



UNIVERZITET U NIŠU  
ELEKTRONSKI FAKULTET



**Čedomir B. Vasić**

**RELOKACIJA RESURSA  
U DRUMSKOM SAOBRAĆAJU  
ZASNOVANA NA UPOTREBI PODATAKA  
IZ GPS BAZIRANIH SISTEMA  
ZA PRAĆENJE POKRETNIH OBJEKATA**

doktorska disertacija

Niš, 2015.



UNIVERZITET U NIŠU  
ELEKTRONSKI FAKULTET



**Čedomir B. Vasić**

**RELOKACIJA RESURSA  
U DRUMSKOM SAOBRAĆAJU ZASNOVANA  
NA UPOTREBI PODATAKA  
IZ GPS BAZIRANIH SISTEMA  
ZA PRAĆENJE POKRETNIH OBJEKATA**

doktorska disertacija

Tekst ove doktorske disertacije

stavlja se na uvid javnosti,

u skladu sa članom 30., stav 8. Zakona o visokom obrazovanju

("Sl. glasnik RS", br. 76/2005, 100/2007 - autentično tumačenje, 97/2008, 44/2010, 93/2012,  
89/2013 i 99/2014)

**NAPOMENA O AUTORSKIM PRAVIMA:**

Ovaj tekst se smatra rukopisom i samo se saopštava javnosti (član 7. Zakona o autorskim i  
srodnim pravima, "Sl. glasnik RS", br. 104/2009, 99/2011 i 119/2012).

Nijedan deo ove doktorske disertacije ne sme se koristiti  
ni u kakve svrhe, osim za upoznavanje sa sadržajem pre odbrane.

Niš, 2015.



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING



**Čedomir B. Vasić**

**RELOCATION OF RESOURCES  
IN ROAD TRANSPORTATION  
BASED ON THE USE OF DATA  
FROM THE GPS BASED SYSTEMS  
FOR MOVING OBJECTS TRACKING**

doctoral dissertation

Niš, 2015.

# Podaci o mentoru i članovima komisije:

Mentor: prof. dr Dejan D. Rančić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet

Član komisije:

Član komisije:

Član komisije:

Član komisije:

Datum odbrane:



# Podaci o doktorskoj disertaciji:

## Naslov doktorske disertacije:

Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata.

## Rezime:

U ovoj doktorskoj disertaciji pokazano je da podaci koji se čuvaju u istoriji kretanja vozila u drumskom saobraćaju, a nalaze se u bazi podataka koja je deo sistema za praćenje vozila na bazi GPS-a, mogu biti odlična polazna osnova u rešavanju problema lokacijske optimizacije. Opisan je kompletan sistem koji je nakon teoretskog razmatranja praktično implementiran i stavljen u funkciju, u skladu sa potrebama i zahtevima Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu. Tokom realizacije ovog zaokruženog sistema, u program za praćenje vozila, ugrađen je modul koji rešava klasičan problem alokacije i relokacije resursa u drumskom saobraćaju na jedan inovativan način. Za potrebe rešavanja problema **p-medijane** konstruisan je optimizacioni algoritam i analizirano nekoliko aspekata praktične primene predloženog rešenja. Razmatran je uticaj različitog obima ulaznih podataka i uticaj upotrebe različitog tipa rastojanja između lokacija koje može biti euklidsko, rutirano ili vremensko. Performanse predloženog algoritma upoređene su sa performansama algoritama opisanih u sličnim projektima.

## Ključne reči:

Lokacijska optimizacija, relokacija resursa, p-medijana, genetski algoritam, relokacija vozila Službe za hitnu medicinsku pomoć, euklidsko, rutirano i vremensko rastojanje.

Naučna oblast:

Tehnološke nauke.

Uža naučna oblast:

Sistemska inženjering i računarska tehnologija.

UDK broj i klasifikaciona oznaka za datu naučnu oblast:

T 120

Hronologija odobravanja teme doktorske disertacije:

**Imenovanje Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije:**

Na sednici Naučno-stručnog veća za tehničko-tehnološke nauke Univerziteta u Nišu održanoj 19.01.2015 godine a na predlog Nastavno-naučnog veća Elektronskog Fakulteta doneta je odluka br: 8/20-01-001/15-010 o imenovanju Komisije i predsednika komisije za ocenu naučne zasnovanosti za izradu doktorske disertacije pod naslovom „Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata“ mr Čedomira Vasića. Imenovani su sledeći članovi komisije:

1. Prof. Dr Dejan Rančić, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski Fakultet u Nišu, (UNO: računarstvo i informatika), predsednik komisije;
2. Prof. Dr Leonid Stoimenov, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski Fakultet u Nišu, (UNO: računarstvo i informatika), član komisije;
3. Prof. Dr Vladan Vučković, vanredni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski Fakultet u Nišu, (UNO: računarstvo i informatika), član komisije;
4. Doc. Dr Bratislav Predić, docent, Univerzitet u Nišu, Elektronski Fakultet u Nišu, (UNO: računarstvo i informatika), član komisije;
5. Prof. Dr Petar Spalević, redovni profesor, Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Fakultet Tehničkih Nauka, (UNO: računarska tehnika i informatika), član komisije.

### **Usvajanje Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije:**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektronskog Fakulteta održanoj 02.04.2015 godine doneta je odluka br: 07-03-023/15-001 o usvajanju predložene teme za izradu doktorske disertacije pod naslovom „Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata“ mr Čedomira Vasića.

### **Saglasnost Naučno-stručnog veća za tehničko-tehnološke nauke Univerziteta u Nišu na usvajanje teme doktorske disertacije:**

Naučno-stručno veće za tehničko-tehnološke nauke Univerziteta u Nišu na sednici održanoj 27.05.2015 godine donelo je odluku br: 8/20-01-005/15-018 o davanju saglasnosti na Odluku o usvajanju teme teme doktorske disertacije mr Čedomira Vasića pod nazivom „Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata“, na Elektronskom Fakultetu u Nišu.

### **Objavljivanje odluke o imenovanju mentora za izradu doktorske disertacije:**

Naučno-stručno veće za tehničko-tehnološke nauke Univerziteta u Nišu na sednici održanoj 27.05.2015 godine donelo je odluku br: 8/20-01-005/15-019 o imenovanju Dr Dejana Rančića, redovnog profesora Elektronskog Fakulteta u Nišu za mentora za izradu doktorske disertacije mr Čedomira Vasića pod nazivom „Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata“.

# Doctoral Dissertation Data:

## Title:

Relocation of resources in road transportation based on the use of data from the GPS based systems for moving objects tracking

## Abstract:

In this thesis it is shown that the data hidden in the history of the vehicles movement in the road traffic, which are recorded in a database as a part of a vehicles tracking system (based on the GPS-system), can be an excellent starting point in the process of location-based optimization problem solving. In addition to the overall system description and substantial theoretical considerations, the new practice is implemented and introduced into service according to the needs and demands of the Emergency medical service in Niš. In the comprehensive vehicles tracking system, a program module dedicated to the resolving of the classical problem of resource allocation and relocation in road traffic, is fitted in an innovative way. The optimization algorithm to solve the well-known **p-median** problem has been designed and several aspects of the practical implementation are analyzed. The influence of the different scale of input data and the impact of the use of different types of the distances between locations (Euclidian, routed or time distances) are considered. The performances of the proposed algorithm were compared with the performances of the algorithms described in similar projects.

## Keywords:

location-based optimization, resource relocation, p-median, genetic algorithm, relocation of ambulances, Euclidian, routed and time distances.

## Scientific Area:

Technological sciences.

## Scientific Sub-Area:

Systems engineering and computer technology.

## UDK and Classification Code for the Scientific Sub-Area:

T 120

## Chronology of the doctoral dissertation approval:

### **Appointment of the Commission for the evaluation of the scientific basis of the doctoral dissertation:**

The Scientific Expert Council for Technical and Technological Sciences of the University of Niš, at the meeting held on 19.01.2015, according to proposal of the Academic and Election Council of the Faculty of Electronic Engineering in Niš, appointed the Commission and the President of the Commission, for the evaluation of the scientific basis of the doctoral dissertation entitled „Relocation of resources in road transportation based on the use of data from the GPS based systems for moving objects tracking“ for the candidate MSc Čedomir Vasić, record No: 8/20-01-001/15-010 date: 19.01.2015. Appointed members of commission:

1. PhD Dejan Rančić, full time profesor, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering Niš, (NSF: computer engineering and informatics), chairman of the commission;
2. PhD Leonid Stoimenov, full time profesor, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering Niš, (NSF: computer engineering and informatics), member of the commission;
3. PhD Vladan Vučković, part-time profesor, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering Niš, (NSF: computer engineering and informatics), member of the commission;
4. PhD Bratislav Predić, docent, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering Niš, (NSF: computer engineering and informatics science), member of the commission;
5. PhD Petar Spalević, profesor, University of Prishtina, temporary displaced in Kosovska Mitrovica, Technical Faculty (NSF: engineering and informatics science), member of commission.

**Approval of the Report of the Commission for the evaluation of the scientific basis of the doctoral dissertation:**

In the session of the Academic and Election Council of the Faculty of Electronic Engineering in Niš (Record No. 07-03-023/15-001), held on 02.04.2015, the Report of the Commission related to evaluation of the scientific basis was approved, for the doctoral dissertation proposed by MSc Čedomir Vasić, entitled „Relocation of resources in road transportation based on the use of data from the GPS based systems for moving objects tracking“.

**The consent of the Scientific Expert Council for Technical and Technological Sciences of the University of Niš on the adoption of the doctoral dissertation:**

The Scientific Expert Council for Technical and Technological Sciences of the University of Niš, at the meeting held on 27.05.2015, gave its consent (Reference No: 8/20-01-005/15-018) on the Faculty's decision on the adoption of the doctoral dissertation entitled „Relocation of resources in road transportation based on the use of data from the GPS based systems for moving objects tracking“ for the candidate MSc Čedomir Vasić.

**Appointment of the advisor, in doctoral dissertation preparation:**

The Scientific Expert Council for Technical and Technological Sciences of the University of Niš, at the meeting held on 27.05.2015, (Reference No: 8/20-01-005/15-019) appointed full-time profesor PhD Dejan Rančić from the University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, as an advisor in preparation of the doctoral dissertation, entitled „Relocation of resources in road transportation based on the use of data from the GPS based systems for moving objects tracking“ of the candidate MSc Čedomir Vasić.

# Sadržaj:

Podaci o mentoru i članovima komisije:.....	I
Podaci o doktorskoj disertaciji:.....	II
Doctoral Dissertation Data:.....	V
Sadržaj: .....	VIII
Slike: .....	IX
Tabele: .....	XI
1. Uvod .....	1
1.1. Uvodne napomene i cilj istraživanja.....	1
1.2. Organizacija disertacije.....	3
2. Postojeća istraživanja u oblasti relokacije vozila.....	6
2.1. Primeri rešavanja problema relokacije ambulantanah vozila.....	6
2.2. Pregled najznačajnijih radova posvećenih lokacijskoj optimizaciji.....	8
2.3. Primena genetskih algoritama u rešavanju problema p-medijane.....	12
3. Teorijska postavka i opis problema.....	16
3.1. Praktični aspekti u formulisanju problema .....	16
3.2. Matematička formulacija problema .....	17
3.3. Opis primenjenog algoritma .....	20
3.3.1 Ekstrakcija odredišta iz arhive .....	20
3.3.2 Izračunavanje početnog rešenja.....	22
3.3.3. Genetski algoritam .....	27
3.3.4. Genetski operatori.....	30
4. Model sistema za relokaciju vozila .....	38
5. Analiza rezultata.....	51
5.1. Analiza rezultata sa stanovišta veličine uzorka.....	51
5.2. Analiza rezultata u zavisnosti od tipa udaljenosti između odredišta...	63
5.3. Poređenje algoritma sa sličnim implementacijama .....	77
6. Zaključak .....	80
7. Literatura .....	82

## Slike:

Slika 3.1. Matrica rastojanja i procedura 1-opt.....	23
Slika 3.2. Primena 1-opt procedure na matricu rastojanja p-puta.....	24
Slika 3.3. Iteracije u proceduri za unapređenje kvaliteta rešenja u II fazi .....	25
Slika 3.4. Struktura hromozoma i formiranje populacije .....	28
Slika 3.5. Operacija ukrštanja tokom neparnog rednog broja ukrštanja .....	32
Slika 3.6. Operacija ukrštanja tokom parnog rednog broja ukrštanja .....	32
Slika 3.7. Problem ulaska u zamku lokalnog minimuma .....	33
Slika 3.8. Tok genetskog algoritma koji čini III fazu modula „GA-GISLAB“ .....	35
Slika 4.1. Šematski prikaz sistema za praćenje vozila .....	39
Slika 4.2. Deo ulaznih podataka pripremljen za ekstrakciju odredišta .....	40
Slika 4.3. Ukupno 218 odredišta ekstrahovanih iz baze tokom perioda od 30 dana.....	41
Slika 4.4. Ponašanje koeficijenta uštede tokom realizacije II i III faze algoritma .....	43
Slika 4.5. Cena rešenja i koeficijent uštede tokom svih 112 iteracija.....	44
Slika 4.6. Konačno rešenje primera: $n=218$ , $p=5$ .....	46
Slika 4.7. Polazni raspored i početna cena primera od 218 odredišta.....	47
Slika 4.8. Raspored odredišta u odnosu na najbližu lokaciju iz rešenja.....	47
Slika 4.9. Istorija kretanja i izbor vozila u aplikaciji GinisAVL .....	48
Slika 4.10. Prikaz informacija na raspolaganju u radu sa programom GinisAVL.....	49
Slika 5.1. Deo ulaznih podataka korišćenih u prvoj fazi algoritma .....	52
Slika 5.2. Raspored 2162, 698, 280 i 62 odredišta na mapi grada.....	54
Slika 5.3. Položaj semi-optimalnih rešenja u sva četiri posmatrana slučaja različitog obima ulaznih podataka .....	55
Slika 5.4. Istovremeno prikazan položaj semi-optimalnih rešenja u sva četiri posmatrana slučaja različitog obima ulaznih podataka .....	57
Slika 5.5. Rešenje za slučaj $n=60$ i $p=5$ i podela površine grada na 5 regiona.....	58
Slika 5.6. Odredišta pridružena najbližem parkingu za $n=697$ i $p=5$ .....	59
Slika 5.7. Ponašanje koeficijenta uštede u zavisnosti od obima ulaznih podataka .....	61
Slika 5.8. Euklidska rastojanja od centralne garaže do 60 odredišta .....	64
Slika 5.9. Rutirane putanje od centralne garaže do 60 odredišta .....	65



Slika 5.10. Optimizaciona rešenja dobijena korišćenjem različitih tipova ulazne metrike za slučaj: $n=60$ , $p=5$ .....	69
Slika 5.11. Ponašanje koeficijenta uštede tokom izvršavanja algoritma.....	71
Slika 5.12. Poređenje koeficijenata uštede nakon umetanja rezultata dobijenih primenom različite metrike u matricu rutiranih rastojanja.....	73
Slika 5.13. Istovremeno prikazana rešenja dobijena korišćenjem različitog tipa rastojanja između odredišta .....	74
Slika 5.14. Razlika u podeli geografskog prostora grada na regione u zavisnosti od različite metrike korišćene prilikom proračuna .....	76
Slika 5.15. Primer ulaznih podataka pripremljen za poređenje sa sličnom implementacijom ( $n=200$ ) .....	77

# Tabele:

Tabela 5.1. Ilustracija broja podataka u bazi za različite vremenske intervale .....	53
Tabela 5.2. Promena cene rešenja u zavisnosti od obima ulaznih podataka .....	60
Tabela 5.3. Rastojanja od centralne garaže do 60 odredišta i $C_{tot}$ .....	67
Tabela 5.4. Vrednosti postignute za optimalne cene rešenja $C_{opt}$ i koeficijent uštede $K_u$ tokom izvršavanja algoritma za različite tipove metrike između odredišta .....	70
Tabela 5.5. „Average Run time Values for $n=200$ “[28] i rezultat GA-GISLAB .....	78

## **1. Uvod**

### **1.1. Uvodne napomene i cilj istraživanja**

Problemi alokacije i relokacije resursa u saobraćaju, kao elementarni optimizacioni problemi, oduvek su bili u žiži interesovanja. Veoma često u prošlosti, a izvesno je da će tako biti i u budućnosti, inženjerska praksa je iznova pristupala rešavanju ovih problema, jer rešenje uvek može biti bolje ili se izračunati brže. Koriste se novi alati i novi algoritmi, te neprekidno preispituje ono što su drugi već uradili. Ukoliko se tome pridoda nova oprema i novi tipovi podataka koji istraživačima postaju dostupni, ne čudi što stari problemi iznova zaokupljaju pažnju.

Ukoliko je osnovni cilj optimizacije razviti model koji omogućava opsluživanje što većeg broja korisnika uz angažovanje što manje resursa, ili ukoliko je cilj stići do planiranih odredišta uz što kraći pređeni put, onda je jasno da istraživanja u ovom pravcu nikada neće prestati, jer i ukoliko se desi da pređeni put možda ne može biti kraći, izvesno je da vreme potrebno da se dođe do rešenja uvek može biti manje. Tehnološki razvoj generiše nove i kvalitetnije ulazne podatke a inovativnost postaje preduslov daljeg napretka u ovoj oblasti.

Fundamentalni napredak u organizaciji drumskog saobraćaja učinjen je najpre razvojem prostornog modela na bazi GIS-a (Geografskih Informacionih Sistema), zatim pojavom savremenih uređaja za satelitsko praćenje kretanja vozila na bazi GPS-a (Sistema za Globalno Pozicioniranje) i na kraju razvojem softvera koji ove uređaje stavlja u funkciju. U dostupnoj literaturi se može naći veliki broj radova i studija vezanih za optimizaciju najrazličitijih sistema u pojedinim urbanim sredinama,

pri čemu se veoma mnogo razlikuju pristup i postavka problema, primenjena metodologija i interpretacija rezultata. Transport robe, vatrogasna služba, prevoz putnika, dostava pošiljki, medicinska pomoć itd. su samo neke od oblasti koje se bave optimizacijom i planiranjem saobraćaja. Najčešće se kao ulazni podaci koriste: gustina naseljenosti, prostorna raspodela korisnika usluge, postojeća saobraćajna mreža, adrese korisnika, itd.

U ovoj disertaciji polazi se od pretpostavke da istorija kretanja vozila može biti odlična polazna osnova za analizu i da podaci o kretanju u prošlosti nude sve neophodne informacije za racionalniju upotrebu vozila u budućnosti. Osnovna ideja je iskoristiti podatke koje generišu GPS-bazirani sistemi za praćenje pokretnih objekata kao polaznu osnovu algoritma za rešavanje problema relokacije resursa. Inovativnost ovog pristupa je sadržana u ideji da se poveže nešto, što po saznanjima autora, do sada, nije bilo povezano na ovako specifičan način. Odnosno, da se podaci o koordinatama, brzini i vremenu kretanja vozila u prošlosti, evidentirani u bazi podataka, iskoriste kao osnova za planiranje optimalnije upotrebe vozila u budućnosti. Predmet istraživanja je određivanje pozicije na kojoj će vozilo Službe za hitnu medicinsku pomoć koje dežura i stoji dispečeru na raspolaganju, biti parkirano i čekati sledeći poziv, odnosno, gde će biti relocirano.

Za potrebe ovakvog pristupa optimizaciji razvijen je originalni metod koji iz raspoloživih podataka najpre ekstrahuje potrebne informacije, zatim izračunava najbolje rešenje i predlaže relokaciju vozila u budućnosti. Postignuto rešenje, kao predlog za raspored parkirališta, prikazuje se u vizuelno prihvatljivoj formi. Primereno ideji o upotrebi podataka koje generiše savremena tehnologija i matematički aparat koji se koristiti u algoritmu pripada, takođe, najnovijoj generaciji numeričkih metoda.

Ciljevi koji su postavljeni na početku ovog istraživanja mogu se posmatrati u dve ravni. Jedna ravan je unaprediti rad postojećeg javnog servisa i razviti zaokruženi

sistem čija eksploatacija osigurava podizanje kvaliteta u radu ovog važnog servisa. Značaj i ulogu Službe za hitnu medicinsku pomoć u sistemu zdravstvene zaštite i posledice koje organizacija ove službe ima na kvalitet života stanovnika na treba posebno naglašavati. Obezbediti sistem koji će doprineti podizanju kvaliteta usluge i unaprediti rad Službe za hitnu medicinsku pomoć je cilj koji mobiliše i motiviše svakog istraživača. Humana priroda institucije kojoj je namenjen predloženi sistem opravdava napore uložene u realizaciju ove disertacije, ma koliki ti napori bili.

Druga ravan je pokazati ispravnost pristupa zasnovnog na upotrebi određene vrste podataka iz prošlosti kao osnove za proračun upotrebe u budućnosti. Iz ovog ugla posmatrano, cilj je bio da se primenom naučnih metoda dokaže da je opravdano osloniti se na informacije skrivene u istoriji kretanja vozila, odnosno dokazati upotrebljivost ovih informacija u algoritmu posvećenom rešavanju problema relokacije resursa.

## **1.2. Organizacija disertacije**

U narednom, drugom po redu, poglavlju, najpre je dato nekoliko primera kako su rešavani slični problemi na nekim drugim mestima u svetu. Odabrana je i komentarisana karakteristična grupa studija izabranih iz ogromnog broja studija koje su danas na tragu rešavanja ovog problema i koje su dostupne u literaturi. Nakon pregleda rešenja, dat je istoriski pregled najznačajnijih radova posvećenih široj oblasti lokacijske optimizacije. Kroz ovaj pregled objašnjeno je kako se tokom godina menjao i napredovao pristup u rešavanju ove grane numeričkih problema. U poslednjem delu drugog poglavlja dat je pregled radova preko kojih je u inženjersku praksu uveden **genetski algoritam** [20, 21, 22, 23] kao meta-heuristički metod koji je primenjen u realizaciji novog metoda. Istovremeno sa rasvetljavanjem puta koji nas je doveo do genetskog algoritma, pojašnjena je i matematička formulacija problema u praksi poznata kao **p-medijana** [5, 6, 7, 8, 9, 10].

U trećem poglavlju je preciznije postavljen i definisan konkretan problem koji ova doktorska teza obrađuje. Najpre je bliže opisana sama priroda Službe za hitnu medicinsku pomoć, čija je dnevna rutina bila polje na kome su praktično realizovana ponuđena teorijska rešenja. Definisani su osnovni parametri geografskog prostora, vremena i red veličine podataka na kojime se radilo tokom izrade disertacije. Data je matematička formulacija i objašnjeni su uslovi koji bliže određuju pojedine aspekte numeričke prezentacije. U okviru ovog poglavlja, detaljno je objašnjen korišćeni algoritam. Kako je osnovna karakteristika primenjenog algoritma činjenica da se sastoji iz tri nezavisne faze, detaljno je objašnjena svaka faza ponaosob. Najviše prostora je posvećeno poslednjoj fazi u kojoj se praktično pomoću genetskog algoritma realizuje meta-heuristika. Detaljno su objašnjeni svi elementi genetskog algoritma i njihova konstrukcija, kao i operatori koji se primenjuju nad ovim elementima. U trećem poglavlju je grafički prikazan i objašnjen tok svake od tri faze algoritma.

Ilustrativni primer i svi aspekti puta koji vodi do rešenja problema dati su u četvrtom poglavlju. Na konkretnom primeru, uz nekoliko različitih ilustracija koje prate taj konkretni primer, slikovito je objašnjen put od ulaznih podataka do rešenja. Grafički je prikazan geografski raspored i priroda ulaznih podataka, zatim sam tok optimizacije i na kraju prezentacija rešenja. Definisan je parametar za merenje kvaliteta samog rešenja i pomoću grafikona prikazano kako se on menja tokom realizacije algoritma. Na kraju poglavlja je prikazano kako radnik u ulozi operatera u „call“-centru Službe za hitnu medicinsku pomoć vidi rezultate i koristi predložena rešenja.

U petom poglavlju analizirani su dobijeni rezultati u zavisnosti od nekoliko različitih aspekata za koje se pretpostavilo da mogu da utiču na kvalitet rešenja. Najpre je razmatran uticaj različitog obima podataka od kojih se polazi u analizi. Ekstrahovano je nekoliko različitih paketa ulaznih podataka, kao rezultat različitih vremenskih intervala prilikom definisanja upita nad bazom podataka. Izvršeno je poređenje kvaliteta postignutih rešenja pomoću (za tu svrhu definisanog) **koeficijenta uštede** i

razmatrane različite okolnosti uočene tokom primene algoritma na različite ulazne podatke. Zatim je analiziran uticaj različitog tipa rastojanja između odredišta na kvalitet rešenja. Predprocesiranjem ulaznih podataka i analizom putne mreže, obezbeđeni su podaci o rutiranim putanjama između odredišta i upoređeni sa rezultatima dobijenim upotrebom euklidskog, odnosno najkraćeg pravolinijskog rastojanja između istih tačaka. Dodatno je analizirana i mogućnost da se pored rastojanja između odredišta posmatra i vreme potrebno da se stigne iz jedne tačke u drugu. Za analizu i poređenje rezultata korišćen je već pomenuti koeficijent uštede. Takođe, kao deo disertacije je razvijen prototip sistema za relokaciju vozila koji koristi predloženi novi metod. Na kraju petog poglavlja, predloženi algoritam je upoređen sa sličnim rešenjima i upoređeno je vreme rada realizovanog prototipa sa sličnim implementacijama. Za potrebe poređenja obezbeđen je računar identičnih performansi i analiziran je primer identičnog obima podataka.

U šestom poglavlju rekapitulirani su zaključci koji proističu iz rezultata dobijenih tokom izrade ove doktorske disertacije, a u sedmom poglavlju dat je pregled korišćene literature.

## **2. Postojeća istraživanja u oblasti relokacije vozila**

### **2.1. Primeri rešavanja problema relokacije ambulantičnih vozila**

Upotreba vozila za hitnu medicinsku pomoć uređena je važećim zakonskim aktima a za sprovođenje zakona i organizaciju Službe za hitnu medicinsku pomoć odgovoran je direktor ovog veoma važnog javnog servisa. Bilo da se radi o prevozu medicinske ekipe do pacijenta ili prevozu pacijenta ka i od zdravstvene ustanove, osnovni cilj je uvek skratiti vreme koje je potrebno da vozilo stigne na određeno mesto. Planiranju Službe za hitnu medicinsku pomoć može se pristupiti sa strateškog i operativnog nivoa. U fazi projektovanja i planiranja službe, odnosno na strateškom nivou, treba doneti odluke o tome gde će garaže i sama služba biti locirane i koliko vozila je neophodno da se ispune zadati ciljevi u pokrivenosti stanovništva adekvatnom uslugom. Na operativnom nivou moguće je unaprediti organizaciju postojeće službe efikasnijom upotrebom postojećih resursa, odnosno vozila, gde spada i alokacija i relokacija resursa korišćenjem optimizacionih tehnika.

Dobar primer upotrebe podataka iz GIS-a u proceni efikasnosti, odnosno vremena odziva vozila za hitnu medicinsku pomoć je dat u radu Estochena, Straussa i Souleyrettea [1]. Oni su iskoristili podatke o saobraćajnim nesrećama u Ajovi (SAD) u periodu od 1990. do 1995. godine, uradili studiju o organizaciji Službe za hitnu medicinsku pomoć i predložili efikasniji raspored vozila. Kako uslov iz dobre prakse u ovoj oblasti kaže da vozilo za hitnu medicinsku pomoć do mesta saobraćajne nesreće treba da stigne za manje od 10 minuta, oni su krenuli od ovog podatka. Pokazali su da je zadato vreme odziva u posmatranom periodu bilo postignuto u 84% slučajeva, a da



se uz minimalne korekcije u organizaciji, zahvaljujući prostornoj analizi uz upotrebu podataka iz GIS-a, za kratko vreme ovaj procenat može unaprediti i podići na 93%.

Lerner [2] i saradnici su među prvima, još 1999. godine kombinovali podatke iz GIS-a i podatke o izvršenom transportu pacijenata i analizirali efikasnost kako automobila tako i drugih prevoznih sredstava, među kojima je bio i helikopter (standardno korišćen između 1993. i 1996. godine u Bufalu, država New York, USA). Rezultati studije su precizne mape zona i predlog kada i koja prevozna sredstava upotrebiti u cilju efikasnijeg prevoza povređenih do bolničkog centra.

Grupa ostrva poznata pod imenom Funen u Danskoj je zahvaljujući svojoj razuđenosti i složenosti putne mreže bila pravi izazov za Lindeskova [3], koji je 2002. godine, kombinujući metode poznate iz oblasti operacionih istraživanja i podatke iz GIS-a, predložio kompletnu organizaciju Službe za hitnu medicinsku pomoć (HMP). Na kraju studije je dat optimalni raspored garaža za parkiranje vozila u zavisnosti od toga koliko je vozila na raspolaganju službi u tom trenutku.

Pasha [4] je 2006. godine objavio sveobuhvatnu studiju i predložio sistem za upravljanje službom za HMP u višemilionskom indijskom gradu Hyderabadu. Podaci iz GIS-a dopunjeni su složenom šemom podataka o zagušenju saobraćaja koje zavisi od sata u okviru jednog dana ili u zavisnosti od toga koji je dan u nedelji. Zagušenost saobraćaja u takozvanim „špicevima“ je jedan od ključnih faktora o kojima treba voditi računa u planiranju Službe za hitnu medicinsku pomoć u gusto naseljenim urbanim sredinama. Indija je usled prenaseljenosti pojedinih gradova odličan poligon za proveru predloženih rešenja.

## **2.2. Pregled najznačajnijih radova posvećenih lokacijskoj optimizaciji**

Lokacijska optimizacija i matematička formulacija ovog problema svoj veliki zamah doživljavaju 60-tih godina prošlog veka sa velikom ekspanzijom privatnog preduzetništva u visoko industrijalizovanim zemljama. Tek kada je cilj koji treba postići postao kristalno jasan, a to je „što niža cena u funkciji konkurentnosti“, istraživačima je izoštren fokus i znali su u kom pravcu treba da idu.

Lokacijska optimizacija je svoju numeričku prezentaciju pomoću diskretnih celobrojnih promenljivih dobila u radovima Hakimija [5]. On je među prvima napravio kvalitativni skok i sa analognog prešao na diskretnu postavku problema, pretpostavivši da rešenja problema mogu ležati samo u diskretnim čvorovima grafa. Ograničenu površinu na kojoj je formulisan problem, premrežio je i prilagodio teoriji grafova. Matematički je dokazao da postoji najmanje jedno optimalno rešenje [6]. Prvi je predložio jednostavnu proceduru pod imenom „direktna numeracija“ za izračunavanje jednog ili više optimalnih čvorova.

Vrlo brzo su problemi lokacijske optimizacije počeli da se granaju i dobijaju različite matematičke formulacije pri čemu je najveći uticaj imao drugačije prethodno definisan cilj optimizacije. Pokazalo se da je neophodna jedna postavka problema, u slučaju kada treba minimizirati ukupno rastojanje da se opsluže svi klijenti, a drugačija postavka kada treba obezbediti da vreme potrebno da se stigne do najudaljenijeg klijenta bude kraće od unapred zadatog maksimalnog. Ovu razliku su među prvima uočili ReVelle i Swain [7] pa su različito modelirali ove probleme i nazvali ih: „Location Set Covering Model” (LSCM) i “Maximal Covering Location Problem” (MCLP), pri čemu je MCLP model postavljanja lokacija u funkciji maksimalne ciljne pokrivenosti. Istovremeno su ponudili i algoritme za rešavanje zasnovane na tehnici linearnog programiranja uz upotrebu celobrojnih promenljivih. To su bile originalne numeričke metode koje su i danas bazični radovi u ovoj oblasti.

Vrlo brzo je postalo jasno da direktno izračunavanje nije moguće primeniti u slučaju problema većih dimenzija, pa se krenulo sa primenom heurističkih metoda. Ove metode se po pravilu sastoje iz dve faze. Zadatak prve faze je pronalaženje početnog rešenja, dok se u drugoj fazi, kroz određeni broj iteracija, ovo rešenje poboljšava i eventualno dostiže optimalni rezultat ili mu se bar približava dovoljno blizu. Tri najstarije heuristike su „greedy“ – metoda, metoda „alternacije“ i metoda „supstitucije čvorova“.

“Greedy” - metoda ili „proždjiva“ metoda uvedena je u praksu radom Kuehn i Hamburgera [8] i izvorno rešava problem kako pozicionirati  $p$  magacina iz kojih uz najmanje troškove treba snabdeti  $n$  kupaca. Formira se početni skup od  $p$  magacina i pretpostavlja da svaki od  $n$  čvorova mreže može biti kandidat za konačno rešenje problema. Redom se uzima svaki čvor i izračunavaju ukupni troškovi snabdevanja svih kupaca uz pretpostavku da se uvek kreće na put iz tog istog čvora. Ukoliko su ukupni troškovi snabdevanja manji od već postignutog rezultata, trenutno ispitivani čvor ulazi u set koji čini rešenje a najnepovoljniji čvor se izbacuje iz rešenja. Postupak se ponavlja dok se ne ispituju svi čvorovi i ne popuni traženi broj magacina. Metoda je brza i efikasna ali ima i jednu veliku manu, a to je činjenica da svi sem jednog čvora ostaju u rešenju pri svakoj narednoj iteraciji pa se po pravilu brzo upada u zamku koju prestavlja lokalni minimum, dok globalni minimum ostaje nedostignut.

Heuristika „alternacije“ koju je predložio Maranzana [9] tokom iteracija generiše nove kandidate za komplet lokacija koje čine jedno rešenje od  $p$  čvorova u svakom narednom koraku, pri čemu se garantuje da je dobijeni komplet ili bolji ili u najgorem slučaju po kvalitetu identičan prethodnom. Početni komplet od  $p$  kandidata se dobija slučajnim izborom. Metoda linearno konvergira ka sve boljem rešenju, ali slučajan izbor početnog kompleta ne garantuje da ćemo na kraju i postići optimalno rešenje. Slučajni izbor početnog kompleta sa velikom verovatnoćom uvodi algoritam u

lokalni minimum jer nema dovoljno dobre strategije da se napravi kvalitativni skok i pobjegne iz uzane oblasti u neposrednoj okolini lokalnog minimuma.

Teitz i Bart [10] su autori heurističke metode poznate kao „supstitucija čvorova“. Ovo rešenje se danas vrlo često koristi kao jednostavno i brzo rešenje primereno efikasnoj inženjerskoj praksi. Osnovna procedura koja se koristi i neprekidno ponavlja tokom iteracija i na kojoj se zasniva ova metoda je procedura poznata kao „**one-opt**“, „**1-opt**“ ili „**prva medijana**“. Početni komplet lokacija koje čine početno rešenje se dobija egzaktnim izračunavanjem prve medijane i ponavljanjem proračuna  $p$  puta za svaku narednu medijanu. Određivanje početnog kompleta lokacija Teitz i Bartovom metodom je neposredno i vrlo efikasno, međutim nepraktično za mreže sa velikim brojem čvorova. U tom slučaju je i početni komplet lokacija neophodno odrediti na neki drugi, računski manje zahtevan, način. U drugoj fazi ove metode svi čvorovi se raspoređuju u jedan od  $p$  podskupova u zavisnosti od toga koja im je medijana iz početnog seta najbliža. U praksi se ovaj postupak naziva **nalaženje najbližih susednih čvorova** ili „**komšija**“. Na svaki ovako dobijeni podskup, ponaosob se ponovo primeni postupak izračunavanja prve medijane i ukoliko se pronade bolji kandidat, vrši se „**supstitucija čvorova**“. Ceo postupak se vraća na početni skup od  $n$  čvorova i počinje nova iteracija nalaženjem novih  $p$  podskupova komšija i tako dalje, sve dok se ne iscrpi unapred zadati broj iteracija. Kako je ovo praktično „proždrljiva“ metoda uz unapređenje koje donosi supstitucija čvorova, jasno je da i ova metoda pati od istog osnovnog nedostatka kao i „proždrljiva“ metoda, a to je da lako upada u zamku zvanu „lokalni minimum“. Densham i Rushton [11] su unapredili metod „supstitucije čvorova“ i skrenuli pažnju na prostornu raspodelu čvorova kao bitan element za ubrzanje algoritma. Unapređenja su tolika da je njihov metod dobio posebno ime „**Global Regional Interchange Algorithm**“ (GRIA). Iako je „supstitucija čvorova“ u praksi najčešće korišćena metoda, da još uvek ima mesta za njeno dalje unapređivanje pokazali su Whitaker [12] a zatim Resende i Weneck [13].

Heuristike koje idu logikom da do rešenja stizemo brže ukoliko ublažimo stroge početne uslove, odnosno „relaksiramo“ problem, uvedene su u praksu imeđu ostalog i radom autora Narula, Ogibu i Samuelssona [14]. Njihov algoritam se zasniva na praćenju ponašanja parametra nazvanog „**subgradijent**“ i u zavisnosti od njegove vrednosti, usmerava se put traženja optimalnog rešenja, pri čemu se postiže značajno skraćenje u broju potrebnih iteracija. Jedna od metoda relaksiranja početnih uslova je i Lagranžeova relaksacija kojom su se bavili mnogi autori, između ostalih i Hribar i Daskin [15].

Eliminacija neperspektivnih oblasti ili čitavih grana u stablu pretraživanja je takođe bila osnova za razvoj nekoliko veoma uspešnih heurističkih metoda za rešavanje problema lokacijske optimizacije. Najpoznatije metode iz ove grupe su: "**branch and bound**", "**brunch and cut**" i „**surogat**“. Surogat metoda koju su razvili Senne i Lorena [16], pokazala se kao jako pogodna za mreže sa ogromnim brojem čvorova.

Heuristike koje su zahvaljujući svojoj opštosti i primenljivosti u različitim oblastima dokazale da imaju visok kvalitet i opšti značaj, nazvane su meta-heuristike. Nezaobilazne meta-heuristike u oblasti lokacijske optimizacije su „**Variable Neighborhood Search**“ ili pretragaživanje u promenljivoj okolini, autora Hansen i Mladenovića [17] uz modifikacije ove metode koje su usledile kasnije. Resende i Werneck [13] su razvili multi-startnu iterativnu meta-heurističku metodu poznatu po sraćenici GRASP (**Greedy Randomized Adaptive Search Procedure**). Iteracije podsećaju na već pomenutu proždrljivu heurističku metodu, a svaki novodobijeni kandidat za rešenje problema se upoređuje sa skupom već zapamćenih kandidata kroz postupak koji se naziva „**path-relinking**“, odnosno **pre-povezivanje**. Kad se algoritam prekine, zapamćeni kandidati se kombinuju i formira se optimalno rešenje.

Rolland, Schilling i Current [18] su definisali meta-heurističku metodu nazvanu „**Tabu**“ procedura. Uvode pojmove kao što su restrikcija, kriterijum

aspiracije, diversifikacija i strateške oscilacije. Između ostalog, restrikcije nas sprečavaju da se iznova vraćamo na dokazano pogrešna rešenja a diversifikacija pomaže da izađemo iz lokalnog minimuma, jer utiče na algoritam tako što onemogućava višestruko ponavljanje jednog te istog neproduktivnog koraka.

Poslednjih godina razvijene su čitave grupe meta-heuristika zasnovanih na kopiranju mehanizama uočenih u prirodi. Sve moćniji hardver, u kombinaciji sa još moćnijim softverskim alatima, omogućili su razvoj algoritama kao što su **simulirano kaljenje, genetski algoritmi, neuronske mreže, mravlje kolonije**, itd. Kao veoma pogodna metoda za rešavanje problema lokacijske optimizacije, pokazalo se kopiranje procesa hlađenja kristalne rešetke metala pri čemu postepeno hlađenje predstavlja postepeno približavanje optimalnom lokacijskom rešenju. Bolcmanova konstanta, razlika u temperaturi i vreme, povezane u poznatu formulu iz termodinamike, definišu brzinu hlađenja, odnosno brzinu konvergencije. Sporije hlađenje istovremeno smanjuje rizik ulaska u oblast lokalnog minimuma. Primenu Simuliranog kaljenja na rešavanje problema lokacijske optimizacije vrlo uspešno su opisali Chiyoshi i Galvao [19]. Jedna od najpoznatijih meta-heuristika je primena genetskih algoritama. Praktični deo sistema opisanog u ovoj disertaciji realizovan je upravo primenom prilagođenog genetskog algoritma, pri čemu su posebno za prilagođeni algoritam definisani njegovi karakteristični elementi.

### **2.3. Primena genetskih algoritama u rešavanju problema p medijane**

Genetski algoritmi rešavanju problema pristupaju na način inspirisan Darwinovom teorijom evolucije, odnsno do konačnog rešenja se dolazi sukcesivnim generisanjem više generacija populacije koju čini skup rešenja, pri čemu vremenom populacija evoluiru i postaje sve kvalitetnija a rešenje bliže postavljenom cilju. Algoritam počinje formiranjem skupa rešenja pod imenom početna populacija. Primenom operatora selekcije, ukrštanja i mutacije, generiše se nova generacija

populacije koja je bolja i prilagođenija od prethodne. Ukoliko obezbedimo odgovarajuće operatore i postignemo da svaka sledeća generacija populacije bude bolja od prethodne, na kraju ćemo, uz veliku verovatnoću, doći do optimalnog a zasigurno do semi-optimalnog rešenja koje je voma blizu optimalnom.

Za autora izvornog genetskog algoritma smatra se Holland [20] koji je u svojoj knjizi izdatoj 1975. godine postavio osnove ove meta-heuristike. Iako je od tada prošlo već 40 godina, smatra se da osnovni principi koje je on tada uspostavio važe i danas. Jedan od nezaobilaznih radova koji je trasirao put primeni genetskih algoritama za rešavanje problema lokacijske optimizacije objavili su Hosage i Goodchild [21] 1986. godine i njihov rad je školski primer rešavanja problema  $p$  medijane.

Na početku svakog genetskog algoritma formira se jedinka koja nosi genetski kod, a po analogiji sa teorijom evolucije ovu jedinku nazvamo **hromozom**. Jedan hromozom je jedno rešenje problema izdvojeno iz zamišljenog skupa svih mogućih rešenja. Kodiranje hromozoma je najčešće binarno ali može biti realizovano i na neki drugi način. Početna populacija je konačan skup hromozoma izabranih iz skupa svih mogućih rešenja. U praksi veličina populacije ne prelazi red veličine od nekoliko stotina. Veličina populacije prilikom rešavanja problema lokacijske optimizacije zavisi od odnosa ukupnog broja kandidata  $n$  i broja jedinica resursa koji treba locirati  $p$ . Veoma upotrebljivu a jednostavnu formulu za određivanje veličine populacije prilikom rešavanja problema vezanih za lokacijsku optimizaciju dali su Alp, Erkurt i Drezner [22].

Za uspešan genetski algoritam veoma je važno definisati adekvatnu funkciju prilagođenosti, odnosno kvantifikovati kvalitet jednog hromozoma. Dobro izabrana funkcija prilagođenosti je osnovni preduslov za kvalitetnu procenu napretka koji postizemo sa svakom novom populacijom.

Operator selekcije se koristi da iz populacije izaberemo jedinke koje će učestvovati u formiranju nove generacije. Logika evolucije sugeriše da će bolje prilagođene jedinke na novu generaciju preneti kvalitetniji genetski materijal, tako da je zadatak selekcije da primenom funkcije prilagođenosti izabere kvalitetnije hromozome. Loši hromozomi vremenom ispadaju iz populacije i sužava se prostor da loš genetski materijal bude prenet na nove generacije. Ukrštanjem dva selekcijom izabrana hromozoma, dobijamo dva potpuno nova hromozoma tako što su delovi hromozoma roditelja zamenili mesta i formirali nove hromozome koji predstavljaju potomstvo. Na novonastale hromozome primenjuje se operator mutacije, odnosno, jedan ili više gena u okviru hromozoma zameni se nasumično izabranim genom iz skupa svih mogućih gena. Mutacijama se osigurava raznovrsnost među hromozomima a dobrom definicijom operatora mutacije osigurava se izlazak iz oblasti lokalnog minimuma. Uticaj dobrog izbora osnovnih operatora na kvalitet genetskog algoritma u rešavanju optimizacionih problema objasnili su Lorena i Furtado [23].

Primenom pomenutih operatora, generišu se nove generacije sve do okončanja algoritma. Kraj petlje dolazi nakon dostignutog predviđenog broja generacija, ili nakon uočene pojave da nove generacije više ne doprinose daljem unapređenju kvaliteta rešenja. Do prekida algoritma nekada dolazi i kada se postigne unapred zadata vrednost funkcije kvaliteta.

Primena genetskih algoritama ima nekoliko vrlo značajnih prednosti u odnosu na ostale meta-heurističke metode. Najveća prednost je mogućnost modularnog projektovanja i razvoja koji može biti potpuno nezavisan od konkretne primene. Inventivnom konstrukcijom osnovnih operatora, funkcije cilja i funkcije prilagođenosti, moguće je modelirati veoma različite i složene ciljeve ili kombinacije različitih zahteva. Genetski algoritmi se lako prilagođavaju paralelnom procesiranju što dovodi do efikasnije upotrebe raspoloživih resursa. Što algoritam duže radi, rešenje je bolje. Međutim, i nakon samo par generacija korisnik ima nekakvo rešenje, tako da prekid u



izvršavanju algoritma usled pad sistema ili usled nekog drugog razloga nije nepopraviva katastrofa. Najveći nedostatak genetskog algoritma su njegovi zahtevi za resursima u računarskoj snazi i vremenu koji izvršavanje algoritma zahteva. Međutim taj nedostatak danas u praksi postaje veoma relativna stvar.

Razvojem i proučavanjem genetskih algoritama ozbiljno su se bavili i domaći stručnjaci a posebno matematičari sa Matematičkog Fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Univerzalni program koji je moguće primeniti u mnogim oblastima objašnjen je u radu profesora Jozefa J. Kratice [24], a primena ovog programa na rešavanje različitih lokacijskih problema u radu njegove saradnice Zorice Stanimirović [25].

### **3. Teorijska postavka i opis problema**

#### **3.1. Praktični aspekti u formulisanju problema**

Služba za hitnu medicinsku pomoć u Nišu je javni servis koji svoje usluge svakodnevno pruža ne samo stanovnicima grada Niša već i stanovnicima 68 prigradskih i seoskih naselja. Na površini od oko 600km<sup>2</sup> živi preko 300.000 stanovnika i za njihove potrebe ova služba koristi oko 30 standardnih vozila hitne medicinske pomoći i još nekoliko vozila specijalne namene. Sva vozila su relativno nova, odlično opremljena savremenim medicinskim uređajima i dodatnom opremom u koju spadaju i uređaji za satelitsko praćenje kretanja. Dežurna služba podrazumeva smenu od 8 sati tokom koje je u svakom trenutku od 3 do 5 ekipa u pripravnosti i spremno čeka na poziv da momentalno reaguje i odgovori na zahtev korisnika, a prema instrukcijama koje dobije od dežurnog dispečera. Ekipu sačinjavaju: vozač, medicinski tehničar i lekar. Po preuzimanju vozila i opreme oni stoje na raspolaganju dispečeru koji u „call“-centru analizira pristigle pozive i odlučuje ko će, gde i kada biti upućen. Kada nisu na terenu, dežurna vozila su u centralnoj garaži a ekipe u sobi za odmor Službe za hitnu medicinsku pomoć. Ostala vozila su takođe u garaži, priključena na uređaje za punjenje akumulatora, ili je u toku redovno održavanje, dopuna goriva, pranje i sl. Pored vozila i ekipa koje dežuraju, u garaži je u svakom trenutku pripravno još nekoliko vozila za slučaj iznenadne vanredne situacije. Osoblje za ova vozila se angažuje na nekoliko različitih načina, prema potrebi.

Pretpostavka od koje se krenulo u ovoj disertaciji je da vozila i dežurne ekipe nalog za odlazak da intervenišu ne treba da čekaju u centralnoj garaži Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu, već na lokacijama koje su raspoređene tako da skrate put i

vreme odziva. Svako vozilo unapred dobija posebnu lokaciju na koju će ići i čekati tokom dežurstva. U centralnu garažu se vraća tek nakon završetka smene. Prostor na mapi grada praktično se podeli na oblasti pridružene svakom od parkiranih vozila. Određivanje lokacija za parking moguće je sprovesti na dva načina. Jedan je modeliranje procesa i parametara a zatim određivanje traženih lokacija kao najverovatnije najboljih. Kvalitet ponuđenog rešenja zavisi od kvaliteta modela koji je primenjen. Drugi način je analiza prethodnog perioda i određivanje traženih mesta za parking kao lokacija sa kojih bi se već obavljeni posao obavio mnogo racionalnije. Pretpostavka je da, ukoliko bi predložena lokacija predstavljala optimalno rešenje za protekli period od 30 dana, najverovatnije će biti optimalno rešenje i sledećih nekoliko dana. Optimalno rešenje se traži za realno, već završeno, a ne hipotetičko ili pretpostavljeno kretanje vozila. Ovako sprovedena optimizacija ima empirijski karakter i oslikava situaciju iz realnog života. Na drugoj strani, modeliranje i predikcija događaja imaju svojih prednosti ali nose i rizik da se izostavi neki važan činilac od uticaja na rešenje, što može nepovoljno da utiče na sam kvalitet dobijenog rešenja.

### 3.2. Matematička formulacija problema

U prethodnom poglavlju je tokom pregleda radova iz ranijeg perioda, objašnjena priroda i složenost porodice problema kojem pripada i problem koji je obrađen u ovoj disertaciji. Za tip lokacijske optimizacije koji je primeren relokaciji vozila hitne medicinske pomoći, u letiraturi se izkristalisao naziv „**problem  $p$ -medijane**“. Ovaj problem spada u NP-teške probleme i njegova jednostavna postavka kaže: „Kako da na određenom geografskom prostoru postavimo  $p$  servisnih stanica, ako imamo  $n$  zahteva za pružanje usluge a istovremeno zahtevamo da zbir vremena potrebnog da se udovolji svim zahtevima bude minimalan?“. Lokacije sa kojih se pruža usluga nazivaju se medijane, pa je i ceo problem nazvan problem  $p$ -medijane.

Već je pomenuta razmera vremenske i memorijske složenosti ovog tipa problema kombinatorne optimizacije. Formula po kojoj se izračunava broj mogućih rešenja za proizvoljno  $n$  i  $p$  je:

$$\binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad (3.1)$$

Ukoliko je  $n=1000$  a  $p=10$ , ukupan broj mogućih rešenja za koje treba izračunati vrednost i uporediti ih je:  $2,63 \times 10^{23}$  što je očigledno ogroman broj. Ukoliko želimo da procenimo ukupan broj prostih matematičkih operacija potrebnih za realizaciju proračuna, ovaj već sam po sebi veliki broj se dalje multiplikuje.

Matematička formulacija problema  $p$ -medijane se svodi na problem linearnog programiranja u čijem se samom središtu nalazi simetrična matrica rastojanja sastavljena od elemenata  $d_{ij}$ , odnosno rastojanja između  $i$ -tog kandidata za optimalno rešenje i  $j$ -te lokacije koju treba servisirati. Sam izraz se u opštem slučaju definiše na sledeći način:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \omega_j \cdot d_{ij} \cdot y_{ij} \quad (3.2)$$

U izrazu (3.2),  $I$  i  $J$  su gornje granice do kojih se kreću celobrojne promenljive  $i$  i  $j$ , i očigledno je da je to u oba slučaja broj  $n$ , jer je svaka od  $n$  lokacija istovremeno i potencijalni kandidat za optimalno rešenje. Parametar  $\omega_j$  je koeficijent težine lokacije  $j$ . Međutim, da bi izraz (3.2) u potpunosti predstavljao ispravnu matematičku formulaciju postavljenog problema, uvode se dodatna ograničenja, odnosno uslovi koji moraju biti ispunjeni i koji samim tim postaju integralni deo same definicije (3.2):

$$\sum_{i \in I} x_i = p \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

$$y_{ij} - x_i \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.5)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.6)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.7)$$

Uslov (3.3) je posledica fizičkog ograničenja u broju vozila i kaže da je ukupan broj vozila koja treba rasporediti ograničen na  $p$ , ali istovremeno i nalaže da moramo da rasporedimo svih  $p$  vozila. Uslov (3.4) definiše pretpostavku da se na jedan poziv odaziva samo jedno vozilo, odnosno da svakoj destinaciji pridružujemo samo jedno parking mesto. Ukoliko na parking mestu  $i$ , koje opslužuje posmatranu lokaciju  $j$ , nema vozila, očigledno je da tada nemamo moguće rešenje, pa uvodimo uslov (3.5). Uslov (3.6) definiše činjenicu da na jednom parkingu može biti samo jedno celo vozilo. Fizički je nemoguće jedno vozilo podeliti na dve ili više lokacija. Sličnu činjenicu opisuje i uslov (3.7) koji kaže da na intervenciju može da krene samo jedno celo vozilo, odnosno na intervenciju ne mogu da krenu dve polovine vozila sa dve različite lokacije. Uslovima (3.6) i (3.7) je problem uveden u oblast celobrojne aritmetike, pri čemu samo treba povesti računa da se u interpretaciji rastojanja  $d_{ij}$  takođe ostane pri celobrojnim vrednostima.

Uslovi od (3.3) do (3.7) mogu biti promenjeni u dva pravca. Ukoliko je to sa stanovišta rešavanja problema opravdano, neki od ovih uslova može biti ublažen ili čak izostavljen. Odustajanje ili ublažavanje ograničenja u praksi se naziva „relaksacija“ problema i najčešće se uvodi u cilju dobijanja na efikasnosti sa stanovišta vremena i resursa potrebnih za izvršenje velikog broja matematičkih operacija. Suprotan smer, odnosno zaoštavanje postojećih i uvođenje novih ograničenja uslovljeno je samom postavkom zadatka i zacrtanim ciljem. Tako je, na primer, moguće ograničiti  $d_{ij}$ , čime bi se uvelo maksimalno dozvoljeno vreme odziva na poziv. Moguće je ograničiti maksimalno dozvoljeni broj lokacija koje može da opsluži jedno vozilo i tada se kaže da je u postavku problema uveden **kapacitet** vozila. Kapacitet vozila je ograničenje koje ima snažno uporište u realnom životu i jedan je od obaveznih parametara koje

treba uzeti u obzir tokom projektovanja i modeliranja Službe za hitnu medicinsku pomoć.

### 3.3. Opis primenjenog algoritma

Za realizaciju postavljenog zadatka kreiran je algoritam sastavljen od tri nezavisna dela. U prvoj fazi se iz baze podataka vezane za GIS, ekstrahuju koordinate lokacija od interesa za dalju obradu. U drugoj fazi se izračunava početni set rešenja primenom prilagođene „proždrljive“ metode, dok se u trećoj fazi početni set rešenja meta-heuristički poboljšava kroz veći broj iteracija. Čitav algoritam primenjen za rešavanje problema  $p$ -medijane primeren je maksimalnom broju lokacija koje treba obraditi i za koji se sa sigurnošću može tvrditi da nikada neće biti veći od nekoliko hiljada, pri čemu je i broj vozila koja treba relocirati takođe ograničen. Ukoliko bi se red veličine odredišta popeo na nekoliko desetina hiljada, bilo bi potrebno naći neki novi metod za izračunavanje II faze algoritma, jer primenjeni pristup nije primeren ogromnim vrednostima broja  $n$ . Međutim, nerealno je očekivati da u praksi može doći do tako enormnog povećanja zahteva za uslugom prevoza vozilima Službe za hitnu medicinsku pomoć.

#### 3.3.1 Ekstrakcija odredišta iz arhive

Prva faza algoritma je procedura koja sekvencijalno pretražuje bazu podataka o kretanju svih vozila Službe za hitnu medicinsku pomoć u proteklom periodu. Definisani su kriterijumi i realizovana serija upita, pri čemu se analizom koordinata susednih tačaka ispituje da li se vozilo „kreće“ ili „miruje“. Izdvajaju se i pamte sve tačke do kojih je vozilo stiglo nakon tačaka u kojima se kretalo. Rezultat prve faze algoritma su koordinate  $n$  lokacija do kojih su sva vozila Službe za hitnu medicinsku pomoć doputovala tokom posmatranog perioda. Skup dobijenih  $n$  lokacija se još jednom sekvencijalno pretražuje, koordinate se konvertuju u celobrojne vrednosti

i za lokacije koje se ponavljaju izračunava se koeficijent težine. U slučaju da je rastojanje između dva odredišta manje od unapred definisane minimalne vrednosti, nastavljamo uz pretpostavku da je u pitanju jedna ista lokacija, pri čemu se koeficijent težine te lokacije uvećava za 1. Za prag udaljenosti, odnosno minimalno rastojanje koje razdvaja dve lokacije usvojena je razdaljina od 50 metara. Prilikom očitavanja koordinata lokacije pomoću signala koji generiše GPS sistem, uvek je prisutno određeno rasejavanje. Jednostavan način za anuliranje rasejavanja podrazumeva da na samom početku usvojimo određene aproksimacije vezane za odlučivanje o tome kada se vozilo kreće a kada miruje. Tokom realizacije praktičnog dela disertacije, za minimalno rastojanje ispod čega se smatra da se vozilo ne kreće, usvojena je razdaljina između dve susedne tačke od 50 metara. Pored aproksimacije vezane za minimalnu razdaljinu između dve susedne lokacije, bilo je neophodno definisati i minimalnu brzinu kao granicu između kretanja i mirovanja. Za minimalnu brzinu ispod koje se podrazumeva da vozilo miruje, uzeta je brzina od 3,6 km/h. Uvođenje minimalnog rastojanja i minimalne brzine su posledica same prirode GPS sistema čije je korišćenje besplatno ali uz tačnost koja prati javnu pristupačnost. Veća preciznost ovog sistema je ostala rezervisana za vojne namene ili se omogućava posebnim korisnicima uz komercijalne ugovore i korišćenje dodatne opreme. Međutim, i tačnost koja je raspoloživa tokom besplatnog korišćenja, sasvim zadovoljava potrebe našeg projekta. Eventualno unapređenje našeg sistema za lociranje vozila u pravcu preciznijeg razgraničenja trenutaka kada se vozilo kreće a kada miruje, moguće je realizovati ugradnjom jednostavnih uređaja sa žiroskopom. Ovi uređaji su dostupni na tržištu po niskoj komercijalnoj ceni i njihovim priključivanjem na postojeći kanal za slanje podataka o lokaciji, efikasno bi se unapredio sistem realizovan u praktičnom delu disertacije. Ovaj deo je ostavljen za realizaciju tokom budućeg usavršavanja i unapređivanja sistema.

Tokom ekstrakcije odredišta iz baze podataka bilo je potrebno uvesti još jedan važan uslov koji diktira činjenica da geografski prostor koji posmatramo mora

biti ograničen. Za potrebe ove disertacije, posmatrana je šira gradska oblast grada Niša po pravcu sever-jug ograničena longitudinalnim koordinatama od  $43,22501^\circ$  do  $43,41505^\circ$  a po pravcu istok-zapad ograničena lateralnim koordinatama od  $21,69662^\circ$  do  $22,12423^\circ$ . Sve tačke ekstrahovane iz baze podataka sa pripadajućim koordinatama koje su izvan ovih granica nisu uzimane u obzir za dalju obradu.

### 3.3.2 Izračunavanje početnog rešenja

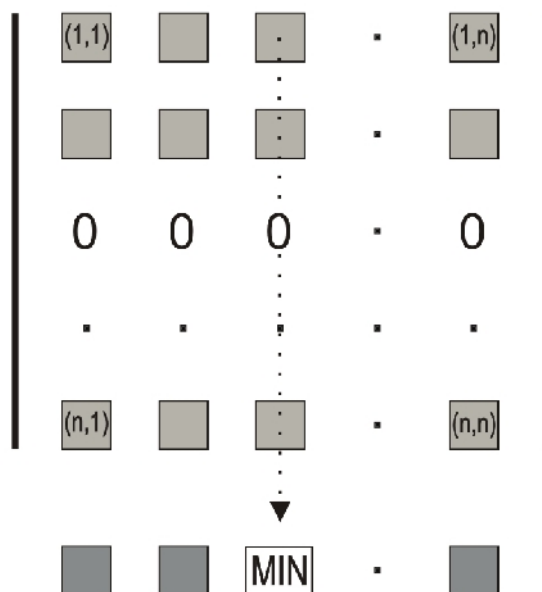
U drugoj fazi algoritma kreće se od osnovne pretpostavke da bilo koja od  $n$  lokacija koje posmatramo, može biti medijana, odnosno deo rešenja našeg problema. Formiramo  $n \times n$  matricu rastojanja ili matricu rastojanja „svakog sa svakim“ i uvodimo težinski faktor svake lokacije. Element matrice  $d_{ij}$  definisan vrstom  $i$  i kolonom  $j$  predstavlja rastojanje od lokacije  $i$  do lokacije  $j$  pomnoženo koeficijentom težine lokacije  $j$ . Popunjavanje elemenata matrice rastojanja radi se samo jednom tokom izvršavanja algoritma i to upravo ovde na početku II faze, dok će sadržaj ovih elemenata biti korišćen veoma često tokom narednih koraka i faza. Zato se elementi matrice pamte kao globalne promenljive, dostupne iz svih procedura.

Krećemo sa pretpostavkom da imamo samo jedno vozilo i da želimo da nađemo najpogodniju lokaciju za njega. Za tu namenu definisaćemo proceduru „jedan-optimum“ ili skraćeno „1-opt“. Šematski prikaz ove matrice dat je na slici 3.1.

U našoj matrici treća kolona je niz rastojanja do svih ostalih lokacija, ukoliko na put krećemo sa parkinga u tački „3“, odnosno, zbir numeričkih vrednosti po trećoj koloni je ukupno rastojanje koje bi trebalo preći ukoliko želimo da servisiramo sve zahteve, pri čemu uvek krećemo iz lokacije u tački „3“. Ovaj zbir je i mera kvaliteta lokacije „3“ i koristićemo ga dalje tokom algoritma za upoređivanje sa drugim lokacijama. Zvaćemo ga „cena“ lokacije. U konkretnom slučaju, izračunavanja vršimo



koristeći rastojanja, međutim, postupak je apsolutno isti i ukoliko se za proračune koristi vreme ili utrošeno gorivo tokom putovanja iz tačke  $i$  u tačku  $j$ .

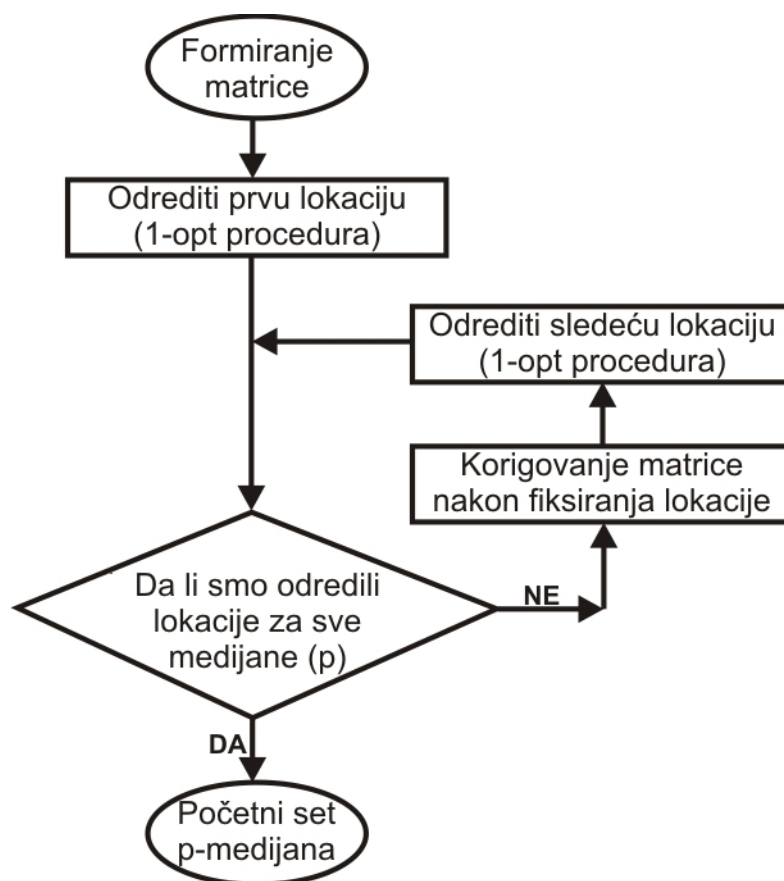


Slika 3.1. Matrica rastojanja i procedura 1-opt

Sabiramo svaku kolonu posebno i poredimo cene lokacija tražeći minimum. Ukoliko se kojim slučajem desi da najmanju vrednost ima baš zbir po trećoj koloni, to znači da ukoliko imamo samo jedno vozilo ono treba da bude parkirano na lokaciji koju definišu koordinate tačke „3“ i to je prva medijana naše matrice rastojanja. U nizu koji čuva izračunate cene lokacija i koji se na slici 3.1 nalazi ispod matrice, ovaj element je obeležen se „MIN“. Naravno, ova cena neće ostati ista tokom daljeg proračuna jer će na nju uticati uvođenje sledećih medijana.

Ukoliko na raspolaganju imamo još vozila, prelazimo na određivanje lokacije za sledeće vozilo. U matrici rastojanja najpre treći red popunjavamo nulama jer je sa bilo koje lokacije do tačke „3“ potrebno preći rastojanje od 0 kilometara saglasno činjenici da u tački „3“ već imamo parkirano prvo vozilo. Ponavljamo 1-opt proceduru

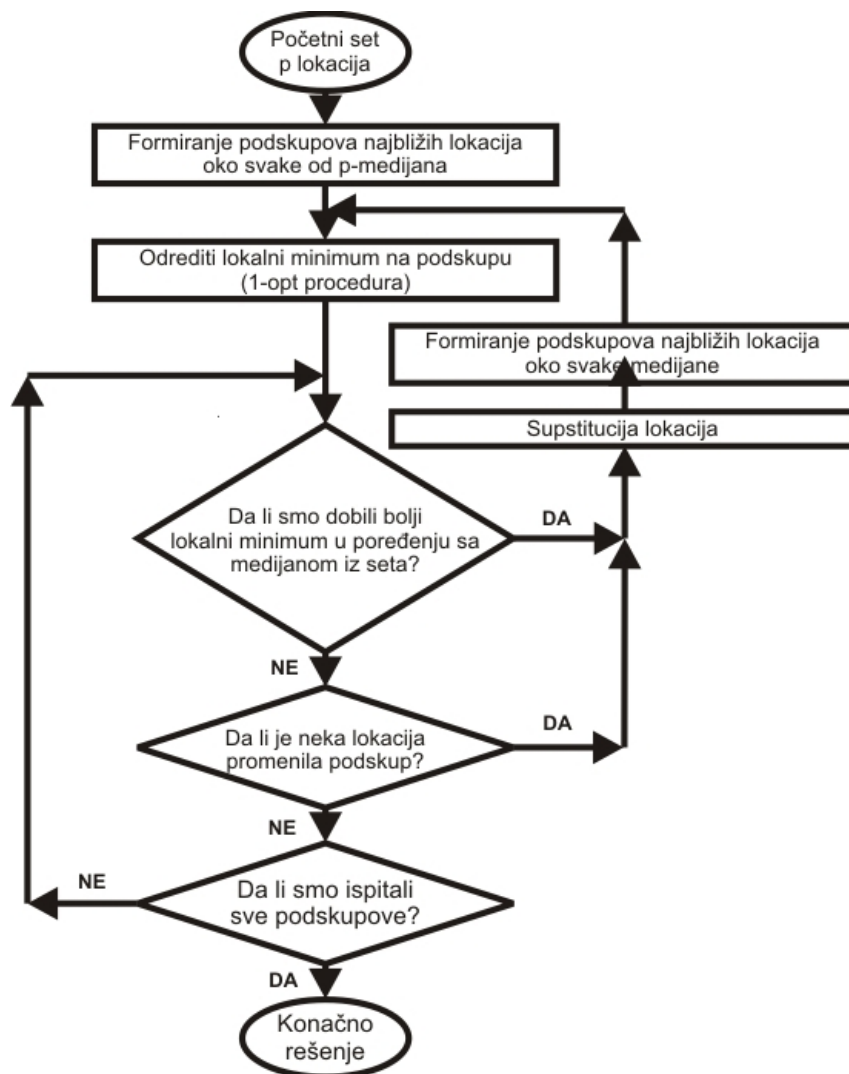
primenjujući je na korigovanu matricu i iznova popunjavamo niz rastojanja čime dolazimo u priliku da odredimo i drugu medijanu. Ceo postupak ponavljamo onoliko puta koliko medijana želimo da postavimo. Na konkretnom zadatku koji smo rešavali tokom realizacije ovog projekta broj vozila za koje smo vršili proračune uvek je bio 5. Postupak je identičan i za bilo koji drugu vrednost broja  $p$ . Algoritam za dobijanje početnog seta od  $p$ -medijana prikazan je na slici 3.2.



Slika 3.2. Primena 1-opt procedure na matricu rastojanja  $p$ -puta

Vektor u kome čuvamo cene lokacija i koji je na slici 3.1 prikazan kao niz podataka izvan matrice, menja sadržaj svojih elemenata nakon uvođenja svake nove medijane. Nakon uvođenja nove medijane, red koji odgovara toj lokaciji mora biti izmenjen i svi elementi matrice u tom redu moraju biti zamenjeni nulama. Zato se zbir

vrednosti elemenata po kolonama menja, pa vektor u kome čuvamo cene lokacija moramo iznova da izračunavamo svaki put nakon uvođenja nove medijane.



Slika 3.3. Iteracije u proceduri za unapređenje kvaliteta rešenja u II fazi

Procedura prikazana na slici 3.2 je jedan korak ili jedna iteracija naše II faze algoritma. Jasno je da kvalitet ovako dobijenog kompleta lokacija kvalitetom ne zadovoljava uslov da postane početno rešenje III faze. Zato ćemo u nekoliko sličnih koraka kao što je ovaj prvi, pokušati da popravimo kvalitet ovog kompleta lokacija ne

gubeći na ukupnoj efikasnosti i brzini II faze. Metod koji sada primenjujemo opisan je algoritmom na slici 3.3.

Sve preostale lokacije, odnosno njih  $n-p$ , razvrstavamo u jedan od  $p$  podskupova prema tome koja im je od početnih  $p$  medijana najbliža. U konkretnom primeru formiramo 5 podskupova tačaka, najbližih suseda svakoj od 5 medijana iz početnog seta. Na svaki od ovih podskupova sada primenjujemo 1-opt proceduru i izračunavamo lokalni minimum. Ukoliko proračun potvrdi da je lokalna prva medijana podskupa i dalje najpogodnija lokacija u lokalnom podskupu najbližih suseda, prelazimo na sledeći podskup. Ukoliko pak proračun pokaže da podskup ima drugu lokaciju kao bolji lokalni minimum, vršimo „supstituciju čvorova“ i nova lokacija sa nižom cenom postaje nova medijana ovog podskupa a time i sastavni deo seta koji čini rešenje. Tako smo zamenili lokalnu medijanu boljom lokacijom unutar lokalnog podskupa. Na ovaj način narušili smo konzistentnost podele svih lokacija na 5 podskupova po kriterijumu najbližih suseda. Zato iznova svih  $n-p$  lokacija raspoređujemo u nove podskupove ali sada oko novih medijana. Cela procedura je jedna nova iteracija unutar II faze. Ovaj postupak grafički je prikazan na slici 3.3.

Koliko će iteracija prikazanih na slici 3.3 biti realizovano unapred definišemo na samom početku algoritma. Tokom naknadnog razvrstavanja lokacija u podskupove i izračunavanja nove cene ukupnog rešenja, uočavamo da ukupna cena koju je postigla sledeća iteracija nekada može biti i gora od ukupne cene koju smo postigli pomoću prethodne iteracije. Međutim, to ne treba da nas razočara, jer već u sledećoj iteraciji možda nadmašimo sva prethodna rešenja i dobijemo novi najbolji rezultat. Procedura je brza i ne zahteva mnogo računarskog vremena i resursa. U praksi se pokazalo da je od 10 do 20 iteracija sasvim dovoljno da postignemo kvalitet rešenja koje bi zadovoljilo naša očekivanja i bilo dovoljno dobro da postane početno rešenje za III fazu. U skladu sa ovakvim opredeljenjem, nakon predviđenog broja iteracija

prekidamo proces, pogledamo unazad i izaberemo najkvalitetnije rešenje sa kojim prelazimo u III fazu algoritma.

### **3.3.3. Genetski algoritam**

Tok genetskog algoritma koji čini III fazu predloženog modela je standardna procedura čiji tok sledi većina implementacija genetskog algoritma u mnogim oblastima inženjerske prakse. Ono što je karakteristično za implementaciju genetskog algoritma u modelu koji je predložen u disertaciji i koji je nazvan „GA-GISLAB“ je konstrukcija pojedinih obaveznih elemenata ovog algoritma i tip početnog rešenja koji je isporučila II faza.

Unapređena konstrukcija pojedinih elemenata i operatora najbolje se ogleda u definiciji hromozoma. Hromozom mora biti kodiran tako da njegova struktura osigura da svako moguće rešenje ima kakvu-takvu šansu da se pojavi kao kandidat prilikom ispitivanja i ocenjivanja hromozoma i da istovremeno isključi mogućnost da se u razmatranje uzimaju rešenja koja u praksi nisu moguća, čime bi se nepotrebno opteretila obrada podataka. U literaturi, hromozomi se najčešće kodiraju binarnim brojevima, međutim, u ovoj disertaciji korišćena je celobrojna reprezentacija. Kako se hromozom sastoji iz gena a položaj gena u okviru hromozoma određuje njegov **lokus**, u predloženom modelu, dužina hromozoma je određena brojem vozila koje imamo na raspolaganju. Lokus prvog gena je mesto rezervisano za prvo vozilo, a lokus poslednjeg gena je mesto rezervisano za poslednje vozilo koje nam je na raspolaganju. U prvi lokus smeštamo redni broj lokacije na kojoj se nalazi prvo vozilo hitne pomoći, a u poslednji lokus redni broj lokacije na kojoj se nalazi poslednje vozilo. Struktura hromozoma i njihov položaj u okviru populacije prikazani su na slici 3.4.

U konkretnom primeru na kome su bazirani prikazani proračuni, pošto je na raspolaganju bilo ukupno 5 vozila hitne pomoći, hromozom je imao 5 gena, pri čemu



kroz evoluciju. Egzaktna i nedvosmislena „fitnes“ funkcija, čija vrednost predstavlja put potreban da se servisira  $n$  korisnika u velikoj meri olakšava evaluaciju ne samo rešenja koje isporučuje genetski algoritam, već i celog procesa optimizacije i samog sistema koji je trebalo projektovati.

Tok genetskog algoritma i njegovu efikasnost u izvršavanju postavljenog zadatka u velikoj meri trasira i konstrukcija prve populacije odnosno prve generacije sa kojom započinje evolucija. Veličina populacije je kompromis između dve oprečne težnje. Ukoliko želimo bolji i raznovrsniji genetski materijal populacija treba da bude što veća i u nju treba da uključimo što veći deo broj jedinki iz ogromnog skupa svih mogućih jedinki. Na drugoj strani, što je populacija veća, u svakom koraku moramo da obradimo veći broj hromozoma što usporava ceo proces. U teoriji, kada bi u populaciju uključili sve moguće kandidate vratili bi se na početak problema i došli na broj matematičkih operacija čije je izračunavanje praktično neostvarivo a što nas je i nateralo da pribegnemo primeni meta-heurističkog pristupa rešavanju postavljenog problema. Veličina populacije u modelu primenjenom u slučaju GA-GISLAB-a izračunava se u skladu sa veličinom broja odredišta i brojem raspoloživih vozila po metodi koja je često citirana u literaturi i čiji su autori Alp, Erkurt and Drezner [22]. Po ovoj jednostavnoj metodi veličina inicijalne populacije se izračunava po formuli:  $3 \cdot (n/p)$ . Odnos između brojeva  $n$  i  $p$  u praksi se naziva „gustina“ problema i ima presudni uticaj na veličinu inicijalne populacije. Pošto smo na ovaj način utvrdili veličinu populacije, uzimamo rešenje koje je isporučila II faza algoritma i kopiramo ga popunjavajući identičnim hromozomima prvih 10% populacije. Ostatak od 90% populacije popunjavamo hromozomima formiranim tako što se geni biraju metodom slučajnog izbora kotisteći generator slučajnih brojeva. Kopiranjem rešenja II faze algoritma u genetski kod svakog od prvih 10% hromozoma inicijalne populacije, osigurali smo elitizam u evoluciji i uvećali šanse da se dobar genetski materijal prenese na narednu generaciju. Paralelno sa generisanjem novih hromozoma i popunjavanjem inicijalne populacije počinjemo formiranje jednog rezervoara već ispitanih hromozoma.

Savki naredni novoformirani hromozom upoređićemo sa sadržajem ovog rezervoara i ukoliko se pokaže da je hromozom takvog sadržaja već uziman u razmatranje, odbacuje se i prelazi na taženje novog. Uvođenjem ovakvog skupa već ispitanih hromozoma ubrzavamo izvršavanje algoritma jer ne gubimo vreme na ispitivanje već ispitanih kombinacija gena.

### **3.3.4. Genetski operatori**

Na populaciju se primenjuje niz operatora i od postojeće generiše nova populacija, čime je genetski algoritam završio jedan ciklus u evoluciji. Najvažniji operatori od uticaja na formiranje nove generacije su: **selekcija, ukrštanje i mutacija**.

**Selekcija** je postupak odabira jedinki za ukrštanje. Ovaj odabir može biti slučajan ili dirigovan. Tokom evolucije u prirodi bolje prilagođene jedinke imaju veće šanse da se ukrste i dobiju potomstvo. Tokom implementacije genetskog algoritma mora se osigurati da kvalitetnijim hromozomima pružimo veće izgleda za ukrštanje izborom adekvatnog operatora selekcije. To se u praksi realizuje na više načina, a najčešće se sreću: **prosta rulet selekcija, selekcija zasnovana na rangiranju i turnirska selekcija**, kao i razne varijacije ovih osnovnih tehnika.

Prostom rulet selekcijom implementira se princip po kome verovatnoća izbora za ukrštanje postaje direktno proporcionalna vrednosti funkcije prilagođenosti hromozoma, odnosno ceni rešenja koje on kodira. Na točku za rulet svaki hromozom dobija površinu proporcionalnu njegovoj ceni. Najveći nedostatak ove metode za selekciju je činjenica da vrlo brzo konvergira jer dobri hromozomi vrlo brzo iz populacije istisnu one loše. Kada populaciju preplave dobri a slični hromozomi, lako se upadne u zamku poznatu kao **lokalni minimum** pri čemu malobrojni a odlični hromozomi ostanu nedostižni. Bolja metoda je selekcija zasnovana na rangiranju. Svakom hromozomu pridružuje se rang u zavisnosti od vrednosti funkcije

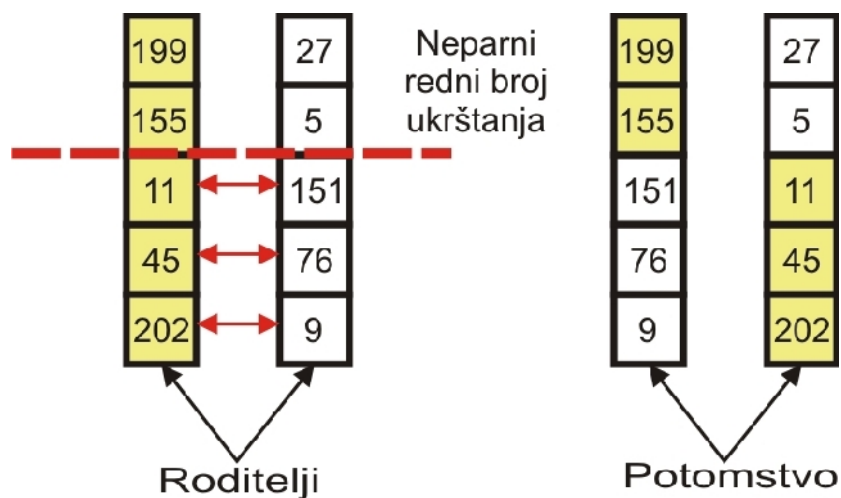


prilagođenosti. Skup mogućih rangova unapred je definisan i ograničen. Verovatnoća da će hromozom biti izabran za parenje je direktno proporcionalna njegovom rangju. Turnirska selekcija se realizuje tako što se svi hromozomi jedne populacije podele u podskupove i unutar podskupa organizuje turnir. Pobjednik turnira, odnosno najbolja jedinka u podskupu kvalifikuje se za ukrštanje.

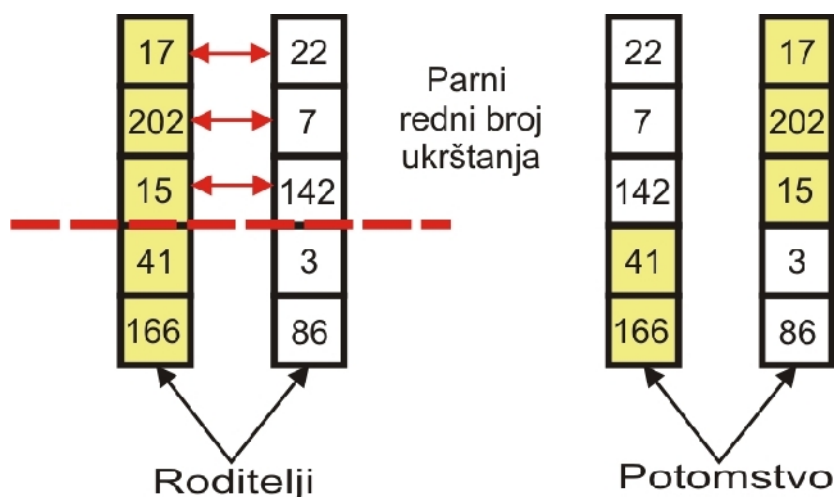
Tokom realizacije prototipske aplikacije zasnovane na modelu GA-GISLAB, sve jedinke u okviru populacije imaju podjednake šanse da budu izabrane za ukrštanje. Na ovaj način osigurano je da genetski materijal bude raznovrsan i da je rizik ulaska u oblast lokalnog minimuma smanjen. Veća verovatnoća da dobre jedinke budu izabrane za ukrštanje i da na nove generacije prenesu dobar genetski materijal osigurana je direktnim kopiranjem 10% najboljih jedinki u trenutku formiranja nove generacije. Konvergencija ovako koncipiranog algoritma je nešto sporija ali su benefiti ostvareni kroz kvalitet rešenja veći.

**Ukrštanje** je sledeći operator koji primenjujemo na selektovanim jedinkama. Deo jednog hromozoma menja mesto sa identičnim delom drugog hromozoma i od dva roditelja dobijamo dva nova potomka. Na to kako će ukrštanje biti implementirano utiče mnogo različitih okolnosti. U okviru priprema za ukrštanje hromozom je moguće deliti u jednoj ili više tačaka. Moguće je poziciju jedne ili više tačaka za ukrštanje definisati unapred ili do pozicija doći slučajnim izborom. Na izbor metode za ukrštanje ipak najveći uticaj ima priroda podataka i način kodiranja hromozoma. Ukoliko je veoma važan raspored gena u hromozomu i postoji uticaj redosleda na funkciju prilagođenosti, izbor mehanizma za ukrštanje postaje od presudnog uticaja na ukupan kvalitet algoritma. U našem konkretnom slučaju, kako mesto gena u okviru hromozoma nema uticaja na cenu rešenja te kako je broj gena u hromozomu relativno mali, sasvim je opravdano ukrštanje realizovati deljenjem hromozoma u jednoj tački čija je pozicija unapred poznata. Algoritam je tako postavljen da kada u hromozomu imamo parni broj gena, tačka ukrštanja postaje sredina hromozoma i oba dela su jednake dužine. U

slučaju kada je dužina hromozoma neparan broj, nije moguće hromozom podeliti na dva simetrična dela, pa tačka u kojoj se hromozom deli menja položaj. Ovu promenu tačke podele diktira redni broj ukrštanja tokom generisanja nove populacije.



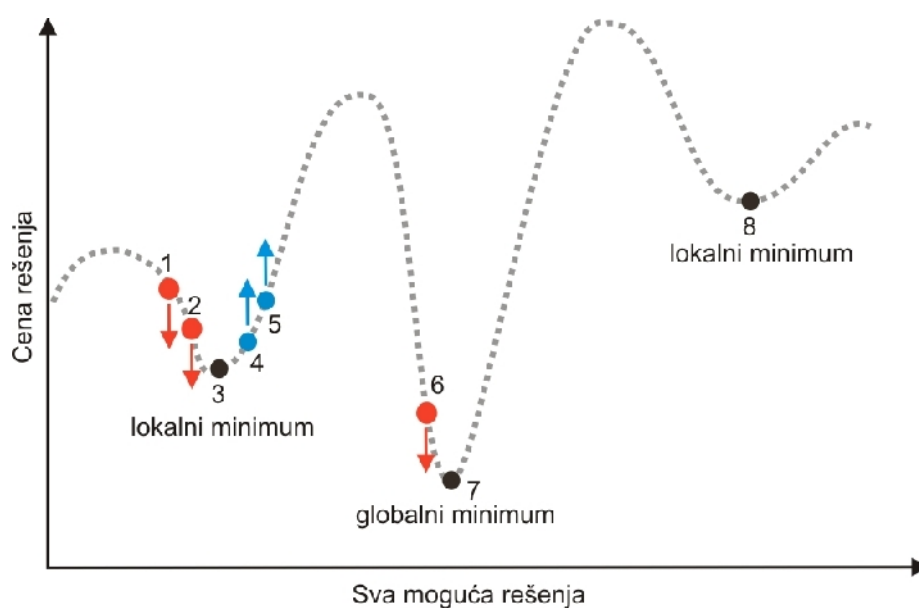
Slika 3.5. Operacija ukrštanja tokom neparnog rednog broja ukrštanja



Slika 3.6. Operacija ukrštanja tokom parnog rednog broja ukrštanja

U našem ilustrativnom primeru sa 5 gena u hromozomu, ukoliko je redni broj ukrštanja paran, hromozom se deli u razmeri 2:3 a ukoliko je redni broj ukrštanja neparan, hromozom se deli u razmeri 3:2. Mehanizam ukrštanja i tačke podele hromozoma prikazane su na slikama 3.5 i 3.6.

**Mutacija** je operator koji se primenjuje na potomstvo neposredno nakon ukrštanja. U slučajno izabrani lokus jednog hromozoma ubaci se slučajno izabrani gen iz skupa svih mogućih gena. Mutacijom se osigurava dodatna raznovrsnost genetskog materijala, jer ovim mehanizmom u sastav hromozoma dospeva gen koji možda nije zastupljen u kompletnoj aktuelnoj populaciji. Mutacijama se osigurava vrlo efikasan izlazak iz oblasti lokanog minimuma. Svakom optimizacionom algoritmu čiji je cilj nalaženje minimuma u celokupnoj oblasti pretraživanja, odnosno nalaženje „globalnog“ minimuma, preta opasnost da zapadne u oblast pretraživanja iz koje se teško izlazi a to je u prethodnim poglavljima često pominjana oblast „lokalnog“ minimuma.



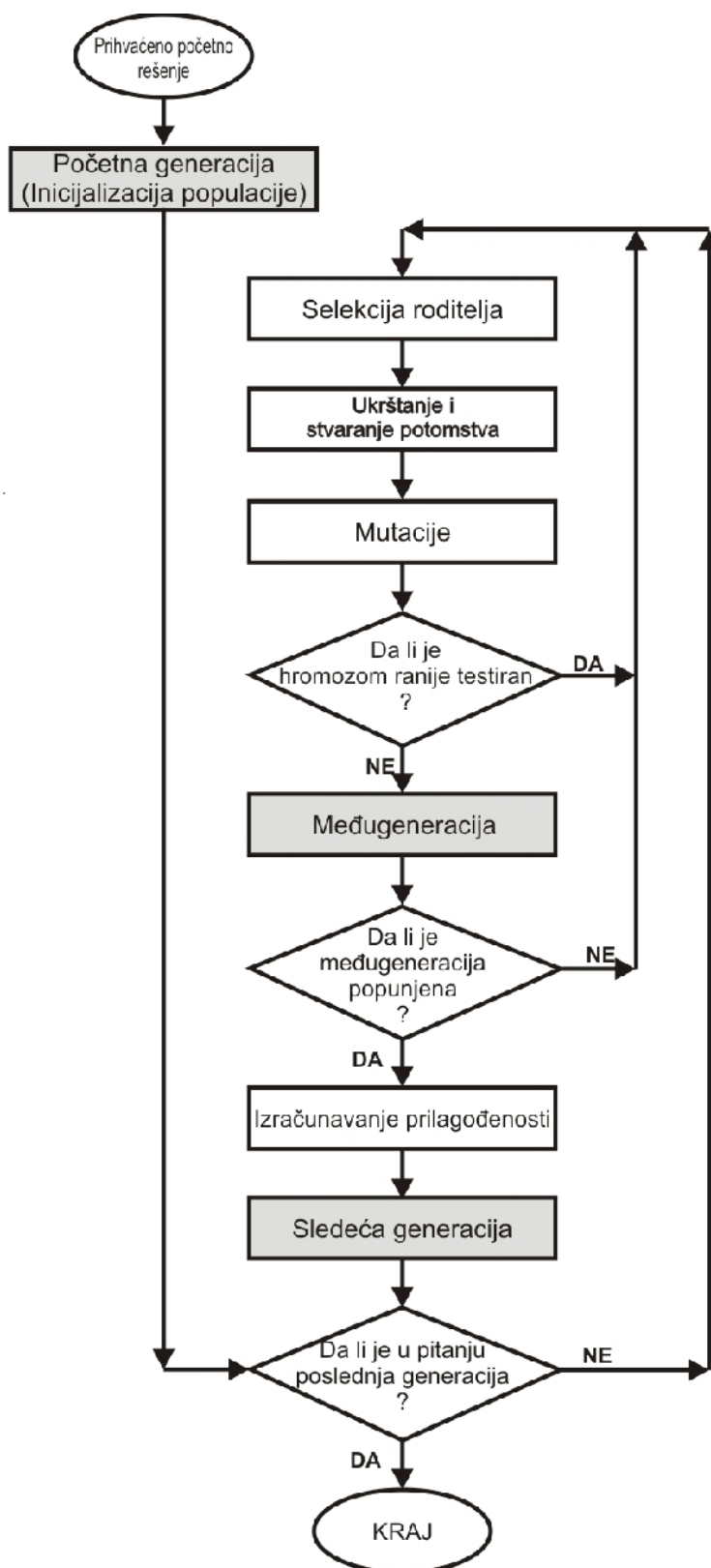
Slika 3.7. Problem ulaska u zamku lokalnog minimuma

Problem ulaska u zamku nazvanu lokalni minimum grafički je predstavljen na slici 3.7. Sve dok nove iteracije heuristike koju koristimo daju rešenja sa cenom nižom od cene prethodne iteracije, algoritam se ponaša u skladu sa očekivanjima i napredujemo sa svakim novim korakom. Ovaj očekivani pozitivni smer u kojem napreduje algoritam ilustruje položaj tačaka 1 i 2 na krivoj koja predstavlja cenu svih

mogućih rešenja na slici 3.7. Međutim, krećući se po ovoj krivoj, ubrzo dolazimo do tačke 3 nakon čega nove iteracije daju rešenja koja su gora od prethodnog, odnosno cena svakog novog rešenja je veća od cene u tački 3. Kako dalji pokušaji da se popravi kvalitet rešenja ilustrovani tačkama 4 i 5, ne daju rezultate u željenom smeru jer je cena dobijenih rešenja sve lošija, dalje izvršavanje algoritma se zaustavlja i mi ostajemo zarobljeni u tački 3 dok globalni minimum koji se nalazi u tački 7 ostaje za nas nedostižan. Uspešna heuristika mora da pronade način da izađe iz oblasti lokalnog minimuma kao što su to oblasti oko tačaka 3 i 8, te nekako izvede algoritam do oblasti u kojoj je na primer tačka 6, odakle je moguće u narednim iteracijama dostići globalni minimum prikazan u tački 7. Algoritam mora da obezbedi kvalitativni skok i bar na trenutak ode u neku sasvim drugu oblast. Ovaj mehanizam mora da obezbedi povremeno uključivanje rešenja iz udaljenih oblasti pretrage za razliku od kontinuiranog ispitivanja vrlo sličnih rešenja iz ograničenog prostora u kojem su razlike u ceni minimalne. U porodici heuristika koju čine genetski algoritmi ova raznovrsnost se osigurava uvođenjem operatora mutacije.

U predloženom modelu GA-GISLAB, na hromozome sa brojem lokusa reda veličine diktiranim redom veličine raspoloživih vozila, sasvim je dovoljno imati jednu mutaciju na jednom genu nakon jednog ukrštanja. Verovatnoća da bude izabran za primenu operatora mutacije je ista za bilo koji gen u okviru našeg hromozoma. Isto važi i za skup od  $n$  lokacija, odnosno sve moguće lokacije sa istom verovatnoćom tokom primene operatora mutacije mogu postati deo posmatranog hromozoma.

Odmah nakon završenog ukrštanja i mutacije, novodobijeni hromozomi se ispituju i izračunava se cena rešenja kodiranog njihovim sadržajem. Neodrživi hromozomi kojima je kodirano u praksi neostvarivo rešenje odmah se odbacuju, zatim se svaki hromozom poredi sa sadržajem rezervoara već ispitanih hromozoma i na kraju se oba potomka poredi međusobno.



Slika 3.8. Tok genetskog algoritma koji čini III fazu modula „GA-GISLAB“

Cena rešenja koje je kodirano boljim hromozomom, poredi se sa cenom svake od jedinki koja je tog trenutka deo populacije i ukoliko je bolja od najgoreg rešenja u aktuelnoj populaciji, potomak ulazi u populaciju a do tada najgore rešenje se izbacuje iz populacije.

Na slici 3.8 prikazan je tok genetskog algoritma implementiranog u prototipu zasnovanom na modelu GA-GISLAB. Na šematski prikazanom toku algoritma, uočava se kako od inicijalne populacije formiramo prvu sledeću a kasnije i sve naredne generacije. Na putu formiranja potpuno nove generacije važno mesto ima konstrukcija pomoćne međugeneracije. Međugeneraciju formiramo najpre direktnim kopiranjem najboljih 10% hromozoma iz prethodne generacije, a zatim ostalih 90% međugeneracije popunjavamo primenjujući genetske operatore na slučajno izabrane jedinke. Kada popunimo kompletnu međugeneraciju koristimo funkciju prilagođenosti i određujemo kvalitet svake jedinke.

Na osnovu rezultata primene funkcije prilagođenosti rearanžiramo hromosome unutar međupopulacije tako što ih sortiramo od najboljeg ka najgorem. U ovom trenutku rad na međugeneraciji se završava i ona postaje aktuelna populacija. Počinjemo novi ciklus formiranjem nove prazne međugeneracije. Kopiranje prvih 10% najboljih jedinki je jednostavno jer je sadržaj aktuelne populacije već sortiran.

Genetski algoritam implementiran u realizovanom prototipu baziranom na modelu GA-GISLAB okončava rad nakon unapred definisanog broja generacija. Iskustvo stečeno tokom praktične eksploatacije i testiranja prototipa kaže da algoritam brzo konvergira ka semi-optimalnom rešenju i da nikada nije imalo opravdanja unapred definisan broj generacija postavljati na vrednosti veće od 200. Ukoliko je brzina imperativ, sasvim zadovoljavajući rezultat se dobija i nakon 50 generacija, a optimalna brojka je 100 generacija. Kada se predefinisani broj generacija fiksira na 100, u 90% slučajeva testiranja prototipa pomoću različitih kombinacija ulaznih podataka, pokazalo

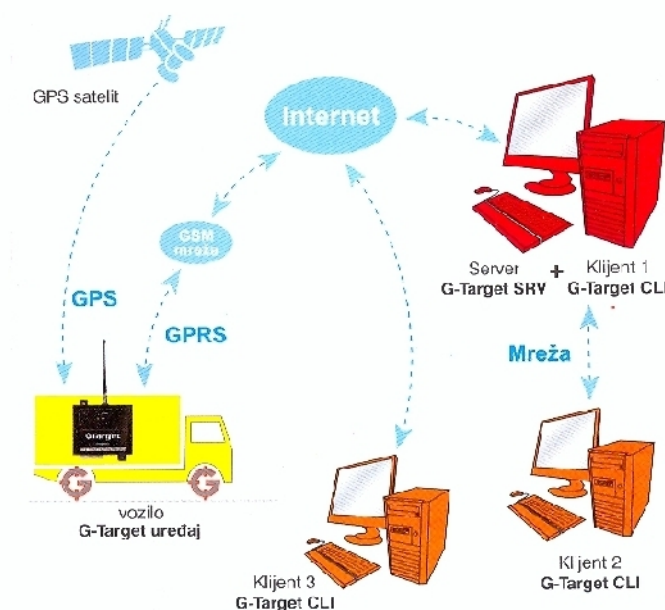
se da u poslednjih 50 generacija algoritam ne dovodi do napretka već isporučuje uvek jedno te isto rešenje.

## **4. Model sistema za relokaciju vozila**

U ovom poglavlju je opisana praktična realizacija prototipa sistema baziranog na predloženom (razvijenom) modelu za relokaciju vozila. Rešenje optimizacionog problema predloženo u ovom radu predstavlja nadogradnju tehničkog rešenja u čijem je središtu sistem za satelitsko praćenje pokretnih objekata. U ovom sistemu se podaci o kretanju vozila prikupljaju pomoću uređaja za praćenje vozila poznatog pod imenom „GPS/GPRS-tracker“. Ovaj uređaj u sebi objedinjuje GPS-prijemnik, GPRS-modem, lokalnu memoriju za čuvanje podataka o kretanju vozila i mikrokontroler koji sinhronizuje rad svih ovih podsklopova. Prikupljeni podaci o poziciji vozila šalju se u kontrolni centar korišćenjem GPRS-servisa za paketni prenos podataka preko GSM-mreže, pri čemu lokalna memorija u samom uređaju omogućava da svi prikupljeni podaci budu sačuvani i u slučaju povremenih prekida u komunikaciji sa kontrolnim centrom. U kontrolnom centru se podaci o kretanju vozila uparuju sa podacima o putnoj mreži i prikazuju na rasterskoj mapi grada koja služi kao pozadina slike. Ažurna slika je svakog trenutka dostupna svim klijentima koji imaju dozvolu da se loguju na server, u obliku koji je prilagođen različitim rezolucijama i brzinama pristupa. Iako je ceo sistem instaliran sa namerom da efikasnijim i lakšim učini svakodnevni rutinski rad operaterima koji dežuraju i odgovaraju na pozive upućene Službi za hitnu medicinsku pomoć, pored ove osnovne namene, sistem pruža mnogo mogućnosti za unapređenje i drugih procedura u okviru ove ustanove. Tu prvenstveno spada efikasnija organizacija logistke, preciznija evidencija i veća produktivnost, kako u upotrebi osnovnih sredstava tako i u racionalnijem korišćenju radnog vremena zaposlenih. Podaci koje implementirani sistem za praćenje vozila isporučuje u realnom vremenu, a tiču se trenutne lokacije na kojoj se vozilo nalazi, pored prikaza na monitoru operatera u „call“-centru, mogu biti prikazani i na mobilnom telefonu, tabletu, PDA-uređaju ili bilo kom drugom uređaju koji ima pristup serveru. Na slici 4.1



šematski su prikazani elementi sistema za praćenje vozila i mesto GPS/GPRS-uređaja brenda „G-Target“.



Slika 4.1. Šematski prikaz sistema za praćenje vozila

Za svaku novu poziciju vozila, AVL - podsistem generiše novi slog u bazi podataka. Sadržaj ovog sloga su polja u kojima se pamte: šifra vozila, pozicija, vreme, brzina i pravac. Izdvajanje koordinata odredišta je samo mali deo korisnih informacija koje se mogu izvući iz baze podataka o istoriji kretanja vozila.

Nekoliko bitnih aspekata vezanih za praktičnu primenu našeg algoritma analiziraćemo na konkretnom primeru. Za ekstrakciju odredišta do kojih su se kretala vozila Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu, na raspolaganju smo imali podatke arhivirane u bazi tokom druge polovine 2014. godine. Tokom ovog perioda, sva vozila koja čine vozni park ove službe bila su opremljena funkcionalnim GPS/GPRS-trekerima dok je server radio neprekidno bez ikakvih havarija, tako da je kretanje vozila uredno evidentirano kroz zapise u bazi podataka. Na raspolaganju smo imali realne podatke iz svakodnevnog života, što predstavlja veliku komparativnu prednost našeg istraživanja u odnosu na slična istraživanja drugih autora. Na osnovu SQL upita čiji je

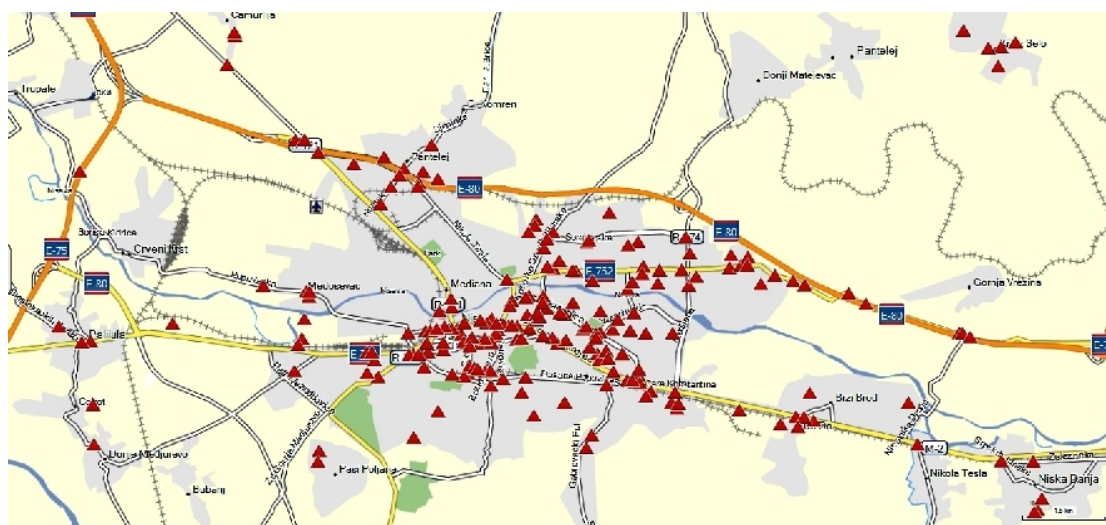
osnovni element definisanje vremenskog perioda „od – do“, izdvajaju se informacije od presudnog uticaja na I deo algoritma, odnosno na ekstrakciju odredišta.

Datum i vreme:				Brzina:		Kurs:	
74	2452	2014-09-01	13:12:45.000	43.314762	21.864455	0.000	0
74	2452	2014-09-01	13:14:45.000	43.314795	21.864502	0.200	0
74	2452	2014-09-01	13:16:46.000	43.314808	21.864538	1.500	0
74	2452	2014-09-01	13:18:46.000	43.314735	21.864545	0.200	0
74	2452	2014-09-01	13:20:46.000	43.315000	21.864518	1.900	0
74	2452	2014-09-01	13:22:46.000	43.314868	21.864488	0.200	0
74	2452	2014-09-01	13:24:46.000	43.314798	21.864533	0.000	0
74	2452	2014-09-01	13:26:47.000	43.314838	21.864537	2.600	189.7
74	2452	2014-09-01	13:28:47.000	43.314817	21.864552	0.000	189.9
74	2452	2014-09-01	13:30:47.000	43.314755	21.864520	0.200	165.3
74	2452	2014-09-01	13:32:47.000	43.314723	21.864515	2.200	188.2
74	2452	2014-09-01	13:34:48.000	43.314825	21.864547	0.400	188.2
74	2452	2014-09-01	13:36:48.000	43.314832	21.864507	0.000	195.3
74	2452	2014-09-01	13:37:07.000	43.314762	21.864482	1.500	195.3
74	2452	2014-09-01	13:37:22.000	43.314795	21.864483	8.500	129.5
74	2452	2014-09-01	13:37:37.000	43.314873	21.864212	13.10	302.1
74	2452	2014-09-01	13:37:52.000	43.315203	21.865973	63.00	86.5
74	2452	2014-09-01	13:38:07.000	43.315358	21.868607	54.60	85.4
74	2452	2014-09-01	13:38:22.000	43.315533	21.872322	84.50	85.1
74	2452	2014-09-01	13:38:37.000	43.315700	21.876660	39.10	85.2
74	2452	2014-09-01	13:38:52.000	43.315720	21.879247	71.30	89.2
74	2452	2014-09-01	13:39:07.000	43.315860	21.882488	41.30	68.4
74	2452	2014-09-01	13:39:22.000	43.316590	21.884605	65.70	64
74	2452	2014-09-01	13:39:37.000	43.317593	21.886863	55.00	25.5
74	2452	2014-09-01	13:39:52.000	43.319778	21.888540	66.30	70.4
74	2452	2014-09-01	13:40:07.000	43.320223	21.890923	24.60	72.8
74	2452	2014-09-01	13:40:22.000	43.320682	21.892933	69.30	54.6
74	2452	2014-09-01	13:40:37.000	43.321078	21.895370	12.80	82.4
74	2452	2014-09-01	13:40:52.000	43.321110	21.895633	0.200	78.4
74	2452	2014-09-01	13:40:57.000	43.321095	21.895622	0.400	78.4
74	2452	2014-09-01	13:42:56.000	43.321098	21.895633	0.000	78.4
74	2452	2014-09-01	13:44:11.000	43.321095	21.895637	0.200	78.4
74	2452	2014-09-01	13:44:26.000	43.321137	21.895607	6.700	0
74	2452	2014-09-01	13:44:41.000	43.321077	21.895565	0.000	0

Slika 4.2. Deo ulaznih podataka pripremljen za ekstrakciju odredišta

Deo informacija koje nam isporučuje SQL upit prikazan je na slici 4.2. Uočava se grupa podataka uokvirena crvenom bojom i nekoliko važnih detalja vezanih za primenjenu tehniku procesiranja ulaznih podataka, karakterističnu za ovaj sistem. Vremenski period između dva uzastopna zapisa o lokaciji vozila je 15 sekundi. Prilikom preciziranja veličine ovog intervala bilo je potrebno pomiriti dva suprotna zahteva. Jedan pravac u kome se kreće zahtev je potreba da ovaj interval bude što duži i time rastereti hardver i komunikacioni kanal, čime bi se osigurala optimalna upotreba raspoloživih resursa. Drugi, suprotni pravac, ide u smeru zahteva da ovaj interval istovremeno bude i dovoljno kratak da bi se ažurno pratio status i lokacija vozila. Veličina intervala u iznosu od 15 sekundi je kompromis između ova dva oprečna zahteva.

Podaci označeni ispod natpisa „Brzina:“ na slici 4.2, označavaju vertikalni niz podataka koji ilustruje kako se kroz snimljene zapise manifestuje kretanje vozila. Ovde se jasno vidi kako iz serije uzastopnih zapisa uočavamo činjenicu da je vozilo bilo u pokretu. Uokvirena neprekidna sekvenca podataka koji imaju karakterističnu vrednost govori o postojanju samog kretanja i preciziraju brzinu vozila. Pored toga što na osnovu analize uzastopnih zapisa lako identifikujemo sekvencu koja opisuje kontinuirano kretanje, na samom kraju sekvence uočavamo odredište koje je bilo cilj ovog kretanja. Iz skupa ovako ekstrahovanih odredišta eliminišu se zaustavljanja na semaforima, mirovanje u garaži Službe za hitnu medicinsku pomoć kao i još nekoliko lokacija za koje je moguće utvrditi da ne mogu biti odredišta. Koordinate eliminisanih tačaka postaju sastavni deo prototipa sistema i ne uzimaju se više u razmatranje tokom budućih proračuna. Na kraju dobijamo željeni skup odredišta koja su od interesa za dalji proces optimizacije. Na samom početku analize ograničen je i geografski prostor koji se analizira, tako da se u obzir uzima samo kretanje unutar unapred definisanog šireg gradskog područja, dok se zapisi vezani za duža putovanja van ovog prostora zanemaruju.



Slika 4.3. Ukupno 218 odredišta ekstrahovanih iz baze tokom perioda od 30 dana

Nakon završetka I faze algoritma i analize ulaznih podataka za određeni period, dobijamo skup odredišta na kojima se dalje realizuju II i III faza algoritma. Na slici 4.3 su prikazana odredišta dobijena nakon I faze prilikom obrade baze podataka za period od 01. septembra 2014. godine do 01. oktobra 2014. godine. SQL upit primenjen na bazu podataka, za ovaj period od 30 dana, isporučio je ukupno 217.289 zapisa. Nakon nekoliko uzastopnih sekvencijalnih obrada kojima je podvrgnut rezultat upita, odnosno redovi koje čini ovih 217.289 zapisa, ekstrahovane su lokacije za koje se pouzdano može utvrditi da su bile odredišta do kojih su se vozila hitne pomoći kretala nakon napuštanja centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć. Nakon završene obrade izdvojeno je ukupno 218 lokacija za koje se sa sigurnošću može reći da predstavljaju tražena odredišta, a njihov položaj na mapi grada prikazan je na slici 4.3.

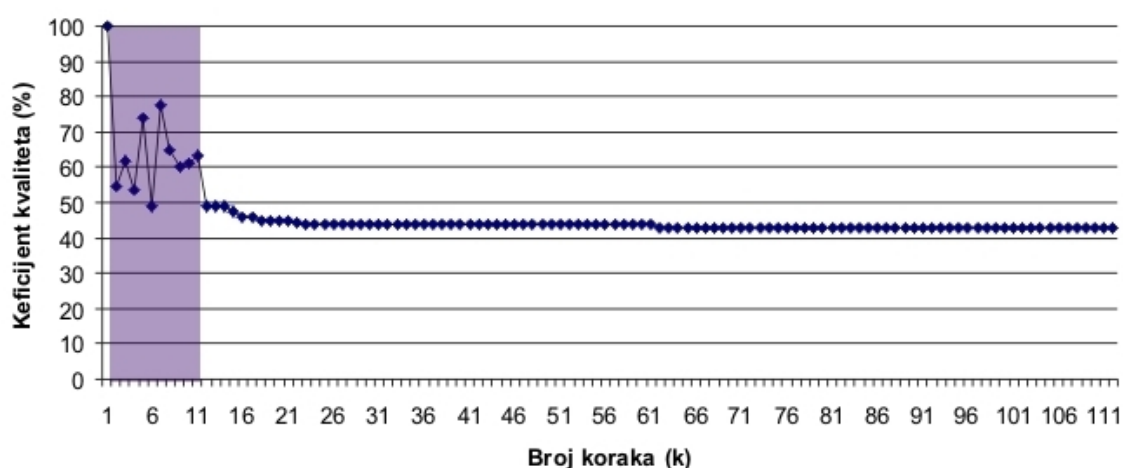
U cilju procene kvaliteta ponuđenog rešenja za relokaciju resursa, definisan je poseban koeficijent za kvantifikaciju doprinosa koji optimizaciono rešenje nudi u odnosu na situaciju kada optimizacije nema, odnosno u odnosu na početno stanje. Ovaj koeficijent mora da omogući procenu uštede koja se ostvaruje primenom dobijenog optimizacionog rešenja i istovremeno mora da isključi direktni uticaj broja odredišta na samu veličinu ovog koeficijenta. Zato je ovde predložena definicija "koeficijenta uštede" kao količnika ukupnog rastojanja koje bi bilo postignuto primenom semi-optimalnog rešenja ( $C_{opt}$ ) i ukupnog rastojanja na početku prilikom postavke problema ( $C_{tot}$ ), odnosno početnog stanja. Koeficijent uštede nam govori na koliko procenata smo snizili cenu početnog rešenja za koje podrazumevamo da predstavlja početnih 100%. Koeficijent uštede smo dakle definisali u formuli (4.1) kao:

$$K_u = \frac{C_{opt}}{C_{tot}} \cdot 100(\%) \quad (4.1)$$

Sada možemo da procenimo napredak postignut u postupku optimizacije. U cilju izračunavanja koeficijenta uštede najpre moramo da izračunavamo  $C_{tot}$  kao put koji treba preći ukoliko krenemo iz centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć

i obiđemo svih 218 odredišta, i to tako što svaki put krenemo iz garaže i krećemo se pravolinijski do odredišta (euklidsko rastojanje). U našem konkretnom slučaju od 218 odredišta  $C_{tot}$  je 899.876,00 metara. Put koji treba preći na povratku do garaže se ovde ne uzima u obzir, već samo put koji je potrebno preći da bi se stiglo do odredišta.

Šta se dešava sa cenom i koeficijentom uštede tokom II i III faze algoritma možemo videti na slici 4.4. Deo koji predstavlja II fazu obojen je svetloljubičastom bojom.



Slika 4.4. Ponašanje koeficijenta uštede tokom realizacije II i III faze algoritma

Prvih 10 koraka tokom kojih je primenjivana „1-opt“ procedura na 5 lokalnih podskupova (pri čemu su određivani novi kompleti rešenja i novi podskupovi najbližih tačaka) praktično ne daju nikakav kontinuirani napredak. Nakon uspeha u jednom, sledi promašaj u sledećem koraku. Očigledno je da na ovaj način ne samo što lako upadamo u zamku "lokalnog minimuma", već je i kvalitet postignutog rešenja očigledno potpuno nepredvidiv. Sigurno je da ovom metodom nećemo daleko stići, ma koliko veliki broj iteracija sprovedemo. Međutim, najbolje rešenje dobijeno tokom ovih 10 koraka koji čine II-fazu, biće odlično početno rešenje za III-fazu.

Redni broj:	Cena:	Koeficijent kvaliteta:	Rešenje:				
1	899,876	100	0/0/0/0/0	56	393,064	44	19/139/66/104/73
2	492,673	55	25/1/38/74/81	57	393,064	44	19/139/66/104/73
3	553,957	62	29/31/48/84/27	58	393,064	44	19/139/66/104/73
4	481,641	54	45/43/98/9/24	59	393,064	44	19/139/66/104/73
5	665,155	74	87/31/31/55/15	60	393,064	44	19/139/66/104/73
6	441,007	49	61/1/35/27/96	61	393,064	44	19/139/66/104/73
7	699,516	78	56/35/24/32/72	62	386,268	43	134/106/80/73/98
8	581,945	65	12/140/33/17/17	63	386,268	43	134/106/80/73/98
9	541,817	60	12/21/113/1/73	64	386,268	43	134/106/80/73/98
10	550,614	61	10/19/123/23/44	65	386,268	43	134/106/80/73/98
11	571,198	63	64/32/53/28/42	66	386,268	43	134/106/80/73/98
12	441,007	49	61/1/35/27/96	67	386,268	43	134/106/80/73/98
13	441,007	49	61/1/35/27/96	68	386,268	43	134/106/80/73/98
14	441,007	49	61/1/35/27/96	69	386,268	43	134/106/80/73/98
15	427,432	47	61/1/17/7/139	70	386,268	43	134/106/80/73/98
16	413,064	46	61/1/78/48/32	71	386,268	43	134/106/80/73/98
17	413,064	46	61/1/78/48/32	72	386,268	43	134/106/80/73/98
18	403,577	45	134/23/114/124/61	73	386,268	43	134/106/80/73/98
19	403,577	45	134/23/114/124/61	74	386,268	43	134/106/80/73/98
20	403,577	45	134/23/114/124/61	75	386,268	43	134/106/80/73/98
21	403,577	45	134/23/114/124/61	76	386,268	43	134/106/80/73/98
22	398,606	44	134/111/124/40/10	77	386,268	43	134/106/80/73/98
23	395,594	44	123/9/66/104/73	78	386,268	43	134/106/80/73/98
24	395,594	44	123/9/66/104/73	79	386,268	43	134/106/80/73/98
25	395,594	44	123/9/66/104/73	80	386,268	43	134/106/80/73/98
26	395,594	44	123/9/66/104/73	81	386,268	43	134/106/80/73/98
27	395,594	44	123/9/66/104/73	82	386,268	43	134/106/80/73/98
28	395,594	44	123/9/66/104/73	83	386,268	43	134/106/80/73/98
29	395,594	44	123/9/66/104/73	84	386,268	43	134/106/80/73/98
30	395,594	44	123/9/66/104/73	85	386,268	43	134/106/80/73/98
31	395,594	44	123/9/66/104/73	86	386,268	43	134/106/80/73/98
32	395,594	44	123/9/66/104/73	87	386,268	43	134/106/80/73/98
33	395,594	44	123/9/66/104/73	88	386,268	43	134/106/80/73/98
34	395,594	44	123/9/66/104/73	89	386,268	43	134/106/80/73/98
35	395,594	44	123/9/66/104/73	90	386,268	43	134/106/80/73/98
36	395,594	44	123/9/66/104/73	91	386,268	43	134/106/80/73/98
37	394,843	44	73/130/1/134/69	92	386,268	43	134/106/80/73/98
38	394,843	44	73/130/1/134/69	93	386,268	43	134/106/80/73/98
39	394,843	44	73/130/1/134/69	94	386,268	43	134/106/80/73/98
40	394,843	44	73/130/1/134/69	95	386,268	43	134/106/80/73/98
41	394,843	44	73/130/1/134/69	96	386,268	43	134/106/80/73/98
42	394,843	44	73/130/1/134/69	97	386,268	43	134/106/80/73/98
43	394,832	44	73/139/124/138/68	98	386,268	43	134/106/80/73/98
44	394,832	44	73/139/124/138/68	99	386,268	43	134/106/80/73/98
45	394,832	44	73/139/124/138/68	100	386,268	43	134/106/80/73/98
46	394,832	44	73/139/124/138/68	101	386,268	43	134/106/80/73/98
47	394,832	44	73/139/124/138/68	102	386,268	43	134/106/80/73/98
48	394,832	44	73/139/124/138/68	103	386,268	43	134/106/80/73/98
49	393,363	44	134/9/66/73/106	104	386,268	43	134/106/80/73/98
50	393,363	44	134/9/66/73/106	105	386,268	43	134/106/80/73/98
51	393,064	44	19/139/66/104/73	106	386,268	43	134/106/80/73/98
52	393,064	44	19/139/66/104/73	107	386,268	43	134/106/80/73/98
53	393,064	44	19/139/66/104/73	108	386,268	43	134/106/80/73/98
54	393,064	44	19/139/66/104/73	109	386,268	43	134/106/80/73/98
55	393,064	44	19/139/66/104/73	110	386,268	43	134/106/80/73/98
				111	386,268	43	134/106/80/73/98
				112	386,268	43	134/106/80/73/98

Slika 4.5. Cena rešenja i koeficijent uštede tokom svih 112 iteracija

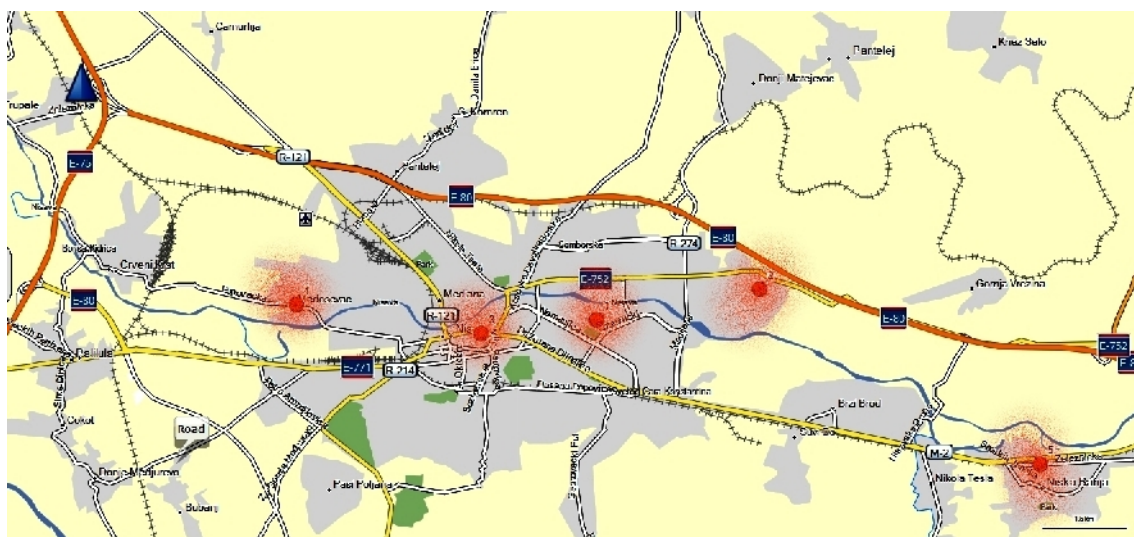
Numerički podaci koji karakterišu korake u izvršavanju II i III faze algoritma a tiču se postignute cene rešenja, veličine koeficijenta uštede i rasporeda lokacija koje čine rešenje prikazani su na slici 4.5.

Ukoliko analiziramo vrednosti koeficijenta uštede prikazane na slici 4.5, uočavamo velike varijacije u vrednostima tokom II faze algoritma, ali to nas ne sprečava da među postignutim vrednostima izaberemo rešenje sa najnižom cenom. Između 10 rezultata II-faze najniža postignuta cena je pod rednim brojem 6, sa koeficijentom od 49% i ukupnom cenom rešenja od 441.007,00 metara. To je naše početno rešenje sa kojim prelazimo na III-fazu algoritma.

Primenom genetskog algoritma tokom III-faze stabilizujemo konvergenciju ka semi-optimalnom rešenju i dobijamo rezultat koji smo priželjkivali. U ilustrativnom primeru dokumentovanom na slikama 4.3, 4.4 i 4.5, broj generacija genetskog algoritma unapred je bio ograničen na 100. Očigledno je da najveći uticaj na cenu rešenja ima prvih 20-tak generacija. Poslednjih 60 generacija ne daje nikakav dalji napredak, pa je jasno da se praktično broj generacija može ograničiti i na 50. Još je bolji pristup da se genetski algoritam prekine ukoliko se utvrdi da nakon 20-30 uzastopnih generacija više nema nikakvog napretka.

Očigledno je da koeficijent uštede od 43% i cena od 386.286,00 predstavljaju naše najbolje rešenje i najbolji rezultat koji možemo da postignemo. Na slici 4.4 na x-osi je prikazan broj koraka i vidimo da I-faza ima 1 korak, II-faza 10 koraka i na kraju vidimo 100 koraka odnosno generacija u III-fazi primene genetskog algoritma.





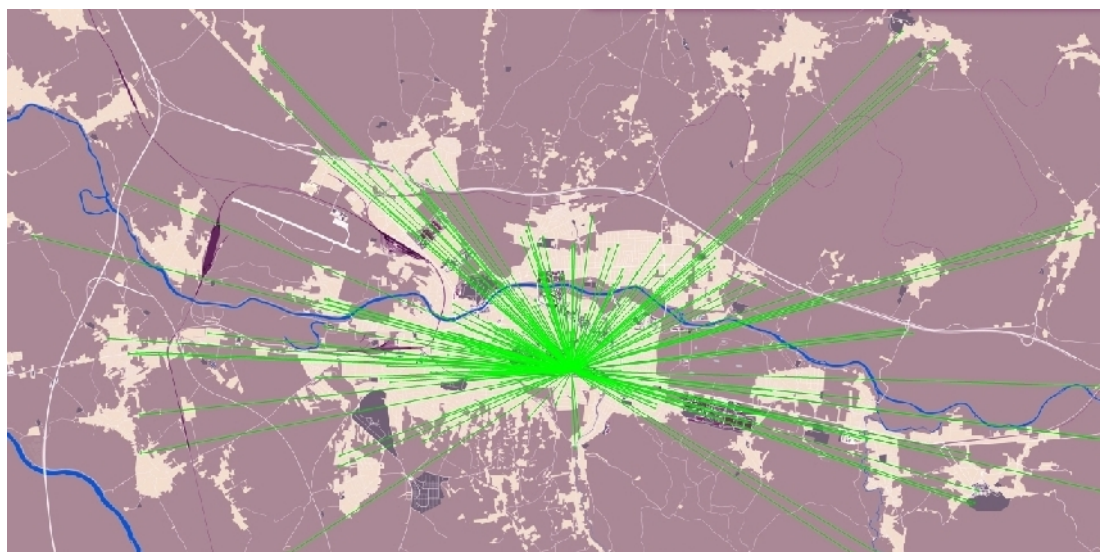
Slika 4.6. Konačno rešenje primera:  $n=218$ ,  $p=5$

Na slici 4.6 je prikazano konačno rešenje i raspored svih 5 vozila, što predstavlja predlog za budući raspored vozila tokom perioda „čekanja na poziv“. Ukoliko bi vozila bila parkirana na ovim lokacijama, za ponovno obilaženje svih odredišta već obištenih u prethodnih 30 dana, vozila bi završila isti posao uz pređenih samo 43% rastojanja koje je bilo pređeno i evidentirano u bazi podataka. Očigledno bi se troškovi za upotrebljeno gorivo prepolovili, a kao ništa manje važna činjenica je i značajno kraće srednje vreme odziva na zahtev za intervencijom. Što pre stići do pacijenta je oduvek bio imperativ i najvažniji cilj u prevozu pacijenata vozilima hitne medicinske pomoći. Raspored svih 5 lokacija koje čine najbolje rešenje koje smo uspeli da postignemo prikazan je na slici 4.6, pri čemu je redni broj ovih lokacija i njihov položaj u matrici rastojanja određen rednim brojevima: 134, 106, 80, 73 i 98.

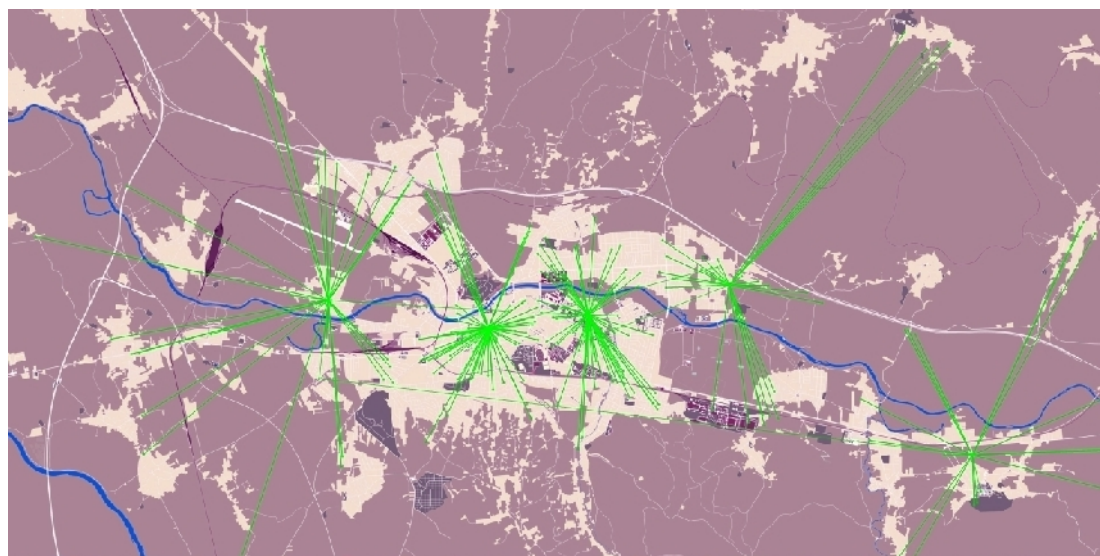
Ukoliko se sada vratimo na sliku 4.3 i prostorni raspored svih 218 odredišta kao polazne podatke obrađene u ovom primeru, interesantno je uočiti kako sada ova odredišta delimo na 5 pod-skupova i svako pojedino odredište vezujemo za jednu od lokacija iz rešenja. Na ovaj način će ceo geografski prostor grada biti podeljen na 5 regiona, pri čemu će sada svaki novi poziv koji se uputi ka „call“-centru biti klasifikovan prema regionu iz kojeg dolazi. Spajanje odredišta sa najbližim parking



mestom iz kompleta lokacija koji čini optimaizaciono rešenje je najbrži metod za definisanje regiona.



*Slika 4.7. Polazni raspored i početna cena primera od 218 odredišta*

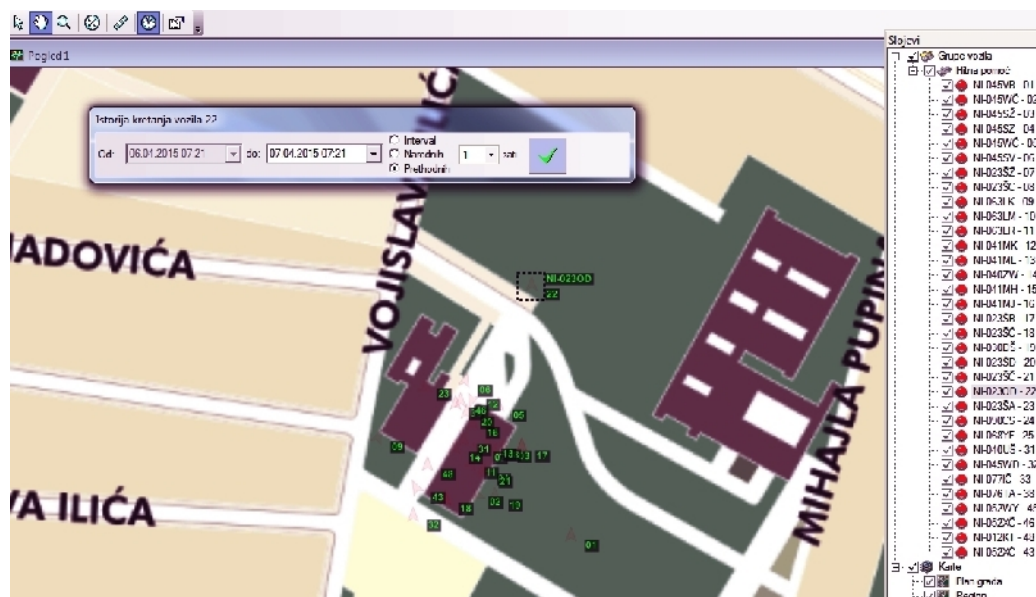


*Slika 4.8. Raspored odredišta u odnosu na najbližu lokaciju iz rešenja*

Na slikama 4.7 i 4.8 prikazano je kako povezivanje odredišta sa parkinzima vodi ka definisanju regiona. Najpre je na slici 4.7 prikazano kako je izračunata početna

cena koja iznosi  $C_{tot} = 899.876,00$  metara, a odnosi se na posmatrani ilustrativni primer od 218 odredišta koji analiziramo u ovom poglavlju. Na slici 4.8 su ta ista odredišta spojena sa najbližim parking mestima.

Na slici 4.8 prikazan je geografski raspored lokacija koje čine najbolje izračunato rešenje za koje je  $C_{opt} = 386.268,00$  metara. U slučaju prikazanom na slici 4.8, svakoj od 5 lokacija koje čine rešenje pridruženo je redom 61, 27, 73, 35 i 18 odredišta i ovo je grafička prezentacija poslednje iteracije pod rednim brojem 112, prikazane na slici 4.5. Niz brojeva 134/106/80/73/98 koji prati ovu poslednju iteraciju čini ključ pomoću koga se vraćamo na matricu rastojanja i do longitudinalne i lateralne koordinate lokacija iz rešenja. Redni brojevi lokacija se nisu menjali i to su isti redni brojevi na osnovu kojih je popunjena matrica rastojanja  $M(i, i)$  na samom početku algoritma.



kombinaciju: 30 prethodnih dana i 5 vozila kao rezultat rada modula GA-GISLAB dobija ispred sebe sliku 4.8. Ukrštanjem podataka sa trenutnim podacima o rasporedu vozila prikazanim na slici 4.10, koje se dobija iz aplikacije GinisAVL, on na početku svoje smene donosi odluku o relokaciji i upućuje jedno ili više vozila na lokacije predviđene da budu parking mesta za čekanje na poziv tokom dežurstva koje počinje. Pokretanje modula GA-GISLAB je moguće svakog dana sa različitim parametrima vezanim za vremenski interval i broj vozila na raspolaganju.



Slika 4.10. Prikaz informacija na raspolaganju u radu sa programom GinisAVL

Kombinacija programa GinisAVL i prototipa GA-GISLAB pored elementarnih informacija o kretanju vozila iz voznog parka Službe za hitnu medicinsku pomoć, pružaju mogućnost i drugih dodatnih analiza koje mogu biti od velike pomoći tokom procene efikasnosti i evaluacije rada ovog veoma važnog javnog servisa.

Standardni izgled ekrana i informacije sa kojima manipuliše dispečer u „call“ centru, prikazani su na slici 4.10.

## **5. Analiza rezultata**

U prethodnom poglavlju opisan je implementirani prototip sistema za praćenje vozila i elementi praktičnog rešenja koje je ponuđeno kao odgovor na postavljene optimizacioni zadatak. Praktični aspekti rešenja sagledani su i analizirani na ilustrativnom primeru od 218 odredišta i 5 raspoloživih vozila. Tokom realizacije opisanog sistema trebalo je dati odgovor na određena pitanja vezana za različite aspekte optimizacionog zadatka. Jedno od pitanja koja su se nametnula tiče se dužine perioda u prošlosti koji treba analizirati da bi se dobilo kvalitetno otimizaciono rešenje. Drugo pitanje je: kako tip rastojanja između odredišta, koje može biti euklidsko, rutirano ili vremensko, utiče na rešenje. Na kraju se pojavilo i pitanje kakve su uopšte performanse predloženog rešenja u poređenju sa sličnim rešenjima čiji je opis dostupan u literaturi. U ovom poglavlju ponuđeni su odgovori na ova važna pitanja.

### **5.1. Analiza rezultata sa stanovišta veličine uzorka**

Osnovna komparativna prednost ove disertacije u odnosu na slična istraživanja je činjenica da su korišćeni realni podaci dobijeni u realnom radu Službe za hitnu medicinsku pomoć, odnosno, na terenu. Ulazni podaci na kojima je primenjen predloženi algoritam ekstrahovani su iz baze podataka u kojoj je memorisano kretanje vozila kompletnog voznog parka Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu u određenom periodu. Ovakva prilika se retko pruža istraživačima koji uglavnom rade na matematički generisanom skupu podataka i u laboratorijskim uslovima. Fragment ulaznih podataka ekstrahovan iz raspoložive baze podataka, u izvornom obliku u kome se dobija kao rezultat upita, prikazan je na slici 5.1.



GID	ID	TIME	LAT	LON	SPEED	COURSE
52	2434	2014-09-01 00:01:41.000	43.313672	21.917037	0.6	31.9
52	2434	2014-09-01 00:03:41.000	43.31313	21.915623	2.6	291.6
52	2434	2014-09-01 00:05:42.000	43.313128	21.916345	0.7	52.1
52	2434	2014-09-01 00:07:42.000	43.313092	21.916497	8.3	161
52	2434	2014-09-01 00:09:42.000	43.313083	21.916513	2	11
52	2434	2014-09-01 00:11:42.000	43.313648	21.916595	10.6	38.1
52	2434	2014-09-01 00:13:43.000	43.313067	21.916403	1.9	187.6
52	2434	2014-09-01 00:15:43.000	43.313185	21.916513	2	187
52	2434	2014-09-01 00:17:43.000	43.31287	21.915953	10	253.9
52	2434	2014-09-01 00:19:43.000	43.313062	21.916425	3.7	349.4
52	2434	2014-09-01 00:21:43.000	43.31334	21.916332	5.9	283.1
52	2434	2014-09-01 00:23:44.000	43.313013	21.916373	1.1	229.2
52	2434	2014-09-01 00:25:44.000	43.312505	21.916147	4.8	218.7
52	2434	2014-09-01 00:27:44.000	43.313025	21.916778	5.7	74.3
52	2434	2014-09-01 00:29:44.000	43.312947	21.916788	7.8	41.5
52	2434	2014-09-01 00:32:56.000	43.313302	21.916367	3.5	5.2
52	2434	2014-09-01 00:33:45.000	43.312912	21.916613	15.4	22.4
52	2434	2014-09-01 00:35:45.000	43.313042	21.916427	1.7	324.9
52	2434	2014-09-01 00:37:45.000	43.313313	21.915982	4.6	170.2
52	2434	2014-09-01 00:44:53.000	43.31246	21.917273	6.9	153.2
52	2434	2014-09-01 00:45:46.000	43.312618	21.916512	4.4	332.1
52	2434	2014-09-01 00:47:46.000	43.316812	21.915817	50.2	356.7
52	2434	2014-09-01 00:49:46.000	43.312793	21.916502	3.1	191.3
52	2434	2014-09-01 00:52:33.000	43.312847	21.916425	1.9	15.9
52	2434	2014-09-01 00:54:34.000	43.31401	21.91635	12.8	345.9
52	2434	2014-09-01 00:56:34.000	43.31289	21.916592	1.1	341.5
52	2434	2014-09-01 00:57:47.000	43.313032	21.916483	6.3	169.9
52	2434	2014-09-01 00:59:48.000	43.312595	21.916542	2.2	148.9
52	2434	2014-09-01 01:01:48.000	43.312837	21.916473	2.6	3.2
52	2434	2014-09-01 01:46:25.000	43.31247	21.916358	4.1	256.9

*Slika 5.1. Deo ulaznih podataka korišćenih u prvoj fazi algoritma*

Na slici 5.1 se vidi struktura ulaznih podataka, među kojima su najvažniji trenutak u kome se beleži pozicija vozila (TIME), sama trenutna pozicija vozila određena vrednostima lateralne (LAT) i longitudinalne (LON) koordinate i brzina vozila (SPEED). Pored ovih podataka koji za nas imaju najveći značaj, tu su i šifre za identifikaciju vozila (GID i ID) i smer u kome se vozilo kreće u odnosu na prethodnu poziciju (COURSE). Vreme između evidentiranja dve uzastopne pozicije je 15 sekundi. Ukoliko nema promene u poziciji podaci se ne upisuju u bazu. Za period od 90 dana (od 01.09.2014 godine do 01.12.2014 godine) u bazu podataka je upisano ukupno 2.322.614 zapisa. Broj zapisa u bazi evidentiran tokom jednog dana varira i zavisi od mnogo različitih faktora, a u tabeli 5.1 su (radi ilustracije) dati podaci o broju zapisa evidentiranih u bazi podataka tokom 10, 30 i 90 dana, u vremenskim intervalima koji su posmatrani tokom realizacije ove disertacije.

Tabela 5.1. Ilustracija broja podataka u bazi za različite vremenske intervale

Početak:	Kraj:	Broj dana:	Broj zapisa:
01.09.2014	10.09.2014	10	217.289,00
01.09.2014	01.10.2014	30	738.187,00
01.09.2014	01.12.2014	90	2.322.614,00

Broj odredišta do kojih vozila hitne pomoći stignu u toku jednog dana varira u zavisnosti od toga o kom se danu radi. Od uticaja je mnogo različitih faktora kao što su: godišnje doba, metereološki uslovi, moguća epidemija, stanje voznog parka, raspoloživost osoblja, stanje na putevima, održavanje raznih društvenih i sportskih manifestacija itd. Iako bi sam broj intervencija mogao da bude predmet jedne posebne analize, na osnovu podataka koji su bili na raspolaganju, utvrđeno je da se broj intervencija za 30 dana kreće u proseku između 300 i 600.

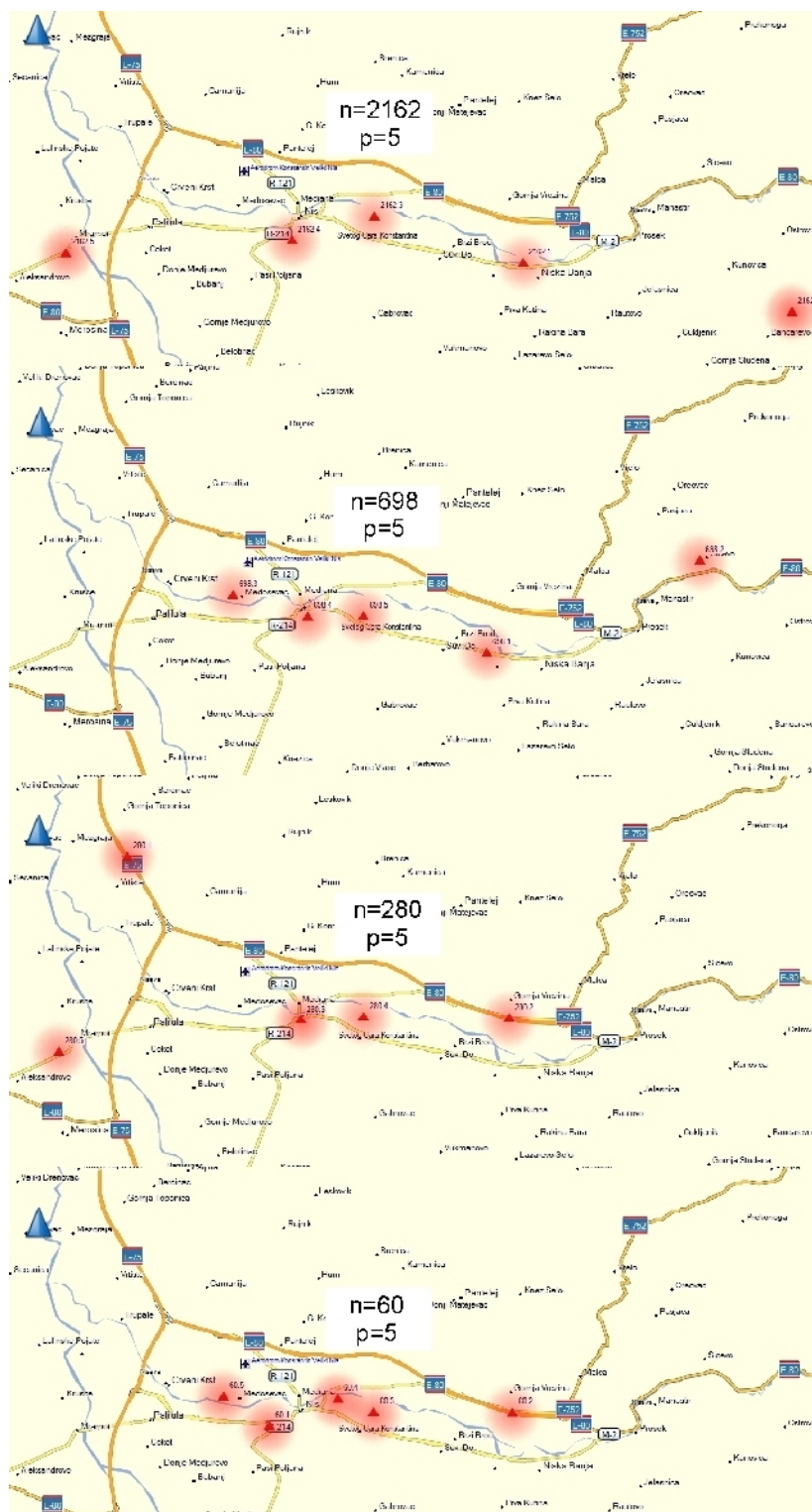
Za potrebe analize rezultata i poređenje uticaja veličine uzorka na kvalitet rešenja, posmatrali smo različite periode tokom druge polovine 2014 godine. Iz baze podataka su ekstrahovani podaci na osnovu upita kojim su definisani vremenski intervale različitog trajanja, a na osnovu kojih je prva faza algoritma u četiri posmatrana slučaja generisala sukcesivno: 2162, 698, 280 i 62 odredišta. Geografski raspored svih ovih odredišta u posmatrana četiri slučaja prikazan je na mapi grada na slici 5.2.

Za analizu kvaliteta postignutog useha u optimizaciji i procenu uticaja koji na kvalitet ima obim ulaznih podataka, iskoristićemo kefcijent uštede koji smo definisali u prethodnom poglavlju pomoću formule (4.1). Analizirali smo i uporedili primere od 2162, 698, 280 i 62 odredišta pri čemu je broj raspoloživih vozila bio identičan i iznosio je:  $p=5$ .



Slika 5.2. Raspored 2162, 698, 280 i 62 odredišta na mapi grada



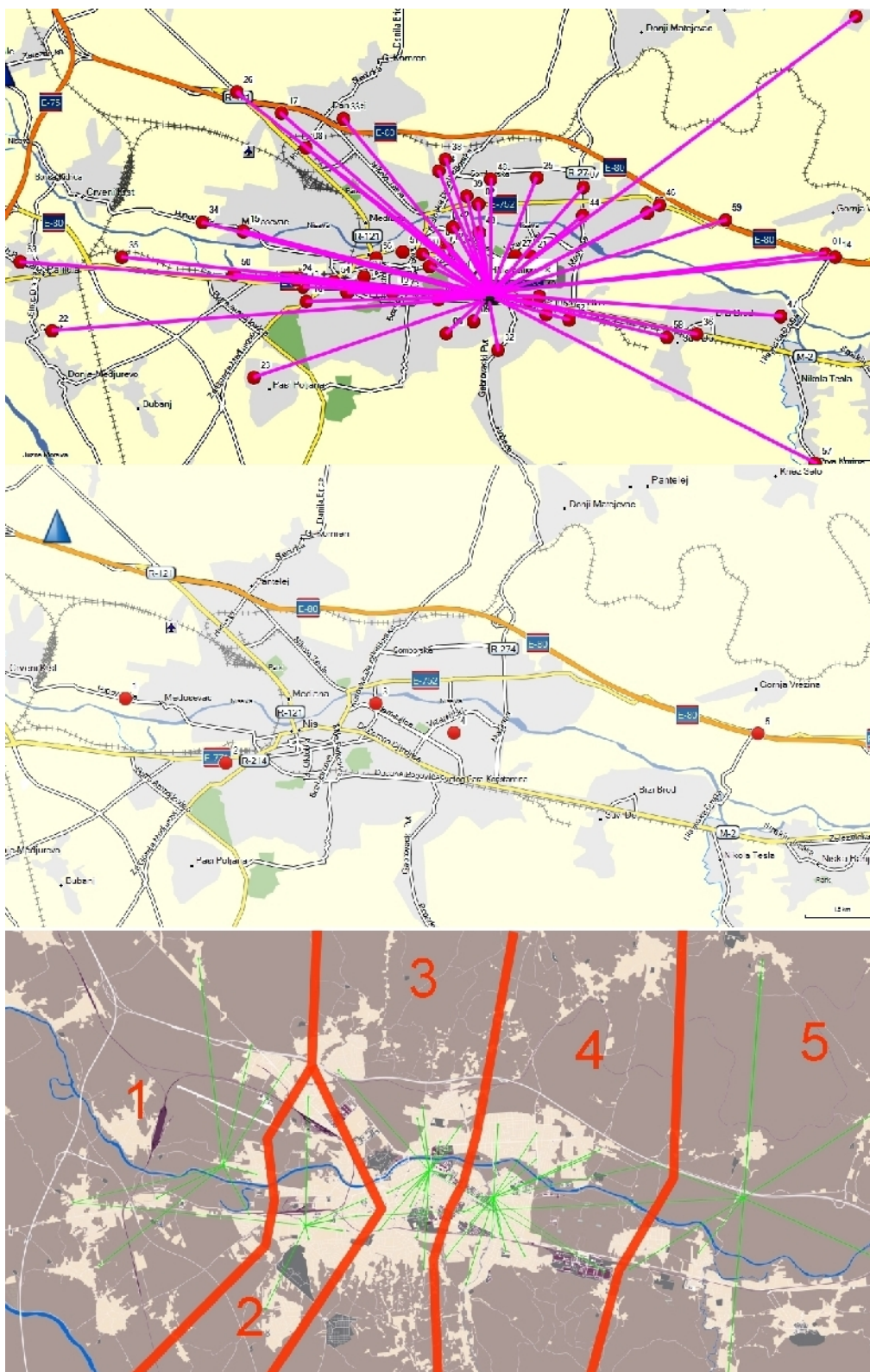


Slika 5.3. Polozaj semi-optimalnih rešenja u sva četiri posmatrana slučaja različitog obima ulaznih podataka

Na slici 5.3 je prikazan položaj svih lokacija koje su rešenja u sva četiri posmatrana slučaja. Pet lokacija koje čine jedno rešenje, za slučaj ulaznih podataka od 2162 odredišta, obeleženo je oznakama: 2162-1, 2162-2, 2162-3, 2162-4 i 2162-5. Istom logikom obeležena su i parkirališta koja čine ostala rešenja. Iako se analizirani period u pogledu datuma koje obuhvata svaki od posmatranih primera preklapa, pri čemu se podrazumeva da je u slučaju 2162 destinacija ovaj interval najduži, na slici 5.3 se uočava da se položaji lokacija koje čine rešenje u velikoj meri razlikuju i da se u zavisnosti od posmatranog intervala položaj najpogodnijih lokacija očigledno menja. Ovo navodi na zaključak da semi-optimalno rešenje treba stalno nanovo izračunavati i da se ne treba vezati samo za jedan komplet lokacija. Odavde je i proistekla preporuka odgovornom autoritetu zaduženom za organizaciju Službe za hitnu medicinsku pomoć da pogodnosti koje nudi optimizacioni model predložen u disertaciji, koristi bar jednom dnevno i to na početku svake nove smene u voznom parku.

Posmatranjem geografskog rasporeda lokacija koje je kao rešenje ponudio sistem a koji je prikazan na slici 5.3, uočava se da su, bez obzira na veličinu uzorka, odnosno na početni broj odredišta, parking mesta koja čine jedno rešenja uvek po pravilu razvučena po pravcu istok – zapad. Ova činjenica je i bila za očekivanje jer je grad Niš, što se gustine naseljenosti tiče, „razvučen“ po pravcu istok – zapad. Geografski raspored poziva za intervenciju Službe za hitnu medicinsku pomoć očekivano prati geografski raspored gustine naseljenosti. Međutim, kakav god raspored lokacija koje čine rešenje bio, uočava se jedna te ista lokacija na krajnjem istoku, koja je relativno dalje od ostalih i koja je posledica činjenice da ona pokriva gušće naseljena prigradska naselja na istoku. Što je početni uzorak veći i ova lokacija je sve više udaljena od gusto naseljenog gradskog jezgra. Kada je početni uzorak manji ona je bliža ostalim predloženim parking mestima. Na tragu ove logike, sa slike 5.3 se takođe zaključuje da sa manjim uzorkom parking mesta koja čine jedno rešenje, dolazi do međusobne prostorne grupisanosti parkirališta i to u gusto naseljenom gradskom jezgru, pri čemu je i njihovo međusobno rastojanje sve manje. I ovaj trend je bio očekivan, jer



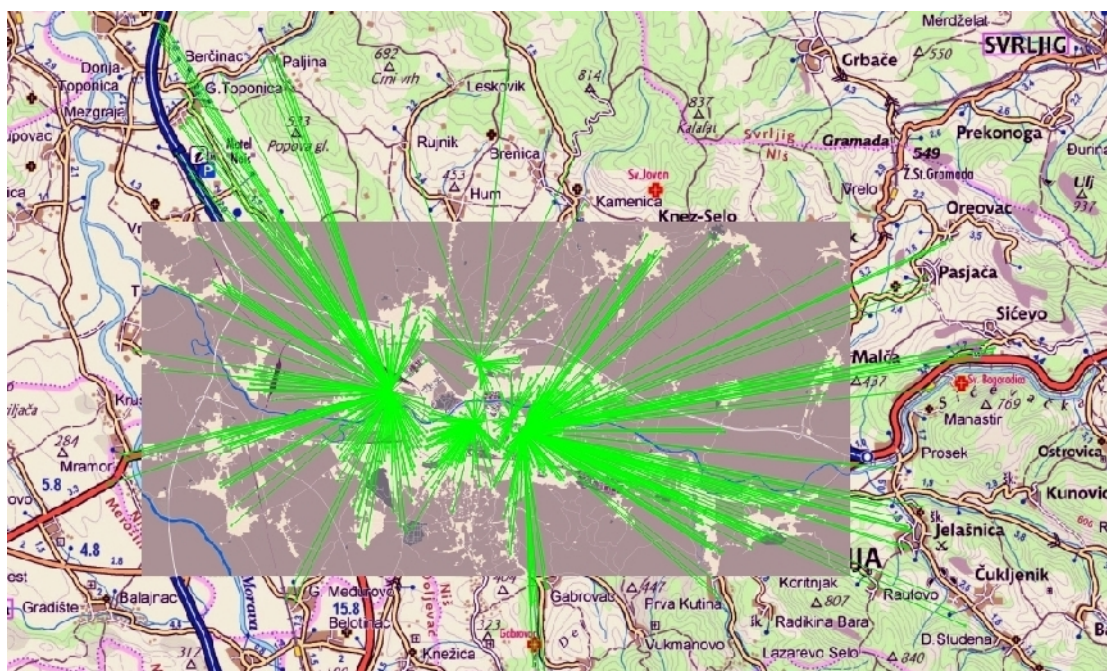


Slika 5.5. Rešenje za slučaj  $n=60$  i  $p=5$  i podela površine grada na 5 regiona



Nešto veće površine označene plavim krugovima i brojevima 2 i 3 prikazane na slici 5.4, bez obzira na širi prostor koji obuhvataju, takođe predstavljaju karakteristične oblasti u kojima će sa velikom verovatnoćom biti locirano optimalno parking mesto, bez obzira koliki bio obim ulaznih podataka.

Kako je površina grada podeljena i koje oblasti pokriva svaka pojedina parking lokacija određena predloženim semi-optimalnim rešenjem, najlakše se uočava kada se na mapi grada prikaže kako su sva odredišta koja čine početni paket za analizu na kraju pridružena pojedinim parking lokacijama. Na slici 5.5 prikazan je put od početnog paketa od 60 odredišta, preko geografskog položaja parking mesta do podele površine šireg gradskog područja na 5 regiona pridruženih parking mestima.



Slika 5.6. Odredišta pridružena najbližem parkingu za  $n=697$  i  $p=5$

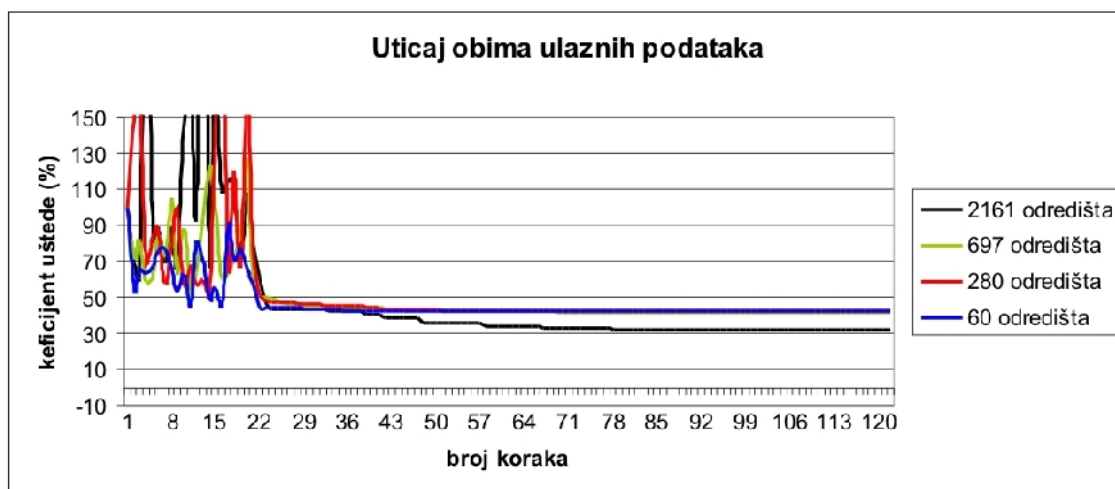
Što je obim ulaznih podataka veći, geografski prostor grada i okoline je lakše podeliti na regione pridružene svakom pojedinačnom parkingu. To se lepo može uočiti na slici 5.6 gde je 697 odredišta raspoređeno i pridruženo najbližem parkingu.

Analizu uticaja obima ulaznih podataka na kvalitet rešenja sprovedćemo na osnovu podataka koji su prikazani u tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Promena cene rešenja u zavisnosti od obima ulaznih podataka

Broj odredišta:	Broj vozila:	C <sub>tot</sub> (metara):	C <sub>inter</sub> (metara):	C <sub>opt</sub> (metara):	K <sub>u</sub> %
2.161	5	12.348.894	7.523.830	3.972.853	32
697	5	3.502.486	1.791.384	1.438.182	41
280	5	1.239.320	631.483	527.786	43
60	5	268.677	117.737	112.593	42

Uporedni podaci i rezultati postignuti tokom primene algoritma u sva četiri slučaja različitog obima ulaznih podataka su osnovni elementi pomoću kojih su izračunati koeficijenti uštede. Polazimo od parametra  $C_{tot}$  koji predstavlja početnu cenu izraženu u metrima i ukupan put koji treba preći da se vozilima koja kreću iz garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć, obiđe svih  $n$  početnih odredišta. Ovo je praktično "cena" koja je plaćena u prošlosti za posmatrani period bez primene bilo kakve optimizacije. Sa  $C_{inter}$  označena je cena koja se dobija nakon prve faze algoritma i primene "1-opt" procedure kroz 20 iteracija primenjenih na podskupove susednih lokacija. Ovo je istovremeno i početno rešenje za primenu genetskog algoritma u trećoj fazi. Rezultat genetskog algoritma i semi-optimalno rešenje koje cela metoda nudi daje cenu  $C_{opt}$ . To je poslednji podatak neophodan da se izračuna koeficijent uštede  $K_u$ .



Slika 5.7. Ponašanje koeficijenta uštede u zavisnosti od obima ulaznih podataka

Na slici 5.7 grafički je prikazano ponašanje koeficijenta uštede tokom izvršavanja algoritma po fazama. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.2 i slici 5.7, uočava se da je nešto bolji koeficijent uštede u iznosu od 31%, ostvaren samo u slučaju najvećeg obima ulaznih podataka koji iznosi 2.161 odredišta. Ovo je rezultat ekstrakcije iz baze podataka za period koji je skoro kompletna druga polovina 2014. godine. Pri ovako velikom obimu ulaznih podataka, savremeni komercijalni personalni računar kakav je na raspolaganju Službi za hitnu medicinsku pomoć i koji je tokom realizacije ove disertacije zatečen u svakodnevnoj upotrebi, kompletan prototipski modul izvrši za nekoliko minuta. Na referentnom računaru koji je korišćen u narednom poglavlju za poređenje i analizu efikasnosti algoritma, vreme izvršavanja modula u slučaju 2.161 odredišta postaje problematično i nepraktično sa stanovišta svakodnevne eksploatacije. Međutim, ovako veliki obim ulaznih podataka nije imperativ. Sasvim zadovoljavajući koeficijenti uštede od 41% do 42% ostvaruju se uz korišćenje manjeg obima ulaznih podataka. Ukoliko se odlučimo za period od oko 30-ak dana i ekstrahujemo par stotina destinacija, savremeni računar ceo prototipski modul izvrši za par sekundi a referentni za vreme od 20 do 30 sekundi.

Na osnovu ponašanja koeficijenta uštede zaključujemo da u praksi nije neophodno insistirati na ogromnim uzorcima i dugim periodima u prošlosti, već se sasvim korektne uštede postižu i sa manjim obimom podataka. U praksi je dovoljno posmatrati period od prethodnih 30 dana i na ovom uzorku sprovesti optimizaciju. Uz takav obim podataka, prototipski modul je celishodno pokretati svakog dana i tako osigurati da su u optimizaciju ukalkulisane sve najsvježije promene sa stanovišta situacije na terenu. Faktora koji u kratkom periodu mogu da degradiraju kvalitet rešenja koje je dugo u upotrebi ima mnogo a karakteristični su, na primer, rekonstrukcija putne mreže ili epidemija neke bolesti.



## 5.2. Analiza rezultata u zavisnosti od tipa udaljenosti između odredišta

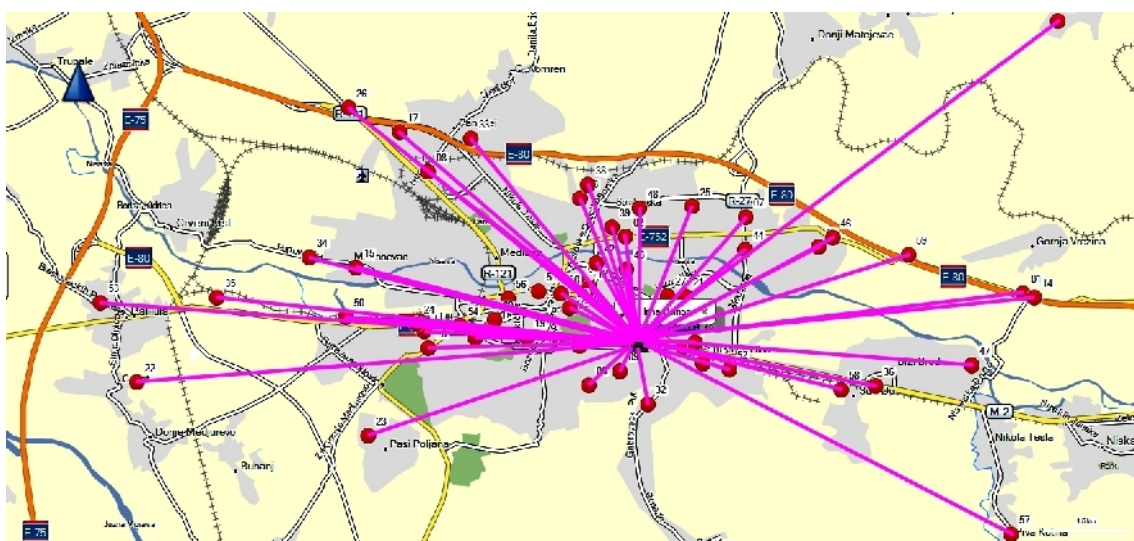
Rezultat I faze algoritma je određeni broj odredišta do kojih su vozila dolazila tokom posmatranog vremenskog intervala u prošlosti. Broj odredišta određuje dimenzije, a međusobno rastojanje između odredišta su numerička vrednost elemenata matrice rastojanja  $M(i, i)$ . Ova matrica je polazište za sva naredna izračunavanja u II i III fazi algoritma. U dosadašnjim analizama elementi matrice popunjavani su na kraju I faze izračunavanjem euklidskog rastojanja između odredišta, odnosno za rastojanje između dva odredišta uzimana je prava linija izračunata po formuli (5.1):

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.1)$$

Rastojanje  $d$  se u ovom slučaju izračunava kao hipotenuza pravouglog trougla koji čini razlika  $x$  i  $y$  koordinata dve tačke:  $(x_1, y_1)$  i  $(x_2, y_2)$ . U geografskom koordinatnom sistemu,  $x$  i  $y$  su lateralno i longitudinalno rastojanje u stepenima geografske širine i dužine. Prilikom izračunavanja najkraćeg rastojanja između dve lokacije na osnovu geografske širine i dužine, mora se uzeti u obzir zakrivljenost Zemljine površine. Međutim, za red veličine rastojanja sa kojima radimo tokom rešavanja našeg optimizacionog zadatka i ukoliko imamo u vidu da smo na samom početku ograničili geografski prostor koji posmatramo, opravdano je koristiti aproksimativni proračun. U tu svrhu, tokom kalkulacija izvedenih tokom izrade disertacije, za najkraće rastojanje između dve tačke korišćena je približna funkcija (5.2) preuzeta sa portala kompanije „Movable Type Ltd.“, Cambridge, UK [26]. Upotrebom formule definisane funkcijom (5.2) postizemo preciznost razdaljine unutar margine od 10 dužnih metara, što je u skladu i sa već determinisanom tačnošću ograničenom brojem decimalnih mesta u našem podatku o lateralnoj i longitudinalnoj koordinati lokacije.

```
function distance(x2, y2, x1, y1) (5.2)
  Dim dlat, dlong
  dlat = Int(Abs(y2 - y1) * 0.111111)
  dlong = Int(Abs(x2 - x1) * 0.111111 * Cos(y2 * 0.000001))
  distance = Sqr((dlat * dlat) + (dlong * dlong))
end
```

U funkciji (5.2) promenljive **dlat** i **dlong** predstavljaju razliku u koordinatama u lateralnom i longitudinalnom pravcu između lokacija  $(x_1, y_1)$  i  $(x_2, y_2)$ . Ovako izračunato rastojanje predstavlja najkraće „vazdušno“ rastojanje ili euklidsko rastojanje. Na ovaj način definisano međusobno rastojanje između dva odredišta iskorišćeno je tokom praktične realizacije prototipa u programskom modulu GA-GISLAB, prilikom realizacije proračuna neophodnih za potrebe procene uticaja tipa rastojanja između odredišta. Posmatraćemo ilustrativni primer od 60 odredišta, ekstrahovanih iz baze podataka tokom vremenskog intervala od 10 dana.

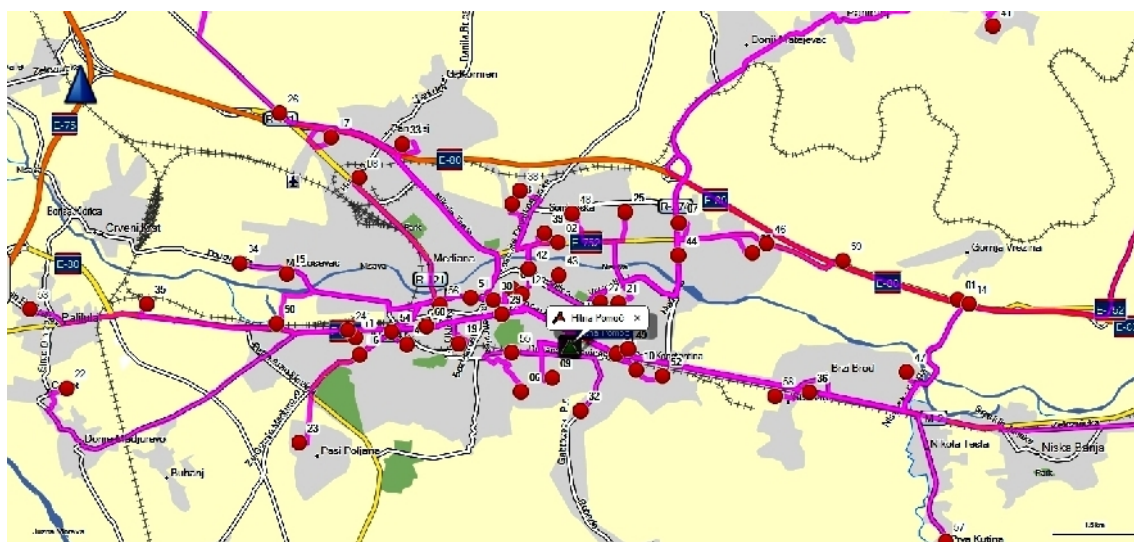


Slika 5.8. Euklidska rastojanja od centralne garaže do 60 odredišta

Ukoliko na mapi grada predstavimo geografski položaj ovih 60 odredišta i izračunamo euklidsko rastojanje od centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć

do svakog od ovih odredišta dobićemo iznos od 255.387,00 metara, ili približno 255 kilometara. Ovo je početna cena ( $C_{tot}$ ) rešenja optimizacionog procesa u slučaju da je matrica rastojanja  $M(i, i)$  popunjena elementima koji predstavljaju početna euklidska rastojanja. Geografski raspored svih 60 odredišta i najkraće rastojanje do centralne garaže prikazani su na slici 5.8.

Umesto euklidskog rastojanja između dva odredišta moguće je posmatrati i rastojanje određeno dužinom puta koji treba preći kretanjem po postojećoj putnoj mreži. Tada više ne govorimo o euklidskom već o rutiranom rastojanju između odredišta. Za popunjavanje matrice rutiranim rastojanjima potrebno je na ulaznim podacima koje čine koordinate odredišta umesto prethodno definisanog izračunavanja euklidskog rastojanja, sprovesti proračun uz korišćenje podataka o putnoj mreži i izračunati koliko metara razdvaja posmatrane dve lokacije ukoliko se krećemo po saobraćajnicama i poštujemo saobraćajne propise. Nakon ovog dodatnog proračuna koji praktično predstavlja jednu vrstu pred-procesiranja, elemente matrice rastojanja  $M(i, i)$  popunjavamo rutiranim rastojanjima. Nastavak algoritma i njegova II i III faza ostaju identične kao u slučaju kada radimo sa euklidskim rastojanjima.



Slika 5.9. Rutirane putanje od centralne garaže do 60 odredišta

Za potrebe našeg projekta, rutiranje je urađeno pomoću programa "Garmin BaseCamp, Ver.4.3.4, 2008-2014 Garmin Ltd" [27] koji dopušta tabelarni unos koordinata i isporučuje podatke o ruti i vremenu na osnovu putne mreže definisane mapom koju smo koristili za potrebe ovog projekta i koja nosi oznaku: "City Navigator Europe NT 2014.3 Ver.17.30 NAVTEQ". Početna cena ( $C_{tot}$ ), odnosno ukupan put koji treba da pređe vozilo Službe za hitnu medicinsku pomoć, da obiđe svih 60 odredišta rutiranim putanjama, ukoliko uvek krene iz centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu, je 293.155,00 metara ili približno 293 kilometara. Na slici 5.9 je prikazan položaj posmatranih 60 odredišta i rute kojima se do njih stiže ukoliko vozilo svaki put iznova krene iz centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć. Na osnovu podataka prikazanih na slici 5.9 i rezultata pred-procesiranja pomoću programa za rutiranje, moguće je dobiti još jedan interesantan podatak koji govori o rastojanju između dve posmatrane tačke, a to je vreme u minutama, potrebno da se kretanjem po putnoj mreži stigne od jedne do druge lokacije. Na ovaj način moguće je matricu rastojanja  $M(i, j)$  popuniti i na treći način, a to je vremenskim intervalima potrebnim za prelazak rastojanja – takozvanim „vremenskim rastojanjima“ između pojedinih lokacija. Na ovaj način iz dvodimenzionalne ravni prelazimo u vremenski domen i cenu rešenja više ne posmatramo u metrima i kilometrima već u minutama. Ukoliko matricu rastojanja popunimo vremenskim rastojanjima, dobijamo početnu cenu primera prikazanog na slici 5.9, u iznosu od 533,00 minuta. Tako da sada ilustrativni primer od 60 lokacija možemo da rešimo u tri pravca, koristeći tri različita tipa rastojanja: euklidsko, rutirano i vremensko.

Sve tri varijante algoritma primenjene na isti skup odredišta omogućavaju analizu uticaja svakog pojedinog tipa ulaznih podataka na kvalitet konačnog rešenja. Za procenu kvaliteta dobijenih rešenja i njihovo poređenje koristićemo već upotrebljavan koeficijent uštede  $K_u$ . Zanimljivo je uporediti veličinu sva tri rastojanja do svakog od 60 odredišta i videti uporedno podatke na osnovu kojih je izračunata veličina početne cene  $C_{tot}$  za sve tri različite metrike. Ovi uporedni rezultati dati su u tabeli 5.3.

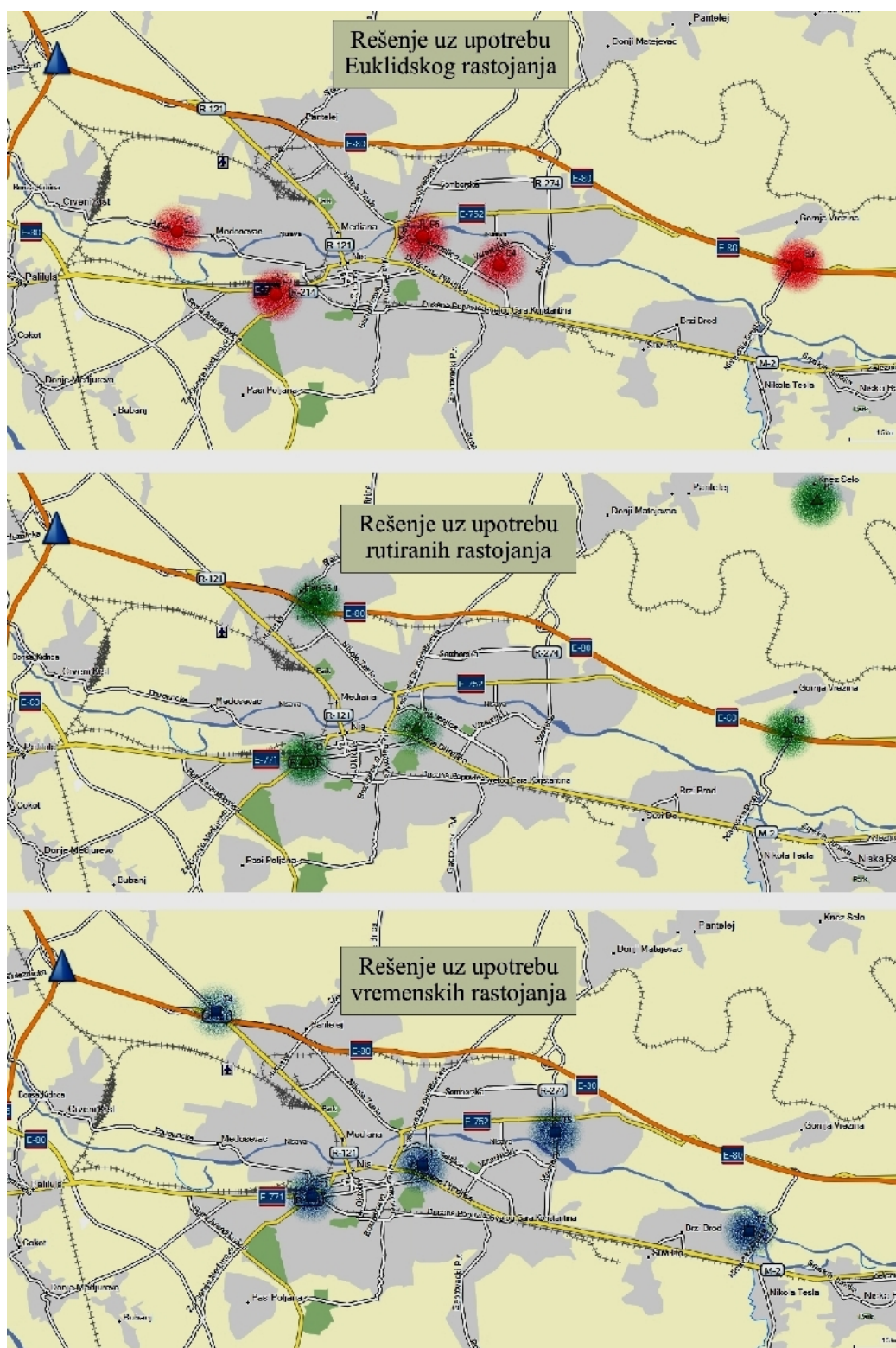
Tabela 5.3. Rastojanja od centralne garaže do 60 odredišta i  $C_{tot}$

	Euclidian distances(m)	Routed distances(m)	Time minutes				
1	8,210.00	8,319.00	12.00	31	1,072.00	1,573.00	3.00
2	1,740.00	2,820.00	6.00	32	1,226.00	2,690.00	5.00
3	11,490.00	14,872.00	16.00	33	4,888.00	5,660.00	11.00
4	1,479.00	1,754.00	4.00	34	6,010.00	7,058.00	13.00
5	4,229.00	4,900.00	10.00	35	7,700.00	8,921.00	15.00
6	1,296.00	2,850.00	7.00	36	5,217.00	5,230.00	10.00
7	3,149.00	4,010.00	9.00	37	456.00	678.00	2.00
8	5,200.00	5,241.00	11.00	38	2,806.00	3,940.00	11.00
9	689.00	1,449.00	3.00	39	1,948.00	2,750.00	7.00
10	1,545.00	1,802.00	5.00	40	10,793.00	11,860.00	18.00
11	4,360.00	4,473.00	9.00	41	10,565.00	12,470.00	20.00
12	1,263.00	1,472.00	3.00	42	1,501.00	1,948.00	4.00
13	2,655.00	3,480.00	9.00	43	1,171.00	1,773.00	5.00
14	8,320.00	8,554.00	13.00	44	2,802.00	3,220.00	6.00
15	5,210.00	6,045.00	11.00	45	3,386.00	3,580.00	8.00
16	3,890.00	4,391.00	9.00	46	4,570.00	4,940.00	9.00
17	6,127.00	7,040.00	13.00	47	6,530.00	7,218.00	10.00
18	426.00	549.00	1.00	48	2,229.00	3,410.00	8.00
19	2,288.00	2,920.00	8.00	49	1,307.00	1,915.00	4.00
20	12,862.00	15,170.00	17.00	50	5,690.00	6,160.00	15.00
21	1,292.00	2,090.00	5.00	51	2,020.00	2,175.00	4.00
22	10,410.00	10,628.00	19.00	52	2,112.00	2,340.00	6.00
23	5,931.00	5,970.00	13.00	53	9,290.00	11,391.00	18.00
24	4,130.00	4,643.00	9.00	54	3,260.00	3,717.00	7.00
25	2,573.00	2,960.00	7.00	55	1,179.00	1,292.00	3.00
26	7,030.00	7,264.00	12.00	56	2,763.00	3,010.00	7.00
27	996.00	1,174.00	3.00	57	8,300.00	8,745.00	14.00
28	9,430.00	9,632.00	15.00	58	4,515.00	4,540.00	8.00
29	1,457.00	1,511.00	3.00	59	6,019.00	6,260.00	11.00
30	1,655.00	1,720.00	3.00	60	2,730.00	2,988.00	6.00
	<b>255,387.00</b>	<b>293,155.00</b>	<b>533.00</b>				

Očigledno je da početna cena u slučaju euklidskog rastojanja ima manju vrednost u odnosu na početnu cenu vezanu za rutirana rastojanja. Ova razlika u veličini početne cene je bila i očekivana jer su pravolinijska rastojanja uvek kraća od rastojanja koje je posledica kretanja po putnoj mreži.

Ovde se nameće interesantno pitanje koje glasi: na koji način da pristupimo izračunavanju početne cene u slučaju vremenskih rastojanja? Moguća su dva pristupa. Podatak o tome koliko nam vremena treba da od centralne garaže stignemo do svakog od 60 odredišta, možemo da izvučemo iz arhiviranih informacija skrivenih u bazi podataka, na isti način na koji smo izvukli i koordinate odredišta. U momentu lociranja tačke koja predstavlja odredište iz baze podataka možemo da ekstrahujemo i vreme koje je bilo potrebno vozilu da iz centralne garaže stigne do tog odredišta. Drugi način je da do podatka o vremenskoj distanci dođemo prilikom primene procedure rutiranja pomoću pomenutog softverskog paketa „Garmin Ltd.“[27], jer pored rastojanja između dve lokacije, ovaj program isporučuje i vreme za koje pretpostavlja da će korisniku biti potrebno da stigne do zadate destinacije. Na prvi pogled, mnogo je primamljivije odlučiti se za ekstrakciju ovog podatka iz arhive o kretanju vozila, jer je to verodostojniji podatak i u skladu je sa pristupom za koji se zalažemo tokom izrade ove doktorske disertacije. Međutim, na ovaj način možemo da dođemo samo do početne cene  $C_{tot}$ , jer čim pređemo na popunjavanje elemenata matrice rastojanja  $M(i, i)$ , nailazimo na nepremostiv problem, pošto u arhivi kretanja vozila nemamo podatke o međusobnom rastojanju između pojedinih odredišta. Jedino što nam tada preostaje je da se vratimo u program za rutiranje i vremenko rastojanje između odredišta odredimo pomoću programa za rutiranje. Kako prilikom izračunavanja koeficijenta uštede  $K_u$ , delimo početnu i optimalnu cenu ( $C_{tot}$  i  $C_{opt}$ ) nije preporučljivo da u istoj formuli koristimo podatke dobijene iz dva različita izvora. Iz ovih razloga, tokom izračunavanja početne cene vezane za vremenska rastojanja koristimo podatke dobijene iz programa za rutiranje a ne iz baze podataka koja čuva podatke o kretanju vozila u prošlosti.





Slika 5.10. Optimizaciona rešenja dobijena korišćenjem različitih tipova ulazne metrike za slučaj:  $n=60$ ,  $p=5$

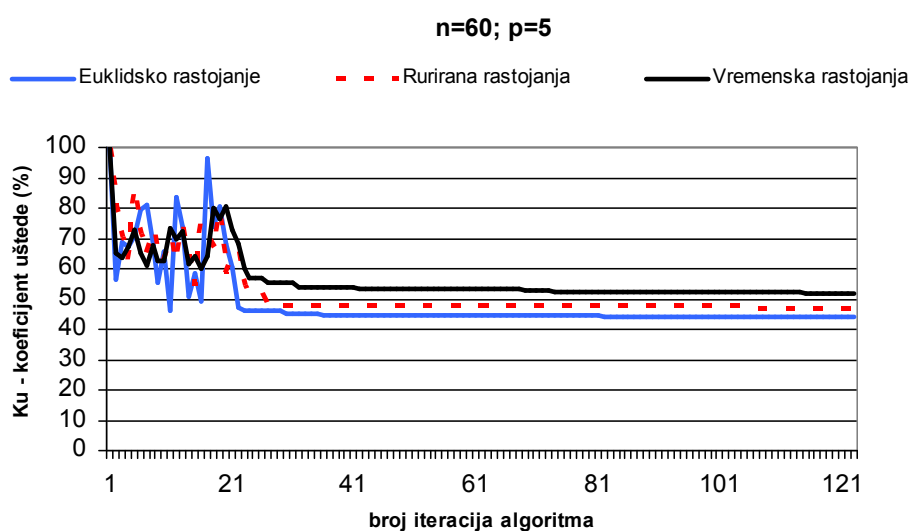
Tabela 5.4. Vrednosti postignute za optimalne cene rešenja  $C_{opt}$  i koeficijent uštede  $K_u$  tokom izvršavanja algoritma za različite tipove metrike između odredišta

Rb.	Euklidska		Rutirana		Vremenska	
	rastojanja(m)	Ku(%)	rastojanja(m)	Ku(%)	(minuta)	Ku(%)
1	255,387.00	100	293,155.00	100	533	100
2	144,372.00	57	236,469.00	81	348	65
3	174,976.00	69	206,050.00	70	340	64
4	171,054.00	67	184,171.00	63	358	67
5	180,122.00	71	253,572.00	86	388	73
6	202,576.00	79	208,390.00	71	346	65
7	189,670.00	74	206,868.00	71	326	61
8	174,065.00	68	213,297.00	73	361	68
9	141,685.00	55	192,990.00	66	334	63
10	166,984.00	65	183,789.00	63	334	63
11	117,737.00	46	206,560.00	70	391	73
12	183,422.00	72	213,374.00	73	371	70
13	188,960.00	74	217,636.00	74	385	72
14	130,075.00	51	186,500.00	64	328	62
15	149,243.00	58	158,939.00	54	342	64
16	125,191.00	49	220,975.00	75	321	60
17	205,359.00	80	246,331.00	84	342	64
18	189,034.00	74	195,518.00	67	427	80
19	205,989.00	81	232,683.00	79	407	76
20	172,121.00	67	174,730.00	60	430	81
21	154,244.00	60	184,319.00	63	389	73
22	121,019.00	47	194,187.00	66	364	68
23	117,737.00	46	158,939.00	54	321	60
24	117,737.00	46	153,940.00	53	303	57
25	117,737.00	46	153,187.00	52	303	57
26	117,737.00	46	153,187.00	52	303	57
27	117,737.00	46	139,944.00	48	295	55
28	117,737.00	46	139,944.00	48	295	55
29	117,737.00	46	139,944.00	48	295	55
30	115,756.00	45	139,944.00	48	295	55
31	115,756.00	45	139,944.00	48	295	55
32	115,756.00	45	139,944.00	48	288	54
33	115,756.00	45	139,944.00	48	288	54
34	115,756.00	45	139,944.00	48	287	54
35	115,756.00	45	139,944.00	48	287	54
36	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
37	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
38	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
39	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
40	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
41	114,265.00	45	139,944.00	48	287	54
42	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
43	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
44	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
45	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
46	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
47	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
48	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
49	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
50	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
51	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
52	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
53	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
54	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
55	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
56	114,265.00	45	139,944.00	48	283	53
57	114,154.00	45	139,944.00	48	283	53
58	114,154.00	45	139,944.00	48	283	53
59	114,154.00	45	139,944.00	48	283	53
60	114,154.00	45	139,944.00	48	283	53
61	114,154.00	45	139,944.00	48	283	53
62	113,972.00	45	139,944.00	48	283	53
63	113,972.00	45	139,944.00	48	283	53
64	113,972.00	45	139,944.00	48	283	53
65	113,972.00	45	139,395.00	48	283	53
66	113,972.00	45	139,395.00	48	283	53
67	113,972.00	45	139,395.00	48	283	53
68	113,972.00	45	139,395.00	48	283	53
69	113,972.00	45	139,395.00	48	282	53
70	113,972.00	45	139,395.00	48	282	53
71	113,972.00	45	139,395.00	48	282	53
72	113,972.00	45	139,395.00	48	282	53
73	113,972.00	45	139,395.00	48	282	53
74	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
75	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
76	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
77	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
78	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
79	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
80	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
81	113,972.00	45	139,395.00	48	278	52
82	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
83	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
84	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
85	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
86	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
87	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
88	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
89	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
90	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
91	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
92	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
93	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
94	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
95	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
96	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
97	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
98	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
99	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
100	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
101	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
102	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
103	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
104	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
105	113,165.00	44	139,395.00	48	278	52
106	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
107	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
108	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
109	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
110	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
111	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
112	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
113	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
114	113,165.00	44	136,352.00	47	278	52
115	113,165.00	44	136,352.00	47	275	52
116	113,165.00	44	136,352.00	47	275	52
117	113,165.00	44	136,352.00	47	275	52
118	113,165.00	44	136,352.00	47	275	52
119	112,593.00	44	136,352.00	47	275	52
120	112,593.00	44	136,352.00	47	275	52
121	112,593.00	44	136,352.00	47	275	52
122	112,593.00	44	136,352.00	47	275	52
123	112,593.00	44	136,352.00	47	275	52



Nakon faze popunjavanja matrice rastojanja na tri različita načina vezana za različiti tip rastojanja koji posmatramo, prelazimo na II i III fazu algoritma koja je identična u sva tri slučaja. Optimizacioni zadatak ćemo postaviti uz pretpostavku da imamo na raspolaganju 5 vozila i da želimo da pronađemo optimalna parking mesta za svih 5 vozila. Tokom II faze algoritma broj iteracija je ograničen na 20, a tokom III faze broj ciklusa genetskog algoritma je takođe unapred ograničen na ukupno 100 generacija. Dobijena rešenja u sva tri slučaja prikazana su na slici 5.10.

U tabeli 5.4 prikazane su vrednosti postignute za cenu rešenja i koeficijent uštede na kraju svakog pojedinačnog, od ukupno 120 koraka u izvršavanju algoritma tokom II i III faze. Vidi se da je najbolji postignuti koeficijent uštede prilikom korišćenja euklidskih rastojanja 44%, dok je prilikom upotrebe rutiranih rastojanja maksimalna postignuta ušteda 47% i prilikom upotrebe vremenskih rastojanja 52%. Bilo je za očekivati da će korišćenje euklidskih rastojanja dati efikasniji rezultat, jer je sama priroda elemenata matrice matematički doslednija i rastojanja između odredišta kompaktnija.



Slika 5.11. Ponašanje koeficijenta uštede tokom izvršavanja algoritma

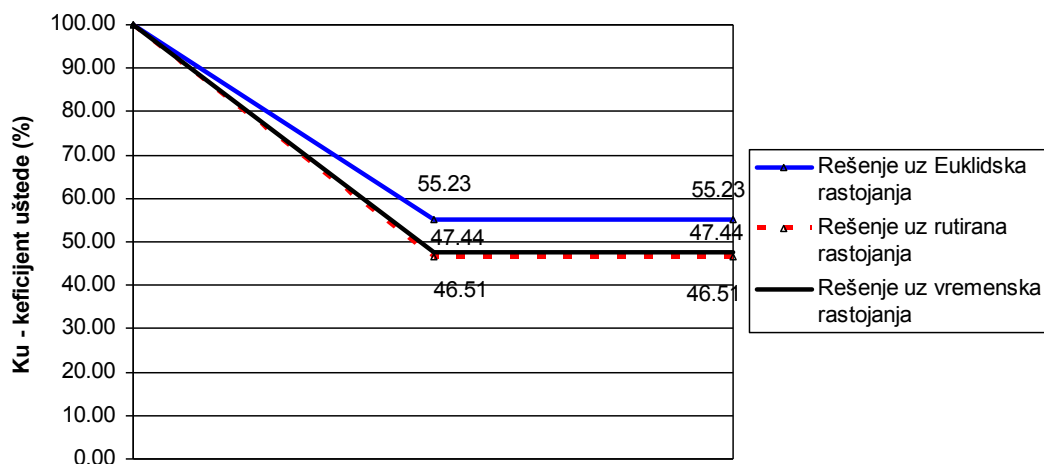
Nešto slabiji rezultat u vrednosti koeficijenta uštede u slučaju vremenskih rastojanja donekle se može opravdati malim apsolutnim iznosima u brojkama koje opisuju vremenska rastojanja, kao i malih apsolutnih iznosa razlika između njih. Ponašanje koeficijenta uštede na osnovu podataka prikazanih u tabeli 5.4, može se prikazati i grafički kao na slici 5.11.

Jasno je da kretanje po putnoj mreži i rutirana rastojanja oslikavaju objektivnu situaciju na terenu i da upotreba rutiranih rastojanja predstavlja prirodni i poželjni pristup rešavanju postavljenog optimizacionog zadatka. Međutim, na osnovu ponašanja koeficijenta uštede, zaključujemo da razlika u rezultatima koje postizemo nije toliko izražena da bi na osnovu nje trebalo unapred odbaciti upotrebu euklidskih rastojanja. I jedan i drugi pristup imaju svoje mesto i praktičnu primenu. Ukoliko brzina izvršavanja algoritma i ograničeni memorijski kapaciteti diktiraju uslove u kojima se realizuje optimizaciona procedura, ostaje opravdana upotreba euklidskih rastojanja. Dodatno pred-procesiranje i neophodnost da se na raspolaganju imaju podaci o putnoj mreži, u praksi mogu da uspore i otežaju upotrebu rutiranih rastojanja. U odnosu na malu razliku između koeficijenata uštede u ova dva slučaja, mnogo je značajniji veliki pad u ceni rešenja koji obe metode uvode, ukoliko imamo u vidu polaznu cenu kao posledicu odsustva bilo kakve optimizacione procedure. Opravdanost ovakvog zaključka proverićemo međusobnim ukrštanjem rezultata dobijenih u sva tri različita slučaja upotrebe različitog tipa rastojanja između odredišta.

U matricu rastojanja  $M(i,i)$ , popunjenu elementima koji predstavljaju rutirana rastojanja, unecemo optimizaciona rešenja dobijena upotrebom euklidskih i vremenskih rastojanja. Na osnovu tako dobijenih cena rešenja i dobijenih koeficijenata uštede, moći ćemo precizno da izmerimo u kojoj meri upotreba euklidskih i vremenskih rastojanja zaostaje za upotrebom rutiranih rastojanja. Ukoliko rešenje dobijeno korišćenjem euklidskih rastojanja prikazano na slici 5.10, unesemo u matricu rastojanja popunjenu rutiranim rastojanjima, nakon neophodnih proračuna, dobićemo cenu rešenja

u iznosu od 161.915,00 metara i koeficijent uštede od tačno 55,23%. Kako najbolje postignuto rešenje korišćenjem rutiranih rastojanja, na istoj izvornoj matrici popunjenoj rutiranim rastojanjima, iznosi 136.352,00 metara uz odgovarajući koeficijent uštede od 46,51%, vidimo da je metoda upotrebe rutiranih rastojanja superiornija za oko 8%. To je praktična razlika koja kvantifikuje za koliko je upotreba rutiranih rastojanja kvalitetnija metoda i to je cena koju plaćamo zarad dobitka na brzini ukoliko se opredelimo da koristimo euklidska rastojanja.

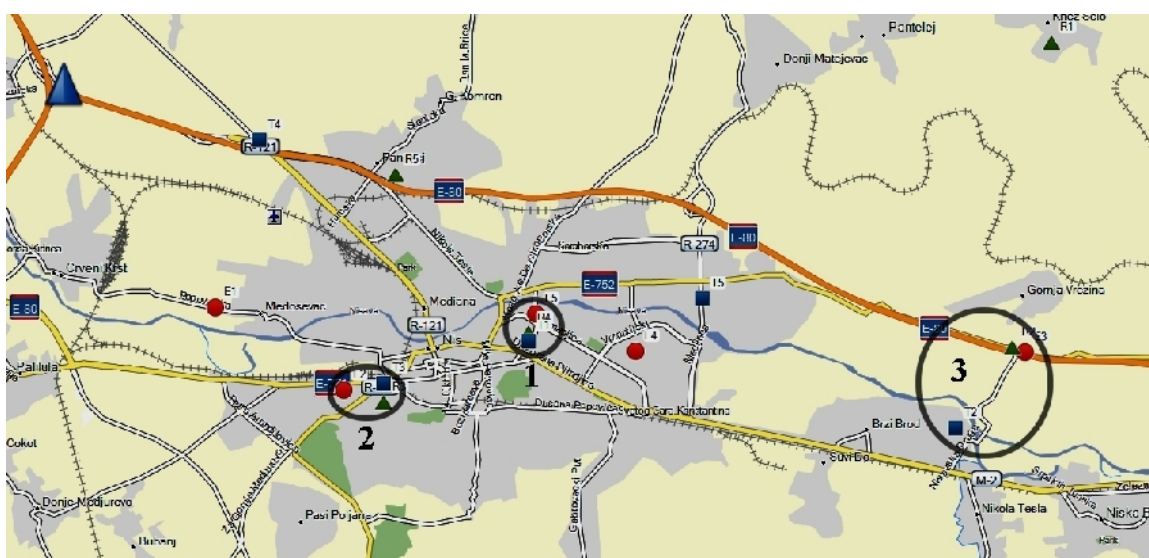
Ukoliko to isto uradimo i sa vremenskim rastojanjima i rešenje prikazano na slici 5.10 dobijeno upotrebom vremenskih rastojanja, unesemo u matricu rastojanja popunjenu elementima koji predstavljaju rutirana rastojanja, dobijamo cenu rešenja u iznosu od 139.094,00 metara i koeficijent uštede od 47,44%. Vidimo da je razlika u koeficijentima uštede između 47,44% i 46,51% praktično vrlo mala. Očigledno je da upotreba rutiranih i vremenskih rastojanja osigurava gotovo identičan kvalitet optimizacionog rešenja.



Slika 5.12. Poređenje koeficijenata uštede nakon umetanja rezultata dobijenih primenom različite metrike u matricu rutiranih rastojanja

Poređenje rezultata ukrštanjem rešenja dobijenih uz upotrebu različitog tipa rastojanja i ponašanje koeficijenta uštede, nakon unošenja u matricu popunjenu rutiranim rastojanjima, prikazano je grafički na slici 5.12.

Interesantne zaključke možemo doneti i posmatranjem geografskog rasporeda rešenja prikazanih na slici 5.10, ukoliko sada te iste podatke prikažemo istovremeno na jedinstvenoj mapi.



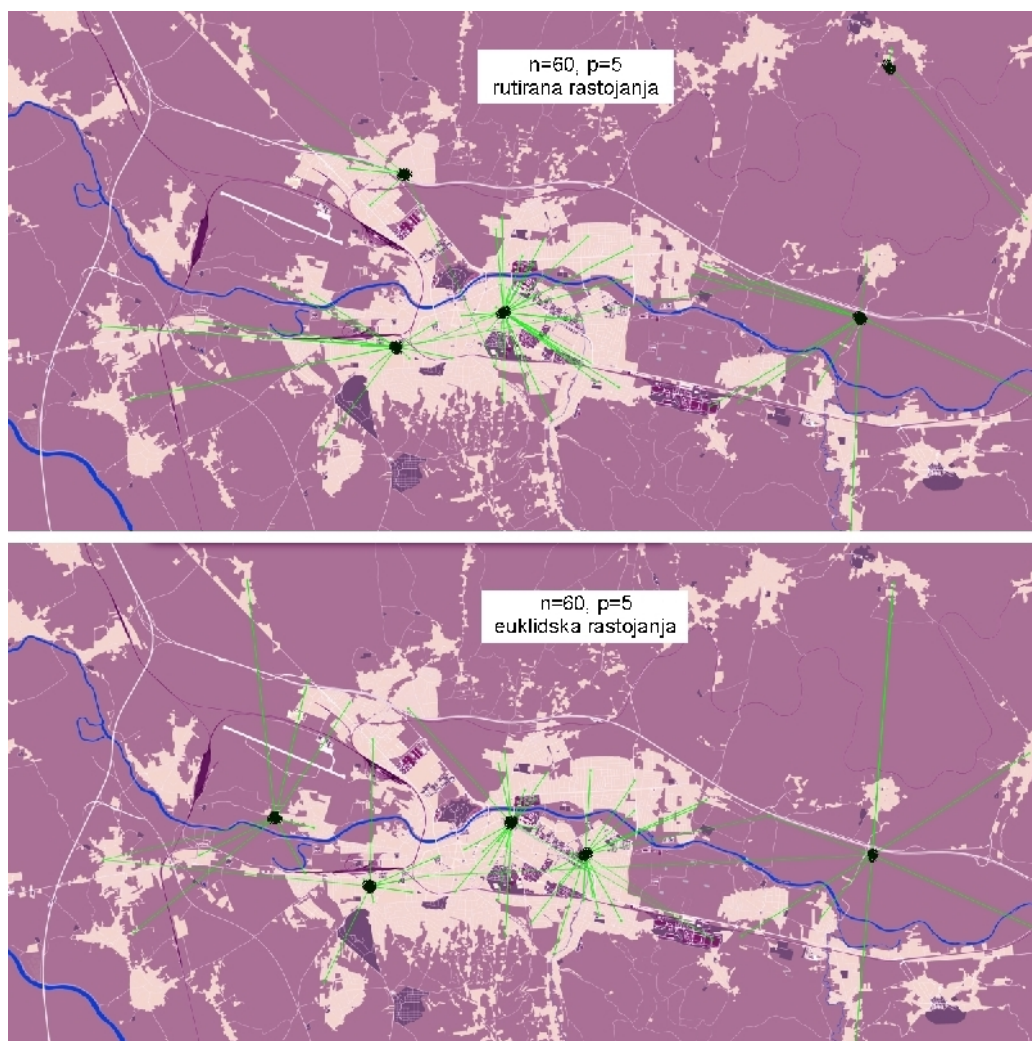
Slika 5.13. Istovremeno prikazana rešenja dobijena korišćenjem različitog tipa rastojanja između odredišta

Geografski položaj sva tri rešenja dobijena korišćenjem različitog tipa rastojanja između odredišta, prikazan je na slici 5.13. Pri istovremenom prikazu rešenja u sva tri različita slučaja uočavamo određene oblasti obeležene brojevima 1, 2 i 3. Ove oblasti pretenduju da budu kandidati za optimalno parking mesto, bez obzira koji tip rastojanja između odredišta mi koristili tokom proračuna. Oblasti obeležene brojevima 1 i 2 su manjeg obima i odlični su kandidati za parking mesto, dok to u nešto manjoj meri važi za oblast obeleženu brojem 3, koja je u odnosu na oblasti 1 i 2 veća po površini.

Na slici 5.13 su zelenim trouglom obeležene lokacije koje čine optimalno rešenje prilikom proračuna uz korišćenje rutiranih rastojanja. Posebnu pažnju privlači činjenica da se u ovom slučaju izdvaja jedno parking mesto na krajnjem severo-istoku mape grada. Ukoliko se vratimo na prostorni raspored svih 60 lokacija koje čine paket ulaznih podataka, vidimo da dve izdvojene lokacije pod rednim brojevima 40 i 41 imaju presudan uticaj na položaj ovog predloga za optimalno parking mesto. Uticaj lokacija 40 i 41 smešta položaj jednog od optimalnih parkinga u ovaj izdvojeni deo šireg gradskog područja samo u slučaju rutiranih rastojanja. Očigledno je u pitanju činjenica da pređeni put prilikom putovanja do ove dve lokacije kretanjem po putnoj mreži, mnogo više uvećeva veličinu rastojanja do užeg gradskog jezgra u odnosu na veličinu ovog rastojanja koje se dobija upotrebom euklidskih rastojanja. Ova činjenica se lako uočava ukoliko se vratimo na tabelarni prikaz apsolutnih iznosa rastojanja od centralne garaže Službe za hitnu medicinsku pomoć do svih posmatranih lokacija, već prikazanih kroz tabelu 5.3.

Podela geografskog prostora grada na regione prikazana je na slici 5.14. Analiza geografskog položaja ove podele, takođe ukazuje na razlike u zavisnosti od toga koji tip rastojanja između odredišta koristimo za popunjavanje matrice rastojanja, odnosno za koju vrestu metrike smo se odlučili prilikom popunjavanja početne matrice rastojanja između odredišta. Na slici 5.14 se može uočiti da se početnih 60 odredišta različito grupiše u odnosu na parking mesta koja čine predloženo optimalno rešenje za rutirana i euklidska rastojanja. Različita konfiguracija odredišta u odnosu na to koje optimalno parking mesto im je najbliže, posledica je same prirode elemenata matrice rastojanja, odnosno različite apsolutne vrednosti međusobnog rastojanja između istih lokacija. U praktičnoj implementaciji podele šireg gradskog prostora na regione pridružene svakom pojedinačnom optimalnom parking mestu, na raspolaganju imamo dve mogućnosti. Jedna je prikaz ilustrovan pomoću slike 5.14, gde na osnovu zvezdaste strukture sami intuitivno moramo da podelimo površinu šireg gradskog područja na

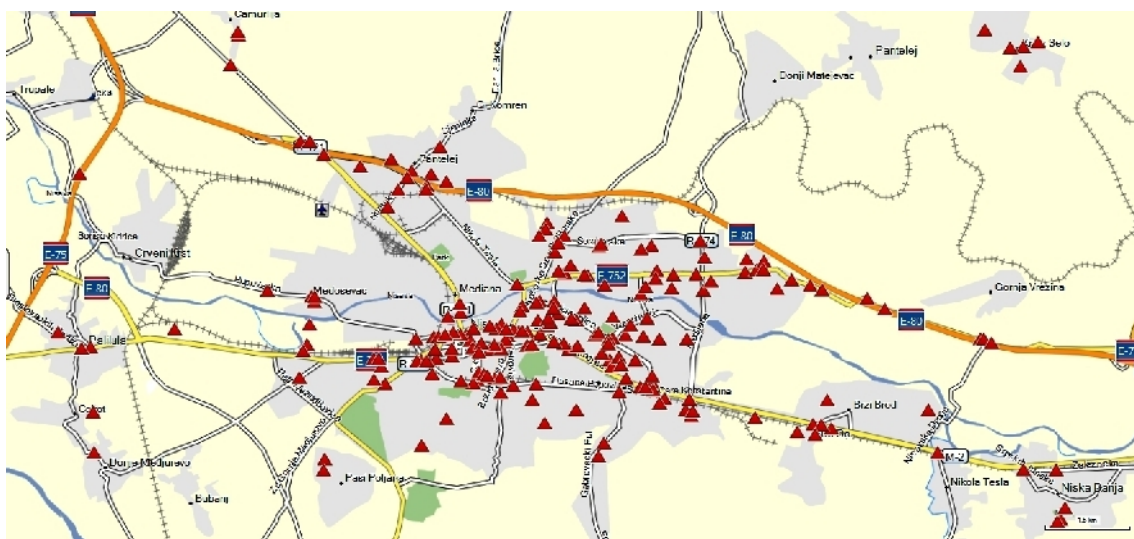
reone, ili prikaz demonstriran na slici 5.5 u prethodnom poglavlju, gde su već iscrtane granice između regiona.



Slika 5.14. Razlika u podeli geografskog prostora grada na regione u zavisnosti od različite metrike korišćene prilikom proračuna

### 5.3. Poređenje algoritma sa sličnim implementacijama

Za potrebe poređenja prototipa sistema "GA-GISLAB" sa drugim sličnim sistemima izabran je primer od 200 odredišta i tri varijante u pogledu broja vozila na raspolaganju: 5, 8 i 10. Ulazni podaci prikazani su na slici 5.15 a odnose se na vremenski period od 30 dana za koji je više puta menjan početni i krajnji datum, datum dok se nije našao interval od 30 dana kojem je pridruženo tačno 200 odredišta.



Slika 5.15. Primer ulaznih podataka pripremljen za poređenje sa sličnom implementacijom ( $n=200$ )

U cilju validacije našeg pristupa rešavanju postavljenog problema i procene performansi koje naš algoritam postiže u pronalaženju semi-optimalnog rešenja, izmerena je brzina izvršavanja prototipskog modula i upoređena sa rezultatima drugih autora na istom numeričkom uzorku. Za poređenje performansi izabrani su rezultati koje je objavio K. Mesut [28] u okviru studije "A Genetic Algorithm for the multi-level maximal covering ambulance location problem" urađene na "Middle East Technical University" u Ankari, tokom 2008-e godine. Za potrebe pomenute studije između ostalog, na uzorku od 200 destinacija i 5, 8 i 10 vozila hitne pomoći mereno je vreme



izvršavanja nekoliko različitih algoritama i upoređivani su rezultati. K. Mesut je koristio euklidsko rastojanje između destinacija i jedinstveni težinski faktor 1. Mada su koordinate destinacija u posmatranoj studiji slučajno generisane pomoću generatora slučajnih brojeva, to praktično ne utiče na performanse algoritma.

Sva merenja u studiji K. Mesuta sprovedena su tokom izvršavanja algoritma na računaru opremljenim sa Intel Pentium CPU procesorom na 1,66 GHz i 1 GB radne memorije. Za potrebe poređenja rezultata sa našim algoritmom, obezbedili smo identičan računar. U tabeli 5.5 dati su rezultati preuzeti iz studije K. Mesuta za četiri implementirana algoritma: Proždjiva "Add and Drop" heuristika, tačni celobrojni proračun izveden na MIP-CPLEX alatu i dva genetska algoritma GA1 i GA2 realizovana preko programa "Matlab Ver.2008-R". Tačno celobrojno nalaženje optimalnog rešenja, izračunavanjem svih mogućih kombinacija pomoću MIP-CPLEX alata je primenjivo u posmatranom primeru od 200 destinacija, ali za veći obim ulaznih podataka, a to je granica od 500 i više, ovaj program postaje neupotrebljiv.

*Tabela 5.5. „Average Run time Values for  $n=200$ “ [28] i rezultat GA-GISLAB*

Broj vozila:	Optimalno rešenje (CPLEX):	Greedy ADD:	Greedy DROP:	GA1:	GA2:	GA GISLAB
5	26,45	5,88	77,33	18,23	52,48	29,00
8	26,00	4,00	74,43	20,98	192,75	109,00
10	51,35	4,25	74,68	22,63	335,00	189,00
<b>Vreme izvršavanja programa u sekundama (s)</b>						

Naš modul "GA-GISLAB" je problem sa 8, 5 i 10 vozila rešio za vremena: 29, 109, i 189 sekundi. Iz izmerenih podataka se vidi da je naš algoritam sa stanovišta efikasnosti pokazao odlične rezultate i ima oko 40% kraće vreme izvršavanja u odnosu na posmatane podatke iz table 5.5, na računaru identičnih performansi. Rezultati našeg



algoritma prikazani su pomoću tabele 5.5, pri čemu su obeleženi kao podaci na žutoj pozadini. Ovim putem dokazana je ispravnost primenjenog pristupa u rešavanju postavljenog zadatka i dobra utemeljenost primenjenog genetskog algoritma.

## **6. Zaključak**

Osnovni zaključak koji se može izvesti iz rezultata postignutih tokom realizacije ove doktorske disertacije je da podaci koje sistem za praćenje vozila beleži i arhivira mogu biti izuzetno dobra polazna osnova za rešavanje optimizacionog zadatka. Savremeni sistemi za praćenje vozila autonomno beleže i čuvaju izuzetno korisne podatke koji se mogu prema potrebi ekstrahovati iz baze podataka a zatim upotrebiti kao ulazni podaci za dalje procesiranje pomoću optimizacionog algoritma. Rezultati koji su postignuti tokom rada na ovoj doktorskoj disertaciji potvrdili su opravdanost teze da istorija kretanja vozila pruža izuzetno upotrebljive informacije na osnovu kojih je moguće dobiti kvalitetno i efikasno optimizaciono rešenje. Komparativna prednost ovakvog odabira ulaznih podataka ogleda se u činjenici da se optimizacija sprovodi na realnim podacima, registrovanim tokom svakodnevnih rutinskih zadataka. Evaluaciju postignutih rezultata takođe je moguće realizovati poređenjem egzaktnih veličina koje imaju uporište u praksi. Zahvaljujući ovakvom pristupu, moguće je eksplicitno definisati koeficijent uštede, funkciju cilja, funkciju prilagođenosti i druge elemente koje na kraju dovode do formiranja kvalitetnog i efikasnog optimizacionog algoritma.

Uvođenjem u praksu optimizacionog rešenja koje predlaže algoritam razrađen tokom realizacije ovog projekta, sasvim je izvesna činjenica da se troškovi Službe za hitnu medicinsku pomoć mogu čak i u najnepovoljnijem slučaju redukovati za 50%, odnosno prepoloviti. Na osnovu postignutih rezultata organima koji vode lokalnu samoupravu grada Niša i rukovodstvu Službe za hitnu medicinsku pomoć u Nišu, data je preporuka da organizaciju ovog važnog javnog servisa prilagode i organizuju u skladu sa ovde opisanim optimizacionim rešenjem.

Pored osnovnog zaključka koji se tiče upotrebljivosti informacija arhiviranih u bazi podataka vezanoj za sistem za praćenje vozila, rezultati rada na ovoj doktorskoj disertaciji dali su odgovor na još nekoliko interesantnih pitanja vezanih za samu prirodu optimizacione procedure.

Što se tiče obima ulaznih podataka i vremenskog intervala u prošlosti koji treba analizirati i za koji se ekstrahuju podaci iz arhive, pokazano je da nije neophodno ići na predugačke intervale i raditi sa ogromnim brojem podataka. Benefiti koji donosi veliki obim podataka su mali u odnosu na efikasnost i vreme neophodno da se sprovedu proračuni. Rezultati su pokazali da je sasvim dovoljno posmatrati period od 90 dana, dok duži periodi daju rešenja koja su bolja za samo par procenata a zahtevaju više puta duže vreme obrade.

Takođe, važan zaključak koji proističe iz poređenja efikasnosti upotrebe različitog tipa rastojanja je činjenica da je pokazana upotrebljivost euklidskog rastojanja. Iako su rutirana rastojanja odraz slike na terenu i predstavljaju realno kretanje vozila po putnoj mreži, pokazano je da iako proračuni bazirani na euklidskom rastojanju po svojoj prirodi zaostaju za pristupom u odnoosu na proračune sa rutiranim rastojanjima, ima opravdanja za upotrebu i jednih i drugih. Inferiornost euklidskih rastojanja je evidentna, ali opravdana, u slučajevima kada treba doneti brzu odluku prihvatljivog kvaliteta.

Realizacija algoritma za rešavanje optimizacionog zadatka potvrdila je i efikasnost samog meta-heurističkog metoda koji je upotrebljen, odnosno pokazano je da genetski algoritam predstavlja pravi izbor u obradi ovakvih problema.

## 7. Literatura

- [1] B. M. Estochen, T. Strauss and R. R. Souleyrette, "An Assessment of Emergency Response Vehicle Pre-Deployment Using GIS Identification of High-Accident Density Locations", 1998, Transportation Conference, Proceedings, pp: 221 – 226. [Online]. Available: [http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob479/notes/emergency\\_predeployment\\_GIS.pdf](http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob479/notes/emergency_predeployment_GIS.pdf)
- [2] E. B. Lerner, A. J. Billittier, A. J. Sikora, R. M. Moscati, "Use of a Geographic Information System to Determine Appropriate Means of Trauma Patient Transport", Academic Emergency Medicine, November 1999, Volume 6, Number 11, pp: 1127 – 1133, [Online]. Available: doi:10.1111/j.1553-2712.1999.tb00115.x
- [3] C. K. Lindeskov, „Ambulance Allocation Using GIS“, Master Thesis, Technical University of Denmark, 30 August 2002. [Online]. Available: <http://etd.dtu.dk/thesis/58322/imm948.pdf>
- [4] I. Pasha, „Ambulance management system using GIS“, Master Thesis in Geoinformatics, Department of Computer and Information Science, Linköping University, Sweden, 2006. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A22123>
- [5] S. L. Hakimi, „Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph“, Operations Research, 12(3):450–459, 1964. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.3.450>
- [6] S. L. Hakimi, "Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems", Operations Research, 13(3):462–475, 1965, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.13.3.462>
- [7] C. S. ReVelle, R. W. Swain, "Central Facilities Location", Geographical Analysis, Volume 2, Issue 1, pages 30–42, January 1970; [Online]. Available: DOI: 10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x
- [8] A. A. Kuehn and M. J. Hamburger, „A heuristic program for locating warehouses“, Management Science, 9(4):643–666, 1963. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.9.4.643>

- [9] F. E. Maranzana. „On the location of supply points to minimize transport costs“, *Operations Research Quarterly*, 15(3):261–270, 1964. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/3007214>
- [10] M. B. Teitz, P. Bart, "Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph", *Operations Research*, 16(5):955–961, 1968, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.16.5.955>
- [11] P. J. Densham, G. Rushton, "Designing and implementing strategies for solving large location-allocation problems with heuristic methods", Technical Report 91-10, National Center for Geographic Information and Analysis, Buffalo, NY, 1991, [Online]. Available: doi: 10.1068/a240289
- [12] R. A. Whitaker. „A fast algorithm for the greedy interchange of large-scale clustering and median location problems“, *INFOR*, 21(2):95–108, 1983.
- [13] M. G. C. Resende and R. F. Werneck. „Implementation of a swap-based local search procedure for the p-median problem“, *ALENEX 2003, Proceedings of the Fifth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments*, pages 119–127, Philadelphia, 2003. SIAM. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.13.4980&rep=rep1&type=pdf>
- [14] S. C. Narula, U. I. Ogbu, and H. M. Samuelsson. „Technical Note—An Algorithm for the p-Median Problem“, *Operations Research*, 16(5):955–961, 1968. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.25.4.709>
- [15] M. Hribar and M. S. Daskin. „A dynamic programming heuristic for the p-median problem“, *European Journal of Operational Research*, 101(3):499–508, 1997. [Online]. Available: doi:10.1016/S0377-2217(96)00218-4
- [16] E. L. F. Senne, L. A. N. Lorena, "Lagrangian/surrogate heuristics for p-median problems", *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation*, 115-130, Springer US, 2000, [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.26.3011&rep=rep1&type=pdf>
- [17] P. Hansen, N. Mladenović, "Variable neighborhood search for the p-median", *Location Science*, 5(4):207–226, 1997, [Online]. Available: doi:10.1016/S0966-8349(98)00030-8

- [18] E. Rolland, D. A. Schilling, and J. R. Current. „An efficient tabu search procedure for the p-median problem“, *European Journal of Operational Research*, 96(2):329–342, 1996. [Online]. Available: doi:10.1016/S0377-2217(96)00141-5
- [19] F. Chiyoshi and R. D. Galvao. „A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem“, *Annals of Operations Research*, 96:61–74, 2000. [Online]. Available: DOI 10.1023/A:1018982914742
- [20] J. H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems", The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975. [Online]. Available: [http://luiza-jaques-tg-2010.googlecode.com/svn-history/r12/trunk/Leituras/Holland\\_Genetic\\_1992.pdf](http://luiza-jaques-tg-2010.googlecode.com/svn-history/r12/trunk/Leituras/Holland_Genetic_1992.pdf)
- [21] C. M. Hosage, M. F. Goodchild, "Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms", *Annals of Operations Research*, 6:35–46, 1986, [Online]. Available: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/78.pdf>
- [22] O. Alp, E. Erkut, Z. Drezner, “An efficient genetic algorithm for the p-median problem”, *Annals of Operations Research*, vol. 122, pp. 21-42, 2003, [Online]. Available: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1026130003508>
- [23] L. A. N. Lorena and J. C. Furtado. „Constructive genetic algorithm for clustering problems“, *Evolutionary Computation*, 9(3):309–328, 2001. [Online]. Available: doi:10.1162/106365601750406019
- [24] Jozef J. Kratica, “Paralelizacija genetskih algoritama za rešavanje nekih np-kompletnih problema”, Doktorska disertacija, Matematički Fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd 2000. [Online]. Available: <http://www.mi.sanu.ac.rs/~jkratica/papers/phd.pdf>
- [25] Zorica Stanimirović, “Rešavanje nekih diskretnih lokacijskih problema primenom genetskih algoritama”, Magistarski rad, Matematički Fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd 2004. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/123456789/412>
- [26] Movable Type Scripts, "Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points", Movable Type Ltd; 31 York Terrace, Cambridge CB1 2PR; [Online]. Available: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- [27] „Garmin BaseCamp, Ver.4.3.4“; Garmin Ltd; Lenexa, Kansas, USA 2008-2014; [Online]. Available: <http://www.garmin.com>

- [28] K. Mesut, "A Genetic Algorithm for the multi-level maximal covering ambulance location problem", Master Thesis, Science in Industrial Engineering Department, pages 116, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 05.09.2008, [Online]. Available: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/3/12610099/index.pdf>
- [29] Č. Vasić, D. Rančić, B. Predić, D. Mitić, "One Approach to Dynamical Relocation of Emergency Ambulance Vehicles Based on Geographic Information Systems", X Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements Niš, Serbia, November 10th-12th, 2010.
- [30] Č. Vasić, B. Predić, "Using GIS in Dynamic Relocation of Emergency Ambulance Vehicles", International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS), pp. 211 - 217, Vol. 2, No. 1, March 2011, [Online]. Available: <http://www.scholarlyexchange.org/ojs/index.php/IJRRCS/article/wiev/7913>
- [31] Č. Vasić, B. Predić, D. Rančić, P. Spalević, Dž. Avdić, "Dynamic Relocation of Emergency Ambulance Vehicles Using the AVL Component of the GPS/GPRS Tracking System", Acta Polytechnica Hungarica, Volume 11, Number 9, 2014, [Online]. Available: DOI: 10.12700/APH.11.09.2014.09.3
- [32] Č. Vasić, B. Predić, D. Rančić: "Influence of the different input data volume, on the emergency vehicles relocation optimization process based on the AVL data"; 12th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, Niš, Serbia; TELSIXS 2015 Proceedings, October 14-17, 2015.

# Biografija autora

Čedomir Vasić rođen je 15. marta 1961. Živi i radi u Nišu.

Završio je Gimnaziju Bora Stanković u Nišu, matematički smer, 1979. godine. Diplomirao na Elektronskom fakultetu u Nišu novembra 1986. godine na smeru Elektronske komponente i sastavni delovi i stekao zvanje diplomiranog inženjera elektronike. Poslediplomske studije i Magistarski rad na Elektronskom fakultetu u Nišu završio je februara 2008. godine sa završnim radom „Obrada i arhiviranje termovizijske slike u medicini“, čime je stekao zvanje Magistar tehničkih nauka.

Radio je u Elektronskoj industriji Niš, Fabrika rendgen aparata, na radnom mestu inženjera za razvoj opreme za testiranje od 08.01.1987 do 31.03.1992 godine. Zapošljen je u Zdravstvenoj ustanovi Dona farm iz Niša od 04.05.1994 godine do 01.01.2001 godine, gde radi na poslovima vezanim za tehničku podršku i menadžment.

Od 01.01.2001 godine je stručni konsultant na poslovima vezanim za digitalizaciju rendgen slike i uvođenje informacionih sistema u medicini u kompaniji d.o.o. „Amiral“ Niš. Januara 2006. godine je stekao zvanje Microsoft sertifikovani sistem inženjer (MCSE). Sertifikovani je inženjer za održavanje: "Shimadzu" mobilnih rendgen aparata, "Agfa-Medical" PACS-servera za obradu slike u radiologiji, "Neo-Medica" sistema za hematologiju itd.

Trenutno je u stalnom radnom odnosu u kompaniji d.o.o. "Amiral" Niš.



## **IZJAVE AVTORA**

Izjava 1 .

## IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija, pod naslovom

**Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata**

koja je odbranjena na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu:

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da ovu disertaciju, ni u celini, niti u delovima, nisam prijavljivao na drugim fakultetima, niti univerzitetima;
- da nisam povredio autorska prava, niti zloupotrebio intelektualnu svojinu drugih lica.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa autorstvom i dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada, i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

U Nišu, \_\_\_\_\_

Autor disertacije: Čedomir Vasić

Potpis autora disertacije:

\_\_\_\_\_

Izjava 2 .

## **IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANOG I ELEKTRONSKOG OBLIKA DOKTORSKE DISERTACIJE**

Ime i prezime autora: Čedomir Vasić

Naslov disertacije: Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na  
upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata

Mentor: prof. dr Dejan Rančić

Izjavljujem da je štampani oblik moje doktorske disertacije istovetan elektronskom obliku, koji sam predao za unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**.

U Nišu, \_\_\_\_\_

Potpis autora disertacije:

\_\_\_\_\_

### Izjava 3 .

## IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćuje Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla“ da, u digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, unese unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom:

Relokacija resursa u drumskom saobraćaju zasnovana na upotrebi podataka iz GPS baziranih sistema za praćenje pokretnih objekata

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom obliku, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo **(CC BY)**
2. Autorstvo – nekomercijalno **(CC BY-NC)**
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade **(CCBY-NC-ND)**
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima **(CC BY-NC-SA)**
5. Autorstvo – bez prerade **(CC BY-ND)**
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima **(CC BY-SA)**

(Molimo da podvučete samo jednu od ponuđenih šest licenci; opis licenci dat je u nastavku teksta).

U Nišu, \_\_\_\_\_

Autor disertacije: Čedomir Vasić

Potpis autora disertacije:

---

## TIPOVI LICENCI KREATIVNE ZAJEDNICE\*

### 1. Autorstvo (CC BY)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

### 2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

### 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade (CC BY-NC-ND)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

### 4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence, i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

### 5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

### 6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od strane autora ili davaoca licence, i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

\*

---

\* Više o licencama Kreativne zajednice na adresi: [http://creativecommons.org.rs/?page\\_id=74CC](http://creativecommons.org.rs/?page_id=74CC)