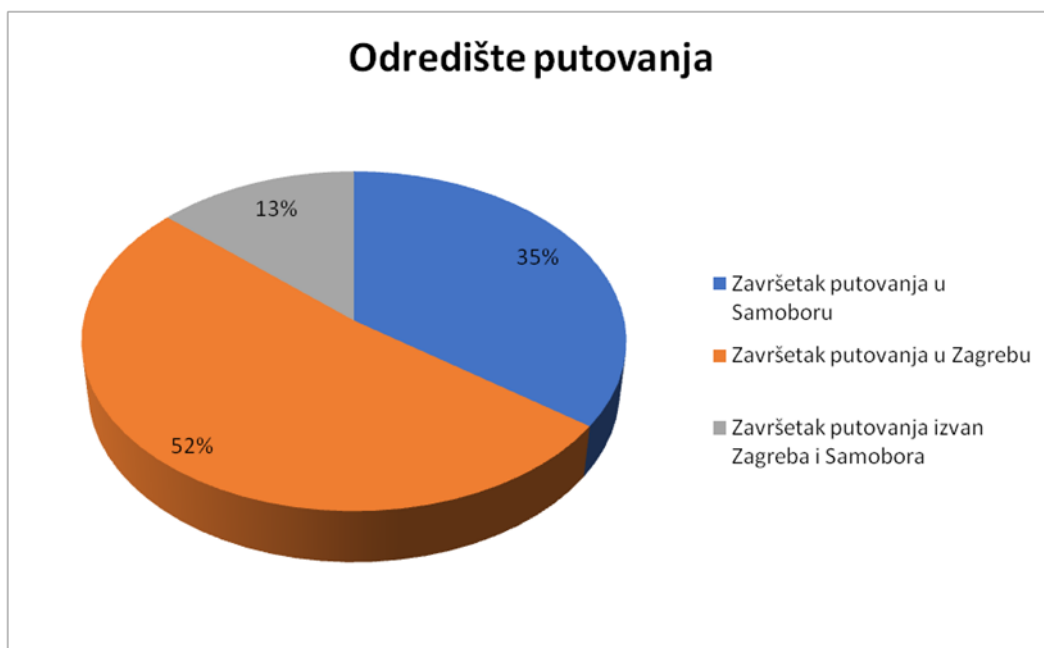
Na Slici 11. uočljivo je da prema svrhama putovanja dominiraju povratak kući i putovanja na

posao. Treba uzeti u obzir da zbog anketiranja članova kućanstava starijih od 14 godina putovanja u svrhu obrazovanja imaju manji postotni udio (nedostaju putovanja u osnovnu školu).



Slika 12. Modalna raspodjela putovanja, [21]

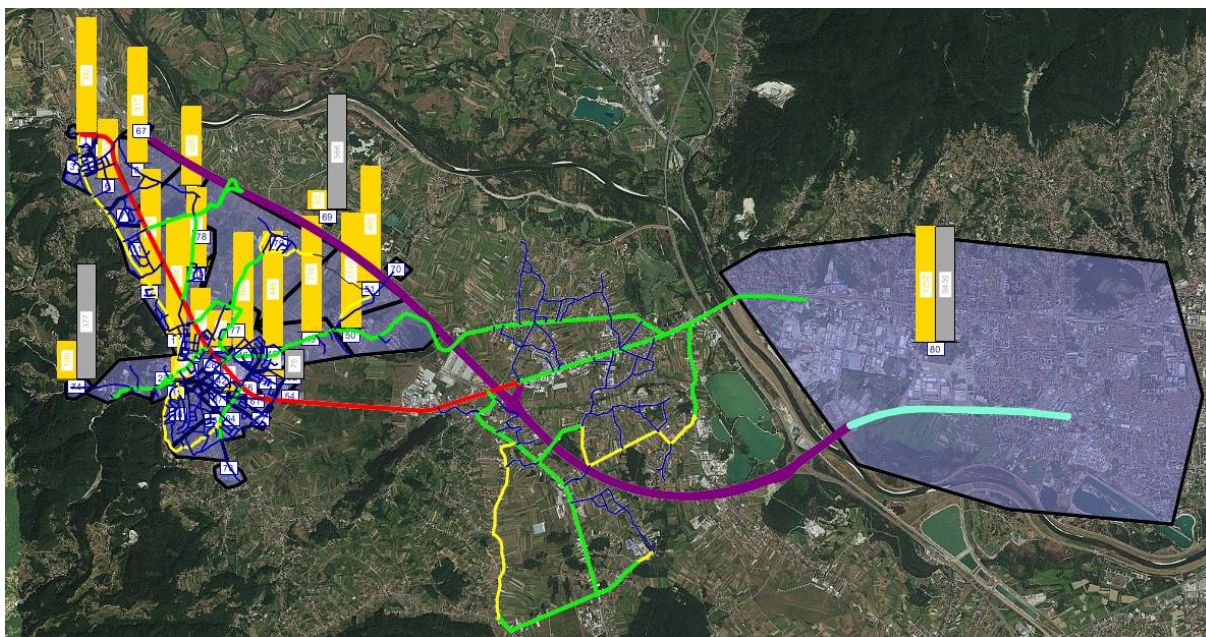
Na Slici 12. prema modalnoj raspodjeli dominira osobni automobil (vozač) s čak 63%, a autobus kao jedini oblik javnog prijevoza čini samo 9% ukupnih putovanja. Udio od 9% putovanja osobnim automobilom kao putnik predstavlja potencijal korištenja SocialCar sustava.



Slika 13. Raspodjela putovanja prema odredištu putovanja, [21]

Mogućnosti implementacije SocialCar sustava posebice dolaze do izražaja na Slici 13. gdje je moguće uočiti da čak 52% putovanja ima odredište u Gradu Zagrebu, a 13% i izvan Zagreba. Navedeno pokazuje izrazitu povezanost Zagreba sa Samoborom kao satelitskim naseljem [21]. Na temelju ankete kućanstava dobiva se stopa produkcije putovanja po kućanstvu od 3,73 putovanja u jutarnjem periodu. Za vanjske zone i velike atraktore i produkte putovanja korišteni su podaci iz brojanja prometa i procjene broja radnih mjesta.





Slika 14. Prikaz produkcije i atrakcije putovanja po zonama

Slika 14. prikazuje produkciju i atrakciju putovanja po zonama. Nakon generiranja putovanja provedeno je balansiranje produkcije i atrakcije po produkciji. Ova metoda se temelji na proračunu međufaznih korekcijskih koeficijenata  $A_i$  i  $B_j$  s kojima se zatim množi svaka ćelija OD matrice. Nakon primjene navedenih korekcijskih koeficijenata utvrđuju se dobivene vrijednosti  $O_i$  i  $D_j$  koje se uspoređuju sa željenim ciljanim vrijednostima. Ukoliko su razlike značajne, računaju se i primjenjuju novi korekcijski koeficijenti [22]. Nakon toga izrađuje se gravitacijski model kao podmodel distribucije putovanja. Kalibracija gravitacijskog modela, odnosno estimacija parametara funkcije troškova putovanja provedena je pomoću distribucije udaljenosti putovanja u modulu KALIBRI. Kao funkcija troškova putovanja odabrana je Tannerova funkcija:

$$f(c_{ij}) = a \cdot c_{ij}^b \cdot e^{c \cdot U_{ij}} \quad (2)$$

gdje je:

$c_{ij}$  – vrijednost troškova putovanja između zona  $i$  i  $j$ ;

$U_{ij}$  – korisnost putovanja ( $U_{ij} = 1/c_{ij}$ );

$a, b, c$  – parametri koji se trebaju procijeniti.

Bazirano na Tannerovoj funkciji distribucije udaljenosti putovanja, potrebno je napraviti početnu distribuciju putovanja po klasama udaljenosti putovanja. U softverskom alatu PTV

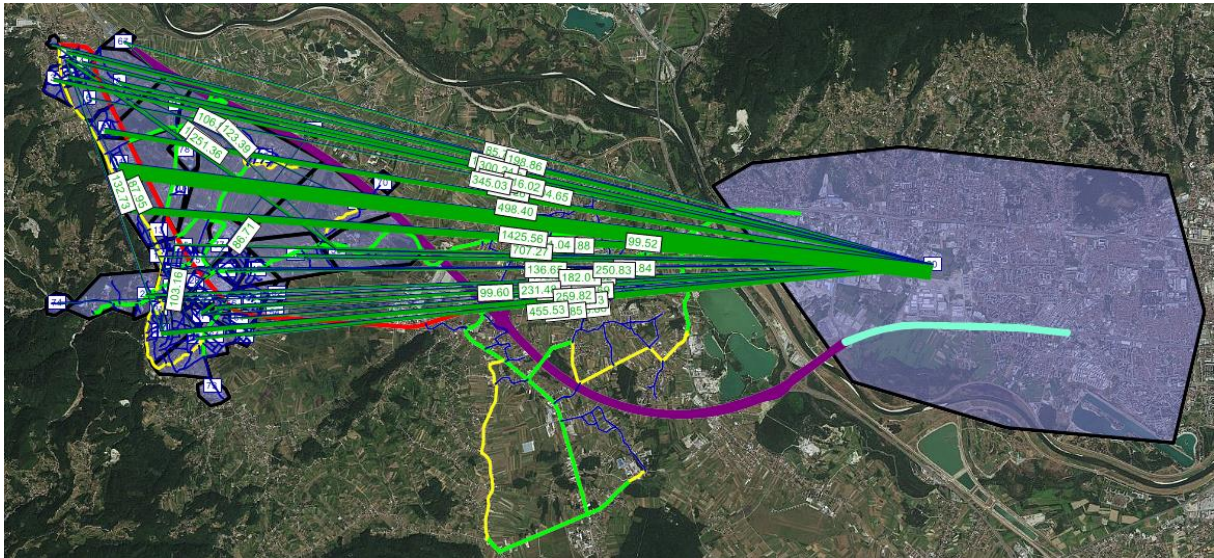


Visum koji služi za izradu prometnih modela, postoji modul KALIBRI koji je korišten za ubrzavanje iteracija i definiranje gravitacijskih parametara  $a$ ,  $b$  i  $c$ . U svakoj iteraciji formira se matrica potražnje [23]. KALIBRI funkcija dozvoljava kalibriranje funkcija korisnosti za gravitacijski model koji je korišten za distribuciju putovanja. Ona ih prilagođava na takav način da su prilagođene danoj distribuciji duljine putovanja. Nakon toga funkcija distribucije putovanja izračunava prometni tok od zone  $i$  do zone  $j$  uz pomoć gravitacijskog modela i ostalih poznatih podataka. KALIBRI funkcija još pruža dvije opcije koje dopuštaju inženjeru da estimira parametre gravitacijskog modela i to jednostruko ograničenog po produkciji i dvostruko ograničenog po produkciji i po atrakciji. Parametri  $a$ ,  $b$  i  $c$  određeni su u iterativnom procesu [24]. Za izradu ovog prometnog modela koristi se dvostruko ograničen gravitacijski model. Zato će za svrhu izrade prometnog modela grada Samobora biti napravljene klase putovanja korisnika prema anketi kućanstava iz EU projekta SocialCar.

Tablica 2. Prikaz klasa udaljenosti putovanja baziranog na anketi kućanstava

Broj klase	Klasa udaljenosti (km)	Udio
1	0-0,5	0,04
2	0,5 – 1	0,06
3	1 – 1,5	0,06
4	1,5 – 2	0,06
5	2-3	0,069
6	3-5	0,09
7	5-7	0,042
8	7-10	0,026
9	10-20	0,143
10	20-30	0,41

Tablica 2. prikazuje klase udaljenosti prema anketi kućanstava iz projekta SocialCar. Vidljivo je da većina ljudi, dakle njih 55,3 % putuje u područje izvan grada Samobora, pretežito prema gradu Zagrebu.



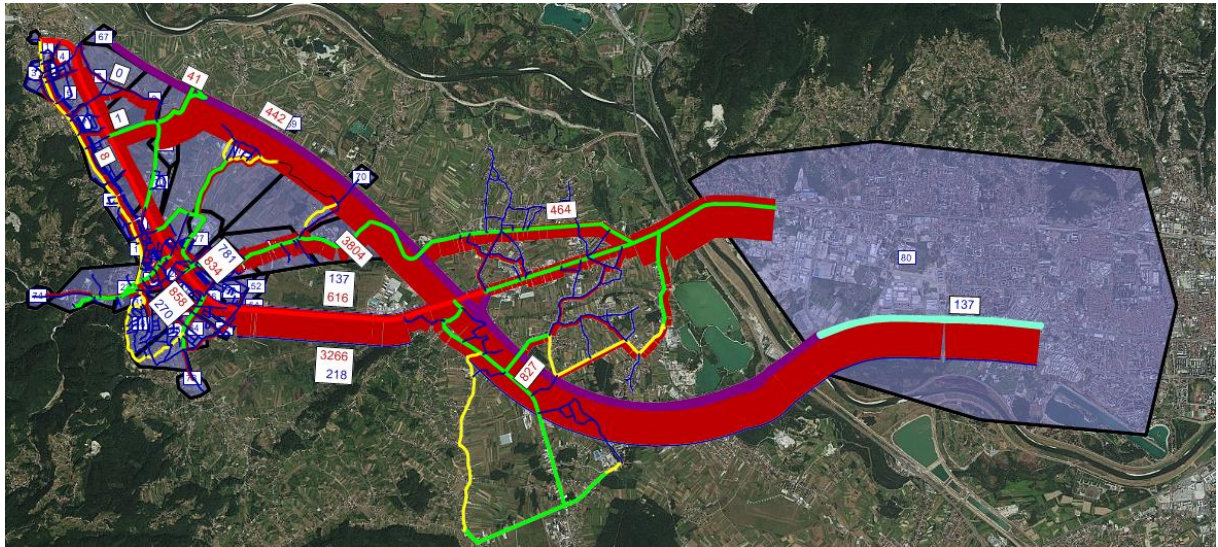
Slika 15. Prikaz OD parova putovanja

Slika 15. prikazuje linije želja između OD parova. Koristeći OD parove, gravitacijski model izračunava kompletnu matricu povezanosti, dakle polazište i odredište svake individualne zone. Gravitacijski model radi s distribucijskim parametrima, odnosno s vrijednostima unutar funkcije korisnosti, koja bilježi reakcije vozača naspram relacija vremena i udaljenosti. Ti parametri su određeni na način da uspoređuju potražnju po OD paru koji proizlaze iz modela i izračunatu potražnju po OD paru koja je kalibrirana. Sposobnost modela da predviđa buduće uvjete ovisi o tome hoće li predviđati ponašanje vozača u kombinaciji s mrežnom impedancijom i hoće li znanje o ulaznim podacima modela biti dostupno u budućnosti [24].

Modalna raspodjela kalibrirana je na temelju modalne raspodjele iz ankete kućanstava projekta SocialCar za dva moda: osobni automobil i javni prijevoz. Provedena je pomoću Logit funkcije. Binarni logit model najjednostavniji je oblik diskretnih modela odabira gdje je potrebno napraviti izbor između dva načina prijevoza odnosno moda. Putnik će utvrditi neke vrijednosti za korisnost svakog moda. Ako je korisnost jednog moda veći od drugoga, onda je mod praktički izabran [25].

Ekvilibrirana metoda dodjeljivanja putovanja distribuirala potražnju prema Wardropovom

prvom principu. Putnici iz fiksne OD matrice traže rute kako bi minimizirali troškove putovanja. Takav postupak dovodi do isprobavanja različitih ruta i do ustaljenja u jednoj ruti nakon mnogo pokušaja i pogrešaka. Ekvilibrij je postignut kada se više ne nalazi troškovno povoljnija ruta između izvorišta i odredišta putovanja. Ovakva metoda danas se najčešće koristi u slučaju zagušene prometne mreže.



Slika 16. Prikaz opterećenja po pojedinom linku prometne mreže

U uvjetima ekvilibrija se promet raspoređuje po linkovima zagušene prometne mreže tako da sve iskorištene rute između OD parova imaju iste i minimizirane troškove, dok sve neiskorištene rute imaju veće ili iste troškove [19].

## **6. KALIBRACIJA I VALIDACIJA PROMETNOG MODELA PRIMJENOM ITS TEHNOLOGIJA**

Prometna zagušenja i dalje uzrokuju neizvjesnost, smanjivanje produktivnosti, stres putnika i štetu okolišu u mnogim gradovima i njihovim zajednicama. Studija koja je provedena u SAD-u prikazuje da se 32% dnevnih putovanja u urbanim područjima države događa u uvjetima prometnog zagušenja. Isto tako, 2007. godine, zagušenja su uzrokovala problem da ljudi koji žive u urbanim područjima putuju dodatnih 4.2 milijardi sati i kupuju dodatnih 2.8 milijardi galona goriva, izlažući sveukupne troškove zagušenja na cijenu od 87.2 milijardi dolara – iznos koji je za 50% veći od iznosa prije deset godina, dakle 1997. godine. Da bi se suočilo s problemom, poduzete su velike mjere za reduciranje prometnog zagušenja. Razne varijante ITS-a koje uzimaju stvarnovremenske podatke kao podršku za donošenje podataka razvijene su za tu svrhu, a uspjeh takvih mjera za kontroliranje prometnog zagušenja zahtijeva točnu prognozu evolucije prometnog toka. Trenutno, obilna količina prometnih podataka dostupna je s proširenim načinom korištenja detekcijskih i nadzornih uređaja. Za primjer, u mnogim saveznom državama SAD-a administratori transportnih ureda imaju implementirane baze podataka koje pružaju povijesne i stvarnovremenske podatke javnosti. Takvi podaci daju priliku istraživačima da izrade prometni model zasnovan na tim podacima za predviđanje prometnog toka [26].

Važno je odrediti kako se priloženi prometni model treba validirati. U mnogo, ali ne u svim slučajevima, validacija simulacijskih modela je dio procesa formuliranja i razvijanja. Modeli koji su validirani su nominalno bolji od onih prometnih modela koji nisu validirani. Općenito, modeli koji su korišteni neko dulje vrijeme su određeni i validirani od strane različitih istraživača ili od onih istraživača ili inženjera koji ih koriste u praksi. Korisno je pogledati u dokaze validacije prometnih modela u znanstvenim ili književnim časopisima, što može predstavljati vrijedan izvor kada se izabire određeni model.

Neki simulacijski modeli dozvoljavaju korisniku da postavi kritične parametre kako bi vrijednosti bile validne za lokalne uvjete. Takva procedura kalibrira model te na taj način pruža bolje rezultate nego što bi standardne vrijednosti pružale. U određenim uvjetima, gdje se uobičajene ili standardne vrijednosti ne postavljaju, to može biti glavno obilježje modela. Analitičar treba odrediti koji se parametri modela mogu prilagoditi u tu svrhu [27].

Važnost točnosti brojenja prometa i ostalih mjerljivih terenskih podataka za kalibraciju i

validaciju prometnih modela naglašava potrebu za pažljivim planiranjem i marljivim prikupljanjem podataka. Strogo se preporuča da kalibracijski i validacijski podaci budu prikupljeni paralelno s podacima prometne potražnje kako bi se zadržala konzistentnost sa simulacijskim ulazima, odnosno podacima prometne potražnje. To pomaže u usporedbi mjerenja s terena i simulacijskih izlaza kako bi se istakao kalibracijski proces. Podaci koji se prikupljaju za kalibraciju i validaciju simulacijskih modela s realnim uvjetima su:

- brzina putovanja;
- vrijeme putovanja i odgoda;
- rep čekanja;
- zasićenje prometnog toka ili kapacitet;
- O-D podaci;
- zapažanja o promjeni prometne trake [10].

## **6.1 Kalibracija prometnog modela**

Kalibracija je iterativni proces gdje se parametri prometnog modela prilagođavaju dok mjere efektivnosti nisu razumno izjednačene s mjerama efektivnosti na terenu. Kalibracija zahtijeva poznavanje postojećih prometnih uvjeta i softverskih ekspertiza. Predstavljena je za sve bazne modele prije njihove implementacije kako bi se reducirala prognostička pogreška. Kalibrirani parametri iz baznog modela prenose se dalje bez ikakvih izmjena u idućim modelima. Važno je za naglasiti da su kalibracija i validacija prometnog modela napravljene na parametrima modela koji kontroliraju ljudske karakteristike i karakteristike vozila koje se vrlo teško skupljaju s terenskih istraživanja. Kalibracijski parametri trebaju biti razdvojeni od ulaza modela kao što su broj vozila, broj prometnih traka, pomiješanost skupine vozila i mreža terena koji su prikupljeni kao ulazni podaci s terena. Točnost ulaznih parametara modela je provjerena tijekom verifikacije modela, odnosno provjere pogreške.

Standardne vrijednosti za kalibracijske parametre modela pružene su kao početna točka stvarnih uvjeta modela i ne reprezentiraju nužno analizu karakteristika područja. Inicijalni korak kalibracije je grafička i vizualna usporedba simulacije podataka zasnovanih na standardnim parametrima i terenskim podacima. Lokacije prikupljanja ulaznih podataka trebaju biti usklađene s točkama prikupljanja podataka u simulacijskoj mreži za omogućavanje usporedbe rezultata. Samo u izuzetnim uvjetima prometni model će biti u



mogućnosti replicirati postojeće uvjete koristeći standardne uvjete. Kao takva, kalibracija takvih parametara je esencijalna za repliciranje stvarnosti na visoku razinu povjerenja.

Kalibracijski proces uključuje sljedeće:

- definiranje ciljeva kalibracije;
- određivanje kalibracijske strategije kako bi se postigli ciljevi;
- određivanje minimalnog broja izvršavanja simulacije;
- izvršavanje kalibracije i validacije za dobivanje prihvatljivog terenskog poklapanja.

Proces kalibracije modela predstavlja minimiziranje razlika između simulacije mjera efektivnosti i mjera efektivnosti koje su mjerene na terenu na način da se iterativno prilagođavaju kalibracijski parametri. Minimalno dvije mjere efektivnosti uz kapacitet i volumen prometa trebaju biti izabrane za kalibraciju. Mjere efektivnosti podrazumijevaju: vrijeme putovanja, brzinu, kašnjenje i rep čekanja [10].

Model može jednostavno biti prezentiran matematičkom funkcijom varijable  $X$  i parametara  $\Theta$ , a ona glasi:

$$Y = f(X, \Theta) \quad (3)$$

Dva slična koncepta, kalibracija i estimacija modela, tradicionalno su drugačijeg značenja u polju prometa. Kalibriranje modela zahtijeva odabir njegovih parametara, pretpostavljajući da sadrži vrijednosti koje ne iznose nula, u skladu sa optimiziranjem jedne ili više mjera ili ocjena prilagodbe koje su u funkciji promatranih podataka. Procjena ili estimacija uključuje pronalaženje vrijednosti parametara koji čine promatrane podatke vjerojatnije u specifikaciji modela, a u tom slučaju jedan ili više parametara mogu biti procijenjeni kao neznačajni i izostavljeni izvan modela [28].

## 6.2 Validacija prometnog modela

Zbog toga što je većina prometnih modela izrađena na temelju podataka sa raskrižja, pojavila se tendencija da se validacija modela interpretira u skladu sa ocjenama prilagodbe koje su prikupljene između promatranog ponašanja i godišnjeg predviđanja. Iako je to potrebno, to nipošto nije dovoljan uvjet za validaciju modela; to je demonstrirano velikim brojem slučaja koji su bili u mogućnosti usporediti predviđanje modela sa promatranim rezultatima u studijama. Validacija zahtijeva usporedbu predviđanja modela sa informacijama

koje nisu korištene u procesu estimacije. Jedan od zadataka modelara je odabir varijabli koje će biti predviđene modelom i koje će biti zahtijevane kao ulazni podaci. Postoji bitna razlika između modeliranja i prognoziranja. Modeliranje se fokusira na građenje i apliciranje prihvatljivih alata koji su osjetljivi na izbore interesa i odgovaraju logički na promjene u ključnim političkim instrumentima. Prognoziranje je pokušaj predviđanja i kvantificiranja budućih uvjeta. Uključuje estimaciju budućih zahtjeva za putovanjem odnosno prometne potražnje i rezultate multimodalnih prometnih tokova i vremenske troškove [28].

Validacija prometnog modela želi odrediti da li hipotetska veza između pravila ponašanja, koja su skupljena unutar modela, te posljedica takvog ponašanja mogu biti demonstrirane na način da budu konzistentne s prevladavajućom teorijom i terenskim podacima. Brojenje vozila iz modela i u stvarnosti prikazuju se pomoću formule GEH, nazvane po Geoffrey E. Haversu:

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(M-C)^2}{M-C}} \quad (4)$$

gdje su:

M – brojanje vozila iz modela;

C – brojanje u stvarnosti.

Validacija modela trebala bi biti izvršena od strane inženjera koji razvija model i ne bi trebala biti ponovljena od strane korisnika tog modela. Korisnici tog modela trebaju samo kalibrirati model usporedno sa svojim lokalnim uvjetima te ne trebaju ponavljati proces validacije kako bi estimirali očekivanu razinu pogreške modela. Postoje tri stavke koje se tiču procesa validacije:

- pružiti izmjere koje reflektiraju mogućnosti modela kako bi prilagodili referentnu točku za pojedinu aplikacijsku domenu;
- pružiti uzorak standardnih parametara, zajedno s rasponom ulaza, za koje je validacija primjenjiva;
- pružiti rezultate analize osjetljivosti modela na standardne parametre kako bi se odredila potencijalna razina na kojoj se pogreška povećava za danu kalibracijsku razinu greške [29].

Općenito, validacija prometnog modela predstavlja proces testiranja performansi

kalibriranog modela koristeći neovisne skupine podataka koje nisu prije korištene u kalibraciji. Validacija je dodatna provjera za potvrđivanje da je model pravilno kalibriran i da se slaže s postojećim prometnim uvjetima.



## 7. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA ODVIJANJA PROMETNIH TOKOVA U SAMOBORU

Trenutno stanje grada Samobora pokazuje dobru situaciju glede prometa. U jutarnjim i popodnevnim vršnim satima stvaraju se gužve, čak ponekad i vikendima jer grad je poprište dolazaka turista te se vrlo teško, u tu svrhu, može pronaći mjesto za parkiranje. U tu svrhu predložiti će se nekoliko rješenja po uzoru na europske manje gradove. Glede biciklističkih staza, postojeća situacija je dobra jer biciklisti se ne kreću rizično po kolniku, već na površinama koje su izdvojene za biciklistički promet.

U gradu Samoboru predlažu se mnogobrojne vrste poboljšanja postojećeg stanja odvijanja prometnih tokova. Velik udio tih metoda poboljšanja odnose se na područje inteligentnih transportnih sustava, koje predstavlja područje velike rasprostranjenosti, ne samo na autocestama i izvangradskim područjima, već i u samim gradovima. Zbog toga, vrlo često se u stručnoj literaturi može pronaći termin *smart cities*, odnosno pametni gradovi, koji primjenom ITS tehnologija funkcioniraju na jedan sasvim drugi način.

Problemi mobilnosti predstavljaju veliku važnost u današnjim brzo rastućim gradskim centrima, a osobito u Europskoj Uniji gdje 75% ljudi živi u gradovima. U isto vrijeme, podrška mobilnih usluga kontinuirano raste proporcionalno s korisničkim zahtjevima za kompletnu, pouzdanu, stvarnovremensku te lako korištenu putnu informaciju.

Četiri su glavna cilja koja se tiču mobilnosti:

- olakšati kretanje ljudi i dobara i odgovoriti na građanske zahtjeve za pouzdanu i lako korištenu putnu informaciju;
- osigurati dostupnost gradovima i njihovim ekonomskim razvojima;
- reducirati okolišne i socio – ekonomske utjecaje na transport;
- osloboditi javni prostor od privatnih automobila za *eco – friendly* modove prijevoza i urbano planiranje.

Iako investicije napravljene u transportnoj infrastrukturi zauzimaju veliki udio u posljednjih deset godina, utjecaji još nisu dovoljno prikazani, odnosno ograničeni su. U posljednjih deset godina, modalno korištenje osobnog automobila u većini europskih konurbacija polako se smanjuje. Zato su, komplementarno izgradnjom nove prometne infrastrukture koja je sve kompleksnija za implementaciju, rješenja bazirana na novim alatima

koji povezuju različite mreže i optimizacijske transportne sustave obećavajuća za ispunjenje ciljeva urbane mobilnosti. Multimodalna informacija predstavlja informaciju svih modova transporta: automobil – uključujući parking, javni prijevoz, informacije o željeznici, biciklima, biciklističkim ili automobilskim uslugama dijeljenja - *carpooling* koja dopušta korisniku kombinaciju modova prijevoza od točke A do točke B. Glavni faktor za razumijevanje ključnih problema usluge multimodalne informacije je nedostatak autonomnih poslovnih modela koji nisu održivi bez javnog prijevoza, jer korisnici uvijek uzimaju informaciju kao garanciju i nisu je spremni platiti.

Pametne tehnologije i inteligentni transportni sustavi imaju ulogu ostvarenja ranije spomenutih ciljeva. ITS može značajno doprinijeti čistijem, sigurnijem i puno efikasnijem transportnom sustavu, osobito u urbanim područjima. ITS Direktiva 2010/40/EU daje legalni okvir kako bi se ubrzao koordinirani razvoj inovativnih transportnih tehnologija diljem Europe. Glavni ciljevi koji su navedeni, a žele se ostvariti u svrhu implementacije ITS-a u urbanim područjima su:

- prometno i putno informiranje;
- *smart ticketing*;
- prometno upravljanje i urbana logistika.

Svako gradsko područje karakteriziraju određeni problemi koji se rješavaju na različite načine. Takvi problemi tiču se:

**Pristupačnosti** – svaki dan, tisuće osobnih automobila ulaze u europske konurbacije, a oko 50% dnevnih putovanja učinjeno je automobilom i linije javnog gradskog prijevoza su zasićene jer pokrivaju velike udaljenosti zbog gradske ekspanzije;

**Okoliša** – transport generira 30% emisija CO<sub>2</sub> i emisija mikro čestica, od čijih 95% dolazi s automobila i kamiona, kreirajući stvarne probleme u vidu zdravlja, buke i cestovne sigurnosti;

**Kvalitete života u urbanim centrima** – stvara se potreba za modalnu promjenu s osobnog automobila na mod javnog prijevoza i *eco – friendly* modove iz razloga što se u većini gradova, oko 60% putovanja vlastitim automobilom obavlja na udaljenosti manjoj od tri kilometra, pa postoji prostor za napredak;

**Upravljanja javnim prostorom** - svi udjeli moraju biti rasprostranjeni na ograničenom javnom prostoru koji mora biti korišten od strane svih modova transportnih modova (počevši

od pješaćenja i bicikliranja, pa do javnog prijevoza, vlastitog automobila) za različite svrhe (kupovina, slobodno vrijeme i ostale urbane znamenitosti);

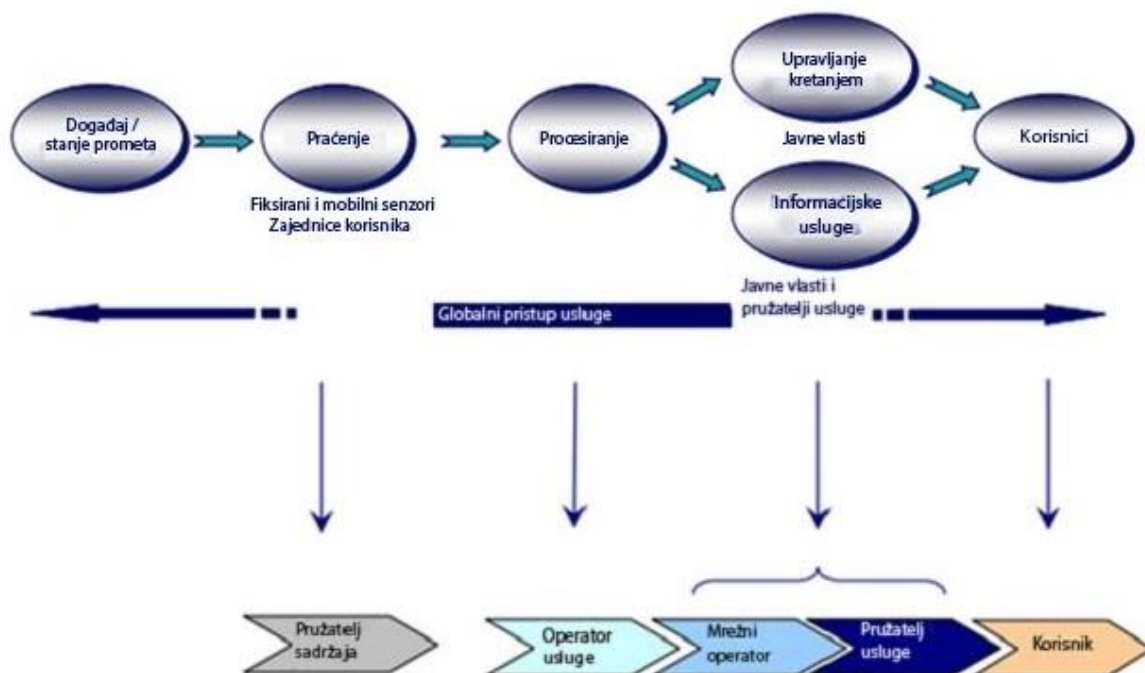
**Informiranja građana o mobilnim uslugama, o običnim i stvarnovremenskim prometnim uvjetima u njihovim gradovima** – informacija je danas važan oblik poticanja promjene uobičajenih navika putovanja, dok ponuda mobilnih usluga kontinuirano raste.

Nakon više od pola stoljeća investiranja u masivnu prometnu infrastrukturu, kako bi se osigurao urbani i ekonomski razvoj, povezivanje mreže je postalo prioritet. Taj cilj je uveden u politiku javnog prijevoza kroz poticanje korištenja različitih efikasnih modova prijevoza za multimodalne kombinacije. Informacijske i komunikacijske tehnologije koje su implementirane u transport dobile su dopuštenje u 90-im godinama za razvitak mrežnih upravljačkih sustava i nakon toga prvih putnih informacijskih sustava. Kada se promotre tehnologijski i poslovni modeli, dva velika razvoja su uvelike utjecala na mobilnost i ulogu privatnih i javnih dionika:

- besplatan pristup GPS (engl. *Global Positioning System*) signalu s pridruženim uslugama digitalne mape;
- tehnološki *boom smartphone* uređaja i mobilnog interneta, povezujući GSM (engl. *Global System for Mobile Communications*) i GPS tehnologije (rast od 41% u Europi 2010. godine), dostupnih danas svima po vrlo razumnim cijenama.

Razvoj ovakvih personaliziranih digitalnih aplikacija na internetu i *smartphone* uređajima uvelike je smanjio troškove dostavljanja multimodalne informacije potencijalnim korisnicima i povećavaju mogućnosti za skupljanje koristi od promjene moda prijevoza.

Važnost multimodalne informacije jako je naglašena u europskim direktivama za urbani razvoj. Općenito, usluge putnih informacija zahtijevaju veliku količinu izvora podatka visoke kvalitete i suočavanje s velikim poslovnim lancima koji uključuju puno aktera, što opisuje sljedeća slika.



Slika 17. Prikaz lanca putnog informiranja, [29]

Akteri koji su obuhvaćeni u usluzi multimodalne informacije su:

**Pružatelji sadržaja** – oni su glavni za prikupljanje običnih podataka kroz načine *monitoringa*. Obično su javni dionici ili privatni akteri koji djeluju pod javnim ugovorima. Novi privatni akteri koji koriste FCD postali su glavni pružatelj sadržaja za upravljanje prometom, iako kvaliteta tih podataka mora biti provjerena u gradskom okruženju. Dio koji se tiče *monitoringa* najvažniji je dio informacijskog lanca jer se odnosi na kvalitetu usluge, ali i na platežnu moć.

**Servisni operatori** – glavni su za procesiranje takvih podataka. Oni koriste podatke koji su predloženi od strane pružatelja sadržaja podataka, a nakon toga su ti podaci procesirani u oblik multimodalne informacije. Servisni operatori su obično privatni entiteti koji rade pod okriljem javnih ugovora za javna tijela, zbog činjenice da nema, ili ima vrlo malo autonomnih poslovnih modela koji danas pružaju uslugu putnog informiranja.

**Mrežni operatori** – akteri koji pružaju podršku u vidu komunikacijskih kanala koji su potrebni za dostavljanje informacija krajnjim korisnicima i za međusobno povezivanje svih sudionika koji su uključeni u ovaj lanac.

**Pružatelji usluga** – pružaju izravno sučelje krajnjim korisnicima u svrhu ponude usluga uključujući prometne informacije. Pružatelji usluga su uglavnom javni s nekim privatnim akterima, jer su poslovni modeli danas vrlo tanki u obliku usluga putnih informacija.

**Krajnji korisnik** – korisnik pružatelja usluga, iako je trenutna želja za plaćanjem putne informacije trenutno vrlo niska.

Iako javni sektor ne može izravno svime upravljati, to ne znači da može prepustiti javnu politiku privatnom sektoru, jer to nije njihova uloga. Tako da čin dostupnosti informacije može potaknuti razvoj inovativnih usluga koje su održive i ekonomički autonomne, pružajući građanima brzu uslugu mobilnosti u razumnim cijenama. Poslovne prilike mogu se pojaviti iz dostupnosti javnih podataka o mobilnosti, prometa i transporta. U tom kontekstu, privatni sektor može znatno doprinijeti urbanoj mobilnosti koristeći javne podatke. Problem u ovom procesu javlja se u primjerenosti takvih usluga prema javnoj gradskoj mobilnosti i podaci mogu biti dostupni samo uz posebno dopuštenje. Individualno ponašanje ne pridonosi nužno zajedničkoj dobiti, kao što se može vidjeti iz svakodnevne situacije u gradovima s intenzivnim i ekskluzivnim korištenjem vlastitih automobila. Osim toga, područje ITS-a je važno za ekonomski razvitak i inovativnost. U godinama kada su automobili doživjeli promjenu sa vlastitih automobila u uslužne automobile, akteri ekonomije traže nove ekonomske modele kombinirajući različite modove transporta, s ITS-om i logistikom kao tehničkom podrškom. Javni sektor to ne smije ignorirati, dapače, treba poticati implementaciju ITS-a [30].

U prometnom upravljanju, ne postoji univerzalni alat za vođenje prometa, no postoji širok spektar aplikacija koje su razvijane u posljednjih nekoliko godina. Kontroliranje parkinga putem prometnih svjetala, pješačke zone, omogućavanje javnog prijevoza i prijevoza tereta kao i kontrola pristupa samo su neke od tipičnih mjera za upravljanje prometom u gradovima. Lokalne vlasti su tijelo koje ima najveći utjecaj na to kako će se upravljati prometom i upravljanje prometom pomoću ITS tehnologija mora na cjelovit način uzeti potrebe i očekivanja lokalnih dionika uključujući stanovnike, poslovne ambijente i posjetitelje. ITS ima ulogu u pomoći dostavljanja održivih transportnih političkih ciljeva na urbanoj razini. Dok

svako urbano područje ima svoju prometnu politiku, postoji stupanj uniformnosti političkih ciljeva koji se uspostavljaju u gradovima diljem Europe i koji se trebaju uzeti u obzir. Ciljevi se tiču sljedećih akcija koje se žele ispuniti:

- smanjenje zagušenja;
- smanjivanje potrošnje energije i štetnih emisija;
- poboljšanje kvalitete života u gradovima;
- povećati tržišni udio čistih vozila privatnom vlasništvu i flotama javnog gradskog prijevoza;
- povećati efikasnost transportnih sustava;
- povećati atraktivnost javnog prijevoza poticanjem promjene moda;
- omogućiti dostavu i servisiranje;
- poboljšati cestovnu sigurnost;
- smanjiti razinu parkiranja, odnosno njenu ekspanziju.

Važno je da ITS bude korišten kao podrška i pomoć u ostvarivanju ciljeva. ITS može ostvariti svoj optimalni efekt kada je primijenjen unutar strategijskog okvira s jasnim ulogama distribuiranim među dionicima. Obzirom na povećano oslanjanje na osobni automobil, prometno upravljanje u gradovima predstavlja jednaku važnost između upravljanja prometnim zagušenjem i reduciranjem polutanata vozila kao i promocije održivih transportnih modova kao što su: hodanje, biciklizam i javni prijevoz.

Vjerojatno najdulje uspostavljena ITS tehnologija korištena unutar gradskog područja je kontrola prometnih signala. Iako inicijalno prometna svjetla nisu stvarno uključivala ikakav oblik inteligencije, razvitkom računalnih tehnologija kontrola raskrižja postala je mnogo sofisticiranija od 1980. godine. Prije nego je postao alat koji razdvaja konfliktne prometne tokove na raskrižjima, mikroprocesorski moduli uključuju modalno baziranu, umjetnu inteligentnu i sveprisutnu kontrolu koristeći podatke s induktivnih petlji i ostalih detektorskih sustava. To je omogućilo razvitak metoda kao što je prioritizacija javnog transporta (npr. kroz sustave koji prepoznaju autobuse, tramvaje i slično) i optimizaciju prometa na raskrižjima. Za grad Samobor od velike je važnosti da gradski prijevoznik Samoborček d.o.o. i Autoturist d.o.o., odnosno njihova flota autobusa, ne bilježi kašnjenja unutar gradskog područja i okolnih naselja. Unutar prometne gradske mreže čest je slučaj da postoji koncentracija prometnih svjetala koja kontrolira raskrižja. Centralna kompjuterska kontrola i

upravljački sustavi uključuju šire područje bazirano na mrežnom upravljanju. Kada su gradski upravljački sustavi prvi puta implementirani, oni su bili bazirani na fiksnim ciklusnim vremenima dopuštajući linkovima raskrižja da poboljšaju vrijeme putovanja vozilom. Poboljšane detektorske tehnologije i podaci dopuštaju optimizaciju urbanih regija i područja kroz softvere SCOOT i SCATS. Satelitsko praćenje vozila postoji već dulje vrijeme, ali je najviše korišteno od operatora prijevoza tereta za njihove flote vozila. Izvor promjenjivih podataka vozila kojemu se može pristupiti kroz vlasnike autocesta je sustav javnog prijevoza u vidu stvarnovremenskog informiranja i sustava koji su dizajnirani kako bi se vozačima osobnih automobila dala informacija koja je bazirana na satelitskom praćenju njihove rute i lokacije. Takvi sustavi su fundamentalno dizajnirani za informiranje korisnika kada njihov sljedeći tramvaj, autobus ili vlak treba doći na njihovu postaju.

Pristup promjenjivim i ćelijskim podacima je relativno novi koncept. Ako ta informacija bude dostupna lokalnim vlastima, to poboljšava pogled na urbanu cestovnu mrežu i njenu performansu te može poslužiti kao izvor za izmjenjivanje signalnih programa za održavanje prometnog toka u optimalnom stanju. U tom slučaju, podaci koji se tiču vremena trajanja putovanja dobiveni s ispitnih vozila korišteni su za popravljavanje prometnih signalnih programa i mogu imati dodatnu vrijednost u obliku reduciranja potrebe za novom infrastrukturom koja se nalazi uz cestu, kao što su lokalni senzori. Ćelijski podaci, odnosno praćenje mobilnih uređaja, mogu jako varirati diljem Europe u nekim državama i to je dopušteno, dok neke druge države imaju legislativna ograničenja.

Vrlo važan alat koji projicira vizualni pogled na mrežu prometnica je CCTV (engl. *Closed Circuit Television*). CCTV postoji već dulji niz godina i uobičajeno je da se nadziru mreže prometnica pomoću ovog vida tehnologije, poglavito kritična raskrižja. Kroz povijest, CCTV je omogućio cestovnim vlastima pogled na stvarno stanje situacije i intervencije kroz sustav upravljanja gradskim prometom. Preferira se prikupljanje šireg spektra izvora podataka (detektori, ANPR, CCTV, plutajući ili promjenjivi podaci vozila, uključujući autobuse, tramvaje i teška vozila) i pohranu istih u sustav upravljanja prometom kako bi se omogućilo održavanje prometnog upravljanja. Takvo nešto bi zasigurno doprinijelo boljoj prometnoj situaciji grada Samobora.

Sa širokim spektrom izvora podataka, centralnom kontrolom i upravljačkim sustavima, vlastima je lakše suočavati se s incidentima koji se događaju. Takvi razvici

pomaknuli su granice na mogućnost pristupa i kontrole problema sa zagušenjem i kvalitetom zraka koji i dalje nastavljaju jačati. Sustavi detekcije vozila, kao što je i prije navedeno, mogu biti korišteni za razne varijante upravljanja parkirnim sustavima, kao na primjer namjensko parkiranje za dostavna vozila koja se parkiraju na rubniku ceste. Potencijal ITS-a je u olakšavanju parkiranja i to ne smije biti podcijenjeno. Dokaz za tu tvrdnju je nastajanje kružnog toka prometa u urbanim područjima u potrazi za parkirnim mjestima i to je jasan pokazatelj prometnog zagušenja u gradovima. Takav problem se odnosi i na grad Samobor. ITS u ovom slučaju ima ključnu ulogu u budućnosti, a to je reduciranje negativnog utjecaja takvog prometa na način da se informiraju vozači o lokaciji najbližeg nezauzetog parkirališta. Problem pronalaska parkirališta u gradu Samoboru je prepoznat i u tom kontekstu ITS treba biti razmatran kao potencijalno rješenje na način koji je naveden [31].

Idući problem koji se javlja u gradu Samoboru je raskrižje kod Autobusnog kolodvora Samobor. Naime, autobusi tvrtki Samoborček d.o.o. i Autoturist d.o.o. kada izlaze s terminala dolaze na semaforizirano raskrižje na kojem se nerijetko u jutarnjem vršnom satu znaju zadržavati u kolonama od 3-4 autobusa kada na snagu stupi crveno svjetlo. U tom kontekstu, bilo bi dobro produžiti fazu zelenog svjetla kako bi autobusi mogli proći kroz raskrižje. Ova metoda poboljšanja predlaže se u svrhu minimiziranja kašnjenja autobusa, nepovoljnog utjecaja na okoliš i prometnog zagušenja. To se posebice odnosi na autobuse koji prometuju na terminale Črnomerec i Autobusni kolodvor Zagreb, a prolazak kroz zagrebačko područje koje sadržava gužve u jutarnjem vršnom satu ionako otežava situaciju autobusima i njihovom voznom redu linije.



## 8. ZAKLJUČAK

Temeljem svega što je izneseno u ovom radu, dakle način kako je prikazan prometni model grada Samobora, prometni problemi koji su detektirani i u tu svrhu tehnologije koje bi mogle biti implementirane, te općenito način kako tehnologije mijenjaju prometni svijet, zaključuje se da ITS tehnologije nisu toliko prepoznate u Republici Hrvatskoj kao što bi trebale biti. U gradovima, postoje naznake za implementaciju ITS tehnologija kako bi se smanjio nepovoljni utjecaj ekoloških i ekonomskih čimbenika, no sve ostaje na naznakama.

U gradu Samoboru, postoji problem parkiranja u centru grada što uzrokuje kružni tok prometa u potrazi za parkingom, a najviše je izražen u danima kada se događaju neke manifestacije (fašnik, dan grada Samobora i slično), no i ostali problemi cestovnog karaktera kao što su trajanje ciklusa na semaforiziranom raskrižju.

Smatra se da grad Samobor, kao predstavnik manjih gradova, može biti grad za kakve Europska Unija propisuje direktive boljeg prometovanja ali i općenito boljeg načina života. Drugim riječima, Samobor može postati "pametani grad", ili popularno u inozemstvu nazvan, *smart city*, jer definitivno ima potencijala, a i prostora za to.

Metode prikupljanja podataka u gradu isto se mogu podići na jednu višu razinu, jer bi se u tu svrhu mogli izraditi bolji, ali i još važnije, točniji i precizniji prometni modeli koji bi kasnije mogli poslužiti kao vodilja kako bi se u budućnosti nekim stvarima vezane za prometno planiranje, projektiranje i modeliranje trebalo pristupati.

Prometni modeli, kao esencijalni dio prometnog modeliranja i planiranja, daju predodžbu stvarne situacije, te se na temelju toga mogu donijeti neki smisleni zaključci o prometnoj situaciji u određenom gradskom području. Rad u programskim alatima koji prikazuju prometnu situaciju, a tu se ponajprije misli na PTV Visum, zahtijeva visok stupanj točnosti i koncentracije kako bi prometni model mogao biti što reprezentativniji.

U konačnici, ITS tehnologije koje se primjenjuju u gradovima dobar su, siguran, isplativ, ekološki i ekonomski prihvatljiv način kako se može riješiti problem u gradovima, a koji utječu na život ljudi. U budućnosti, očekuje se da razna državna i privatna tijela prepoznaju učinak ITS tehnologija kako se prometni problemi koji muče gradove više ne bi pojavljivali, barem ne u nekim većim količinama.

## LITERATURA

- [1] Adams Boxill S., Yu L., *An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development*, Texas Southern University, Houston, 2000.
- [2] Boyce D., Ran B., *Modeling Dynamic Transportation Networks*, Second Revised Edition, 312. str., 1996.
- [3] Vallati M., Magazzeni D., De Schutter B., Chrapa L., and McCluskey, T.L., *Efficient Macroscopic Urban Traffic Models for Reducing Congestion: a PDDL+ Planning Approach*, In: Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-16). AAAI Press, Phoenix, Arizona USA, pp. 3188-3194, 2016.
- [4] Qureshi K. N., Abdullah A. H., *A Survey on Intelligent Transportation Systems*, Department of Communication, Faculty of Computing, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, 2013.
- [5] URL: <https://mobacommunity.com/blogs/entry/Traffic-Jam-prevention> (pristupljeno: lipanj, 2017.)
- [6] Śladkowski A., Pamuła W., *Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives*, Switzerland, 2016.
- [7] Mladenović M. N., Stevanović, A., Kosonen I., Glavić D., *Adaptive Traffic Control Systems: Guidelines for Development of Functional Requirements*, Munich, 2015.
- [8] URL: <http://shop.panasonic.com/about-us-latest-news-news/10262016-intelligenttransport.html> (pristupljeno: lipanj, 2017.)
- [9] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 2. predavanje*, 2016.
- [10] Florida Department of Transportation, *Traffic Analysis Handbook, A reference for planning and operations*, Florida, 2014.
- [11] Leduc G., *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications*, 2008.
- [12] URL: <http://infocar.dgt.es/etraffic/> (pristupljeno: lipanj, 2017.)
- [13] URL: <https://www.sigalert.com/?lat=34.04129&lon=-118.26078&z=0> (pristupljeno: lipanj, 2017.)
- [14] URL: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/methods/fourstagestu.html> (pristupljeno: lipanj, 2017.)
- [15] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 4. predavanje*, 2016.

- [16] McNally M.G., *The four step model*, University of California, Irvine, 2007.
- [17] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 5. predavanje*, 2016.
- [18] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 6. predavanje*, 2016.
- [19] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 7. predavanje*, 2016.
- [20] Novačko L., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Prometno planiranje u gradovima' 3. predavanje*, 2016.
- [21] Fakultet prometnih znanosti, *Analiza postojećeg stanja i prikupljanje ulaznih podataka za izradu prometnog modela na relaciji Samobor - Zagreb u svrhu EU projekta SocialCar, broj projekta: FPZ-ZCP/901-8, travanj, Zagreb, 2017.*
- [22] Barić D., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Modeliranje i planiranje u cestovnom prometu', 7. predavanje*, 2016.
- [23] Novačko L., Šimunović Lj., Krasić D., *Estimation of origin – destination trip matrices for small cities*, 2014.
- [24] *PTV Visum Manual 16*, Karlsruhe, 2016.
- [25] Barić D., *Autorizirana predavanja iz kolegija 'Modeliranje i planiranje u cestovnom prometu', 8. predavanje*, 2016.
- [26] Kang-Ching C., Yang L., Saigal R., Saitou K, Senior Member, IEEE, *Validation of Stochastic Traffic Flow Model with Microscopic Traffic Simulation*, 2011.
- [27] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 2000*, Chapter 31-Simulation and Other Models, 31-22
- [28] de Dios Ortúzar J, Willumsen L. G., *Modelling Transport, 4th Edition*, 2011.
- [29] Rakha H., Heilinga B., Van Aerde M., Perez W., *Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models*, 1996.
- [30] Urban ITS Expert Group, *Guidelines for ITS Deployment in Urban Areas, Multimodal information*, 2013.
- [31] Urban ITS Expert Group, *Guidelines for ITS Deployment in Urban Areas, Traffic management*, 2013.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz FCD-a s različitim prometnim podacima .....	6
Slika 2. Prikaz adaptivnog upravljanja semaforiziranim raskrižjima.....	9
Slika 3. Prikaz sustava DGT-a u Španjolskoj sa stvarnovremenskim prometnim podacima ...	16
Slika 4. Prikaz sustava koji je implementiran u Strasbourgu.....	17
Slika 5. Prikaz sustava koji je implementiran u Kaliforniji s pogledom na trenutnu prometnu situaciju u Los Angelesu.....	19
Slika 6. Prikaz sustava koji je implementiran u Kaliforniji s prikazom brzina i prometnih nesreća u okrugu Pasadena .....	19
Slika 7. Klasični četverostupnjevani prometni model.....	21
Slika 8. Prometna mreža grada Samobora i Svete Nedelje sa Zagrebom.....	36
Slika 9. Postotni udio kućanstava prema broju članova .....	37
Slika 10. Postotni udio broja automobila po kućanstvu .....	38
Slika 11. Postotna raspodjela putovanja prema svrhama putovanja .....	38
Slika 12. Modalna raspodjela putovanja.....	39
Slika 13. Raspodjela putovanja prema odredištu putovanja .....	40
Slika 14. Prikaz produkcije i atrakcije putovanja po zonama .....	41
Slika 15. Prikaz OD parova putovanja .....	43
Slika 16. Prikaz opterećenja po pojedinom linku prometne mreže.....	44
Slika 17. Prikaz lanca putnog informiranja .....	53

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz prosječnog broja članova kućanstava i prosječnog broja putovanja .....	36
Tablica 2. Prikaz klasa udaljenosti putovanja baziranog na anketi kućanstava .....	42