

Stvarno - vremenska vizualizacija prometnih podataka koristeći prijelazne matrice brzina

Bubnić, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:119:342365>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonio Bubnić

**STVARNO - VREMENSKA VIZUALIZACIJA
PROMETNIH PODATAKA KORISTEĆI
PRIJELAZNE MATRICE BRZINE**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021

Zagreb, 8. lipnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Algoritmi i programiranje**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6247

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

Zadatak: **Stvarno- vremenska vizualizacija prometnih podataka koristeći prijelazne matrice brzina**

Opis zadatka:

Prijelazna matrica brzina opisuje vjerojatnost postignute brzine promatranih vozila prilikom prijelaza između dva povezana cestovna segmenta. Takve matrice mogu poslužiti za analizu prometnih zagušenja i vizualizaciju stanja prometne mreže. Potrebno je izraditi program u programskom jeziku Python koji će podatke koji generira simulator SUMO za određeni segment prometnice, obraditi u različitim vremenskim intervalima ovisno o parametrima simulacije. Pod obradom se podrazumijeva agregiranje simuliranih podataka i generiranje prijelazne matrice za pojedine vremenske intervale. Ovo programsko rješenje omogućit će lakše uočavanje zagušenja simuliranih u pojedinim prometnim scenarijima na promatranom segmentu prometnice i određivanju veličine vremenskih intervala za procjenu trenutnog stanja prometne mreže.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Tonči Caric

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

STVARNO - VREMENSKA VIZUALIZACIJA
PROMETNIH PODATAKA KORISTEĆI
PRIJELAZNE MATRICE BRZINE

REAL - TIME VISUALISATION OF TRAFFIC
DANA USING SPEED TRANSITION
MATRICES

ZAVRŠNI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Tonči Carić
Neposredni voditelj: Leo Tišljarić,
mag. ing. traff.

Student: Antonio Bubnić
JMBAG: 0135254887

Zagreb, rujan 2021.

Sažetak

Prometna infrastruktura nije uspjela pratiti nagli rast prometne potražnje tokom godina što je rezultiralo zagušenjima pogotovo u gradskim sredinama gdje je koncentracija prometa velika. Promatranjem i analiziranjem postojećeg stanja prometne mreže moguće je doći do određenih poboljšanja prometovanja pogotovo na kritičnim prometnim pravcima poput povećanja kapaciteta prometnice, optimizacije vremena slobodnog prolaza na semaforiziranim cestovnim segmentima, prevencija zagušenja i povećanje sigurnosti. Zbog toga raste interes za programske alate obrade, vizualizacije i interpretacije prometnih podataka u promatranim vremenskim intervalima. Korištenjem vizualizacije prometnih podataka omogućena je detekcija ključnih prometnih parametara koji opisuju promatrani dio prometnice. Za vizualizaciju prometnih podataka u ovom radu korištene su prijelazne matrice brzina. One su prikaz brzina prometovanja automobila prilikom prelaska između dva povezana cestovna segmenta unutar određenih vremenskih intervala. Ulazni podaci korišteni u ovom radu, generirani su koristeći SUMO simulator. Podaci su podijeljeni u dva skupa gdje jedan prikazuje normalan prometni tok, dok drugi skup podataka sadrži zagušeni prometni tok dijela autoceste. Koristeći MongoDB bazu podataka i programski jezik Python za pred obradu podataka, izračunate su prijelazne matrice brzina. Za određivanje stanja prometne mreže, za svaku matricu je izračunata točka centra mase. Pri analizi matrica izdvojene su one koje prikazuju prometno zagušenje. Ovo programsko rješenje omogućuje uočavanje zagušenja simuliranih u pojedinim prometnim scenarijima i određivanje dovoljno velikog vremenskog intervala u kojem je potrebno prikupljati podatke za kvalitetnu procjenu stanja prometne mreže.

Ključne riječi: prijelazna matrica brzina, procjena stanja prometne mreže, vizualizacija prometnih podataka

Summary

Transport infrastructure has failed to keep pace with the rise in traffic demand over the years, resulting in congestion, especially in urban areas where traffic concentration is high. By observing and analysing the existing conditions of the transport network, it is possible to achieve certain improvements in traffic flow, especially on critical traffic routes, such as increasing road capacity, optimizing free passage time on traffic lights, preventing congestion and increasing safety. Therefore, there is a growing interest in software tools for processing, visualization and interpretation of traffic data. Using the visualization of traffic data, it is possible to detect key traffic parameters that describe the observed part of the road. Speed Transition Matrices were used in this thesis to visualize traffic data. They are a representation of the speed of a car during the transition between two consecutive road segments within certain time intervals. The input data used in this paper were generated using a SUMO simulator. The data is divided into two sets, one showing the normal traffic flow, while the other contains the congested traffic flow of a part of highway. Using the MongoDB database and the Python programming language for data pre-processing, speed transition matrices were computed. To determine the state of the traffic network, the point of the centre of mass was calculated for each matrix. In the analysis of the matrix, those that show traffic congestion were singled out. The software solution presented in this thesis enables the detection of congestion simulated in individual traffic scenarios and the determination of a sufficiently large time interval in which it is necessary to collect data for the quality of the assessment of the condition of the traffic network.

Keywords: speed transition matrices, traffic network condition assessment, traffic data visualization

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Parametri za procjenu stanja prometne mreže	5
2.1. Brzina.....	6
2.2. Ostali parametri	7
2.3. Predložena metoda.....	8
3. Prijelazne matrice brzina	12
3.1. Izrada prijelazne matrice brzina	12
3.2. Važnost pozicije prometnog uzorka	15
4. Stvarno-vremenska vizualizacija stanja prometne mreže.....	17
4.1. Programski alati.....	17
4.2. Podaci	19
5. Rezultati.....	23
5.1. Analiza mogućnosti primjene prijelazne matrice brzina u realnom okruženju ...	24
5.2. Procjena stanja prometne mreže	25
5.3. Analiza podataka	25
6. Zaključak	30
Literatura	31
Popis slika.....	33

1. Uvod

Naglim rastom potrebe za mobilnošću pogotovo u gradskim sredinama prometno zagušenje je postalo problem koji je uzrokovao pad kvalitete putovanja [1]. Prometno zagušenje se pojavljuje kada volumen prometa prekoračuje kapacitet dostupne prometne mreže [2]. Jedinstvena definicija koja bi opisala prometno zagušenje ne postoji jer svaka situacija sadrži drugačiji kontekst pri opisu zagušenja. Međutim zagušenje se može karakterizirati manjim brzinama vozila, povećanjem vremena kašnjenja u planiranju putovanja, nepouzdanosti dolaska i redom čekanja vozila duljim u usporedbi sa slobodnim tokom [2].

Zagušenje je nelinearna funkcija što znači da kada prometnica dostigne popunjene svojih kapaciteta male promjene u volumenu prometa mogu uzorkovati neproporcionalno veća kašnjenja. Zagušenje može biti ponavljajuće i ne ponavljajuće, gdje se može ponavljati na dnevnim, tjednim ili sezonskim intervalima. Uzrok ponavljajućih zagušenja uzrokovana je ponavljajućim uskim grlima gdje je prometna potražnja veća od kapaciteta prometnog segmenta. Ne ponavljajuće prometno zagušenje je neočekivano i najčešće nepredvidljivo ili je mali postotak predvidljivosti uzrokovan prometnim nesrećama, kvarom vozila, radovima na prometnici, vremenskim uvjetima i posebnim događajima [4]. Ove dvije forme zagušenja su bitne za razlikovati jer cilj je naći uzorak ponašanja i predvidjeti frekvenciju ponavljanja. [2].

Prometni stručnjaci i svjetske tvrtke bore se s zagušenjem i pokušavaju naći raznovrsna rješenja ovog problema. Zagušenja predstavljaju veliki problem u većini gradova na svijetu i uvelike utječe na mobilnost građana. U 2019. godini prema istraživanju INRIX-a, najzagušeniji gradovi su (1) Moskva, (2) Istanbul, (3) Bogota, (4) Mexico City, (5) Sao Paolo [3], od tih pet gradova u HERE istraživanju su tri od pet gradova podudarajući [4]. INRIX istraživanje je računalo zagušenje s obzirom na populaciju koja se nalazi u gradu i zakašnjenjem uzorkovanog zagušenjem. Mjerenje se provodilo u izgubljenim satima zbog zagušenja i rezultati su pokazali da se 8 od 10 najzagušenijih gradova nalaze u Europi. Razlog zbog kojeg je to slučaj je stara gradska jezgra s uskim ulicama malih kapaciteta koje u nekim gradovima datiraju još za vrijeme Rimskog carstva [3]. Prema TomTom-ovom rangiranju, pet najzagušenijih gradova su (1)

Mexico City, (2) Bangkok, (3) Jakarta, (4) Chongqing, (5) Bucharest. Izračunata je razina zagušenja kao povećanje u prosječnom vremenu putovanja u usporedbi sa vremenom putovanja slobodnog toka. Analizom tih pet gradova povećanje je 50% u vremenu putovanja kada je promet u stanju zagušenja [5]. Brzina putovanja, razina zagušenja i gubitak vremena pozitivno koreliraju s populacijom i njenom gustoćom u gradovima [3]. Autori u [6] smatraju da INRIX i TomTom sadrže indekse zagušenja koji pokazuju pesimistične rezultate. Indeksi zagušenja su bazirani na brzinama prikupljenima od njihovih korisnika koji imaju tendenciju učestalije vožnje u zagušenim zonama grada i zato je razina zagušenja prenaplašena za prosječnog vozača. Dakako, veliki gradovi inače imaju veći BDP (Bruto Domaći Proizvod) i imaju veće mogućnosti za razvoj adekvatne infrastrukture. Zaključak autora u [7] je da grad s višim BDP-om su generalno grade više infrastrukture koja potpomaže smanjenju sveukupnog zagušenja.

Koristeći pametne sustave za upravljanje prometom moguće je optimizirati sustav kako bi se smanjili negativni učinci zagušenja prometnog sustava. Prvi korak do optimizacije je analiza zagušenja na određenom području koja otkriva zagušena područja, procjenjuje razinu i vremenski period zagušenja. Korištenjem metode za procjenu stanja prometne mreže pomoću prijelaznih matrica brzina može se vizualizirati zagušenja na jednostavan način. U ovom radu, izrađeno je programsko rješenje koje koristi sintetičke prometne podatke generirane koristeći SUMO simulator. Podaci prikazuju svako jedinstveno vozilo, njihovu brzinu i rutu na kojoj se nalazi uz definirani interval uzorkovanja od pola sekunde. Koristeći navedene podatke, generirane su prijelazne matrice brzina za procjenu stanja prometne mreže. Računanjem prosječnih brzina kretanja vozila u određenim segmentima prometnice, u ovom radu autoceste, brzine su dodijeljene tranziciji. Tranzicija je prijelaz iz jednog segmenta prometnice u drugi segment. Tranzicije koje sadrže prosječne brzine svakog vozila unose se u matrice. Tom metodom uz pravu konfiguraciju podataka se mogu s preciznošću dobiti uzorak ponašanja vozila unutar promatranog vremenskog intervala. Dodatnim izračunavanjem centra mase i udaljenost od točke izvorišta matrice za svaku prijelaznu matricu brzine omogućena je analiza razinu prometnog opterećenja. Jedan od ciljeva rada je procijeniti veličinu optimalnog vremenskog intervala za najpravilniji prikaz prijelaznih matrica brzina. Koristeći se predloženom metodom, analiziraju se podaci o prometu, a stanje prometa procjenjuje se za segmente autoceste. Rezultati predložene metode za procjenu stanja prometa ukazuju na

određeni vremenski interval i dio promatrane prometnice što može biti osnova za određena rješenja koja bi smanjila prometno opterećenje.

Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Parametri za procjenu stanja prometne mreže
3. Prijelazne matrice brzina
4. Stvarno-vremenska vizualizacija stanja prometne mreže
5. Rezultati
6. Zaključak

U prvom poglavlju, definirani su ciljevi i svrha izrade programa koji generira prijelazne matrice brzine. Opisane su tendencije koje su prijašnja istraživanja pokazala i relevantnost pravovremene detekcije prometnog zagušenja.

U drugom poglavlju, detaljnije su opisani parametri za procjenu stanja prometne mreže. Postoje različiti parametri kojima je moguće izvršavati procjenu stanja prometne mreže. Opisano je zašto se u ovom radu koristila brzina za procjenu stanja prometne mreže koristeći prijelazne matrice brzine.

U trećem poglavlju, opisan je način na koji se generiraju prijelazne matrice brzine. Opisan je izgled matrice, gdje se nalazi izvorište matrice, vrijednosti koje ona sadrži i kako iz nje detektirati koje prometno stanje opisuje matrica koristeći centar mase i udaljenost centra mase od točke ishodišta matrice.

U četvrtom poglavlju, definirano je koje programske alate su korišteni za izradu prijelaznih matrica brzina. Opisani su podaci koji su prethodno sakupljeni kroz simulator SUMO. Podatke koji su se pokazali relevantnima su izdvojeni i upisani u bazu podataka u procesu pred obrade. Danji procesi koji opisuju prijelazne matrice brzine poput izrada ruta, tranzicija, samih prijelaznim matrica brzina i njihova vizualizacija su objašnjeni.

U petom poglavlju, analizirani su scenariji i prikazana su vremena određenog cestovnog segmenta koji pokazuje zagušenja. Pomnijom analizom matrica koje pokazuju zagušenje prometa nameću se pretpostavke koje opisuju razloge zagušenja. Prilikom obrade podataka određen je vremenski interval koji je prikladan za promatranje cestovnog segmenta.

U posljednjem poglavlju, dan je zaključak analize te mogućnosti primjene prijelaznih matrica brzina.

2. Parametri za procjenu stanja prometne mreže

Prometni stručnjaci koriste različite pristupe i parametre da prikažu i opišu stanje prometnog toka i procjenjuju stanje prometne mreže. Neki od tih parametara se koriste zasebno ili u kombinaciji za indicaciju zagušenja. Bazni prometni parametri su protok q (vozila/h), gustoća ρ (vozila/km) i brzina v (km/h) s osnovnim odnosom [8]:

$$q = \rho * v \quad (1)$$

Prikupljanje parametara se dijeli na tri grupe bazirano na funkcionalnost: statični senzori, senzori za praćenje vozila i senzori velike pokrivenosti. Statični senzori se referiraju kao uređaji koji prikupljaju podatke o toku prometa u jednoj točki. Baziraju se na različitim tehnologijama kao što su induktivne petlje, video sensorima i infracrveni senzori. One pokrivaju određen cestovni segment i prikupljaju podatke poput brzine zauzetosti volumena i drugih prometnih parametara [9-10]. Senzori za praćenje vozila detektira vozila na višestrukim lokacijama u promatranoj prometnoj mreži. Tehnologije koje se koriste su najčešće Bluetooth, Wi-Fi, RFID (eng. Radio-Frequency Identification) i automatsko prepoznavanje registarskih oznaka vozila. Ove tehnologije su prikladne za sakupljanje podataka o vremenu putovanja, o odabiru rute dijela putovanja [11-12]. Senzori široke pokrivenosti sakupljaju podatke na velikom geografskom području. Podaci pokretnih osjetila (eng. Floating Car Data - FCD) pokazuje se kao obećavajuća gdje se podaci generiraju preko mobilnih uređaja ili vozila s GNSS prijarnikom. Vozila koja imaju prijarnike su najčešće taxi, javni gradski prijevoz i službena vozila. Podaci koji FCD sakuplja su duljina repa čekanja vrijeme putovanja i matrice brzine izvorišta i odredišta [12]. Sve tehnologije imaju određene prednosti i mane. Ovisno o potrebama određenog sustava bi se mogli odlučiti za određeni sustav. Faktori koji ovise o odabiru su sposobnost prikupljanja željenih parametara, točnosti, pouzdanost, cijena i slično.

2.1. Brzina

Postoji nekoliko parametra koji u kombinaciji s brzinom služe kao parametri za procjenu stanja prometne mreže. Indikator zagušenja kod prometnih podataka je smanjenje brzine u odnosu na brzinu slobodnog toka na istom cestovnom segmentu.

Srednja vremenska brzina (eng. Time Mean Speed) opisuje prosječnu brzinu za N vozila koji prolaze cestovnim segmentom s naglaskom na promatrani vremenskom periodu. Mjerna jedinica je metar u sekundi [m/s] [13].

$$v_t = \frac{\sum v_i}{n} = \frac{\sum \frac{d}{t_i}}{n} \quad (2)$$

Gdje je:

v_t - prosječna vremenska brzina (m/s)

n - broj vozila

d - udaljenost koju je prošlo zasebno vozilo (m)

t_i - vrijeme putovanja vozila (s)

Srednja prostorna brzina (eng. Space Mean Speed) je slična kao srednja vremenska brzina, koristi aritmetičku brzinu N broja vozila unutar vremenskog intervala naglaskom na promatrani prometni segment. Prikladno korištenje srednje prostorne brzine je pri smanjenju i analizi podataka o vremenu putovanja [13].

$$v_s = \frac{d}{\frac{\sum t_i}{n}} = \frac{n * d}{\sum t_i} \quad (3)$$

Gdje je:

v_s - prosječna prostorna brzina (m/s)

n - broj vozila

d - udaljenost koju je prošlo vozilo (m)

t_i - vrijeme putovanja vozila (s)

Indeks smanjenja brzine (eng. Speed Reduction Index) je mjera koja predstavlja omjer pada brzina iz uvjeta slobodnog protoka. Pruža način za usporedbu količine zagušenja na različitim prometnim objektima pomoću kontinuirane ljestvice za razlikovanje različitih razina zagušenja. Indeks se može primijeniti na cijele rute, cijela urbana područja ili pojedine segmente autocesta. Rezultat je relativna brzina slobodnog protoka, omjer između brzine slobodnog toka prometa i stvarne brzine uz razliku brzine slobodnog toka prikazano formulom [13]:

$$SRI = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (4)$$

Gdje je:

SRI- indeks smanjenja brzine

V_0 - stvarna brzina toka

V - brzina slobodnog toka

2.2. Ostali parametri

Kvantitativni pokazatelji zagušenja Prometni inženjeri koriste različite pristupe za predstavljanje i opisivanje stanja u prometu protoka i za procjenu stupnja zagušenja. Uobičajeni pristup je opis stanja protoka prometa pomoću parametara prometnog toka [13].

Zauzetost (eng. Occupancy) prometnice je postotak vremena na promatranoj cesti gdje je dionica zauzeta vozilima ili ukupno vrijeme boravka vozila u zoni detekcije u promatrani interval T (%).

Vrijeme putovanja (eng. travel time) je vrijeme potrebno vozilu za vožnju od jedne točke u prometnici do druge točke u prometnoj mreži.

Brzina protoka (eng. flow rate) je opisana brojem vozila koja prolaze kroz a danu dionicu ceste u zadanom vremenskom intervalu.

$$q = \frac{n}{t} \quad (5)$$

Gdje je:

q- protok vozila

n- broj vozila

t- vrijeme promatranja protoka

Gustoća prometnog toka (eng. density) je opisana brojem vozila koja zauzimaju određeno mjesto u duljini trake ili ceste u trenutku vremena t (blizu nule) opisano formulom:

$$\rho = \frac{n}{d} \quad (6)$$

Gdje je:

ρ - gustoća prometnog toka

n- broj vozila

d- duljina promatranog prometnog segmenta

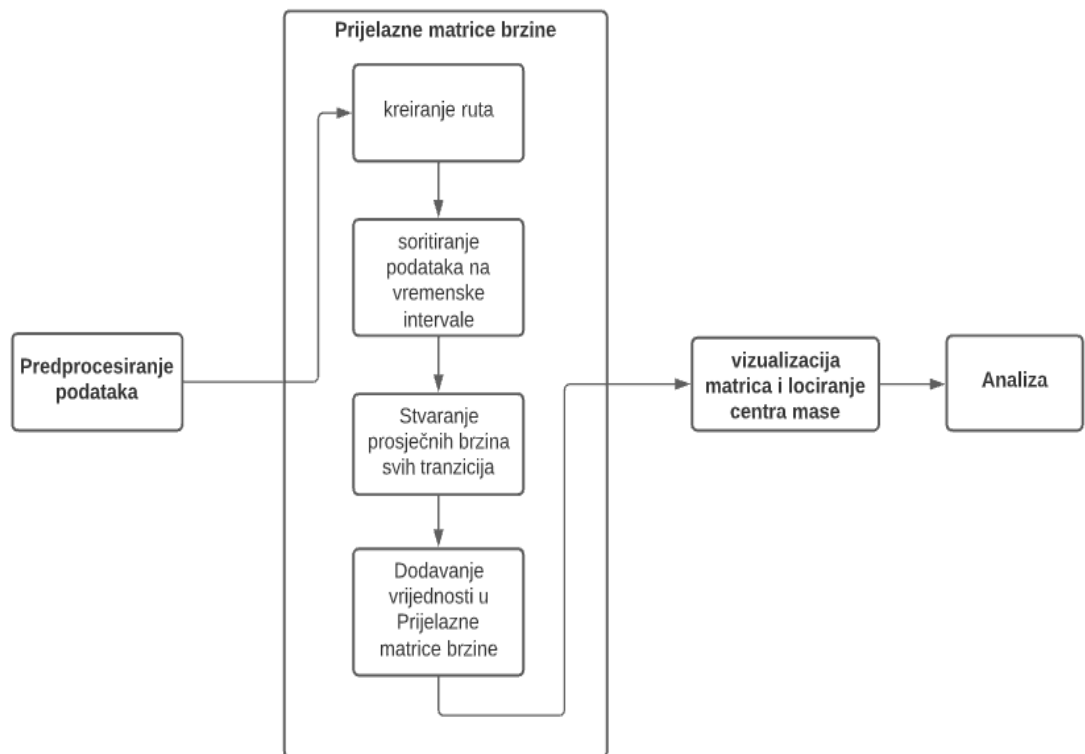
2.3. Predložena metoda

Metoda za procjenu stanja prometne mreže koju je upotrijebljena u ovoj analizi koristeći prijelazne matrice brzine koristi brzinu kao glavni parametar za procjenu prometnog stanja [13]. Brzina je prihvatljiva i jednostavna veličina za mjerenje stanja prometne mreže zato što će zagušenja prikazati matricu s centrom mase koja teži manjim brzinama, dok će normalan tok prometa prikazati centar mase koji teži prema većim brzinama (ovisno o ograničenju brzine određene prometnice). Pri definiranju intervala vremenska komponenta uzimanja uzorka predstavlja problem zbog toga što preveliki ili

prekratki vremenski intervali neće prikazati ispravno stanje prometne mreže. S time uvelike opada točnost analize.

S obzirom na veliki skup prometnih podataka, metoda za procjenu i klasifikaciju stanja prometa je opisana ovim koracima:

- izračunavanje prijelaznih matrica brzina,
- računanje centra mase i udaljenost od točke izvorišta matrice
- analiza [13].



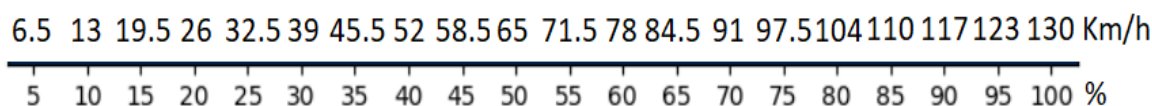
Slika 2.1 Metodologija za procjenu stanja prometne mreže

Do same izrade prijelazne matrice brzina je potrebno velike skupove podataka pred obraditi da ti isti podaci su upotrjebljivi u samoj izradi prijelaznih matrica brzina. Podaci koje rad obrađuje sadrže u svakih pola sekunde jedinstvenu oznaku vozila, brzinu kojom se vozilo kretalo i rutu po kojoj se kreće. Za svaki prijelaz iz rute u rutu (tranziciju) uzeta je prosječna brzina vozila, raspoređeni u vremenske intervale od 15 minuta i prema tim uvjetima su dodavani u matrice. Generirana prijelazna matrica brzine ima centar mase ili jednu točku u kojoj teže sve točke na matrici. Točka centra mase je reprezentativna točka za tu matricu. Nadalje izračunata je udaljenost između dvije točke gdje je jedna točka centra mase, a druga je točka izvorišta prometovanja na matrici. Te vrijednosti udaljenosti

centra mase od točke izvorišta u matrici možemo sortirati sve matrice u kategorije. U ovom radu smo kategorije podijelili u tri razine zagušenja prometa: slobodan tok, nestabilan tok i zagušenje. Slika 2.1 opisuje dijagram toka izvršavanja programa u Pythonu i toka metode za procjenu stanje prometne mreže.

3. Prijelazne matrice brzina

Prijelazne matrice brzine su dio metodologije procjene stanja prometne mreže gdje prometni podaci su prikazani matricama brzina. Sama matrice može biti proizvoljne veličine, najčešće se koriste matrice veličine 20x20, koja kreće iz 0,0 i završava na 100,100, što znači korak između dvije točke je 5. Samo ishodište matrice se nalazi u točki (0,0). Točka ishodišta je u analizi bitna jer je jedna od dvije točke potrebna za izračunavanje udaljenost centra mase od ishodišta. Cestovni segment koji smo mi promatrali ima ograničenje od 130 km/h (autocesta) pa smo specifično odredili maksimalnu brzinu skale da matrica pravilno prikazuje i zagušenja i nestabilna stanja i slobodni tok prometa. Vrijednosti po x i y osi opisane su postocima od brzine ograničenja. To bi značilo da na matrici vrijednost 100 je jednaka brzini 130km/h dok je vrijednost 75 je 104 km/h za vrijednost 50 je 65 km/h [13]. Slika 3.1 opisuje vidjeti cijelu skalu koja je korištena u radu.

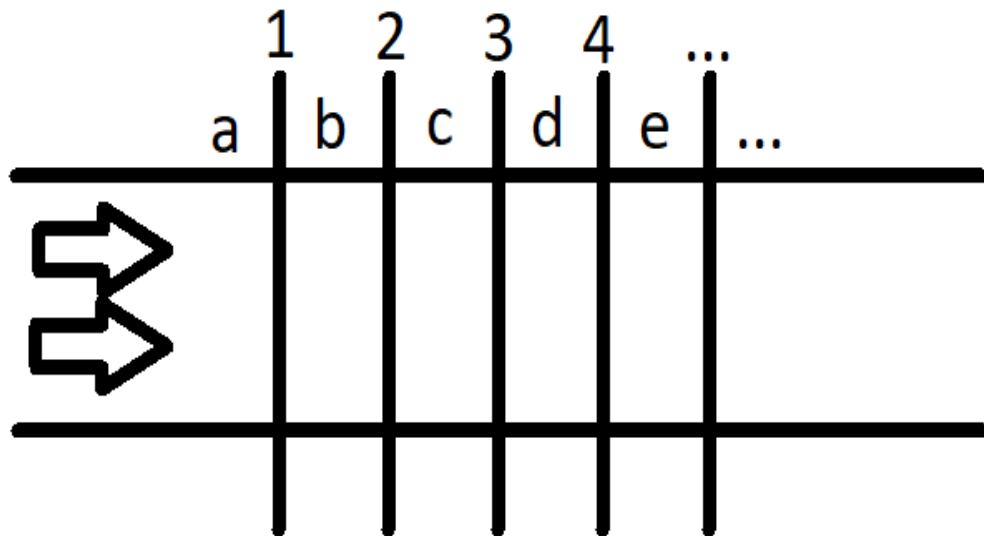


Slika 3.1 Skala po kojoj se opisuje vrijednosti matrice u korelaciji s brzinom

3.1. Izrada prijelazne matrice brzina

Prilikom izrade jedne prijelazne matrice brzine potrebno je podijeliti dimenzije koje se odnose na brojeve segmenata cestovne mreže (prostorna komponenta) i broj vremenskih intervala (vremenska komponenta) promatrane prometne mreže. cestovni segment koji je opisan za analizu je autocesta i podijeljena je na rute gdje svaka ruta ima duljinu od X metara. Vremenska dimenzija koju promatramo duž cijelog segmenta je podijeljena na 15 minuta. S obzirom na te dvije dimenzije prijelazne matrice brzine gledamo promjene brzine prilikom putovanja između dva uzastopna segmenta cestovne mreže ili rute (na Slici

3.2 to su prikazane kao a, b, c, d...). Brzine koje su očitane od vozila u jednom dijelu segmenta (ulazni segment) mreže su uračunate u prosjek brzine vozila. Kada to isto vozilo prijeđe u drugi segment (izlazni segment) prometne mreže radimo isti proces. Granica koja označava prijelaz iz rute u rutu se zove tranzicija (na slici 3.2 prikazano kao 1, 2, 3, 4...). Prosjeci brzina na ulaznom i izlaznom segmentu dijele se sa referentnom brzinom (ograničenje brzine) kako bi se dobile relativne brzine u intervalu od 0% do 100%.



Slika 3.2 Prikaz autoceste koja je podijeljena na rute i tranzicije

Tim postupkom dobivene su x i y koordinate jedne ćelije u prijelaznoj matrici brzine koje su definirane sa brzinama na ulaznom i izlaznom segmentu. Svaka točka na matrici ima svoj brojač koji prebrojava broj pojava prijelaza s ulazne na izlaznu brzinu na promatranoj tranziciji. Taj proces ponavljamo za svako vozilo u prostorno-vremenskom intervalu kojeg smo prethodno odredili za svako pojedino vozilo. Kada smo prikupili sve točke dobijemo matricu koja nam prikazuje kako su se vozila ponašala na tom segmentu u tom vremenskom intervalu što je vidljivo na slici 3.3.

Slika 3.3 prikazuje izgled jedne matrice koja je iz generirana unutar 15 minuta na jednoj tranziciji između dva segmenta prometnice. Pored prijelazne matrice brzine je tablica (Slika 3.2 opisuje koliko vozila imalo prosječne brzine obje rute. Slike pokazuju da se dvadeset vozila (dvadeset puta se brojač povećao za jedan) kretalo 80% od brzine ograničenja definirano ovisno o prometnici (u slučaju ove analize 80% od 130 km/h). Čelije unutar prijelazne matrice brzina sadrži izraženiju žutu boju što je brojač veći.

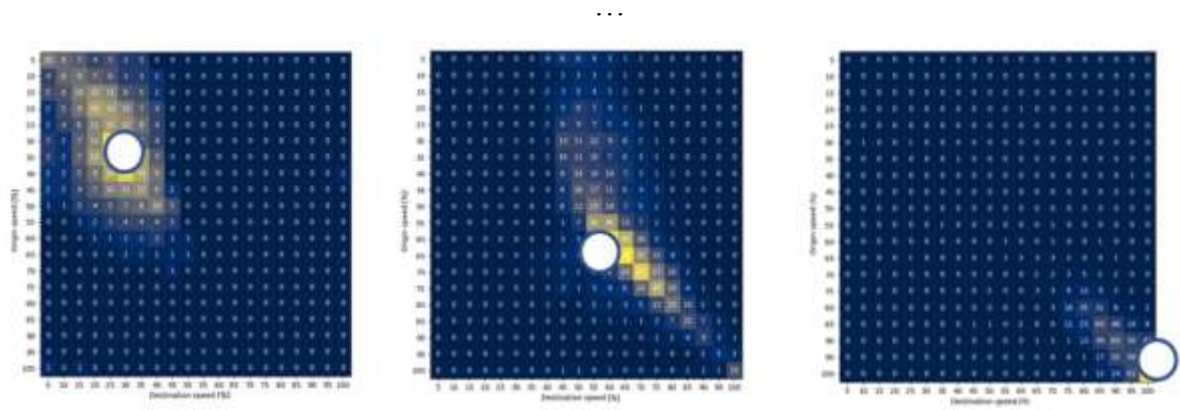
3.2. Važnost pozicije prometnog uzorka

Promatrajući prijelazne matrice brzine pozicije koje pokazane ukazuju na stanje prometnog toka. Pri samoj analizi tražimo takve uzorke da bi identificirali u koje stanje spada promatrana prijelazna matrica brzine. Slika 3.4 pokazuje tri matrice gdje svaka opisuje stanja u kojima se nalaze.

Prva matrica prikazuje zagušenje prometnog toka. To je vidljivo jer je centar mase matrice blizu ishodištu matrice. Vozila čije je brzine matrica koristila su se u prosjeku vozili na dijelu autoceste brzinama koje uvelike povećavaju vrijeme putovanja i smanjuju sigurnost.

Druga matrica sadrži karakteristike nestabilnog stanja prometnog toka. Nestabilno stanje prometa je stanje gdje se točka centra mase nalazi u središnjem području matrice. Ona pokazuje da se vozila kreću brzinama manjim od ograničenja (usporeno), ali ne dovoljno sporo da bi ih se moglo okarakterizirati kao zagušenje. Isto tako rasterećivanjem zagušenja cestovnog segmenta brzine bi porasle i vozila bi se kretala slobodnim tokom prometa.

Treća prijelazna matrica brzine je poželjan na svim cestovnim segmentima. Ona opisuje stanje slobodnog prometnog toka. Sve točke u matrici teže prema vrijednosti 100 % na obje osi i nalazi se na najvećoj udaljenosti od točke ishodišta. To označava da se vozila kreću brzinama bliskima onim prometnog ograničenja cestovnog segmenta. U navedenom slučaju promatrana je autocesta gdje je maksimalna brzina kretanja vozila 130 km/h.



Slika 3.5 Prijelazne matrice brzine koje opisuju, zagušeno stanje, nestabilno stanje prometa i stanje slobodnog toka prometa

4. Stvarno-vremenska vizualizacija stanja prometne mreže

Za vizualizaciju prometa je potrebno da programska podrška učini nekoliko procesa neposredno prije. Prometni podaci su veliki skupovi podataka i prije mogućnosti vizualizacije je potrebno proći određene procese. To su procesi pred obrade, kreiranje ruta, kreiranje tranzicija i generiranje prijelaznih matrica brzina. Svako od zasebnih procesa ima potrebu spremanja velikih skupova podataka u bazu podataka. Nedosljedno nakon tih procesa vizualizacija se smatra odrađenom. Vizualizacijom zagušenja prometnog toka smo omogućili izdvajanje prijelaznih matrica brzina na kojima se provodi detaljnija analiza.

4.1. Programski alati

U radu je korištena MongoDB baza podataka koja je programski alat pomoću koje je kreirana ne relacijske baze podataka. Posebnost ovog tipa baza podataka je to što relacije (odnosi) između entiteta u bazi nisu bitni. Iz te baze podataka omogućeno je lagano uzimati podatke i upisivati nove. Dodatno podaci se spremaju u kolekcije (eng. collections) se razlikuje od tipičnih baza podataka [14]. Prikaz kako izgleda spremanje podataka u kolekcije je prikazano na slici 4.1.

```

_id: ObjectId("60bcabd7786418f53ecedd57")
id: "GLAVNI_TOK1_0"
x: "37.3"
y: "-4.8"
angle: "97.3"
type: "CAR"
speed: "39.86"
pos: "3"
lane: "1"
slope: "0.00"
timestep: 7
abs_speed: 143.496
rel_speed: 110.38

...

_id: ObjectId("60bcabd7786418f53ecedd5a")
id: "GLAVNI_TOK1_0"
x: "97.3"
y: "-4.8"
angle: "90.00"
type: "CAR"
speed: "39.86"
pos: "4"
lane: "1"
slope: "0.00"
timestep: 7
abs_speed: 143.496
rel_speed: 110.38

_id: ObjectId("60bcabd7786418f53ecedd5e")
id: "GLAVNI_TOK1_0"
x: "177.10"
y: "-4.80"
angle: "90.00"
type: "CAR"
speed: "39.86"
pos: "27.10"
lane: "200_0"
slope: "0.00"
timestep: 7
abs_speed: 143.496
rel_speed: 110.38

```

Slika 4.1 Grafički prikaz kolekcija u bazi podataka MongoDB

Alat koji je stvorio prometne podatke koje se obrađuju je SUMO simulator. U simulatoru je izrađena jednostavna autocesta i kroz koji je simuliran prometni tok. SUMO omogućuje modeliranje intermodalnih prometnih sustava, uključujući cestovna vozila, javni prijevoz i pješake. SUMO uključuje mnoštvo pomoćnih alata koji se bave zadacima kao što su pronalaženje ruta, vizualizacija, uvoz mreže i izračun emisija. SUMO se može poboljšati prilagođenim modelima i nudi različite API -je (eng. Application Programming Interface) za daljinsko upravljanje simulacijom [14].

Python je viši programski jezik. Objektno je orijentiran te se može koristiti i kao funkcijski ili skriptni programski jezik. Python posjeduje jezični prevoditelj (eng. Interpreter) koji ga razlikuje od programskih jezika koji koriste jezični prevoditelj (eng. compiler) za prevođenje i izvršavanje koda. Python je programski jezik otvorenog koda (eng. Open-source) uz koji dolazi s mnogo ugrađenih programskih biblioteka (eng. Libraries) koje sadrže pred definirane kodove i funkcionalnosti. Jezik je proširiv s mnogim javno dostupnim bibliotekama koje ubrzavaju proces razvoja aplikacija [15]. Korišten je alat PyCharm koji služi za programiranje u jeziku Python i njime je omogućena predobrada, obrada i spremanje podataka.

4.2. Podaci

Pri izradi podataka u SUMO simulatoru kreirana su dva zasebna skupa podataka. Jedan koji prikazuje normalan tok prometa i jedan koji prikazuje zagušenje. Slika 4.2 prikazuje način na koji su spremljeni podaci. SUMO simulator prikupi informacije o vozilima (jedinstvenu oznaku vozila brzinu vozila i rutu) koji prometuju promatranim djelom prometnice u intervalima od pola sekunde. Ukupno vrijeme generiranih podataka je dva sata.

```
<timestep time="4.00">
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.0" x="-215.70" y="-4.00" angle="90.00" type="CAR" speed="39.02" pos="56.86" lane="E0_0" slope="0.00"/>
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.1" x="-257.40" y="-1.60" angle="90.00" type="CAR" speed="31.57" pos="48.52" lane="E0_1" slope="0.00"/>
</timestep>
<timestep time="4.50">
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.0" x="-115.15" y="-4.00" angle="90.00" type="CAR" speed="40.22" pos="76.97" lane="E0_0" slope="0.00"/>
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.1" x="-179.28" y="-1.60" angle="90.00" type="CAR" speed="31.25" pos="64.14" lane="E0_1" slope="0.00"/>
</timestep>
<timestep time="5.00">
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.0" x="-14.43" y="-4.00" angle="90.00" type="CAR" speed="40.29" pos="97.11" lane="E0_0" slope="0.00"/>
  <vehicle id="GLAVNI_TOKI.1" x="-101.13" y="-1.60" angle="90.00" type="CAR" speed="31.26" pos="77.77" lane="E0_1" slope="0.00"/>
</timestep>
```

Slika 4.2 Sirovi podaci iz SUMO simulatora

Iduća faza je pred-obrađena podataka. U Pythonu je program čitao podatke red po red i spremao u MongoDB bazu podataka koja izgleda kao na slici 4.3. ti podaci (oznaka vozila ime rute brzina vožnje) koji su sadržani u datoteci .xml formata koju je generirao SUMO simulator su zapisani u MongoDB bazu podataka i je stvorena mogućnost korištenja podataka za daljnju obradu.

<pre> _id: ObjectId("60bcabd7786418f53ecedd56") id: "GLAVNI_TOK1.0" x: "17.19" y: "-4.80" angle: "90.00" type: "CAR" speed: "40.35" pos: "17.19" lane: "50_0" slope: "0.00" timestep: 3 abs_speed: 145.26000000000002 rel_speed: 111.74 </pre>	<pre> _id: ObjectId("60bcabd7786418f53ecedd57") id: "GLAVNI_TOK1.0" x: "37.26" y: "-4.80" angle: "90.00" type: "CAR" speed: "40.15" pos: "37.26" lane: "50_0" slope: "0.00" timestep: 3.5 abs_speed: 144.54 rel_speed: 111.18 </pre>
--	--

Slika 4.3 Podaci spremljeni unutar MongoDB baze

U Python programu ekstrahirani su podaci iz MongoDB baze podataka. Podatci koji su uzeti u obzir opisuju vozila koja imaju istu oznaku rute. Zatim je korišten jedinstveni identifikator kako bi se svakoj ruti dodijelio određeni vremenski interval. Zatim je uzeto ime rute po kojoj su se vozili unutar vremenskog intervala vozili upisujemo u odgovarajući interval. U ovom radu su podijeljene na intervale od 15 minuta što na dva sata podataka daje 8 intervala. Sortiranjem na taj način prikupljene su sve brzine, izračunata su prosječna brzinu zasebnog vozila svim rutama kroz koje je prošao i u intervalima kojima se vozio.

U idućem koraku u radu izrađene su tranzicije. Vozila se kreću autocestom i svakih pola sekunde registriamo podatke. Tokom vožnje vozilo prolazi kroz prostorne segmente (rute). Prijelaz iz jedne u drugu prostorne segmente (rutu) zovemo tranzicijom. Vozilo koji je prošlo ta dva prostorna segmenta i nalazi se unutar promatranog vremenskog intervala se uzima u obzir. Prosječne brzine vozila koje su izračunate izračunali od jedne rute je brzina polazišne rute (eng. origin) i od druge rute odredišne rute (eng. destination) za promatranu tranziciju. Sa tim podacima je kreirana matrica brzine. Stvoreno je polje veličine 20x20 gdje svaka ćelija ima vrijednost nula (NULL vrijednost). Promatrajući za određenu tranziciju zasebnog vozila, prosječna brzina polazišne, odredišne rute i vremenski intervala od 15 minuta. Vozilo koje je napravilo tranziciju unutar vremenskog intervala će svoje brzine pretvoriti u postotak prema skali iz slike 3.1. Formula kojom se računa postotak kojim se vozio auto na autocesti je:

1. Origin speed $\div 130\text{km/h} * 100$
2. Destination speed $\div 130\text{km/h} * 100$

Rezultati koji su izračunati određuju gdje će se smjestiti unutar matrice. Ako je rezultat 75% (0.75) za obje formule onda će ići u matricu i na petnaesto mjesto unutar tog polja po x i y osi. Na tu ćeliju će se brojaču dodati +1. Ovaj postupak se izrađuje za jedno vozilo koje je zadovoljilo sve uvjete (kreirana je tranzicija za to vozilo posjeduje prosječne brzine polazišne i odredišnog cestovnog segmenta i nalazi se u vremenskom intervalu koji je promatran). Postupak se ponavlja za svako vozilo koje zadovoljava naveden uvjete. Kada ponestane vozila s tim uvjetima stvori se nova matrica za istu tranziciju koja samo se promatra idući interval od 15 minuta. Taj postupak se ponavlja dok se ne izgenerira 8 matrica za tu tranziciju (u dva sata podataka imamo 8 vremenskih intervala po 15 minuta) selimo se u iduću tranziciju i stvaramo ponovno 8 novih matrica za tu tranziciju. U ovom radu odredišna ruta u postojećoj tranziciji postaje izvorišna ruta u idućoj tranziciji zbog toga što podaci promatraju autocestu. Jedina iznimka u tom slučaju su priključne i isključne ceste na autocesti. Pri analizi gradske sredine tranzicije bi se rijetko slijedile kao na primjeru autoceste.

Zadnji korak prije analize je računanje centra mase matrice i udaljenost centra mase od točke izvorišta u matrici. Centar mase i udaljenost centra mase daje važne informacije koje su korisne za problem procjene stanja prometa.

Ovim procesom pojednostavljen je proces klasifikacije stanja na koje ukazuje matrica. Formula pomoću koje dobijemo te podatke su [16]:

1. Centar mase:

$$C_X = \sum_{i=1}^{20} p_x(x_i) * i \quad (7)$$

$$C_Y = \sum_{j=1}^{20} p_y(y_j) * j \quad (8)$$

Gdje je:

$p_x(x_i)$ - marginalna distribucija po x- osi

$p_y(y_i)$ - marginalna distribucija po y- osi

i,j- predstavlja indeks od x i y koordinata

C_X i C_Y - X i Y koordinate centra mase prijelazne matrice brzine

2. Euklidska udaljenost dvije točke:

$$d = \sqrt{(C_{x2} - c_{x1})^2 + (C_{y2} - c_{y1})^2} \quad (9)$$

$$d_{rel} = \frac{d}{20\sqrt{2}} \quad (10)$$

Gdje je:

d- euklidska udaljenost

$C_{x,y}$ - koordinate centra mase

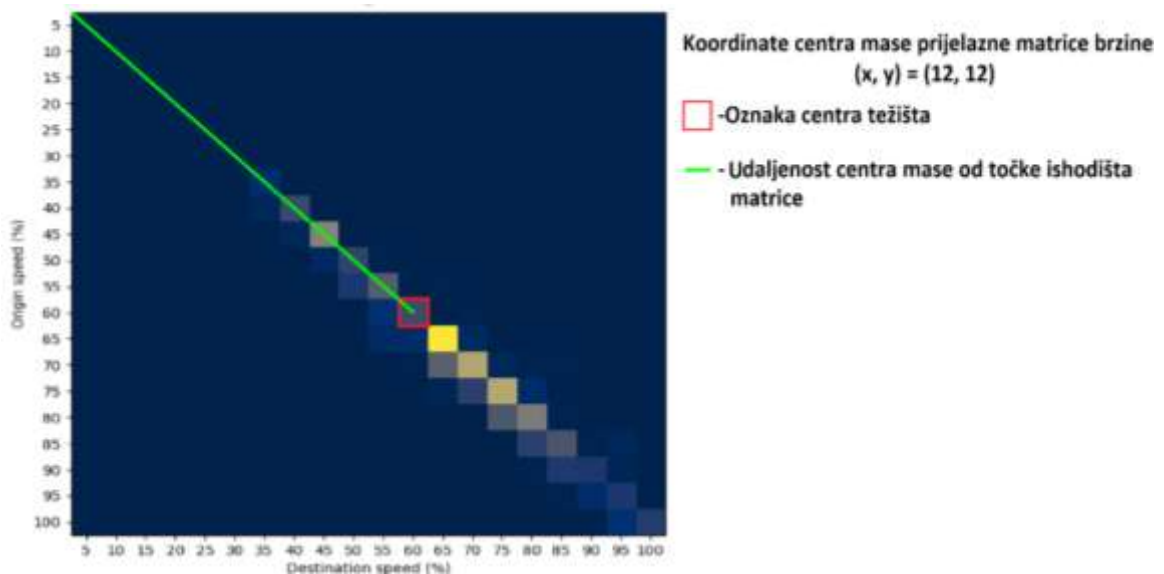
$c_{x,y}$ - koordinate točke izvorišta

d_{rel} - relativna euklidska udaljenost

$20\sqrt{2}$ - matricu su veličine 20x20, po Pitagorinom teoremu je složeno da rezultati budu u intervalu od 0 do 1 (0-100%)

5. Rezultati

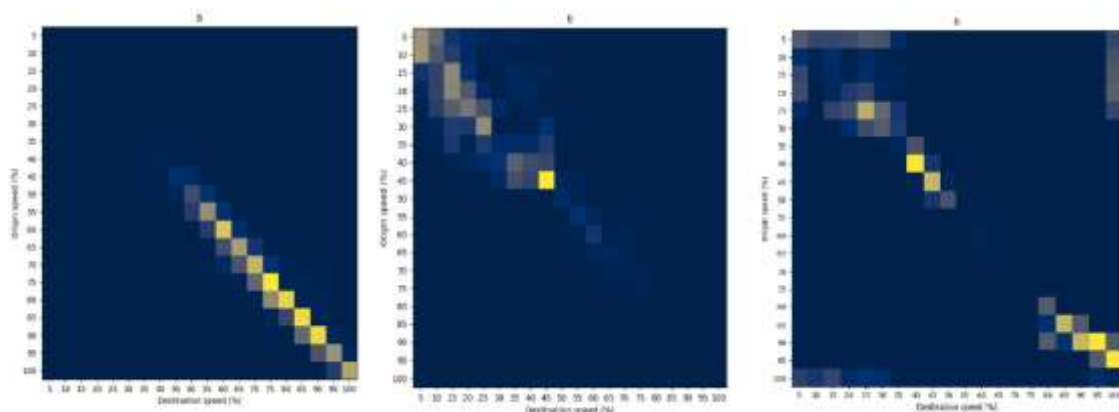
Analizirani su dva skupa podataka i svaki skup ima prikupljene podatke u vremenu od dva sata. Prvi skup podataka je u SUMO simulatoru korigiran da prikaže normalne razine zagušenja, dok je drugi skup podataka u simulatoru podešen na način da prikaže više zagušenja toka na segmentu autoceste. Oba skupa podataka su podijeljena na intervale od 15 minuta. U Python su obrađeni ti setovi podatka i program je prikazao one koje prikazuju udaljenost centra mase matrice od točke ishodišta opisano slikom 5.1. Tu udaljenost smo postavili da rezultati budu unutar intervala 0 i 1. ta relativna udaljenost nam je uvjet kojima određujemo stanje prometnog zagušenja. Ako je relativna udaljenost unutar intervala 0 i 0.33 onda će program izdvojiti matricu jer prikazuje zagušenje. Sve ostale prijelazne matrice brzine koje imaju relativnu udaljenost veću od 0.33 neće prikazivati jer to nije spektar koji je primarne važnosti u analizu.



Slika 5.1 Prijelazna matrica brzine s opisanim centrom mase i njene udaljenosti od ishodišta

5.1. Analiza mogućnosti primjene prijelazne matrice brzina u realnom okruženju

Prilikom stvaranja prijelaznih matrica brzina za ovaj skup podataka koji je generirao SUMO simulator trebali smo odrediti prikladan vremenski interval koji će matrica prikazivati brzine u toj tranziciji. Početni parametar je uzimao vremenski interval od 5 minuta. Prilikom generiranja prijelaznih matrica brzina primijetili smo da se puno matrica pojavilo, a potpuno su prazne ili pokazuju jako mali uzorak vozila koji onda narušava točnost generiranih prijelaznih matrica brzina (prva matrica na slici 5.2 ukazuje da je cestovni segment u slobodnom toku dok je stvarno stanje drugačije). U drugom scenariju smo limitirali prijelazne matrice brzine na veći interval od pola sata. Ta opcija prikazuje puno veći broj točaka u generiranim prijelaznim matricama brzina. Interval od pola sata se isto pokazao neprikladnim za daljnju analizu jer u vremenskom intervalu se dogodila situacija gdje su se vozila usporeno kretala i normalno kretala, a daljnji procesi računanja centra mase je dala rezultat da do zagušenja uopće nije došlo (treća matrica na slici 5.2 je pokazala veliki broj vozila koja su se vozila i velikim i malim brzinama i centar mase ukazuje na slobodni tok prometa sto nije realno stanje). Stoga vremenski interval od 15 minuta je bio prikazan kao najbolji zbog toga što je dovoljno velik interval da prijelazne matrice brzine ne budu prazne, a dovoljno kratka da daljnjom analizom se ne ispusti zagušenje koje bi bilo propušteno u većim intervalima (druga matrica na slici je prikazala realno stanje koje opisuje da je stvarno stanje zagušenje).



Slika 5.2 Prijelazne matrice brzine s intervalima od pet, petnaest i trideset minuta

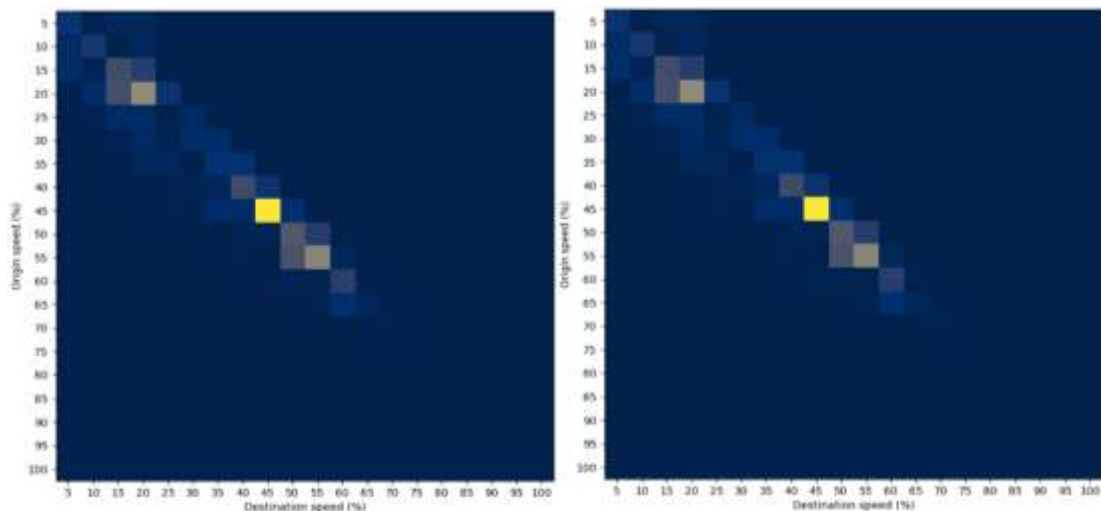
5.2. Procjena stanja prometne mreže

Koristeći centar mase matrice i udaljenost centra mase od izvorišta matrice je omogućeno sortiranje matrica s obzirom na veličinu te udaljenosti. Ova metoda predstavlja jednostavan, ali učinkovit postupak izdvajanja stanja koje prikazuje prijelazne matrice brzine. Centar mase daje važne informacije koje su korisne za problem procjene stanja prometa, budući da položaj može ukazivati na različite prometne uvjete. Ako se centar mase postavi u gornji lijevi kut, položaj pokazuje da je prosječna brzina vrlo niska u usporedbi s ograničenjem brzine i stanjem prometa proglašeno zagušenim. Za donji lijevi kut položaj označava uključenje vrlo velike brzine izvorne dionice ceste, dok je, istovremeno, brzina izuzetno niska na odredišnom cestovnom segmentu. Isto se ponašanje može primijetiti ako se centar mase nalazi u gornjem desnom kutu, gdje vrijednosti brzine niske su na polazištu, a izuzetno visoke na odredišnom segmentu ceste. Ako su koordinate centra mase smještene u središtu matrice ili u donjem desnom kutu, to ukazuje na ton vrijednosti brzine na početnim i odredišnim segmentima ceste relativno su blizu ili veće od ograničenje brzine. Ovo se ponašanje može tumačiti kao normalno ponašanje u prometu, kao vrijednost brzine u promet bez zastoja. Ako se položaj centra mase nalazi između spomenutih stanja prometa, stanje prometa moglo bi se proglasiti nestabilnim. Ovim procesom pojednostavljujemo proces klasifikacije stanja na koje ukazuje matrica [13].

5.3. Analiza podataka

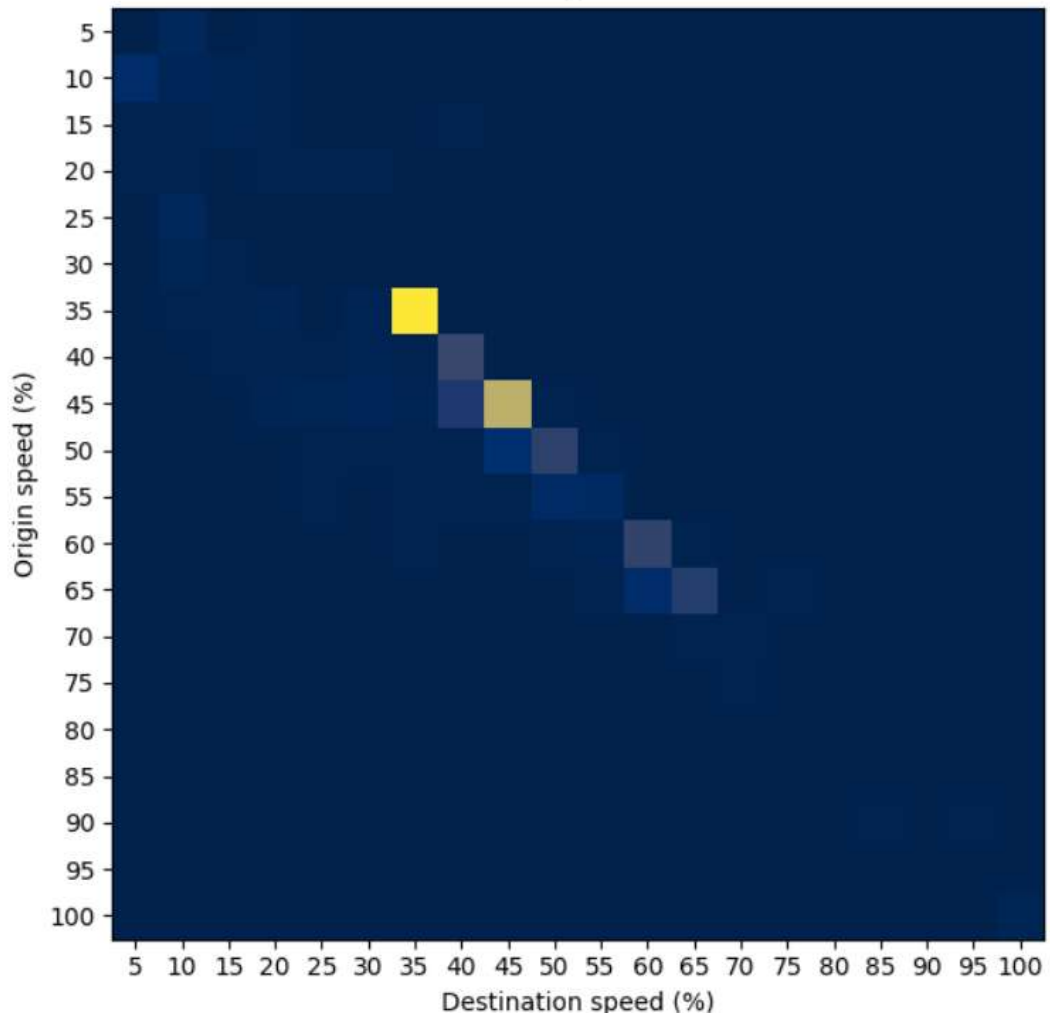
Za analizu postavljen je uvjet da matrice koje imaju relativnu euklidsku udaljenost u rasponu od 0 do 0.33 promatramo jer prikazuj zagušenja. matrice, a taj raspon prikazuje baš te prijelazne matrice brzine. Pošto je obrađeno dva skupa podataka od kojih je jedan s visokim razinama zagušenjima i jedan s normalnim razinama zagušenja na određenom segmentu autoceste potrebne su dvije zasebne analize. U samoj analizi svaka matrica ima obilježja koja služe pri pravilnoj analizi. To su centar mase, udaljenost tog centra mase od točke izvorišta u matrici.

Analizom normalnog zagušenja dijela autoceste uočene su dvije matrice čija relativna udaljenost je manja od 0.33 (zagušeni prometni tok). Te dvije matrice su izrađene na intervalu 4 to znači od 2 sata podataka spadaju u vrijeme od 0:45-1:00. Nadalje prema imenima ruta oko koje je izrađena matrica su susjedne što je indikator da na istom mjestu u isto vrijeme se dogodilo veliko zagušenje. Matrice su prikazane na slici 5.4 Brzine kojima su se vozila kretala po autocesti su oko 30 km/h i 60km/h. Od ostalih matrica koje je program generirao imamo 1229 prijelaznih matrica brzine je iz generirano da ima udaljenost centra mase od točke izvorišta između 0.33 i 0.66 (što ukazuje na nestabilni prometni tok za koji postoji pretpostavka da bi vodio do zagušenja ili do slobodnog toka ovisno o daljnjem opterećenju promatranog cestovnog segmenta) i 33 matrice koje imaju tu istu udaljenost veću od 0.66 (slobodan tok).



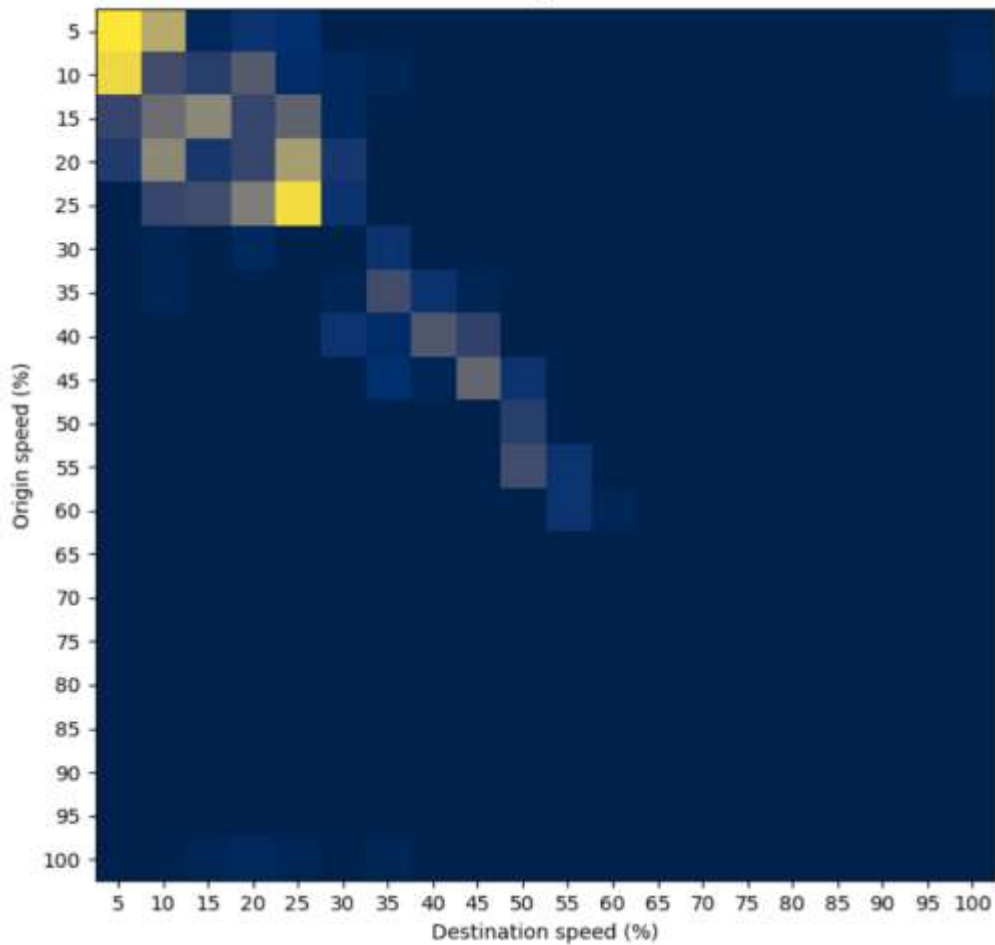
Slika 5.3 Matrice brzine čija udaljenost centra mase od točke izvorišta u matrici je manja od 0.33

Analizom zagušenog skupa podataka otkriveno je nekoliko problematičnih područja. Generirano je 16 matrica koja prikazuju udaljenost centara mase od točke izvorišta u matrici manjim od 0.33 (zagušeno stanje). U trećem vremenskom intervalu koji traje od 0:30 do 0:45 kreirana je jedna prijelazna matrica brzine koja zadovoljava postavljene parametre. Ta matrica je prikazana na slici 4.5.



Slika 5.4 Prijelazna matrica brzine na autocesti u vremenu od 0:30 do 0:45

Sve ostale matrice su generirane na drugom dijelu autocestu na potezu od nekoliko slijednih segmenata. Vremenski interval u kojem su se pojavljivali su: 1:00-1:15 i 1:15-1:30 (četvrti i peti interval). Matrice su pokazale da su se vozila kretala jako sporo (oko 10 km/h) ili stajala što predstavlja velika opasnost kada je u pitanju vožnja autocestom. Primjer jedne takve matrice je prikazan na slici 4.6. Od ostalih iz generiranih matrica imamo 1224 prijelaznih matrica brzine su iz generirane imaju uvjete o udaljenosti centra mase od točke izvorišta matrice između 0.33 i 0.66 (nestabilan tok prometa) i 23 prijelazne matrice brzine koje imaju isti uvjet veći od 0.66 (stabilan tok prometa).



Slika 5.5 Prijelazna matrica brzine s malom udaljenošću centra mase od točke izvorišta u matrici

Oba skupa podataka jednostavnom analizom su pokazala kada i na kojem dijelu autoceste se dogodilo zagušenje. Razlozi tog zagušenja u skupu podataka se mogu pretpostaviti s obzirom da je u pitanju model autoceste gdje se vozila kreću unutar ograničenja 130 km/h. Moguće je da je promatrani segment bio u blizini naplatnih kućica gdje je u ljetnim mjesecima tendencija da automobili stvore kolone u kojima se voze malim brzinama ili stoje. Druga je interpretacija da se dogodila prometna nesreća koja je uzrokovala sporo kretanje i zastoj vozila. Najvjerojatniji uzrok usporavanje prometa je dogodio efekt uskog grla zbog radova ili sudara u trenutku dok se promet normalno vodio i uzrokovao zagušenje s vrhuncem u intervalima prethodno navedenima (u podacima s normalnim razinama zagušenja 0:45-1:00 a u podacima s povišenim razinama zagušenja 1:00-1:15 i 1:15-1:30). Analiza takvih podataka u dužem vremenskom periodu može dati indikaciju je li zagušenje periodično, gdje bi se moglo izaći na teren i provjeriti razloge

koji rezultiraju tim zagušenjima i onda predložiti prometna rješenja koja bi smanjila ta zagušenja i poboljšala prometovanje za taj segment prometnog sustava.

6. Zaključak

Metode za vizualizaciju prometnih podataka su od velike važnosti pri analizi prometnih podataka za definiranje stanja određenog dijela prometne mreže. Prijelazne matrice brzine su dobar pokazatelj prometnog stanja i pri samoj analizi je koristan ako se pravilno konfiguriraju parametri. Metoda za vizualizaciju prometnih podataka koristeći prijelazne matrice brzine koristi brzinu kao osnovnu mjernu jedinicu za prikaz zagušenja. Prijelazne matrice brzine pružaju dvodimenzionalnu raspodjelu brzine na uzastopnim segmentima ceste (rute) u promatranom vremenskom intervalu. Metoda se sastoji od generiranja prijelaznih matrica brzina i analize koju je provedena pomoću izračunavanja centra mase i udaljenost od točke izvorišta matrice. Podatke iz SUMO simulatora (jedinствена oznaka automobila, brzina i ruta kojom se kreće automobil) koji su uzorkovani svakih pola sekunde su spremljeni u MongoDB bazu podataka i obrađivani u Pythonu programskom jeziku. Kreirana su dva skupa podataka, gdje jedan prikazuje normalni prometni tok, dok drugi prikazuje veću razinu zagušenja. U Python programskom jeziku su generirane prijelazne matrice veličine 20x20, koje su zatim vizualizirane i analizirane. Prilikom obrade podataka određen je optimalan interval od 15 min za prikupljanje podataka koji prikazuje prometnu situaciju. Analiza prvog skupa je pokazala da su se u određenim dijelovima promatrane autoceste vozila kretala malim brzinama od 40 km/h do 70 km/h. To je indikator da je došlo do zagušenja i time je detektiran zagušeni prometni tok. Takvo usporeenje indicira smetnje u prometu poput radova na cesti ili zagušenje uzrokovano zbog efekta uskog grla. U drugom skupu podataka uočeno je više zagušenja s naglaskom na zagušenje gdje su se automobili kretali od 5 km/h do 50 km/h. Kretanje tim brzinama na autocesti ukazuje na moguću prometnu nezgodu, zastoj zbog naplate cestarine ili zbog uskog grla. Najpraktičnija primjena prijelaznih matrica brzina je u polju analize opterećenja prometne mreže i može pružati vrijedne prometne informacije o prostornim i vremenskim prometnim anomalijama. Podaci dobiveni analizom matrica mogu se koristiti za razvoj prometnih aplikacija u svrhu stvarno vremenske analize prometnog sustava kao što su usmjeravanje prometa ili za održavanje cestovne mreže.

Literatura

- [1] Cvetek, D., Muštra, M., Jelušić, N.: Tišljarić, L., A Survey of Methods and Technologies for Congestion Estimation Based on Multisource Data Fusion, *Applied Sciences-Basel*, 11, 5; 2021
- [2] Knoop, V.: *Introduction to Traffic Flow Theory: Theory and Exercises*, Delft University of Technology, Delft, 2018.
- [3] Reed, T., Kidd, J.: INRIX Global Traffic Scorecard. Dohvaćeno iz INRIX Research: <https://www.here.com/en/vision/innovation/traffic-dashboard/>, pristupljeno: 31. 8 2021.
- [4] TomTom. Congestion Indeks: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/, pristupljeno: 31. 8. 2021.
- [5] *Transportation Cost and Benefit Analysis II—Congestion Costs*: Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada, 2018.
- [6] Dingil, A., Schweizer, J., Rupi, F., Stasiskiene, Z.: Transport indicator analysis and comparison of 151 urban areas, based on open source data, *European Transport Research Review* , 10, 58, 2019.
- [7] Falcocchio, J., Levinson, H.: *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*, Cham, Switzerland, 2015
- [8] Hazelton, M. E.: Estimating vehicle speed from traffic count and occupancy data. *J. Data Sci*, pp. 231-244., 2004.
- [9] Bugdol, B., Segiet, Z., Krecichwost, M., Kasperek, P.: Vehicle detection system using magnetic sensor. *Transp. Probl.*, 49–60., 2014.
- [10] Lopez, A.A.; De Quevedo, A.D.; Yuste, F.S.; DeKamp, J.M.; Mequiades, V.A.; Cortes, V.M.; Cobena, D.G.; Pulido, D.M.; Urzaiz, F.I.:: Vehicle Re-identification for Automatic Video Traffic Surveillance. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 1568-1574., Las Vegas, 2014.
- [11] Li, G., Song, H., Liao, Z.: *An Effective Algorithm for Video-Based Parking and Drop Event Detection*, Complexity, 2019.

- [12] Horvat, R., Kos, G., Ševrović, M.: Traffic flow modelling on the road network in the cities. Teh. Vjesn., 475–486., 2015.
- [13] Tišljarić, L., Carić, T.: Traffic State Estimation and Classification on Citywide Scale Using Speed Transition Matrices, Sustainability, 12, 18, 2020.
- [14] Tišljarić, L.: Analiza repova čekanja i razine uslužnosti urbanih prometnica korištenjem algoritama strojnog učenja i NoSQL baza podataka, Fakultet prometnih znanosti, Diplomski rad, Zagreb, 2018.
- [15] Majstorović, Ž.: Izrada informacijsko komunikacijskog sustava zadetekciju anomalija prometnog toka na urbanism prometnicama, Fakultet prometnih znanosti, Diplomski rad. Zagreb, 2020.
- [16] Tišljarić, L., Majstorović, Ž., Erdelić, T., Carić, T.: Measure for Traffic Anomaly Detection on the Urban Rodes Using Speed Transition Matrices, International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), pp. 268-275, 2020.

Popis slika

Slika 2.1 Metodologija za procjenu stanja prometne mreže.....	10
Slika 3.1 Skala po kojoj se opisuje vrijednosti matrice u korelaciji s brzinom	12
Slika 3.2 Prikaz autoceste koja je podijeljena na rute i tranzicije	13
Slika 3.3 Prikaz brojača prijelazne matrice brzine	14
Slika 3.4 Prijelazna matrica brzine	14
Slika 3.5 Prijelazne matrice brzine koje opisuju, zagušeno stanje, nestabilno stanje prometa i stanje slobodnog toka prometa	16
Slika 4.1 Grafički prikaz Collection-a u bazi podataka MongoDB.....	18
Slika 4.2 Sirovi podaci iz SUMO simulatora	19
Slika 4.3 Podaci spremljeni unutar MongoDB baze.....	20
Slika 5.1 Prijelazna matrica brzine s opisanim centrom mase i njene udaljenosti od ishodišta	23
Slika 5.2 Prijelazne matrice brzine s intervalima od pet, petnaest i trideset minuta	24
Slika 5.3 Matrice brzine čija udaljenost centra mase od točke izvorišta u matrici je manja od 0.33	26
Slika 5.4 Prijelazna matrica brzine na autocesti u vremenu od 0:30 do 0:45	27
Slika 5.5 Prijelazna matrica brzine s malom udaljenošću centra mase od točke izvorišta u matrici.....	28



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ CESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Stvarno - vremenska vizualizacija prometnih podataka koristeći**
prijelazne matrice brzine
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 6.9.2021 _____

Student/ica:

(potpis)