

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Metodologija za usporedbu  
kontekstualiziranih  
polazišno-odredišnih matrica**

Rijeka, lipanj 2019.

Vjera Turk  
0069064924

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Metodologija za usporedbu  
kontekstualiziranih  
polazišno-odredišnih matrica**

Mentor: izv.prof.dr.sc. Renato Filjar

Rijeka, lipanj 2019.

Vjera Turk  
0069064924

Umjesto ove stranice umetnuti zadatak  
za završni ili diplomski rad

## **Izjava o samostalnoj izradi rada**

Izjavljujem da sam samostalno izradio ovaj rad.

Rijeka, lipanj 2019.

-----  
Ime Prezime

# Zahvala

# Sadržaj

Popis slika	ix
Popis tablica	x
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Polazišno-odredišna matrica</b>	<b>2</b>
2.1 Tradicionalni pristupi generiranju POM-a . . . . .	3
2.1.1 Ankete . . . . .	3
2.1.2 Prebrojavanje vozila . . . . .	3
2.1.3 Modeliranje prometa . . . . .	4
2.1.4 Problematika i ograničenja tradicionalnih načina . . . . .	4
2.1.5 Pokretna osjetila . . . . .	5
2.2 Matrice iz zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima u javnoj pokret- noj mreži . . . . .	5
2.2.1 Putovanje . . . . .	7
2.2.2 Kontekst iz samog izvora podataka o kretanju . . . . .	7
2.2.3 Moduli kretanja . . . . .	8
2.3 Kontekst iz vanjskih izvora . . . . .	8
2.3.1 <i>Points of Interest</i> . . . . .	9

## Sadržaj

2.3.2	OpenStreetMap . . . . .	9
2.4	Geometrija prostorne podjele . . . . .	10
2.4.1	Redefiniranje prostorne podjele na temelju matrica . . . . .	13
2.5	Dobre prakse u generiranju POM iz CDR . . . . .	15
2.6	Drugi primjeri automatskog prikupljanja . . . . .	16
2.6.1	Dodatni telekomunikacijski podatci ? . . . . .	16
2.6.2	Združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju . . . . .	16
2.6.3	Javni prijevoz i <i>pametne kartice</i> ( <i>Smart Card</i> sustavi) . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Postojeće metrike za validaciju POM-a</b>	<b>17</b>
3.1	Točnost POM-e . . . . .	17
3.2	Metrike . . . . .	17
3.3	Strukturalna sličnost . . . . .	18
3.3.1	MSSI . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Odnosni parametri kvalitete</b>	<b>20</b>
4.1	Zajednički, objektivni kriteriji usporedbe . . . . .	20
4.2	Komparacijski indikatori . . . . .	21
4.2.1	Vremenski okvir . . . . .	21
4.2.2	Razlučivost (Rezolucija) . . . . .	21
4.2.3	Širina toka . . . . .	21
4.2.4	Geometrija prostorne podjele . . . . .	21
4.2.5	Definicija putovanja . . . . .	21
4.2.6	Gustoća informacija - kontekst . . . . .	22
4.3	Međuovisnost parametara . . . . .	22
	<b>Bibliografija</b>	<b>23</b>

## *Sadržaj*

<b>Pojmovnik</b>	<b>27</b>
<b>Sažetak</b>	<b>28</b>
<b>A Naslov priloga</b>	<b>29</b>
A.1 Naslov sekcije . . . . .	29
A.2 Naslov sekcije . . . . .	29



# Popis slika

2.1	Mreža za analizu prometa sastoji se od 221,14 cesta - plave linije i 3,199 Traffic Analysis Zone (TAZ) zona - granice označene iscrtanom crnom linijom [1] . . . . .	11
2.2	Jedinice lokalne samouprave za grad Shenzhen [2] . . . . .	12
2.3	Voronoi dijagram baznih stanica - Shenzhen . . . . .	13
2.4	Prijedlog izmjene (prilagodbe) administrativnih jedinica mreži kretanja - bojom su označene grupacije nastale na temelju matrice kretanja, crnom su označene postojeće granice administrativnih jedinica. [3] . . . . .	14

# Popis tablica

# Poglavlje 1

## Uvod

Izvorišno-Odredišna ili Polazišno-Odredišna matrica *eng. Origin-destination Matrix (ODM)* ili *Trip Table* alat je koji omogućuje opis i sustavnu statističku procjenu migracija stanovništva na nekom području u zadanom prostorno-vremenskom okviru. Služi za opis grupne mobilnosti i mjerenje socio-ekonomske aktivnosti u nekoj regiji, a najčešće se koristi u prometnoj znanosti za analizu i strateško planiranje prometnog opterećenja i prometne infrastrukture.

Za razliku od tradicionalnog pristupa prebrojavanja putovanja i putnika na licu mjesta, anketiranjem ili pomoću različitih strateški postavljenih osjetila, za procjenu matrica danas se sve više koristi statistička analiza podataka iz suvremenih informacijskih i komunikacijskih sustava (zapisi o aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži, združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju i sl.), čime je omogućeno poboljšanje kvalitete procjene preslikavanjem matrice na kontekst. Kada daju informaciju o kontekstu- svrsi kretanja- matrice su dodatno obogaćene i postaju izvor informacija za primjenu i van konteksta prometa. (...)

## Poglavlje 2

# Polazišno-odredišna matrica

Polazišno-odredišna matrica sadrži broj putovanja između svakog para zona unutar nekog područja za određeni vremenski okvir (u svakom smjeru zasebno). Redovi u matrici predstavljaju polazišta (izvore prometnog toka), a stupci odredišta. Svaki element u matrici predstavlja broj putovanja iz pripadajuće polazišne u pripadajuću ciljnu zonu. Može se smatrati matričnim zapisom težinskog usmjerenog grafa, gdje su težinski faktori usmjerenih veza širine prometnih tokova između čvorova mreže koji predstavljaju zone na koje je promatrano područje podijeljeno.

U prometnoj znanosti postoje brojne metode estimacije matrica. I dok se još uvijek ulaže u razvoj matematičkih modela koji imaju za cilj povećati kvalitetu matrica generiranih tradicionalnim metodama, u novije vrijeme razvijaju se nove, moderne metode, koje imaju veliki potencijal, zbog svoje jednostavnosti u izvedbi, ažurnosti podataka i velikog uzorka stanovništva koji obuhvate, (...)

Matrica može biti generirana za sadašnje ili planirano prometno opterećenje. Može biti prikazana ukupno ili po pojedinim modulima prometnog sustava (osobna vozila, vozila javnog prijevoza, teretna vozila, pješaka itd) i/ili različitim svrhama putovanja (putovanja na posao, putovanja kući...).

Određivanje konteksta putovanja dodatno obogaćuje matrice jer specificira socio-ekonomske aktivnosti koje su pokretači putovanja odnosno razlozi kretanja stanovništva. Mogućnost preciznog određivanja konteksta zavisi o metodi estimacije matrica.

Kada kontekst (svrha) putovanja nije inicijalno poznat iz prikupljenih podataka o putovanjima, kada je riječ o novijim metodama estimacije matrica, autori različito pristupaju kontekstualizaciji. (...)

## **2.1 Tradicionalni pristupi generiranju POM-a**

### **2.1.1 Ankete**

Tradicionalne metode uključuju metode provođenja anketiranja. Postoji nekoliko vrsta anketa: u kućanstvima, presretanje vozila, anketiranje prijevoznih kompanija i tvrtki, tranzit na granici, turisti u hotelima i parking [4]. Ovakve metode su prije svega resursno zahtjevne stoga se ne provode često. Anketiranje putovanja u kućanstvima provodi se na područjima brojnih svjetskih metropola tek jednom u deset godina.

Anketiranje vozača presretanjem vozila eng. Road Side Interview (RSI) u prosjeku košta čak 10 eura po jednom zabilježenom putovanju i ukupno obuhvati 10% prometa. Ova vrsta najčešće se provodi na autocestama. [5]

Provođenje ovih metoda zahtjeva mnogo vremena i ponekad su netočne. Pokrivaju malen dio populacije te iz tog razloga mogu biti pristrane.[6]

### **2.1.2 Prebrojavanje vozila**

Metode koje uključuju prebrojavanje vozila na ključnim čvorištima prometne infrastrukture manje su zahtjevne u odnosu na ankete i značajno smanjuju vrijeme i troškove prikupljanja podataka. Radi se o analizi nadzornih snimaka prometa, automatskom sustav za prepoznavanje i očitovanje registarskih pločica eng. Automatic Number Plate Recognition (ANPR), osjetilima prometnog toka (radarski, magnetni, video-senzori, zvučni...) i ručnom prebrojavanju.

### **2.1.3 Modeliranje prometa**

Matematičko modeliranje prometa zahtjeva veliku količinu podataka - informacija o prometnoj mreži i prometnoj potražnji. Točnost modelirane prometne situacije ovisi o kvaliteti dostupnih informacija te kako su podaci kombinirani, koji težinski faktori su primijenjeni za različite izvore. Prometna potražnja ključna je komponenta te stoga gotovo svaki prometni model zahtjeva POM-u koja specificira prometnu potražnju između zona u prometnoj mreži. Točna Polazišno-Odredišna Matrica (POM)-a osnova je za odluke u mnogim Inteligentnim Transportnim Sustavima engl. Intelligent Transportation Systems (ITS) koji su zauzvrat ključni za izbor ruta u različitim sustavima navigacijskog navođenja. Neke od pretpostavki kojima se vode u modeliranju su primjerice da je ukupna dnevna potražnja podjednaka u oba smjera kod svakog para zona na području grada. [7]

### **2.1.4 Problematika i ograničenja tradicionalnih načina**

Širenje gradova i rast stanovništva rezultirali su rastućim brojem sve ozbiljnijih prometnih zastoja u velikim gradovima diljem svijeta. Prepoznata je potreba za opsežnim strategijama upravljanja prometom kako bi se suočili s izazovima koje donosi brzo razvijajuća okolina i demografija populacije. Efektivno upravljanje i kontrola prometa mogu povećati sigurnost, kvalitetu usluge, poticati ekonomski rast i smanjiti zagađenje zraka. Zbog dinamike kojom se gradovi mijenjaju razumno je pitati se ima li smisla koristiti matrice stare više godina za modeliranje današnjeg prometa. Dobivanje što točnijih i jeftinijih POM-a privlači pažnju znanstvenika i van područja prometne znanosti. Alternativni izvori koje oni predlažu za promatranje obrazaca putovanja su značajno jeftiniji, ali nailaze na problem da profesija zahtijeva da se njihova vrijednost dokazuje usporedbom s tradicionalnim metodama. [5]

### **2.1.5 Pokretna osjetila**

Osnovna ideja pokretnih osjetila je da vozila koja se kreću po prometnoj mreži i sastavni su dio prometnog toka prikupljaju i šalju podatke. Nužan zahtjev koji treba biti ispunjen kod pokretnih osjetila je poznavanje pozicije vozila u određenim vremenskim trenucima. Za to se koristi Global Navigation Satellite System (GNSS) ili se vozila identificiraju na određenim točkama. Engleski naziv za ovu metodu je Floating Car Data (FCD). Danas je FCD komplementarni izvor vrijednih podataka i postaje najvažnija tehnologija prikupljanja podataka inteligentnih transportnih sustava. U prikupljanju podataka sudjeluju “namjenska” vozila (taksi, distribucija roba, javni prijevoz, službena vozila i dr.), a mora biti uspostavljen način učestalog slanja podataka o položaju a najčešće se odvija preko Global System for Mobile (Communications) (GSM), Wi-fi pa i Bluetooth tehnologije. [8]

Ukoliko pokretno osjetilo nije vozilo već pametni telefon tada se često koristi naziv Floating Phone Data (Floating Cellular Data) (FPD). FPD se odnosi na prikupljanje podataka pomoću mobilnih (pametnih) telefona neovisno o načinu određivanja položaja - korištenjem GNSS ili pomoću javne pokretne mreže.

Zaseban pristup unutar FPD je određivanje položaja unutar javne pokretne mreže (mreže baznih stanica). Kod ovog načina položaj pokretne stanice može se odrediti triangulacijom (pomoću signala iz više baznih stanica čije signal hvata pokretna stanica) ili se aproksimira područjem pokrivanja bazne stanice na koju je u trenutku očitavanja položaja pokretna stanica spojena.

## **2.2 Matrice iz zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži**

Kako bi pružali i naplaćivali usluge, mobilni operateri moraju prikupljati podatke o pokretnim stanicama korisnika. Pojednostavljeno, da bi se usmjerio poziv do odgovarajućeg uređaja, mora se biti poznato s koje bazne stanice odaslati signal. Naziv za podatke koje operateri prikupljaju kako bi naplaćivali usluge glasi Call Data Records ili Charging Data Records (CDR). Radi se o zapisima aktivnosti u mobilnoj mreži

## Poglavlje 2. Polazišno-odredišna matrica

- pozivima, porukama (engl. Short Messaging Service - SMS) te započetom prijenosu mobilnih podataka. Tipičan zapis između ostalog sastoji se od identifikacijske oznake pristupne točke radijske mreže (bazne stanice), vremenskog žiga početka telekomunikacijske aktivnosti i trajanja aktivnosti. Istraživanje veza između kretanja i društvenih veza (poznanstava) [9] od operatera je dobilo podatke i na koju baznu stanicu je poziv usmjeren.

Dodatni podatci koje operateri prate (*Signaling data*) prikupljani su pomoću sustava za ispitivanje kvalitete mreže. Uključuju *handover* podatke - podatke o transferu na drugu baznu stanicu tijekom trajanja aktivnosti (poziva), *Location Area updates* - podatke prokupljane svakih 20 min do 2 sata o tome na koju skupinu baznih stanica je pokretna stanica spojena, te informacije o tome kada je pokretna stanica uključena u mrežu i isključena iz mreže. Pri izradi matrica, ako su dostupni, svi ovi podatci mogu se uzeti u obzir i poboljšati model.

U novije vrijeme znanstvenici predlažu metode u kojima koriste upravo anonimizirane CDR kao izvor podataka za generiranje POM-a. [10] [6] [11] iako se sama ideja spominje u istraživanjima još iz 1994., gotovo od kad je javna pokretna mreža postala široko dostupna. [11] Ako u daljnjem tekstu nije spomenut izvor, radi se o matricama generiranim iz CDR.

Zanimljivo je ovdje spomenuti europsku inicijativu *eCall* [12] za brzu pomoć stradalima u prometnim nesrećama bilo gdje u Europskoj Uniji. *eCall* zahtjeva da u svakom novom motornom vozilu bude ugrađen uređaj koji u slučaju prometne nesreće automatski obavijesti centar 112 te mu šalje informacije o aktivaciji zračnih jastuka, prikupljene podatke osjetila za procjenu jačine sudara i u dakako položaj vozila u trenutku prometne nesreće. Također treba omogućiti uspostavu poziva (GSM). Prognoza je da će se korištenjem tog sustava vrijeme odziva (dolaska službi na mjesto prometne nesreće) smanjiti za između 40% i 50%. Od travnja 2018. svi novi automobili u prodaji u Europskoj Uniji imaju ugrađen ovaj uređaj. Nakon uspješnog uspostavljanja sustava očekuje se da bi se uređaj mogao početi koristiti i u druge svrhe.

Danas uz sveprisutnost i prodornost tehnologije, podatci koje generiraju pametni telefoni omogućuju podatkovnim analitičarima razumjeti ponašanje u brojnim domenama pojedinačno, uključujući i njihov obrazac kretanja. Kao što je već spomenuto



matrice je moguće generirati iz CDR koje operateri prikupljaju u svrhu pružanja i naplaćivanja usluge. Za ovu metodu stoga ne postoji potreba za dodatnim uređajima, sustavima ili protokolima centralnog prikupljanja položaja kao što je to u slučaju kada se položaj određuje pomoću GNSS prijamnika.

Pokriva pješački promet, (...anonimizacija i k-anonimizacija...).

### 2.2.1 Putovanje

Priroda ovog pristupa rudarenju podataka za estimaciju POM-a zahtjeva da prvo definiramo što točno smatramo putovanjem, odnosno polazištem i odredištem putovanja. Zaustavljanje se definira kao skup minimalno  $n$  događaja (aktivnosti) koji su zabilježeni na istoj poziciji unutar minimalnog vremenskog perioda. Time se osigurava da se ne radi o tranzitnoj već o namjerenoj poziciji zaustavljanja (i suzbija se bilježenje lažnog kretanje kod privremenog spajanja na susjednu bazni stanicu). Algoritam u nizu aktivnosti svakog pojedinca traži takva zaustavljanja. Dobiveni niz kontinuiranog zaustavljanja na različitim položajima otkriva kretanje. Algoritam izvlači uzastopne parove zaustavljanja te, prema dodatno definiranim kriterijima dovoljenog minimalnog i maksimalnog vremenskog razmaka između polaska i dolaska na odredište, ranija ćelija zaustavljanja postaje polazište, a kasnija odredište putovanja. Skupovi putovanja u pripadajućem vremenskom period sačinjavaju matricu za taj vremenski period.

### 2.2.2 Kontekst iz samog izvora podataka o kretanju

Kada su dostupni zapisi prikupljeni dulje vremensko razdoblje, tjednima ili mjesecima često se putovanja odnosno matrice mogu definirati na drugačiji način. Pojednostavljeno, analizom zapisa može se utvrditi na kojem položaju (u kojoj ćeliji) neki pojedinci pretežito borave u tipičnom radnom vremenu te u kojoj tokom noći. Prva ćelija za njihova putovanja postaje *Work* destinacija, druga *Home*, a sve preostale destinacije svrstaju se u zasebnu kategoriju *Other*. Potom se generiraju matrice koje uključuju samo putovanja iz jednog tipa destinacije u drugi npr. Home-Work (HW) i Work-Home (WH). [13] [14][15] [16] [17]. Jedan od razloga je da su takve matrice

usporedive s onima dobivenim iz anketa stanovništva s istom podjelom putovanja. Bitno je naglasiti da kod ovih vrsta matrica najčešće naglasak nije stavljen na dobru vremensku rezoluciju. (\*)[11]

Duža razdoblja prikupljanja podataka omogućuju uočavanje uzoraka kretanja i motiva (teorija mreža). [18]

[17] str. 4 podjela trip-based, activity-based i another approach

### **2.2.3 Moduli kretanja**

CDR zapisi ne osiguravaju rezoluciju pogodnu za određivanje modula kretanja [16]. Iznimno se mogu izdvojiti bazen stanice dedisirane pružanju usluge isključivo u podzemnoj željeznici.

Terralytics je jedna od mladih kompanija koja nudi uslugu modeliranja prometa iz telekomunikacijskih podataka. Između ostalog prema brzini kojom se pokretna stanica (ili skupina njih istovremeno) mijenja položaj donose zaključak o modulu kretanja (pješak, automobil, javni prijevoz, avion). Tajna njihovog uspjeha je da osim CDR koriste i ranije spomenute dodatne podatke koji se prikupljaju. [19]

## **2.3 Kontekst iz vanjskih izvora**

Neka istraživanja spojila su ljudsku mobilnost s namjenom zemljišta (land use) ili točkama interesa *engl. Points of Interest (POIs)* kako bi grupirala urbane predjele prema njihovoj funkciji ili upotrebi. Izvori podataka o mobilnosti variraju od Global Positioning System (GPS) putanja, položaja ukrcaja i iskrcaja taxi vozila, zapisi koje generiraju pametne kartice u javnom prijevozu, podatci o dijeljenim lokacijama na društvenim mrežama (*engl. check-in*) i zapisi o telekomunikacijskim aktivnostima (CDR). [6]

### 2.3.1 *Points of Interest*

U jednom od svojih radova grupa autora kvantizira vezu između ukupno 23 namjenske kategorije POIs i onim što nazivaju 3 tipa privlačenja (...nabrojiti neke kategorije). Svaki tip privlačenja ima karakterističan tok (gustoću ukupnog toka, udaljenost i disperziju polazišta tokova usmjerenih prema objektu tog tipa privlačenja). [6] U radu koriste podatke iz službene baze s 12,000 POIs grada u pitanju i CDR zapisima iz razdoblja od mjesec dana.

### 2.3.2 OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) je svjetski raširen projekt koji kreira i pruža slobodne zemljopisne podatke (zemljovide gradova i naselja) temeljen na volonterskom doprinosu zajednice. Pruža detaljne i ažurne digitalne zemljovide kompatibilne s Geographic Information System (GIS) aplikacijama. Započet je prije 15 godina, u Ujedinjenom Kraljevstvu, kao odgovor na tehnička ili pravna ograničenja postojećih "slobodnih" baza prostornih podataka kao što je Google Maps. Zajednički doprinos i međusobna kontrola unosa održavaju kartu na visokoj razini kvalitete i točnosti.

#### Izvor infrastrukture

Jedan od načina na koji OSM doprinosi istraživanjima u ovom području je kao izvor prometne infrastrukture i pripadajućih meta podataka (kolnik, mostovi, ograničenja brzine...). Raspodjela toka po prometnoj infrastrukturi nadilazi područje ovog rada no jest dio problematike modeliranja prometa. [16]

#### Model raspodjele toka

Inovativni pristup kontekstualizaciji toka korištenjem OpenStreetMap baze predstavljen je u radu [20]. Na osnovu pripadajućih opisnih podataka, prostorni objekti na području interesa kategorizirani su prema tipu socio-ekonomske aktivnosti u koju su uključeni. Definirano je ukupno 6 kategorija: Dom (Home), Posao (Work), Zdravlje (Health), Edukacija (Education), Zabava (Leisure) i Ostalo (Other). Razvijen je

vjerojatnosni model koji, na osnovu broja objekata pojedine kategorije u odredišnoj ćeliji i promatranog vremenskog perioda, ukupni ulazni tok u odredišnu ćeliju dijeli na 6 tokova usmjerenih prema objektima tih kategorija. Iz jedne matrice tako se dobije 6 matrica, po jedna za svaku od kategorija. Korištene su matrice dobivene iz javno dostupnih, anonimiziranih telekomunikacijskih zapisa na području kineskog grada Shenzhena. [21][22] Na ovaj način definicijom putovanja sačuvana je mogućnost dobre rezolucije u vremenu a istovremeno je dan kontekst koju uključuje *home* i *work* kategorije.

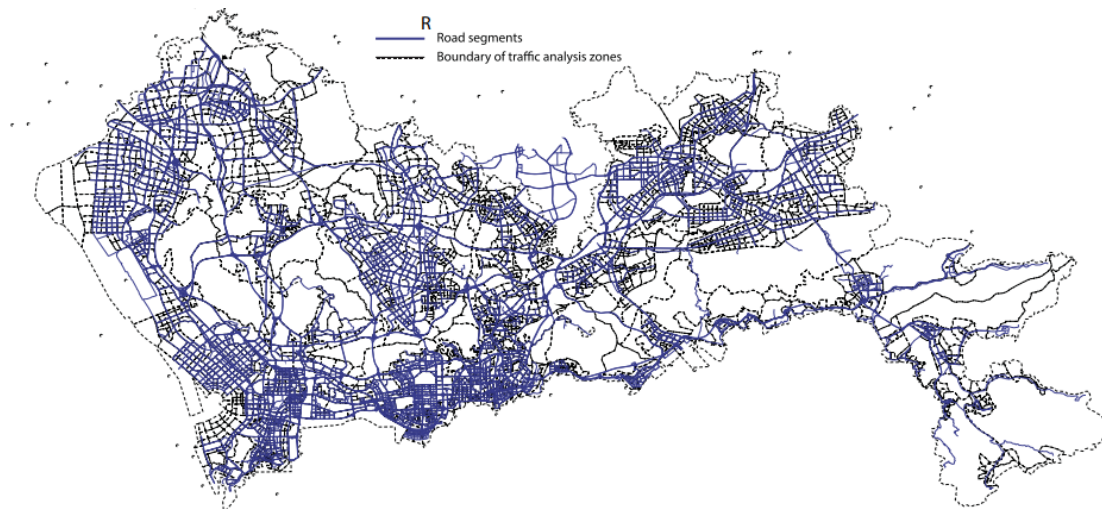
## 2.4 Geometrija prostorne podjele

Konačna geometrija prostorne podjele alternativnih izvora uglavnom ovisi o prostornoj podjeli *grand truth* matrice. Obično se radi o jedinici prostorne podjele naziva TAZ kod analize prometa, o anketnim jedinicama ili jedinicama samouprave.

### TAZ

TAZ je strani naziv za jedinicu prostorne podjele (ćeliju) kod analize prometa. Kod programskih podrška za analizu prometa veličina jedinica varira i nije uniformna. Podjela se može temeljiti na populaciji ili broju zaposlenih na nekom prostoru, primjerice svaka ćelija pokriva prostor na kojem obitava otprilike tri tisuće ljudi (propisanih preporučenih vrijednosti nema), ili podjela u kojoj ćelije generiraju podjednak broj izlaznih putovanja (jednaka širina izlaznih tokova) [13]\*. U hijerarhijskoj podjeli kod ankete stanovništva općenito postoje manje i veće jedinice podjele, a nema podjele koja bi precizno odgovarala TAZ. Do 2000. godine zastupljen je bio jedan model predviđanja prometa, a veličina TAZ bila je uvijek približno jednaka anketnom bloku od 600 do 3000 ljudi. Pojavom kompleksnijih modela predviđanja prometa (i modela upotrebe zemljišta) počinju se koristiti sve manje prostorne jedinice jer se povećava i razina detalja koju noviji modeli mogu ostvariti. Jedinica veća od TAZ u uvedena 2010. naziva se Traffic Analysis District (TAD).[23]

Kod analize na području cijele države [13] koristi *k-sredina* algoritam za grupiranje baznih stanica u broj grupa jednak broju TAZ na području Senegala.



Slika 2.1 Mreža za analizu prometa sastoji se od 221,14 cesta - plave linije i 3,199 TAZ zona - granice označene iscrtanom crnom linijom [1]

### Jedinice samouprave i anketne jedinice

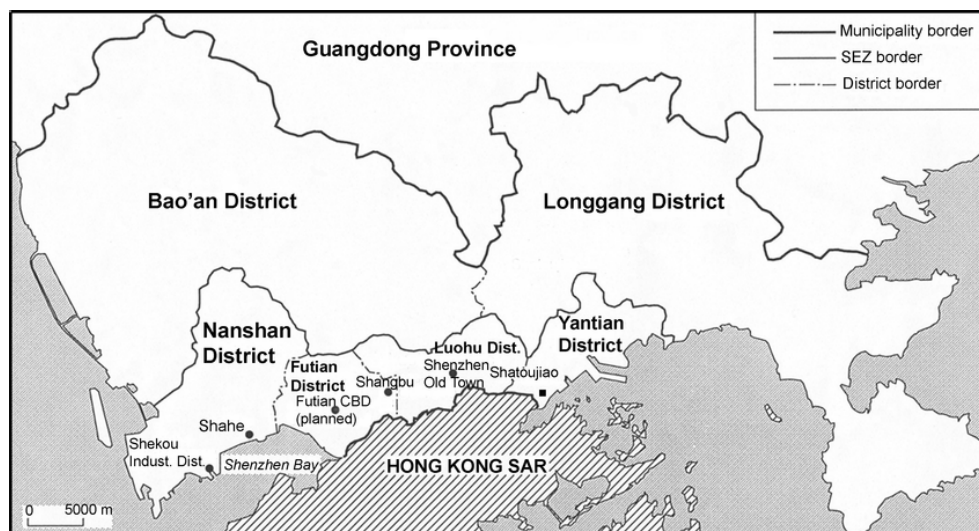
[24] ne definira unaprijed broj grupa već za grupaciju koristi *mean-shift* algoritam koji sam određuje broj grupa na području Švedske, potom koristeći OSM grupe veže uz imena gradova i mjesta. U istraživanju [9] bazne stanice na području Kolumbije grupiraju po jedinicama samouprave (eng. *municipalities*). isti postupak je korišten i u istraživanju na području Madrida, kako bi matrice u konačnici bile usporedive s onima dobivenim iz anketa. [10]

### Voronoi teselacija

Najfinija rezolucija koju je moguće postići kada je riječ o matricama dobivenim iz CDR je Voronoieva teselacija.

Općenito, u ravnini, za svaku točku iz skupa točaka postoji odgovarajuća regija koju čine sve točke ravnine bliže toj točki negoli ikojoj drugoj iz skupa. Te regije se nazivaju Voronoievim ćelijama. Svaka takva ćelija dobiva se presjecištem pola prostora između susjednih točaka skupa, pa stoga čini konveksni poligon. Dijelovi Voronoiova dijagrama su sve točke u ravnini koje su ekvidistantne prema dva najbliža

## Poglavlje 2. Polazišno-odredišna matrica



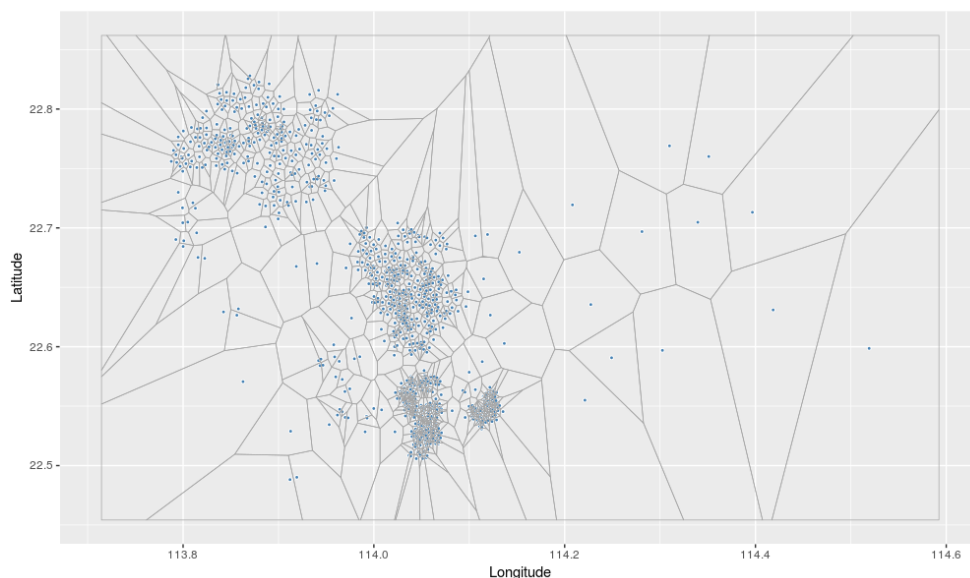
Slika 2.2 Jedinice lokalne samouprave za grad Shenzhen [2]

položaja (granice poligona). Voronoiovi vrhovi su točke ekvidistantne tri (ili više) položaja.

Točke skupa su bazne stanice, a ćelije oko njih aproksimacija površine koju ta bazna stanica pokriva. U stvarnosti se te površine prekrivanja preklapaju.

Ponekad operateri u CDR zapisima ne otkrivaju položaje baznih stanica već samo njihov ID. Postoji više javno dostupnih baza nastalih volonterskim doprinosom koje pohranjuju podatke o procjenama položaja baznih stanica, snazi signala i sl. Položaji se prikupljaju pomoću aplikacije instalirane na mobilnom uređaju, registriranjem GPS pozicije i identifikacijske oznake bazne stanice na koju je uređaj trenutno spojen. Dakle, ove baze ne sadrže "najtočniji" položaje baznih stanica već usrednjene položaje mobilnih uređaja koji su u nekom trenutku bili spojeni na tu baznu stanicu. Može se reći da taj procijenjeni položaj za potrebe izrada matrica čak i više odgovara od stvarnog položaja. [24]

[11]



Slika 2.3 Voronoi dijagram baznih stanica - Shenzhen

## Pravokutna mreža i mreža Heksagona

Uniformna podjela na pravokutne blokove od 1km spominje se kao dobra praksa [13] (...)

Područje pokrivanja bazne stanice na grafikama se standardno prikazuje kao heksagon. [19] između ostalih podjela koristi heksagone koje po potrebi ugnježđuje i tako mijenja rezoluciju u kojoj promatra gibanja. Tvrde da su se u nekim segmentima pokazali i 13% bolji od pravokutne mreže.

## Interpolacija i usporedba

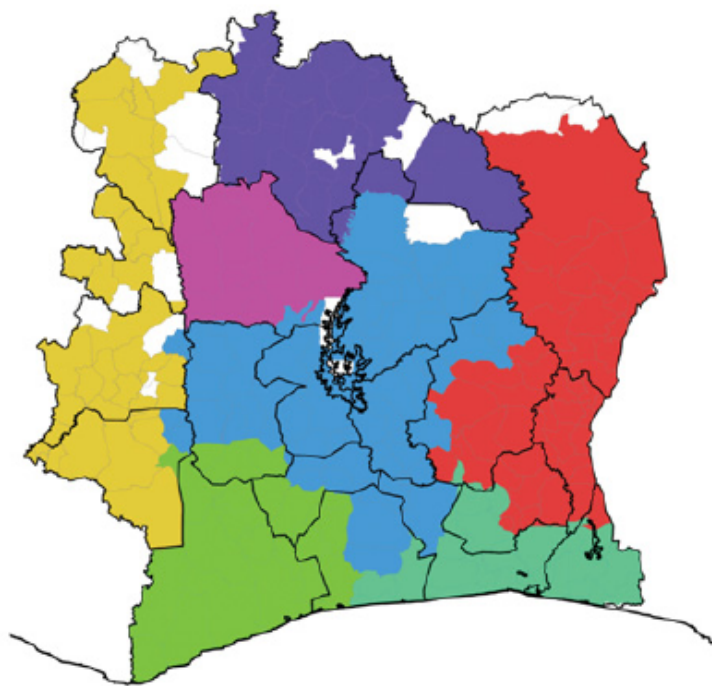
[16] [17]

### 2.4.1 Redefiniranje prostorne podjele na temelju matrica

U sklopu projekta Data for Development (D4D) francuski operater *Orange* ustupio je na korištenje CDR višemjesečne zapise s područja Obale Bjelokosti. Različita is-

## Poglavlje 2. Polazišno-odredišna matrica

traživanja u ovom području rađena su upravo na tim podacima. Jedno od njih [9] ističe da je dobar broj istraživanja dokazao da administrativne regije u zemlji faktor koji definira ljudsku mobilnost i interakcije na području države. Da bi testirali tu tvrdnju oni, nakon što generiraju matricu kretanja, ćelije prostorne podjele grupiraju prema *community detection* algoritmu. Iako se dio grupa vrlo lijepo preklapa sa postojećim administrativnim jedinicama, one administrativne jedinice u kojima se nalaze veliki gradovi, grupacije nastale na temelju mobilnosti bitno su drugačije. Zaključak je da potencijalno postoji potreba da se granice administrativnih jedinica izmjene (Slika 2.4)



Slika 2.4 Prijedlog izmjene (prilagodbe) administrativnih jedinica mreži kretanja - bojom su označene grupacije nastale na temelju matrice kretanja, crnom su označene postojeće granice administrativnih jedinica. [3]



## **2.5 Dobre prakse u generiranju POM iz CDR**

k-anonymization

Grad, Država CDR- POM u zemljama u razvoju Penetracija od 82%, 9x% -i  
pronaći radove

Mobilni uređaji iz godine u godinu zastupljeni su kod sve većeg postotka stanovništvu, ne samo u razvijenim zemljama već i u zemljama u razvoju.

## 2.6 Drugi primjeri automatskog prikupljanja

### 2.6.1 Dodatni telekomunikacijski podatci ?

### 2.6.2 Združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju

komercijalna vozila, Taxi

Jedno istraživanje matrica iz cdr je eliminiralo zapise onih korisnika koju su radili dulja "neprekidna putovanja" pod napomenom da se radi o taksistima i sl. te da ih neće uzeti u obzir.

### 2.6.3 Javni prijevoz i *pametne kartice* (*Smart Card* sustavi)

82% putovanja javnim prijevozom naprave korisnici javnog prijevoza sa pametnim karticama. [25]

## Poglavlje 3

# Postojeće metrike za validaciju POM-a

### 3.1 Točnost POM-e

Točnost procijenjenih matrica gotovo uvijek se definira u odnosu na referentnu matricu (eng. *grand truth matrix*) koja je dobivena tradicionalnim postupcima (anketiranje i/ili prebrojavanje vozila). Statističke mjere kvantiziraju razliku procijenjenih i “istinitih” vrijednosti, ako su nam one poznate.

Često se u literaturi (jednoznačno) koriste pojmovi *točnost*, *pouzdanost* i *kvaliteta*. Gotovo uvijek radi se o mjerama koje opisuju razinu sličnosti odnosno razlike (greška) s referentnom matricom .

### 3.2 Metrike

Za procjenu kvalitete matrica dobivenih isključivo anketranjem u radu [4] korištena je mjera Mean Absolute Percentage Error (MAPE), te je prikazano da se zadovoljavajuća razina kvalitete takvih matrica postiže tek ako uzorak obuhvaća 50% populacije. Istaknuta je važnost korištenja dodatnih izvora za izradu matrica.

U radu [26] navedene su statističke mjere Relative Error (RE), Total Demand

Deviation (TDD), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) te Maximum Possible Relative Error (MPRE) i Travel Demand Scale (TDS) koji procjenjuju kvalitetu neovisno o referentnoj matrici (no MPRE ne dopušta pogreške u prebrojavanju prometa, dok TDS ovisi o topologiji mreže i odabiru ruta). [27]

U [10] korišten je *Pearsonov koeficijent korelacije* -  $r$  da bi se utvrdila sličnost svakog retka matrice dobivene iz CDR s retkom referentne (izlazni tok iz svake polazišne ćelije). Isti postupak korišten je za kontekstualizirane HW i WH matrice dobivene iz CDR u usporedbi s referentnim matricama dobivenim anketiranjem.

Travassoli u svome radu [25] navodi nekoliko uobičajeno korištenih mjera -  $R^2$ , Geoffrey E. Havers statistics (GEH), Root Mean Squared Error percentage %RMSE te uvodi novu mjeru Eigenvalue-based measure (EBM) (temeljenu na svojstvenim vrijednostima matrica) i procjenjuje pouzdanost matrice dobivene iz sustava automatskog prikupljanja podataka u javnom prijevozu (autobus, vlak i trajekt). Spominje i Wasserstein metric, mjeru koja se razlikuje po tome da ne uspoređuje samo vrijednosti parova istih ćelija (elementwise).

Spearmanov koeficijent korelacije ranga korišten je u [15] za procjenu sličnosti matrica dobivenih iz CDR sa tada aktualnim matricama dobivenim anketiranjem.

### 3.3 Strukturalna sličnost

Dosada spomenute mjere neće uhvatiti strukturalnu sličnost matrica. Nekolicina autora ističe važnost strukturalne sličnosti s referentnom matricom kao važnu mjeru kvalitete matrice jer visoka razina strukturalne sličnosti može biti prisutna i kod matrica s manjom razinom sličnosti prema statističkim mjerama. Također, strukturalna sličnost je (vizualno) vidljiva u grafičkom obliku matrice.

#### 3.3.1 MSSI

Mean Structural Similarity index (MSSIM) dolazi iz područja računalne obrade slike i koristi se kao mjera usporedbe digitalnih slika (*eng. measure of comparison*). U prometu ideja o korištenju MSSIM za mjerenje sličnosti matrica se prvi puta spominje

### *Poglavlje 3. Postojeće metrike za validaciju POM-a*

i demonstrira na simuliranim matricama dobivenim iz referentne matrice dodavanjem šuma. [27]

Structural Similarity index (SSIM) bazira se na degradaciji strukturalnih informacija na jednoj slici u usporedbi s drugom (referentnom) slikom. SSIM se računa za svaki blok veličine  $N \times N$  na način da se jezgra (da bi obuhvatila novi blok) pomiče ćeliju po ćeliju dok ne prođe preko cijele slike. MSSIM je srednja vrijednost svih SSIM.

**osnovni**

[27]

**poboljšani**

[5][28]

## Poglavlje 4

# Odnosni parametri kvalitete

Parametar - varijabla o kojoj ovisi određeni logički izraz, matematička formula ili funkcija, a koju promatramo kao dodatnu ovisnost u izrazu koji se definira kao da je ta vrijednost čvrsta.

### 4.1 Zajednički, objektivni kriteriji usporedbe

Kod generiranja matrica treba definirati hoće li se putovanja koja se protežu kroz više perioda dodijeliti vremenskom periodu u kojem započinju ili u kojem završavaju. Iako ponekad nije specificirano, [26] [29] sva putovanja dodjeljuju intervalu u kojem je putovanje započeto.

Isti grad

Isto doba godine

Isto vremensko razdoblje

Week day, work day

-Ima li matrica diagonalu? - kada se preslikava bs ćelije na drugi oblik, nastaju putovanja unutar novih ćelija (koje su veće od bs ćelija) [15]

## **4.2 Komparacijski indikatori**

### **4.2.1 Vremenski okvir**

Departure/Arrival time

### **4.2.2 Razlučivost (Rezolucija)**

Prema hrvatskoj enciklopediji definicija razlučivosti (rezolucije) glasi: mjera za razaznavanje sitnih pojedinosti na nekom prikazu (npr. televizijskoj slici). U računalstvu se odnosi na finoću rasterske slike iskazanu ukupnim brojem slikovnih elemenata (relativna razlučivost) ili brojem slikovnih elemenata po inču (stvarna razlučivost). točnost položaja

### **4.2.3 Širina toka**

Ukupan broj odlazaka/dolazaka po vremenskom okviru za cijelu matricu. Obuhvaća pješački promet

### **4.2.4 Geometrija prostorne podjele**

(ne)uniformna podjela ...

### **4.2.5 Definicija putovanja**

**Infrastruktura**

Obuhvaća pješački promet

#### **4.2.6 Gustoća informacija - kontekst**

Dani u tjednu - radni dani/petak/vikend

Sezonske razlike

### **4.3 Međuovisnost parametara**

Ukoliko je rezlucija mala (velike ćelije) nema potrebe za preciznim definiranjem kraja



# Bibliografija

- [1] J. Xie, Y. Nie, and X. Liu, “Testing the proportionality condition with taxi trajectory data,” *Transportation Research Part B Methodological*, May 2017.
- [2] M. K. Ng and W. S. Tang, “The Role of Planning in the Development of Shenzhen, China: Rhetoric and Realities,” *Eurasian Geography and Economics*, July 2014.
- [3] S. Scepanovic, I. Mishovski, P. Hui, J. K. Nurminen, and A. Yla-Jaaski, “Mobile Phone Call Data as Regional Socio-Economic Proxy Indicator,” *PLoS ONE*, 2015.
- [4] M. Cools, E. Moons, and G. Wets, “Assessing the Quality of Origin-Destination Matrices Derived from Activity Travel Surveys,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2010.
- [5] T. Pollard, N. Taylor, T. van Vuren, and M. MacDonald, “Comparing the Quality of OD Matrices in Time and Between Data Sources,” *European Transport Conference*, 2013.
- [6] M. Alhazzani, F. Alhasoun, Z. Alawwad, and M. C. González, “Urban Attractors: Discovering Patterns in Regions of Attraction in Cities,” *Public Library of Science*, 2016.
- [7] A. Peterson, “The Origin-Destination Matrix Estimation Problem- Analysis and Computations,” Ph.D. dissertation, Linköping Studies in Science and Technology, 2007.
- [8] N. Jelusic, “Telematicka sucelja (nastavni tekst),” 2016.
- [9] M. Coscia and R. Hausmann, “Evidence that Calls-based Mobility Networks are Isomorphic,” *Working Papers - Center for International Development at Harvard University*, 2015.

## Bibliografija

- [10] V. Frías-Martínez, E. Frías-Martínez, and C. S. Ruiz, “Estimation of urban commuting patterns using cellphone network data,” 2012.
- [11] D. Gundlegard, C. Rydergren, N. Breyer, and B. Rajna, “Travel demand estimation and network assignment based on cellular network data,” *COMPUTER COMMUNICATIONS*, 2016.
- [12] (06.05.2019) ecall. , s Interneta, <https://en.wikipedia.org/wiki/ECall>
- [13] J. Goulding, *Best Practices and Methodology for OD Matrix Creation from CDR data*, N/LAB, University of Nottingham, 2016.
- [14] F. Calabrese, G. D. Lorenzo, L. Liu, and C. Ratti, “Estimating Origin-Destination flows using opportunistically collected mobile phone location data from one million users in Boston Metropolitan Area,” *IEEE Pervasive Computing* 10, no. 4, pp. 36–44., April, 2011.
- [15] E. Graells-Garrido and D. Saez-Trumper, “A Day of Your Days: Estimating Individual Daily Journeys Using Mobile Data to Understand Urban Flow,” 2016.
- [16] J. L. Toole, S. Colak, B. Sturt, L. P. Alexander, A. Evskoff, and M. C. González, “The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources,” *Transport Research Part C*, 2015.
- [17] F. Bahoken and A.-M. Olteanu-Raimond, “Designing Origin-Destination Flow Matrices from Individual Mobile Phone Paths: The effect of spatiotemporal filtering on flow measurement,” in *ICC 13 - 26th International Cartographic Conference, Aug 2013, DRESDEN, Germany. ICC 13 - 26th International Cartographic Conference 15p*, 2013., hal-01011987v2.
- [18] C. M. Schneider, V. Beik, T. Couroné, Z. Smoreda, and M. C. González, “Unraveling daily human motifs,” *J. R. Soc. Interface*, no. 10, May 2013.‘.
- [19] (03.06.2019) Teralytics. , s Interneta, <https://thenewstack.io/teralytics-takes-big-data-approach-human-movement/>
- [20] I. Stupar, P. Martinjak, V. Turk, and R. Filjar, “Socio-Economic Origin-Destination Matrix Derivation Through Contextualization of Material World,” *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 2018.
- [21] M. Filić, R. Filjar, and K. Vidović.
- [22] Data description for urbancps. , s Interneta, <https://www-users.cs.umn.edu/~tianhe/BIGDATA/>

## Bibliografija

- [23] H. Zhao and Y. Zhao, “Traffic analysis zones - how do we move forward?” *AASHTO CTPP and TRB Joint Conference, Applying Census Data for Transportation*, 2017.
- [24] E. Mellegard, “Obtaining origin-destination- matrices from cellular network data,” Master’s thesis, Chalmers University of Technology, Department of Mathematical Sciences, 2011.
- [25] A. Travassoli, A. Alsger, M. Hickman, and M. Meshbah, “How close the models are to the reality? Comparison of Transit Origin-Destination Estimates with Automatic Fare Collection Data,” *Australian Transport Research Forum*, 2016.
- [26] S. Bera and K. V. K. Rao, “Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art,” *European Transport Trasporti Europei n. 49*, 2011.
- [27] T. Djukić, “Reliability assessment of dynamic OD estimation methods based on structural similarity index,” *92nd meeting of the Transportation Research Board*, 2013.
- [28] T. van Vuren, “256 shades of gray - comparing OD matrices using image quality assessment techniques,” *Scottish Transport Applications Research (STAR)*, 2015.
- [29] M. Filić, R. Filjar, and K. Vidović, “Graphical Representation of Origin-Destination Matrix in R Statistical Environment,” in *36. skup o prometnim sustavima s međunarodnim sudjelovanjem AUTOMATIZACIJA U PROMETU*. KoREMA, November 2016.

# Pojmovnik

**ANPR** Automatic Number Plate Recognition. 3

**CDR** Call Data Records ili Charging Data Records. 5–9, 11–13, 18

**D4D** Data for Development. 13

**FCD** Floating Car Data. 5

**FPD** Floating Phone Data (Floating Cellular Data). 5

**GIS** Geographic Information System. 9

**GNSS** Global Navigation Satellite System. 5, 7

**GPS** Global Positioning System. 8, 12

**GSM** Global System for Mobile (Communications). 5, 6

**HW** Home-Work. 7, 18

**MSSIM** Mean Structural Similarity index. 18, 19

**ODM** Origin-destination Martix. 1

**OSM** OpenStreetMap. 9, 11

**POIs** Points of Interest. 8, 9

**POM** Polazišno-Odredišna Matrica. 4, 6

**RSI** Road Side Interview. 3

**SSIM** Structural Similarity index. 19

**TAZ** Traffic Analysis Zone. ix, 10, 11

**WH** Work-Home. 7, 18

# Sažetak

Ovo je tekst u kojem se opiše sažetak vašega rada. Tekst treba imati duh rekapitulacije što je prikazano u radu, nakon čega slijedi 3-5 ključnih riječi (zamijenite dolje postavljene općenite predloške riječi nekim suvislim vlastitim ključnim riječima).

***Ključne riječi*** — Polazišno-odredišna matrica, parametri kvalitete, usporedba

## Abstract

This is a text where a brief summary of your work is outlined. The text should have a sense of recap of what was presented in the thesis, followed by 3-5 keywords (replace the general keyword templates below with some meaningful keywords of your own) .

***Keywords*** —Origin-Destination Matrix, quality parameters, keyword 3

# Dodatak A

## Naslov priloga

A.1 Naslov sekcije

A.2 Naslov sekcije