

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Tomislav Šimunović

GEOPROSTORNA ANALIZA FUNKCIONALNOG STANJA
POJEDINIH DIJELOVA PLINSKE MREŽE GRADA ZAGREBA
U IZVANREDNIM SITUACIJAMA

Diplomski rad

Zagreb, 2015.

I. Autor

Ime i prezime: Tomislav Šimunović
Datum i mjesto rođenja: 6. veljače 1992., Zagreb, Republika Hrvatska

II. Diplomski rad

Naslov: Geoprostorna analiza funkcionalnog stanja pojedinih dijelova plinske mreže Grada Zagreba u izvanrednim situacijama
Mentor: prof. dr. sc. Damir Medak
Voditelj: Dražen Odošić, dipl. ing.

III. Ocjena i obrana

Datum zadavanja zadatka: 16. siječnja 2015.
Datum obrane: 11. rujna 2015.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:
prof. dr. sc. Damir Medak
doc. dr. sc. Robert Župan
dr. sc. Mario Miler

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Damiru Medaku i voditelju Draženu Odošahiću, dipl. ing. geod. na pristupačnosti i savjetima prilikom izrade ovog rada.

Posebno se zahvaljujem dr. sc. Mariju Mileru na stručnim savjetima, strpljenju, potpori i angažmanu tijekom prikupljanja podataka, bez kojeg izrada ovog rada ne bi bila moguća.

Također se zahvaljujem djelatnicima Gradske plinare Zagreb d.o.o. na ustupljenim podacima.

Hvala mojoj obitelji na razumijevanju i podršci pruženoj tijekom cijelog studija.

Geoprostorna analiza funkcionalnog stanja pojedinih dijelova plinske mreže Grada Zagreba u izvanrednim situacijama

Sažetak

Izvanredne situacije na plinskoj mreži, poput puknuća pojedine plinovodne cijevi, mogu utjecati na vrlo velik broj ljudi. Stoga je nužna pravovremena reakcija i identifikacija mjesta izvanredne situacije, kao i okolnog područja obuhvaćenog njezinim utjecajem. Potrebno je omogućiti opskrbu što većeg broja korisnika preusmjeravanjem transporta plina plinovodima koji su operativni. Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti geoprostorne analize dijelova plinske mreže Grada Zagreba u slučaju izvanrednih situacija pomoću GIS alata i aplikacija. Analizirani su podaci dijela plinske mreže u nadležnosti Gradske plinare Zagreb d.o.o. Za uređivanje topologije korišteni su AutoCAD Map 3D i QGIS, a u daljnjoj obradi podataka korišten je PostgreSQL s proširenjima PostGIS i pgRouting. Pri tome je najveći naglasak na utvrđivanju iskoristivosti algoritama za analizu mreža dostupnih unutar pgRoutinga. Rezultati analiza vizualizirani su u QGIS-u.

Ključne riječi: plinska mreža, geoprostorna analiza, GIS alati i aplikacije, PostGIS, pgRouting, algoritmi za analizu mreža

Geospatial analysis of the City of Zagreb gas pipeline segments in pipeline emergencies

Abstract

Pipeline related emergencies, for example pipe ruptures, can affect many people's lives. Timely reaction and identification of the emergency situation location, as well as its surrounding area, is required. It is necessary to provide the gas supply to as many people as possible by diverting the gas flow through the other available pipelines. The aim of this thesis is to explore the possibilities of geospatial analysis of the particular City of Zagreb gas pipeline segments in pipeline emergencies using GIS tools and applications. Gas pipeline data was obtained from Gradska plinara Zagreb d.o.o. Topology was edited in AutoCAD Map 3D and QGIS. Furthermore, data was processed using PostgreSQL extensions PostGIS and pgRouting. The great emphasis was put on pgRouting algorithms and their usability. In the end, the results of analyses were visualized in QGIS.

Key words: gas pipeline network, geospatial analysis, GIS tools and applications, PostGIS, pgRouting, pgRouting algorithms

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Prethodna istraživanja.....	2
2. Materijal i metode	3
2.1. Vektorski model podataka	3
2.1.1. Modeliranje geografskih objekata linijama i točkama	4
2.2. Topologija.....	5
2.3. Teorija grafova	5
2.3.1. Tipovi grafova.....	6
2.3.2. Osnovni pojmovi u teoriji grafova	6
2.3.3. Grafovi i topološka svojstva	8
2.4. Prostorna analiza u geografskim informacijskim sustavima	8
2.4.1. Analiza mreže	9
2.4.2. Algoritam Dijkstra	10
2.4.3. OGC i Simple Feature Specifications	12
2.5. Izvanredna situacija u plinskom transportnom sustavu	13
2.6. AutoCAD Map 3D.....	14
2.6.1. AutoCAD Map 3D i topologija.....	15
2.7. QGIS	15
2.7.1. Dodaci u QGIS-u	16
2.8. PostgreSQL.....	18
2.8.1. PostGIS	19
2.8.2. PgRouting	20
2.9. PgAdmin.....	23
2.10. Podaci	23
3. Realizirani tijek obrade podataka	26

3.1. Postavljanje baze podataka PostgreSQL	27
3.2. Uređivanje podataka prije njihova učitavanja u AutoCAD Map 3D.....	28
3.3. Uređivanje topologije pomoću AutoCAD Mapa 3D	29
3.4. Unos svih skupova podataka u bazu podataka	32
3.5. Nastavak obrade podataka u QGIS-u	34
3.6. Uspostava topologije pomoću pgRoutinga.....	39
3.7. Završna priprema podataka za izradu geoprostornih analiza	42
4. Analiza rezultata.....	44
4.1. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije Shortest Path Dijkstra.....	44
4.1.1. Analiza najkraćeg puta između dva ventila u plinskoj mreži	44
4.2. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije kDijkstre	46
4.2.1. Analiza najkraćih puteva od reduksijske stanice do grupe ventila u plinskoj mreži	46
4.3. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije Driving Distance	47
4.3.1. Analiza povezanosti segmenata plinske mreže uz određene uvjete.....	47
4.3.2. Identifikacija svih linijskih segmenata između dva čvora	48
4.3.3. Identifikacija ventila koji je najbliži nekom čvoru u mreži	50
4.3.4. Identifikacija svih linijskih segmenata i čvorova unutar određene udaljenosti od nekog čvora	51
4.3.5. Analiza udaljenosti čvorova postupkom interpolacije	52
5. Rasprava	54
6. Zaključak	56
Popis literature.....	57
Popis slika	59
Popis tablica	60
Prilozi	61
Prilog 1. Algoritmi korišteni u obradi i analizi podataka	61
Prilog 2. Sadržaj priloženog optičkog medija (CD-a)	67
Životopis.....	68

1. Uvod

Razvojem računalne tehnologije napredovale su i mogućnosti obrade geoprostornih podataka. Današnje aplikacije poput geografskih informacijskih sustava (GIS) omogućuju brzo i učinkovito rukovanje geoprostornim podacima i njihovu vizualizaciju. U slučaju izvanredne situacije bitno je brzo dobiti njezinu geolokaciju. GIS aplikacije upotpunjene bazama prostornih podataka omogućuju niz alata za provedbu geoprostornih analiza.

Geoprostorne analize svakako su primjenjive i kod plinskih mreža. Plin ima svojstva zapaljivosti i eksplozivnosti. U slučaju puknuća pojedine plinovodne cijevi, vrlo je važno utvrditi gdje je ta cijev geoprostorno smještena, kako bi se pravovremeno isključio protok plina kroz pogođeno područje. Na taj se način sprječavaju daljnji ekonomski gubici, ali i zaštićuju ljudski životi.

U ovome radu analiziran je dio plinske mreže Grada Zagreba, u nadležnosti Gradske plinare Zagreb d.o.o. Korišteni su podaci o cijevima, redukcijskim stanicama i ventilima. Podaci o redukcijskim stanicama i ventilima su djelomično simulirani i ne prikazuju aktualno stanje. U GIS aplikacijama se navedena mreža cijevi geometrijski predstavlja skupom linija, a popratna infrastruktura ventila i redukcijskih stanica točkama.

Cilj ovog rada je geoprostorna analiza funkcionalnog stanja prethodno spomenute plinske mreže u slučaju izvanredne situacije korištenjem pojedinih algoritama za analizu mreža, koji su sastavni dio PostgreSQL-ovog proširenja pgRoutinga. Radom se žele ispitati i pokazati mogućnosti analize plinske mreže pomoću uglavnom softvera otvorenog koda.

1.1. Prethodna istraživanja

Kako bi se ustanovile mogućnosti korištenja izabranih tehnologija, istraženi su radovi koji su slične tematike, kao i oni u kojima je korištena slična programska podrška.

Postoji mnoštvo radova koji se bave teorijom strujanja plina kroz plinovode, matematičkim modelima i simulacijama. S druge strane, geoprostorne analize na plinskim mrežama nisu toliko česte. Primjerice, na Rudarskom sveučilištu u Chengduu istraživane su mogućnosti GIS-a u analizi puknuća cijevi. U teorijskom dijelu autori su istražili topološki dizajn plinske mreže. Za obradu i vizualizaciju podataka korištene su programske aplikacije MapXtreme i MapInfo (Xiao i dr., 2014).

U Hrvatskoj je većina radova s tematikom plinovoda i njihove sigurnosti obuhvaćena istraživanjima provedenim na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Istraživanje optimalnog smještaja detektora za detekciju puknuća cijevi obuhvaćalo je provedbu simulacija protoka plina kroz pojednostavljenu visokotlačnu zagrebačku plinsku mrežu (Šavar i dr., 2000). Iako se u tom radu koriste određene geoprostorne komponente, one su pojednostavljene i uglavnom svedene na relativne odnose među objektima u plinskoj mreži. Osim toga, taj se rad temelji na matematičkim modelima i proračunima u kojima su korišteni atributi koji nisu bili potrebni za izradu ovog diplomskog rada.

Pojedini algoritmi unutar PostgreSQL-ovog proširenja pgRoutinga, poput Dijkstre, predmet su čestih znanstvenih istraživanja. Osim toga, velika količina informacija dostupna je i kroz pgRouting dokumentaciju. Međutim, pojedine funkcije i ostali algoritmi, poput Driving Distancea, i njihovi konkretni primjeri vizualizacije nisu toliko česti te se najčešće primjenjuju kod analize cestovnih mreža (URL 1).

Na Geodetskom fakultetu u Zagrebu izrađen je diplomski rad u kojem je autor (Odobasić, 2009) istraživao modele podataka, modeliranje grafovima i praktičnu primjenu pojedinih algoritama za analizu mreža unutar PostgreSQL-ovog proširenja pgRoutinga, koji su u to vrijeme bili dostupni. U sklopu tog rada izrađen je interaktivni servis kojim omogućuje izbor početne i završne točke putanje, izbor jednog od tri algoritma (Shortest Path Dijkstra, A* ili Shooting Star) i na temelju njih traženje optimalne putanje između prethodno izabranih točaka. Za analizu najkraćeg puta korišteni su pojedini OpenStreetMap podaci.

2. Materijal i metode

Ovo poglavlje sadrži detaljne opise pojmova i programske podrške koji su korišteni pri izradi ovog rada. Za izradu rada vrlo su bitni pojmovi iz teorije grafova, topologije, analize mreže te algoritma Dijkstre. Za primarno uređivanje topologije korištena je studentska verzija AutoCAD Mapa 3D. Podaci su zatim dodatno obrađeni u QGIS-u i učitani u objektno-relacijsku bazu podataka PostgreSQL, uz korištenje PostGIS i pgRouting proširenja. Vizualizacija rezultata također je u potpunosti izrađena u QGIS-u.

2.1. Vektorski model podataka

Većina antropogenih prostornih pojava (na primjer: kuće, katastarske čestice, putevi, cjevovodi i dr.) najbolje se definira pomoću entiteta (Medak, 2012).

Entitet je (Vučetić i dr., 2010):

- Nešto što u stvarnom svijetu postoji i može se identificirati;
- Stvaran ili apstraktan predmet ili događaj o kojem se u informacijskom sustavu prikupljaju podaci;
- Konkretna ili apstraktna posebnost, koncept ili objekt od interesa.

Najjednostavniji i najčešće korišten model realnih podataka je osnovni prostorni entitet koji se dijeli na atributni dio i prostornu lokaciju. Dalje se on može podijeliti na tri osnovna geometrijska elementa:

- Točku;
- Liniju;
- Poligon.

To su fundamentalne jedinice vektorskog modela podataka i pomoću njih se može izvršiti cjelovito kartiranje u dvodimenzionalnom prostoru (Obe i dr., 2011).

Dakle, vektorski model podataka predstavlja prostor kao niz diskretnih entitetski definiranih točkastih, linijskih ili poligonskih jedinica, koje su prostorno referencirane pravokutnim koordinatama.

Točkasti entitet implicitno pokazuje da je prostorna veličina objekta ograničena na lokaciju koja se može specificirati jednim skupom XY koordinata na nivou rezolucije same apstrakcije.

Linijski entitet implicitno pokazuje da se prostorna veličina objekta može adekvatno prikazati skupom XY koordinatnih parova, koji definiraju povezanu liniju u prostoru, ali koja nema stvarnu širinu, osim ako se ona ne definira kao pridruženi atribut.

Poligon se može prikazati pomoću XY koordinata svojih granica ili kao skup XY koordinata koje su obuhvaćene njegovom granicom (Medak, 2012).

2.1.1. Modeliranje geografskih objekata linijama i točkama

Mnogi geografski objekti u GIS-u mogu se prikazati korištenjem linija. Primjerice, sustav cesta, željeznica, pa tako i plinovoda može se smatrati skupom linija, tj. mrežom. Mreže predstavljaju jednodimenzionalne strukture umetnute u dvo- ili trodimenzionalni prostor. Diskretne točke, koje mogu prikazivati, primjerice, položaj ventila, također se mogu uključiti u mrežu.

Treba obratiti pozornost da je pojam mreža prethodno korišten u kontekstu opisivanja izgleda strukture koju sačinjava skup linija (i čvorova). Međutim, u kontekstu teorije grafova, pojam mreža označava graf koji u pravilu sadrži barem jedan atribut dodijeljen svakom svojem bridu, što je detaljnije opisano u potpoglavlju 2.3.2. U radu će se uglavnom koristiti izraz „mreža“ koji podrazumijeva postojanje atributa (poput duljine brida i sl.), sukladno definiciji iz teorije grafova.

Mnoge tehnike razvijene za analizu grafova primjenjuju se na mrežama. To uključuje različite načine analize povezanosti mreže (de Smith i dr., 2015). Osim toga, brojni zadaci pri postavljanju prostornih upita u bazama prostornih podataka uključuju pronalazak najkraćeg puta između parova točaka na mreži, što zapravo znači pronalazak odgovarajuće rute kroz mrežu (Worboys i dr., 2004).

2.2. Topologija

Pojam „topologija“ dolazi iz grčkog jezika i prevodi se kao „znanost o obliku“. Topologija je grana matematike koja proučava točno određen skup geometrijskih svojstava – onih koja ostaju nepromijenjena tijekom topoloških transformacija (Worboys i dr., 2004). Mnoga svojstva, koja su bitna kod prostornih analiza, su topološka svojstva, uključujući (de Smith i dr., 2015):

- Dimenzionalnost – distinkcija između točke, linije, područja i volumena, uz pripadajuće dimenzije 0,1,2 i 3, respektivno;
- Susjedstvo;
- Povezanost;
- Sadržavanje.

Tablica 1. prikazuje pojedina topološka i netopološka svojstva objekata unutar euklidske ravnine (Worboys i dr., 2004).

Tablica 1. *Pojedina topološka i netopološka svojstva objekata u euklidskoj ravnini*

<i>Topološka svojstva</i>	Točka je krajnja točka na luku
	Točka je unutar granice poligona
	Luk je jednostavan
	Područje je otvoreno/zatvoreno
	Područje je povezano
<i>Netopološka svojstva</i>	Udaljenost između dvije točke
	Duljina luka
	Opseg područja

2.3. Teorija grafova

U matematici i računalnim znanostima, teorija grafova bavi se proučavanjem grafova. Grafovi su strukture koje se koriste za modeliranje uparenih odnosa među objektima. Graf u tom kontekstu sačinjavaju čvorovi i linije koje ih povezuju (bridovi).

Graf G definira se kao konačan neprazan skup čvorova spojenih skupom bridova. Može se zapisati da je $G = (V, E)$, gdje je V (od engl. *Vertices*) skup čvorova, a E (od engl. *Edges*) skup bridova. Brid povezuje dva čvora koji se nazivaju krajnji čvorovi. Ako dva čvora imaju zajednički brid, onda su oni susjedni čvorovi. Brid (v_i, v_j) se naziva petlja ako je $v_i = v_j$. Paralelni bridovi su oni koji imaju zajedničke krajnje čvorove (Odobasić, 2009).

2.3.1. Tipovi grafova

Graf je jednostavan ako nema petlje i paralelne bridove. Ako graf sadrži paralelne bridove, a ne sadrži petlje, onda se naziva multigraf. Grafovi u kojima nedostaje nekoliko bridova su gusti grafovi, a oni koji imaju samo nekoliko bridova zovu se raštrkani. Graf je ravninski ako se može prikazati u ravnini, a da se dva brida ne sijeku. Usmjereni graf je graf kojemu je smjer određen na svim bridovima. Dva grafa su izomorfna ako oba imaju ista susjedstva čvorova (Odobasić, 2009).

2.3.2. Osnovni pojmovi u teoriji grafova

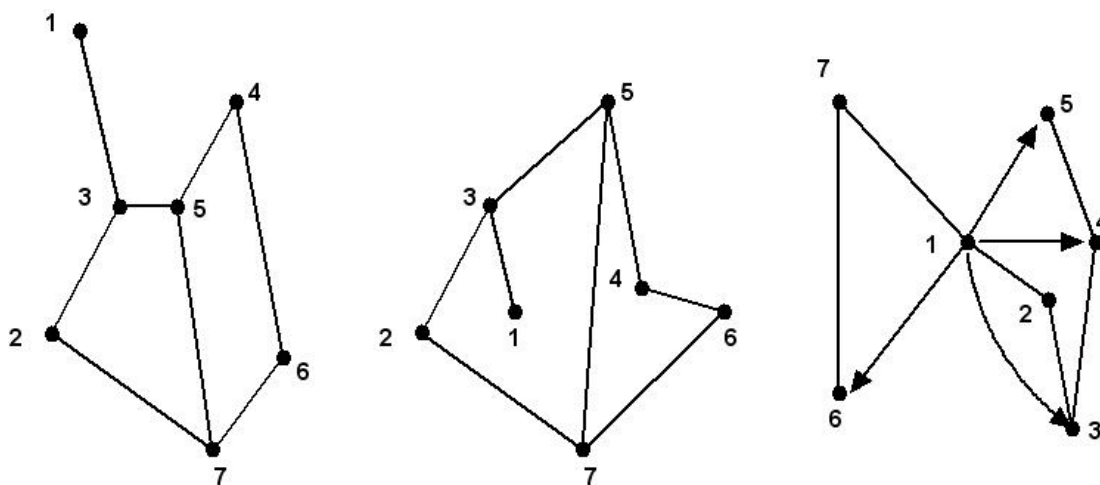
U nastavku su u tablici (Tablica 2.) pregledno prikazani pojmovi vezani uz teoriju grafova. Svi navedeni pojmovi imaju primjenu u analizi mreže, koja je detaljnije obrađena u potpoglavlju 2.4.1.

Tablica 2. Opis osnovnih pojmova iz teorije grafova (de Smith i dr., 2015)

Pojam	Opis
Čvor	Lokacija točke koja se smatra čvorom u mreži. Čvorovi su obično ili istaknute točke, ili krajnje točke, ili točke presjeka linija ili polilinja. Sve ostale točke koje se nalaze na polilinjama u pravilu se ne smatraju čvorovima.
Brid	Usmjerena ili neusmjerena veza između dvaju čvorova koji su direktno povezani naziva se bridom. Neusmjereni brid je određen neuređenim skupom čvorova, kada je npr. (3,8) isto što i (8,3), dok je kod usmjerenog brida poredak čvorova bitan, što znači da (3,8) predstavlja smjer od čvora 3 prema čvoru 8. Indirektna veza (putem još jednog ili nekoliko čvorova) nije brid. Bridovi se ponekad nazivaju i vezama ili lukovima.
Stupanj (čvora)	U neusmjerenom grafu, to predstavlja broj bridova koji se spajaju u čvoru. Kod usmjerenog grafa stupanj obično predstavlja broj bridova usmjerenih ka čvoru umanjeno za broj bridova koji su usmjereni od čvora.
Graf	Skup čvorova i bridova čini graf. Usmjereni grafovi su oni koji imaju jedan ili više usmjerenih bridova. Ako su svi bridovi usmjereni, graf se naziva digraf. Matematička grana koja se bavi proučavanjem svojstava grafova i putanja kroz grafove naziva se teorija grafova.
Putanja	(mrežna) Putanja je skup povezanih bridova između određenih čvorova.
Povezani graf	Ako postoji najmanje jedna putanja između svakog čvora i nekog drugog čvora u grafu, tada se graf smatra povezanim. Potpuno povezani graf je onaj kod kojega je svaki čvor direktno povezan sa svakim drugim čvorom. U takvom grafu, ako postoji n čvorova, tada je broj bridova $(n-1)/2$, uz pretpostavku da su svi bridovi neusmjereni.
Povezanost	Povezanost mreže je najmanji broj čvorova ili veza koji mora biti pogrešan kako bi se mreža podijelila na dvije ili više mreža koje se ne dodiruju. Što je veća povezanost mreže, veća je mogućnost lakšeg uklanjanja pogrešaka. U stvarnom svijetu, na čvorovima i vezama u mreži mogu se događati pogreške (na primjer, nesreća može blokirati određeno raskrižje). Kada se dogode pogreške na čvorovima i vezama, mreža bi trebala nastaviti funkcionirati sa smanjenim kapacitetom. Povezanost mreže je mjera otpornosti mreže i njezine mogućnosti nastavka „protoka“ kroz nju, unatoč problemima.
Ravninski graf	Ako se graf može nacrtati u ravnini na takav način da se bridovi sijeku samo u točkama koje su čvorovi, tada je taj graf ravninski.
Mreža	Skup čvorova i bridova zajedno sa pridruženim atributnim podacima može biti prikazan korištenjem metoda teorije grafova. Mreža se često definira kao graf koji ima najmanje jedan atribut realne vrijednosti ili težinu (primjerice duljinu) dodijeljeno svakom bridu.
Promjer	Maksimalan broj veza koje se moraju prijeći da bi se dosegao bilo koji čvor uzduž najkraćeg puta. Mreže malog promjera se mogu prijeći brže.
Ciklus	Putanja od zadanog čvora i natrag do tog čvora, koja prelazi druge čvorove, naziva se ciklus. Graf koji nema ciklusa naziva se acikličnim.
Stablo	Aciklična mreža ili podmreža u kojoj je svaki čvor povezan, a broj bridova je $n-1$. Jedinstvena putanja postoji između svakog para čvorova unutar stabla.

2.3.3. Grafovi i topološka svojstva

Slika 1. prikazuje tri grafa koji sadrže po 7 čvorova. Pri tome niti jednom bridu nije pridodana nikakva atributna vrijednost (zato je riječ o grafovima, a ne mreži), nego je pažnja usmjerena isključivo na topološko svojstvo povezanosti. Prva dva grafa su, iako oblikom različiti, zapravo topološki ekvivalentni, zato što im svi čvorovi imaju iste susjedne čvorove. Treći se graf očito razlikuje od prva dva, jer uključuje određen broj usmjerenih bridova i čvorovi su povezani na drukčiji način.



Slika 1. *Analiza topološke ekvivalentnosti kod grafova* (de Smith i dr., 2015)

2.4. Prostorna analiza u geografskim informacijskim sustavima

Pojam (geo)prostorna analiza može se objasniti kroz nekoliko različitih aspekata. Geoprostorna analiza konceptualno definira podskup tehnika koje su primjenjive kada su podaci referencirani minimalno na dvodimenzionalni okvir i povezani s određenim aktivnostima na Zemlji.

Većina GIS aplikacija definira (geo)prostornu analizu u kontekstu vrlo uskog područja primjene. Na primjer, u slučaju GIS-a baziranog na vektorima, takva analiza predstavlja sljedeće operacije:

- Preklapanje slojeva karata (kombiniranje dva ili više slojeva karata prema predefiniranim uvjetima);

- Jednostavno kreiranje pojasa (identifikacija područja na karti unutar definirane udaljenosti od jednog ili više drugih objekata, engl. *Buffer*);
- Slične osnovne prostorne operacije.

Razlog tome je upotreba izraza „prostorna analiza“ unutar OGC-ovih specifikacija *Simple Feature Specifications*, što je detaljnije obrađeno u potpoglavlju 2.4.3.

Prostorna statistika, sa velikom raznolikošću statističkih tehnika i njihovom primjenom u analizi prostornih problema, također je jedan od aspekata geoprostorne znanosti.

Kod geoprostorne analize vrlo je bitno razmotriti i 3 sljedeća pojma:

- Analiza plohe – uglavnom se odnosi na analizu svojstava fizičke plohe, poput gradijenta, nagiba i sl.;
- Analiza mreže – odnosi se na ispitivanje svojstava prirodnih i umjetno dobivenih mreža s ciljem shvaćanja na koji se način odvija protok određenog medija kroz i oko mreže;
- Analiza lokacije;

Još jedan od aspekata geoprostorne analize je i vizualizacija (ili geovizualizacija). Tim je pojmom obuhvaćena upotreba, kreiranje i rukovanje slikama, kartama, dijagramima, grafovima, statičkim i dinamičkim pogledima, satelitskim snimkama visoke rezolucije, digitalnim globusima i njihovim pripadajućim tabličnim skupovima podataka (de Smith i dr., 2015).

2.4.1. Analiza mreže

Geometrijske mreže su objekti u GIS-u koji služe za modeliranje međusobno povezanih prirodnih ili umjetnih objekata. Na njima se provode i prostorne analize. Geometrijska mreža sastoji se od bridova, koji su povezani čvorovima. Takva definicija odgovara konceptu grafa u matematici i računalnim znanostima (URL 2).

Analiza mreže bazirana na GIS-u može se koristiti u rješavanju širokog raspona praktičnih problema, poput odabira najkraće rute ili analize protoka u hidrologiji. U mnogim su situacijama problemi lokacije povezani s mrežama i kao takve ih je najbolje rješavati korištenjem odgovarajućih programskih alata. No, u nekim situacijama postojeće mreže nisu bitne te ih nije praktično uključiti u proces modeliranja. Problemi koji nisu izričito ograničeni

mrežom, poput odabira lokacije skladišta, kretanja pješaka ili odabira rute novog cjevovoda, mogu se učinkovito analizirati (barem inicijalno) bez reference na postojeću fizičku mrežu (de Smith i dr., 2015).

Jedna od osnovnih operacija na mrežnim strukturama podataka jest traženje optimalnog puta između čvorova unutar mreže. Takva se traženja često primjenjuju u navigacijskim sustavima vozila. Pri tome optimalan put često ne znači metrički najkraći put. Kriteriji pronalaska optimalnog puta mogu primjerice biti vrijeme putovanja, cijena putovanja i ostali atributni podaci, koji su bitni krajnjem korisniku (Odošić, 2009).

2.4.2. Algoritam Dijkstra

Algoritam Dijkstra osmislio je nizozemski znanstvenik Edsger Dijkstra. Algoritam funkcionira na spojenim težinskim grafovima (mrežama), koji imaju samo pozitivne težine bridova. Za svaki čvor u grafu pronalazi se najkraći put u odnosu na ishodišni čvor.

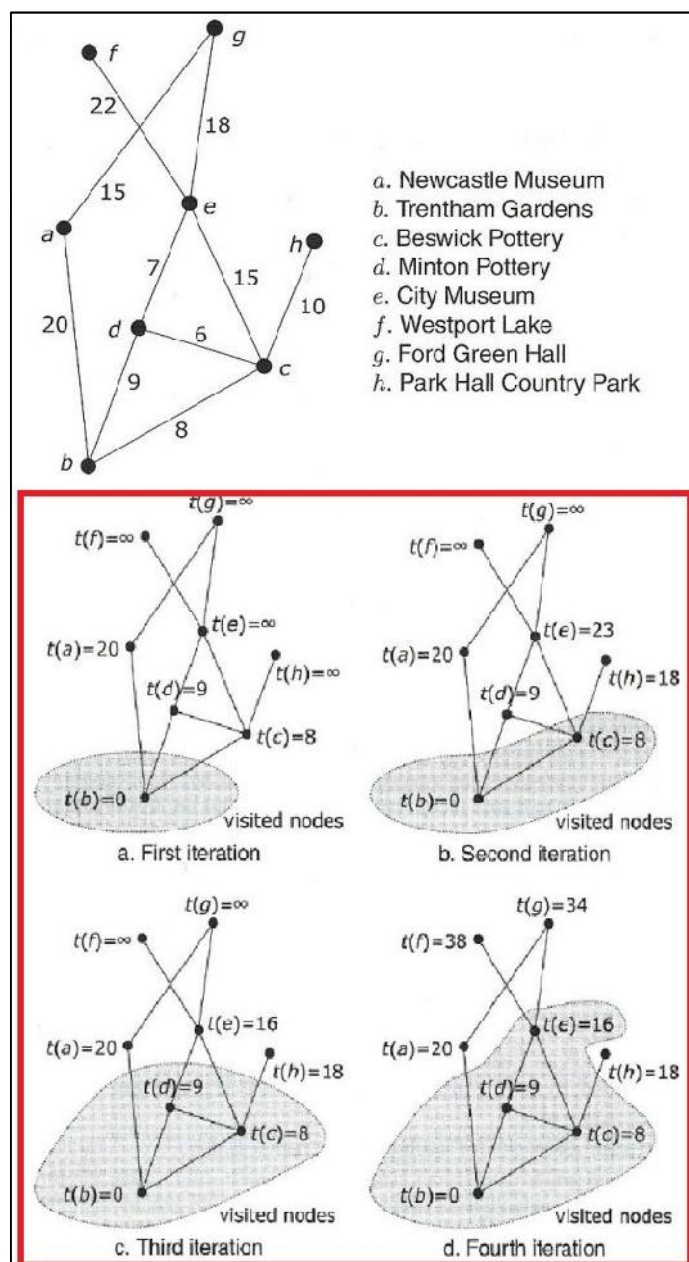
Algoritam radi na temelju pohrane vrijednosti trenutno najkraćeg puta između ishodišnog čvora (s) i svakog ciljnog čvora (t). Ta udaljenost se može označiti sa $d(t)$. Osnovni koraci algoritma su sljedeći (de Smith i dr., 2015):

1. Inicijalizacija svih čvorova na način da je $d(t)$ vrlo visoka vrijednost (prema beskonačnosti), a $d(s)=0$.
2. Za svaki brid koji vodi od čvora s , trenutnoj vrijednosti duljine putanje u čvoru s dodaje se duljina brida od s . Ako je ta nova udaljenost manja od trenutne vrijednosti $d(t)$, ona zamjenjuje trenutnu vrijednost.
3. Izabere se najmanja vrijednost u skupu $d(t)$ i premjesti trenutni (aktivni) čvor na tu lokaciju.
4. Iteriraju se koraci 2 i 3 sve dok se ne dođe do ciljnog čvora ili dok svi čvorovi nisu obrađeni.

Na ovom algoritmu temelje se pojedini algoritmi (funkcije) unutar pgRoutinga korišteni prilikom izrade ovog rada, što je detaljnije objašnjeno u potpoglavlju 2.8.2.

Konkretni primjer funkcioniranja Dijkstrinog algoritma za traženje najkraćeg puta prikazuje Slika 2. (unutar crvenog okvira). Na toj je slici prikazano nekoliko tramvajskih postaja, koje su povezane bridovima, s prosječnim vremenima putovanja kao dodijeljenim težinama. Algoritam Dijkstra ukupno je obuhvatio četiri iteracije. U početnoj iteraciji, sve su težine

postavljene kao beskonačne, osim kod početnog čvora b i njemu susjednih čvorova a , c i d . Kako c ima najnižu težinu od neposjećenih čvorova ($t(c) = 8$), c je sljedeći čvor koji se analizira. Težine za čvorove koji su njemu susjedni (h i e) se definiraju ($t(h) = 18$ i $t(e) = 23$). U trećoj iteraciji, posjećuje se čvor d . U toj iteraciji udaljenost od b do e preko d je utvrđena manjom nego od b do e preko c . Kao rezultat toga, $t(e)$ je redefinirana na 16. U sljedećoj iteraciji se posjećuje čvor e , te se generiraju nove težine za čvorove f i g . Algoritam se nastavlja sve dok se ne analiziraju svi čvorovi, iako se u ovom slučaju neće dogoditi daljnje promjene u iznosima težina.



Slika 2. Primjer funkcioniranja algoritma Dijkstra (Worboys i dr., 2004)

2.4.3. OGC i Simple Feature Specifications

Open Geospatial Consortium (OGC) je međunarodni konzorcij koji sačinjava više od 500 tvrtki, vladinih agencija, sveučilišta i pojedinaca s ciljem razvoja i implementacije otvorenih standarda za interoperabilnost i integraciju prostornih podataka i web servisa (URL 3).

Simple Feature je OGC i ISO standard kojim se specificira model pohrane i pristupa uglavnom dvodimenzionalnim geografskim podacima (točka, linija, poligon, multitočka, multilinija itd.). Standard se sastoji od dva dijela. Prvi dio definira model za dvodimenzionalne jednostavne geometrijske objekte, a drugi dio definira implementaciju modela korištenjem *Structured Query Languagea* (SQL-a) (de Smith i dr., 2015).

Osnovne „metode“, koje se navode u specifikaciji za jednostavne geometrijske objekte (engl. *Geometric primitives*), prikazuju Tablica 3. i Tablica 4.

Tablica 3. Osnovne operacije pri ispitivanju prostornih relacija nad jednostavnim geometrijskim objektima prema OGC-u (de Smith i dr., 2015)

Metoda (engleski naziv)	Opis
Prostorne relacije	
<i>Equals</i>	Prostorno jednaki objekti: $a=b$
<i>Disjoint</i>	Nema prostornog odnosa među objektima, što je ekvivalentno: $a \cap b = \emptyset$
<i>Intersects</i>	Prostorno presijecanje objekata, ekvivalentno: $[a \cap b]$
<i>Touches</i>	Prostorno dodirivanje objekata, ekvivalentno: $a \cap b = \emptyset$ and $I(a) \cap I(b) = \emptyset$, ne primjenjuje se ako su a i b točke
<i>Crosses</i>	Prostorno križanje objekata, ekvivalentno: $[\dim(I(a) \cap I(b)) < \max\{\dim(I(a)), \dim(I(b))\}]$ and $a \cap b \neq a$ and $a \cap b \neq b$
<i>Within</i>	Geometrija jednog objekta unutar geometrije drugog; $\text{unutar}(b)$ je ekvivalentno: $a \cap b = a$ and $a \cap b \neq b$
<i>Contains</i>	Prostorno sadržavanje; $[a \text{ sadrži}(b)]$ je ekvivalentno $[b \text{ unutar}(a)]$
<i>Overlaps</i>	Prostorno preklapanje objekata, ekvivalentno: $[\dim(I(a) \cap I(b)) = \dim(I(a)) = \dim(I(b))]$ and $a \cap b \neq a$ and $a \cap b \neq b$
<i>Relate</i>	Prostorna povezanost; testirano provjerom presijecanja između unutrašnjosti, granice i vanjštine dvaju komponenti

Tablica 4. Osnovne operacije pri prostornim analizama jednostavnih geometrijskih objekata prema OGC-u (de Smith i dr., 2015)

Metoda (engleski naziv)	Opis
Prostorna analiza	
<i>Distance</i>	Najkraća udaljenost između bilo koje dvije točke koje se nalaze na dvije geometrije, izračunata u prostornom referentnom sustavu u kojem su geometrije
<i>Buffer</i>	Sve točke čija je udaljenost od označene geometrije manja ili jednaka definiranoj vrijednosti udaljenosti
<i>Convex Hull</i>	Konveksna ovojnica oko geometrije
<i>Intersection</i>	Skup točaka presjeka označene geometrije s drugom označenom geometrijom
<i>Union</i>	Skup točaka unije označene geometrije s drugom označenom geometrijom
<i>Difference</i>	Skup točaka razlike označene geometrije s drugom označenom geometrijom
<i>Symmetric difference</i>	Skup točaka simetrične razlike označene geometrije s drugom označenom geometrijom

2.5. Izvanredna situacija u plinskom transportnom sustavu

Izvanredna situacija u plinskom transportnom sustavu je svaki događaj koji nije moguće izbjeći ili predvidjeti te koji izravno ugrožava sigurnost ljudi i objekata zbog nekontroliranog izlaza plina, uzrokuje ograničenje korištenja kapaciteta transportnog sustava te ugrožava sigurnost opskrbe plinom (URL 4).

Poremećaj u radu transportnog sustava je kratkotrajni poremećaj uslijed havarija ili drugih nepredviđenih situacija zbog kojih je ugrožen rad transportnog sustava. U tom slučaju operator transportnog sustava poduzima mjere kojima osigurava održavanje opstojnosti transportnog sustava i umanjuje utjecaj poremećaja na mogućnost korištenja kapaciteta sustava i sigurnost opskrbe plinom, što uključuje:

- preusmjeravanje tokova transporta plinovodima koji nisu zahvaćeni poremećajem;
- iskorištavanje raspoložive operativne akumulacije plinovoda;
- hitno obavješćavanje svih korisnika (na koje događaj izravno utječe) o poremećaju, njegovim posljedicama i očekivanom trajanju.

U slučaju izvanredne situacije u transportnom sustavu operator transportnog sustava poduzima sljedeće mjere kojima osigurava održavanje opstojnosti transportnog sustava i

umanjuje utjecaj poremećaja na mogućnost korištenja kapaciteta sustava i sigurnost opskrbe plinom:

- obavještanje nadležnih javnih službi i tijela;
- uklanjanje uzroka opasnosti za sigurnost ljudi i imovine;
- preusmjeravanje tokova transporta plinovodima koji nisu zahvaćeni poremećajem;
- iskorištavanje raspoložive operativne akumulacije plinovoda.

Ako izvanredna situacija u transportnom sustavu ima za posljedicu prekid ili ograničenje korištenja kapaciteta transportnog sustava, operator transportnog sustava hitno obavještava (o poremećaju, njegovim posljedicama i očekivanom trajanju) operatore povezanih sustava, vlasnike priključenih postrojenja i sve korisnike transportnog sustava na koje događaj ima utjecaja, kako bi proveli vlastite sigurnosne mjere i mjere uravnoteženja (URL 4).

2.6. AutoCAD Map 3D

AutoCAD Map 3D je komercijalan softver za upravljanje prostornim podacima. Sadrži kompletnu CAD (engl. *Computer Aided Design*) funkcionalnost, kao i GIS alate za izradu karata i rukovanje geografskim podacima. Uz standardni AutoCAD-ov format datoteke crteža (*dwg*), podržani su brojni ostali formati podataka (poput *dgn*-a ili *shp*-a).

AutoCAD Map 3D, između ostalog, omogućuje (URL 5):

- Kreiranje i odabir geografskih koordinatnih sustava
- Kombiniranje geoprostornih značajki i crtanje objekata
- Kreiranje i uređivanje podataka
- Traženje i filtriranje podataka
- Pregledavanje i uređivanje atributnih podataka
- Korištenje metapodataka
- Organiziranje i stiliziranje podataka
- Analizu podataka
- Dijeljenje podataka

2.6.1. AutoCAD Map 3D i topologija

Podaci kreirani vektorizacijom ne mogu se dalje obrađivati ako nisu „pročišćeni“. Primjerice, presjeci mogu biti nedefinirani (linije se ne sastaju u jednoj točki), linije mogu biti nepotpune, pojedini objekti se mogu preklapati i sl. Za ispravljanje navedenih pogrešaka koristi se alat za čišćenje crteža. Taj alat potrebno je upotrijebiti uvijek prije kreiranja topologije i/ili izrade analiza (Lapaine i dr., 2001).

Naredbe koje su dostupne unutar alata za čišćenje crteža (engl. *Drawing Cleanup*) u programu AutoCAD Map pregledno su prikazane u tablici (Tablica 5).

Tablica 5. Naredbe za čišćenje crteža u AutoCAD Mapu (Kljajić, 2012)

Naredba (engleski naziv)	Rezultat
<i>Delete Duplicates</i>	Brisanje dvostrukih objekata
<i>Erase Short Objects</i>	Brisanje kratkih objekata
<i>Break Crossing Objects</i>	Učvoravanje objekata koji se presijecaju
<i>Extend Undershoots</i>	Produženje i učvoravanje objekta
<i>Apparent Intersection</i>	Produženje objekata i učvoravanje
<i>Snap Clustered Nodes</i>	Učvoravanje u jedan čvor
<i>Dissolve Pseudo-Nodes</i>	Izbacivanje suvišnih točaka
<i>Erase Dangling Objects</i>	Skraćivanje i učvoravanje linija
<i>Simplify Objects</i>	Pojednostavljenje 2D linija
<i>Zero-Length Objects</i>	Brisanje objekata s duljinom nula
<i>Weed Polylines</i>	Pojednostavljenje 3D polilinja

2.7. QGIS

QGIS je korisnički orijentiran (engl. *User Friendly*) GIS otvorenog koda (engl. *Open Source*) za upravljanje prostornim vektorskim i rasterskim podacima. Projekt je započet u svibnju 2002. godine kao dio *Open Source Geospatial Foundationa* (OSGeo), s ciljem kreiranja aplikacije koja će biti pouzdana alternativa komercijalnim aplikacijama sličnog tipa. QGIS je multiplatformska aplikacija koju je moguće instalirati na većini Linux, Windows, OS X i Android operativnih sustava. Razvijen je pomoću aplikacije *Qt toolkit* i programskog jezika C++. Svrha QGIS-a je pružiti jednostavan GIS softver s funkcijama i opcijama koje se najčešće koriste u praksi.

Licenciran je licencom GNU i ima stalan porast mogućnosti kroz osnovne funkcije i dodatke (engl. *Plugins*). Podaci se mogu vizualizirati, uređivati, analizirati, te je omogućena priprema karata za ispis [(URL 6) (URL 7)].

2.7.1. Dodaci u QGIS-u

QGIS je dizajniran tako da omogućuje uključivanje dodataka. Na taj se način u aplikaciju jednostavno dodaju novi objekti ili funkcije. Velik dio funkcija u QGIS-u je zapravo implementiran kroz izvorne (engl. *Core Plugin*) ili vanjske (engl. *External Plugin*) dodatke.

Izvorne dodatke izrađuje razvojni tim QGIS-a. Ti su dodaci automatski uključeni u svaku verziju aplikacije. Napisani su u jednom od dva programska jezika: C++ ili Pythonu.

Vanjski dodaci su pohranjeni u vanjskim repozitorijima i održavaju ih njihovi autori. Ti su dodaci napisani isključivo u programskom jeziku Python. U QGIS aplikaciju mogu se dodati pomoću alata „Upravitelj dodacima“ (engl. *Plugin Manager*) (URL 8).

U ovom su radu pri obradi podataka korištena četiri izvorna dodatka. To su *fTools*, *DB Manager*, *Topology Checker* i *GDALTools*. Ti alati su u nastavku detaljnije opisani.

Dodatak fTools

Cilj dodatka *fTools* je omogućiti jednostavan pristup mnogim zadacima u vektorski orijentiranom GIS-u, bez potrebe za korištenjem drugih programskih rješenja. *Ftools* pruža velik izbor funkcija za obradu i analizu prostornih podataka. Dodatak je izvorni, što znači da je automatski instaliran i uključen kada se pokrene QGIS. Kao i svi ostali dodaci, može se uključivati i isključivati korištenjem Upravitelja dodacima. Kad je uključen, ovaj dodatak dodaje padajući izbornik *Vector* (Vektor) u QGIS. U tom se izborniku omogućuje nekoliko novih funkcija (URL 8):

- Alati analize (engl. *Analysis tools*);
- Alati istraživanja (engl. *Research tools*);
- Alati geoprocesiranja (engl. *Geoprocessing tools*);
- Alati geometrije (engl. *Geometry tools*);
- Alati upravljanja podacima (engl. *Data management tools*).

U radu su korišteni pojedini alati unutar Alata geoprocesiranja, geometrije i upravljanja podacima.

Dodatak DB Manager

Dodatak DB Manager je izvorni dodatak kojim se nastoji zamijeniti dodatak SPIT i integrirati sve formate baza podataka koje prepoznaje QGIS u jedno korisničko sučelje. Slojevi se mogu direktno učitati iz QGIS-a u DB Manager i zatim u bazu prostornih podataka. U DB Manageru se mogu izvršavati prostorni SQL upiti povezani s podacima u bazi podataka i zatim vizualizirati kao slojevi u QGIS-u.

Izbornik *Database* omogućuje povezivanje na postojeću bazu podataka, otvaranje SQL prozora i izlazak iz dodatka. Kad se izvrši povezivanje na bazu podataka, pojave se izbornici *Schema* i *Table*.

Prozor *Tree* prikazuje listu svih postojećih baza podataka koje QGIS prepoznaje. Dvostrukim klikom može se povezati na bazu podataka. Desnim klikom mogu se preimenovati i izbrisati postojeće sheme i tablice.

Ako je uspostavljena veza s bazom podataka, osnovni prozor DB Managera omogućava tri nova taba (engl. *Tab*). Tab *Info* pruža informacije o tablicama i geometriji, kao i o postojećim poljima, indeksima i sl. Osim toga, omogućuje pokretanje analize pomoću *Vacuuma* i kreiranje prostornog indeksa označene tablice. Tab *Table* prikazuje sve attribute, a *Preview* renderira geometriju u pregledu (URL 8).

Dodatak Topology Checker

Pomoću dodatka Topology Checker može se izvršiti pregled vektorskih datoteka pomoću nekoliko pravila za provjeru ispravnosti topologije. Ta pravila omogućuju provjeru odnosa među podacima pomoću upita *Equal*, *Contain*, *Cover*, *Covered by*, *Cross*, *Disjoint*, *Intersect*, *Overlap*, *Touches* ili *Within*. Uporaba pojedinog od tih upita ovisi o vrsti geometrije podataka i, naravno, potrebama korisnika. Primjerice, prebačaji (engl. *Overshoots*) kod linijskog sloja podataka, npr. plinovoda, su mogući ako postoje kratki linijski segmenti do pojedinog priključka. U tom slučaju se to ne smatra pogreškom u topologiji. Pogreške u postojećim podacima često se ne mogu jednostavno detektirati, ali pomoću ovog dodatka to je pojednostavljeno kroz definiran skup pravila (URL 8).

Dodatak GDALTools

Dodatak GDALTools omogućuje u korisničkom sučelju QGIS-a skup alata iz *Geospatial Data Abstraction Libraryja* (GDAL-a). Najvećim dijelom su to alati za upravljanje rasterskim datotekama. Moguće je izvršiti upite, reprojekcije i spajanje rasterskih datoteka u brojnim formatima pohrane. Također su uključeni i alati za kreiranje slojnica (koje su sloj vektorskih podataka), sjenčanog reljefa iz digitalnog modela reljefa i sl.

U ovom se radu pri vizualizaciji rezultata koriste dva alata iz tog dodatka, a to su *Interpolation* i *Contour*. Alat *Interpolation* služi za kreiranje pravilnog grida (skupa ćelija) iz raspršenog skupa podataka. Ti ulazni podaci bit će interpolirani kako bi se čitav grid popunio vrijednostima. Pri tome se može izabrati nekoliko metoda interpolacije, poput linearne ili polinomne. Alat *Contour* služi za generiranje vektorske datoteke sa slojnicama, na temelju ulazne rasterske datoteke digitalnog modela reljefa (URL 8).

2.8. PostgreSQL

PostgreSQL je objektno-relacijski sustav za upravljanje bazom podataka (u daljnjem tekstu: SUBP) otvorenog koda. Aktivno se razvija više od 15 godina i ima pouzdanu arhitekturu, što je pridonijelo snažnoj reputaciji u pouzdanosti, integritetu i točnosti. Dostupan je za sve Linux, Mac OS X i Windows operativne sustave. U potpunosti je prilagođen ACID uvjetima, te podržava upotrebu stranih ključeva, joinova, pogleda i spremljenih procedura (u više programskih jezika). Uključuje većinu SQL:2008 tipova podataka, uključujući *INTEGER*, *NUMERIC*, *BOOLEAN*, *CHAR*, *VARCHAR*, *DATE*, *INTERVAL* i *TIMESTAMP*. Također, omogućuje pohranu BLOB-ova (engl. *Binary Large Object*), uključujući fotografije, zvukove ili video. Osim toga, ima izvorna programska korisnička sučelja za C/C++, Javu, Python, Ruby, ODBC, .Net i mnoge druge, te iscrpnu korisničku dokumentaciju (URL 9).

Općenito, SUBP je zadužen za upravljanje svim podacima i njihovom obradom te se sastoji od (URL 10):

1. Logičke razine modela koji SUBP-u daje elegantnu kontrolu nad podacima, a sastoji se od:
 - stranica ili blokova;
 - ekstenta;
 - segmenata;

- tabličnog prostora (engl. *Tablespace*);
2. Konceptualne razine, koja se sastoji od entiteta i veza između njih;
 3. Fizičke razine, koja definira način pohrane podataka na diskovima.

Baza prostornih podataka dodaje prostorne tipove podataka, koji predstavljaju geometrijska svojstva i koji obuhvaćaju prostorne strukture poput granice i dimenzije. Osim toga, baze prostornih podataka pružaju skup funkcija za analizu geometrijskih komponenata, određivanje prostornih odnosa i rukovanje geometrijom.

Takve baze pohranjuju i upravljaju prostornim objektima kao i svim ostalim objektima. Postoje tri aspekta koji povezuju prostorne podatke s bazama podataka:

- Tipovi prostornih podataka (točka, linija, poligon, itd.);
- Multidimenzionalno prostorno indeksiranje za učinkovito procesiranje i prostorne operacije;
- Prostorne funkcije u SQL-u za upite o prostornim svojstvima i odnosima.

2.8.1. PostGIS

PostGIS je proširenje PostgreSQL-a prostornim funkcijama. Dodaje podršku za geografske objekte, tako da se u SQL-u mogu obavljati upiti vezani uz prostorne podatke (geometrija, geografija, raster itd.). Dakle, dodaje funkcije, operatore i indekse namijenjene tipovima prostornih podataka i time povećava funkcionalnost PostgreSQL-a, čineći ga brzim i robusnim sustavom za upravljanje bazama prostornih podataka (URL 11).

PostGIS je usklađen s OGC-ovim standardom *Simple Features for SQL*. Njime se specificira opći model pohranjivanja geografskih podataka koristeći *Well-known text* (WKT) i *Well-known binary* (WKB) formate zapisa.

Geometrijski tipovi podataka koje podržava PostGIS su:

- *Points* – točke;
- *LineStrings* – linije;
- *Polygons* – poligoni;
- *MultiPoints* – skup točaka;
- *MultiLineStrings* – skup linija;

- *MultiPolygons* – skup poligona;
- *GeometryCollections* – kolekcije geometrije.

2.8.2. PgRouting

PgRouting proširuje PostGIS tako što omogućuje izradu geoprostornog rutiranja korištenjem različitih algoritama, poput A*, Dijkstra i sl. Riječ je o alatu otvorenog koda.

PgRouting kroz svoje funkcije omogućuje upotrebu sljedećih algoritama (URL 12):

- *All Pairs Shortest Path* - algoritam Johnson;
- *All Pairs Shortest Path* - algoritam Floyd-Warshall;
- *Shortest Path A** - najkraći put po algoritmu A*;
- *Bi-directional Dijkstra Shortest Path*;
- *Bi-directional A* Shortest Path*;
- *Shortest Path Dijkstra* – najkraći put po algoritmu Dijkstra;
- *Driving Distance* – Udaljenost putovanja;
- *K-Shortest Path, Multiple Alternative Paths*;
- *K-Dijkstra, One to Many Shortest Path* – pronalazak K najkraćih puteva po algoritmu Dijkstra;
- *Traveling Sales Person* – problem trgovačkog putnika;
- *Turn Restriction Shortest Path (TRSP)*;
- *Shortest Path Shooting Star*.

Za potrebe rada korišteno je samo nekoliko od navedenih algoritama. Funkcije, u kojima su korišteni algoritmi implementirani u pgRouting, detaljnije su objašnjene u nastavku.

Shortest Path Dijkstra

Funkcija *pgr_dijkstra* računa najkraći put između dvije točke primjenom algoritma Dijkstra. Struktura funkcije je sljedeća (URL 13):

pgr_dijkstra(text sql, integer source, integer target, boolean directed, boolean has_rcost);

- *sql (tekst)* - upit koji mora imati sljedeće atribute, a rezultat tog upita su podaci koji se koriste u algoritmu:

id - jedinstveni identifikator brida;

source - jedinstveni identifikator početnog čvora brida;

target - jedinstveni identifikator krajnjeg čvora brida;

cost - težina prolaska kroz taj brid; ako je negativna (primjerice -1) brid se neće uključiti u graf;

reverse_cost - težina prolaska bridom u suprotnom smjeru (ovaj atribut je neobavezan); koristi se samo u slučaju kada su *directed* i *has_rcost* parametri označeni sa *true*;

- *source (integer)* - jedinstveni identifikator ishodišnog čvora;
- *target (integer)* - jedinstveni identifikator ciljnog čvora;
- *directed (boolean)* – definira se usmjerenost grafa;
- *has_rcost (boolean)* – ako se označi sa *true*, stupac *reverse_cost* iz prethodnog SQL generiranog skupa redova (upita) će se koristiti kao težina prolaska bridovima u suprotnom smjeru.

Funkcija vraća skup redova kao rezultat. Svaki red pri tome predstavlja brid koji je dio rješenja (konačne putanje). Stupci čine skup podataka pod nazivom *pgr_costResult[]*- rezultat putanje s težinama:

- *seq* – ID sekvence, koji predstavlja jedinstveni dio putanje (brid po brid);
- *id1* – ID čvora;
- *id2* – ID brida;
- *cost* – atribut težine (ako postoji).

KDijkstra

KDijkstra se naziva još i najkraći put do višestrukih odredišta (engl. *Multiple Destination Shortest Path Dijkstra*). Unutar pgRoutinga postoje dvije funkcije koje primjenjuju ovaj algoritam (URL 14):

- *pgr_kdijkstraCost* – vraća težine za K (više od 1, nekoliko) najkraćih putova primjenom algoritma Dijkstra
- *pgr_kdijkstraPath* – vraća putanje za K najkraćih puteva primjenom algoritma Dijkstra

Navedene funkcije rade na način da se odabere jedan početni čvor i nekoliko ciljnih čvorova u grafu. Najkraći putevi se računaju od tog početnog čvora prema svim odabranim ciljnim čvorovima. `pgr_kdijkstraCost` vraća jedan zapis za svaki ciljni čvor unutar skupa `pgr_costResult[]`, gdje je `cost` je totalna težina rute do tog čvora. S druge strane, funkcija `pgr_kdijkstraPath` vraća zapis za svaki brid u putanji od početnog do ciljnog čvora i težinu prelaska tog brida, unutar skupa `pgr_costResult3[]`.

U radu je korištena samo funkcija `pgr_kdijkstraPath`. Njezina struktura vrlo je slična strukturi prethodno spomenute funkcije `pgr_dijkstra`. Razlikuju se u jednom parametru, a to je `target` (izvan sql tekst dijela). Struktura funkcije `pgr_kdijkstraPath` (zbog više ciljnih čvorova) izgleda sljedeće:

```
pgr_kdijkstraPath(text sql, integer source, integer[] targets, boolean directed, boolean has_rcost);
```

pri čemu je:

- *targets (integer[])* – skupina ID-eva ciljnih točaka (čvorova)

Ta funkcija, kako je već objašnjeno, kao rješenje vraća skup podataka kod kojeg su stupci dio funkcije `pgr_costResult3[]`-rezultat višestrukih putanja s težinama:

- *seq* – ID sekvence;
- *id1* – ID putanje do ciljnog čvora;
- *id2* – ID ciljnog čvora na bridu putanje;
- *id3* – ID brida putanje;
- *cost* – težina prolaza kroz brid.

Driving Distance (Udaljenost putovanja)

Ovaj algoritam implementiran je u funkciji `pgr_drivingDistance`. Ta funkcija računa rješenje najkraćeg puta po algoritmu Dijkstra i zatim izdvaja težine (engl. *Cost*) od početnog čvora do svakog čvora u mreži. Korištenjem tih čvorova i težina, moguće je izračunati, primjerice, poligone vezane uz vrijeme putovanja kroz mrežu i sl. Funkcija vraća redove koji čine listu točaka, a stupci čine skup rješenja `pgr_CostResult[]`, koji je već objašnjen kod funkcije `pgr_dijkstra` (URL 15).

Struktura funkcije slična je strukturi već spomenute funkcije `pgr_dijkstra`. Razlikuju se samo u jednom parametru. Kod `pgr_drivingDistance` umjesto parametra *target* (izvan sql tekst dijela) nalazi se parametar *distance* (udaljenost), pa je struktura funkcije sljedeća:

```
pgr_drivingDistance(text sql, integer source, double precision distance, boolean directed, boolean has_rcost);
```

pri čemu je:

- *distance (double precision)* – vrijednost izražena u jedinici težine brida (primjerice, ako je težina brida, tj. *cost*, definirana kao njegova duljina, tada će i ova vrijednost biti u istoj jedinici)

2.9. PgAdmin

PgAdmin je jedna od najpopularnijih i sadržajem najbogatijih platformi otvorenog koda za upravljanje (administraciju) i razvoj PostgreSQL-a. Program je dostupan za Linux, FreeBSD, Solaris, Mac OS X i Windows sustave.

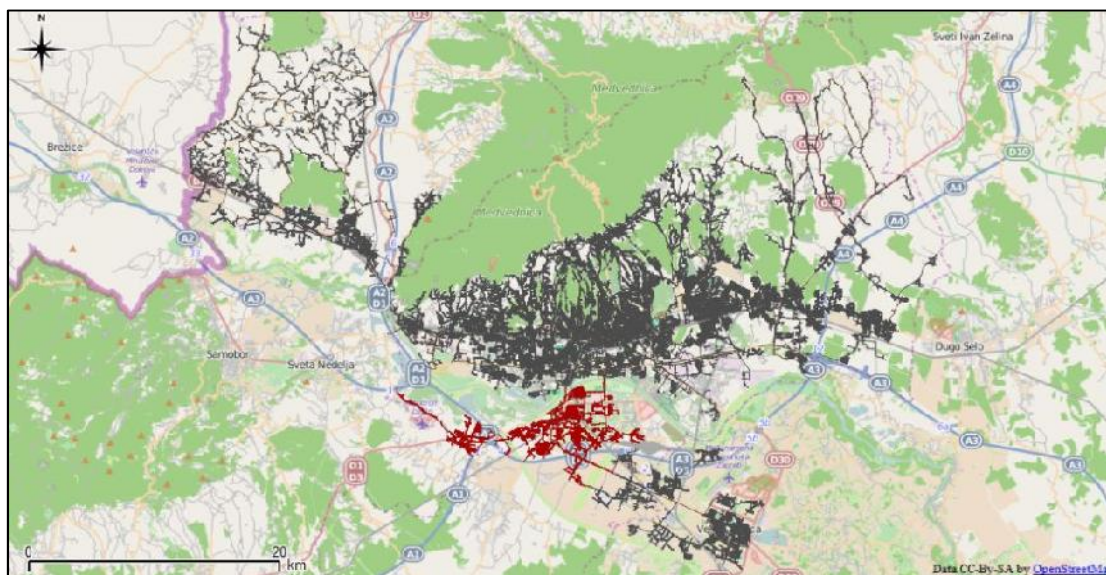
PgAdmin je izrađen tako da može služiti velikom broju korisnika, od pisanja jednostavnijih SQL upita do razvoja kompleksnih baza podataka. Grafičko sučelje podržava sve sastavnice PostgreSQL-a i olakšava njihovo rukovanje. Program također uključuje i SQL uređivač sintakse, uređivač koda, podršku za replikacije *Slony* i još mnogo toga.

Platforma je razvijena od strane PostgreSQL stručnjaka diljem svijeta i dostupna je u nekoliko desetaka jezika. To je besplatan softver, dostupan pod licencom PostgreSQL-a (URL 16).

2.10. Podaci

U radu su korišteni podaci plinske mreže u nadležnosti Gradske plinare Zagreb d.o.o. Zbog jednostavnije obrade korišten je samo dio podataka mreže i sustava redukcijskih stanica i ventila (distribucijski sustav), točnije oko 3 posto od ukupnog broja linijskih segmenata (plinovoda). Obradivani su podaci koji se nalaze na području zapadnog dijela Novog Zagreba (Mjesni odbori: Kajzerica, Lanište, Siget, Trnsko, Savski Gaj, Remetinec, Sveta Klara, Čehi, Botinec, Blato, Lučko, Ježdovec te manji dijelovi Središća, Sopota, Slobošćine, Dugava i Hrelića) u kojem je tlocrtna struktura plinske mreže takva da može reprezentativno predstavljati i ostatak mreže. To jest, izvršeni način obrade podataka može se primijeniti i na

ostatak mreže. Slika 3. prikazuje dio plinske mreže koji je analiziran u ovom radu (linije crvene boje), u odnosu na cijelu plinsku mrežu Grada Zagreba.

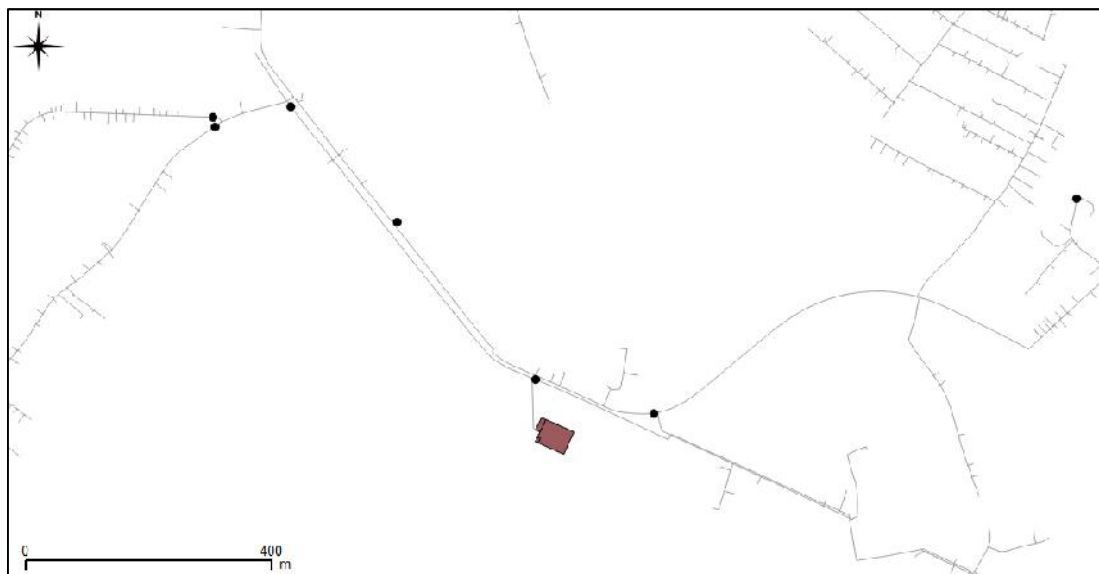


Slika 3. Prikaz smještaja dijela plinske mreže koji je analiziran u radu

Podaci linijske strukture (mreža plinovoda) odnose se na stvarno stanje iz veljače 2015. godine i ukupno ih je u obradu uključeno oko 7000 (prethodno spomenutih 3 posto). Taj broj se tijekom obrade podataka gotovo dvostruko povećao, što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 3.2. Uređivanje podataka prije njihova učitavanja u AutoCAD Map 3D Većina podataka o redukcijskim stanicama i ventilima nadopunjena je sa dodatnim objektima i ne prikazuje u potpunosti stvarno stanje. Razlog tomu je što su točkasti objekti u pojedinim dijelovima bili pregusto raspoređeni, što je otežavalo daljnju obradu. S druge strane, na pojedinim dijelovima gdje ih je bilo premalo, dodane su fiktivne redukcijske stanice i ventili. Osim toga, zbog karakteristike funkcija korištenih u obradi podataka, pojedini su objekti izbrisani ili premješteni. Ukupno su u obradu uključene 22 redukcijske stanice i 291 ventil.

Svi podaci su originalno pohranjeni u formatu *ESRI shapefile* (u daljnjem tekstu: *shapefile*). Ventili su pohranjeni kao točkasti objekti. Redukcijske stanice pohranjene su kao poligoni ili multipoligoni (riječ je o zgradama), a mreža plinovoda (cijevi) kao linijske strukture, uglavnom linije ili skupovi linija (Slika 4.). Svaki od navedenih skupova podataka ima i svoje atribute (poput promjera cijevi i sl.). Osim ID-a, najistaknutiji atribut kod plinovoda je podatak o tlaku zraka kroz pojedini linijski segment, što predstavlja podjelu mreže na visokotlačnu, srednjotlačnu i niskotlačnu. Upotrebljivost ostalih atributa prilikom izrade rada

bila je vrlo mala ili nikakva pa se oni neće dodatno opisivati. Podaci su pohranjeni u koordinatnom sustavu HDKS (5. zona).



Slika 4. *Prikaz izvornih, neobrađenih skupova podataka sustava plinske mreže pomoću osnovnih geometrijskih elemenata*

3. Realizirani tijek obrade podataka

U ovom poglavlju detaljno je opisan postupak obrade i uređivanja podataka prije i nakon njihovog učitavanja u bazu prostornih podataka. Prikazani su rezultati primarnog uređivanja topologije, korištenja geometrijskih operacija u QGIS-u i omogućavanja funkcionalnosti pgRoutinga.

Sukladno izabranoj programskoj infrastrukturi, prije same obrade podataka definirali su se osnovni koraci koje je bilo potrebno realizirati i način na koji će se podaci obraditi i pripremiti za izradu geoprostornih (ponajprije mrežnih) analiza. To je uključivalo:

- Instaliranje, pripremu i testiranje potrebne programske infrastrukture (AutoCAD Map 3D 2015, QGIS 2.0, PostgreSQL 9.3 sa funkcionalnostima PostGIS-a i pgRoutinga, pgAdmin III);
- Uređivanje topologije (čišćenje crteža) u AutoCAD Mapu 3D;
- Unos podataka u bazu podataka PostgreSQL;
- Obradu podataka kako bi se svi točkasti objekti pridružili skupu postojećih krajnjih (veznih) točaka na linijskim segmentima;
- Izradu prostornih upita u PostgreSQL-u;
- Vizualizaciju rezultata prostornih upita u QGIS-u.

Tijekom izrade rada pojedini su se koraci morali proširiti i redefinirati, kako bi se postigla efikasnija obrada podataka.

Nakon što je pripremljena sva potrebna programska infrastruktura, konačna obrada podataka, koja je realizirana u radu, obuhvaćala je ipak puno više detalja. Oni su sažeti u sljedećim koracima:

1. Transformacija svih skupova podataka (točke, linije, poligoni) u QGIS-u iz HDKS 5. zone u HTRS96/TM;
2. Konverzija geometrije plinovoda iz višedijelne (multilinije) u jednodijelnu, u QGIS-u;
3. Uređivanje topologije (čišćenje crteža) u AutoCAD Mapu 3D, uz paralelnu kontrolu i uklanjanje registriranih pogrešaka u QGIS-u;
4. Učitavanje svih podataka iz QGIS-a direktno u bazu podataka PostgreSQL;
5. Uređivanje podataka kombiniranjem upita u bazi podataka i funkcija u QGIS-u:
 - Konverzija geometrije redukcijских stanica iz multipoligona u točkaste objekte;

- Dodavanje dodatnih atributa točkastim podacima, kako bi se redukcijske stanice i ventili razlikovali, te njihovo spajanje u jedinstvenu datoteku u formatu shapefile. Učitavanje te datoteke u bazu podataka;
 - Snapiranje svih točkastih objekata (prethodno dobivena datoteka) na najbliže linije (plinovode) pomoću prostornih upita u bazi podataka;
 - Korištenje pojedinih funkcija u PostGIS-u, s ciljem dobivanja novih krajnjih točaka na linijama na mjestima kamo su točkasti objekti prethodno snapirani;
 - Upotreba dodatka fTools unutar QGIS-a, kako bi se dobila konačna linijska struktura (mreža plinovoda koja sadrži sve točkaste objekte kao krajnje točke svojih pojedinih linija);
6. Učitavanje konačnih obrađenih skupova podataka iz QGIS-a u bazu podataka PostgreSQL (datoteke s konačnim linijskim i točkastim strukturama);
 7. Kreiranje topologije na konačnom linijskom skupu podataka (plinovodima) u PostgreSQL-u (pgRouting);
 8. Izrada prostornih upita i testiranje algoritama za analizu mreža dostupnih unutar PostgreSQL-ovog proširenja pgRoutinga (Dijkstra, kDijkstra, Driving Distance), geoprostorna analiza;
 9. Vizualizacija dobivenih rezultata u QGIS-u.

Svaki od prethodno navedenih koraka detaljnije je objašnjen u potpoglavljima koja slijede.

3.1. Postavljanje baze podataka PostgreSQL

Prije bilo kakvog rada s podacima, potrebno je na računalu instalirati sve potrebne programe, odnosno osigurati funkcionalnu programsku infrastrukturu. Uz QGIS i studentsku verziju programa AutoCAD Map 3D, za izradu rada izuzetno je bitno postavljanje baze podataka (točnije SUBP-a) PostgreSQL i popratnog programa pgAdmina. Postupak instalacije AutoCAD-a i QGIS-a neće biti detaljnije objašnjen, jer se radi o standardnim postupcima instalacije softvera na računalu. Međutim, postupak instaliranja PostgreSQL-a, kao i prvi koraci koje je nakon instalacije potrebno učiniti, bit će nešto detaljnije opisani.

Sa službene internet stranice PostgreSQL-a potrebno je najprije preuzeti izvršnu datoteku namijenjenu za instalaciju na operativnom sustavu Windows, jer je pri izradi rada korišten operativni sustav Windows 7. Zatim je tu datoteku potrebno spremiti na računalo i pokrenuti. Pri izradi rada korištena je verzija PostgreSQL 9.3, koja je u tom trenutku bila najnovija

stabilna verzija. Uz instalaciju PostgreSQL-a, omogućena je i instalacija programa *StackBuilder*. Taj program omogućuje, između ostalog, postavljanje dodatnih upravljačkih programa, dodatke za razvoj web aplikacije i razne dodatke prostorne nadogradnje u bazi podataka, poput dodatka PostGIS-a.

Nakon instalacije baze podataka i programa pgAdmin, potrebno je na računalu pokrenuti pgAdmin. Najprije je u sučelju pgAdmina uspostavljena nova veza (engl. *Connection*) na poslužitelj (engl. *Server*) pod nazivom PostgreSQL 9.3 (x86). Osim toga, upisani su i adresa poslužitelja na kojem se nalazi baza podataka (engl. *Host*), port, korisničko ime i lozinka. Budući da je baza podataka smještena na osobnom računalu, kao host je postavljen „localhost“, a kao port „5432“.

Zatim je moguće kreirati bazu podataka. Desnim klikom miša na *Databases* izabere se opcija *New Database*. Na taj način kreirana je nova baza podataka pod nazivom *Diplomski*, koja je korištena tijekom izrade ovog rada. Kao *owner* upisano je „postgres“. Odmah nakon kreiranja baze, ona nema drugih proširenja (engl. *Extensions*) osim *plpgsql*. Za izradu rada potrebno je omogućiti proširenja PostGIS i pgRouting. Ta proširenja dodaju dodatne funkcionalnosti u bazu podataka, kako bi se lakše upravljalo prostornim podacima. Navedena proširenja dodaju se upisivanjem sljedećih upita (engl. *Query*) u prozor uređivača SQL upita (engl. *SQL Editor*):

```
CREATE EXTENSION postgis;  
CREATE EXTENSION pgrouting;
```

Izvršavanjem prethodnih upita, u sučelju pgAdmina kreirana su dva nova proširenja te dodane 1082 funkcije (engl. *Functions*), kao i tablica *spatial_ref_sys*, koja sadrži sve poznate koordinatne sustave (među njima i HTRS96/TM). Na taj se način omogućuje upravljanje prostornim podacima (u konkretnom slučaju plinovodima, redukcijским stanicama i ventilima) u bazi podataka.

3.2. Uređivanje podataka prije njihova učitavanja u AutoCAD Map 3D

Nakon što je uspostavljena odgovarajuća programska podrška, započinje rad s podacima. Prije uređivanja topoloških odnosa u AutoCAD-u, izvorne podatke je potrebno urediti u QGIS-u. To uređivanje sastoji se od dva dijela:

- Transformacija svih skupova geometrijskih podataka (točke, linije, poligoni) iz 5. zone HDKS-a u HTRS96/TM;
- Konverzija geometrije plinovoda iz višedijelne u jednodijelnu.

Prvi dio je potrebno učiniti kako bi svi podaci bili pohranjeni u službenom državnom koordinatnom sustavu. Transformacija se napravi tako da se svaka od 3 shapefile datoteke spremi uz odabir HTRS96/TM kao ciljnog koordinatnog sustava.

Drugi dio se radi zbog jednostavnijeg upravljanja podacima u daljnjoj obradi u AutoCAD-u, ali još i važnije, zbog ograničenja u izradi analiza mreže. Kako je već ranije objašnjeno, većina plinovoda je geometrijski predstavljena linijskim elementima. Međutim, postoji i određen broj multilinija (skupovi linija, engl. *MultiLineStrings*). Jedna multilinija (jedan redak u atributnoj tablici) se zapravo sastoji od nekoliko odvojenih linijskih segmenata. Algoritmi za analizu mreža unutar pgRoutinga ne mogu ispravno obrađivati takve geometrijske elemente i zbog toga je potrebno konvertirati geometriju linijske strukture (plinovoda) iz višedijelne (multi) u jednodijelnu. Konverzija se obavlja pomoću jedne od funkcija Alata geometrije unutar QGIS-ovog dodatka fTools-a. Nakon konverzije, početni broj od 6879 linijskih segmenata povećao se na 13236, koji će biti korišteni u daljnjoj obradi.

3.3. Uređivanje topologije pomoću AutoCAD Mapa 3D

Nakon primarne obrade linijskih objekata u QGIS-u, potrebno je urediti njihovu topologiju. Za to uređivanje izabran je AutoCAD Map 3D. Prvi korak nakon pokretanja programa jest učitavanje podataka. S obzirom na to da su podaci pohranjeni u formatu shapefile, potrebno je u traci izbornika izabrati naredbu *Insert > Map Import*. Nakon toga se otvara novi prozor u kojem je potrebno izabrati format podataka koje je potrebno učitati (engl. *Files of Type*), kao i potrebnu shapefile datoteku (u ovom slučaju, datoteku sa linijskim segmentima, tj. plinovodima).

Sljedeći korak je pokretanje postupka „čišćenja crteža“ (engl. *Drawing Cleanup*). U traci izbornika izabere se alat *Tools > Drawing Cleanup*. Zatim se otvara novi prozor sa četiri nove opcije. U dijelu *Select Objects* izabere se željeni sloj podataka (engl. *Layer*). U dijelu *Cleanup Actions* izaberu se željeni postupci (naredbe) čišćenja i prag tolerancije, ako je on dio naredbe. Izabrane su sljedeće naredbe:

- *Delete Duplicates*, s pragom tolerancije od 0.00 (Brisanje dvostrukih linija);

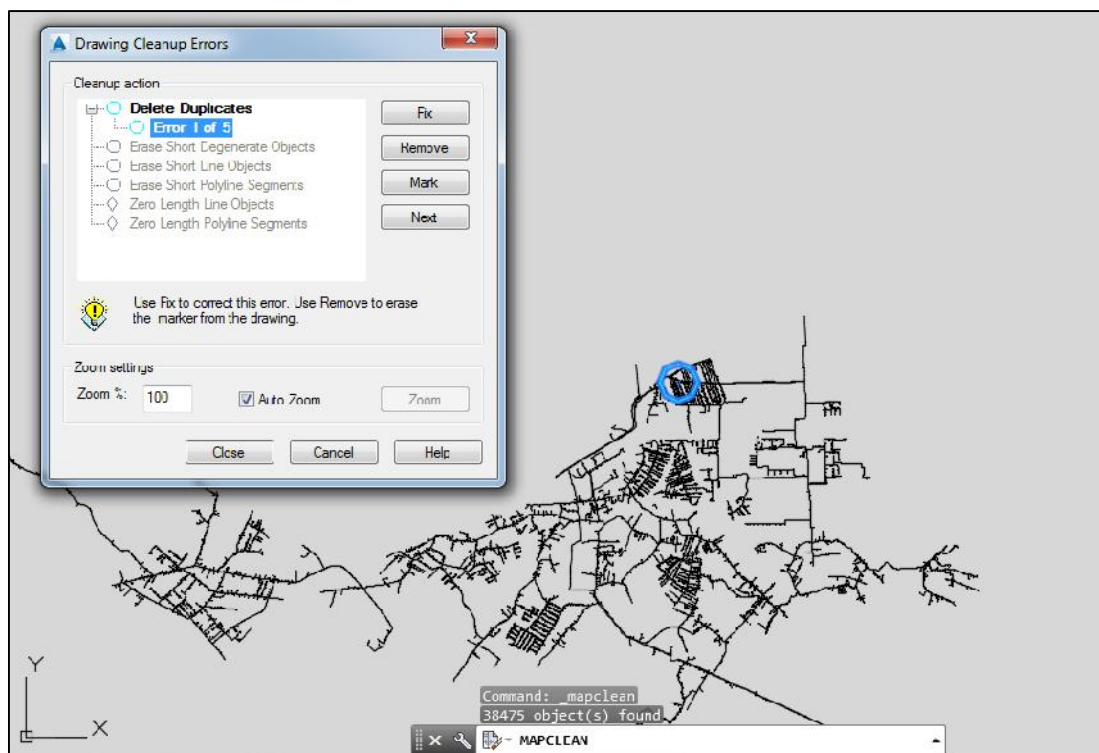
- *Erase Short Objects*, s pragom tolerancije od 2 cm (Brisanje kratkih linijskih segmenata);
- *Zero Length Objects* (Brisanje objekata dimenzije nula).

Moguće je koristiti i viši prag tolerancije, kao i druge naredbe, poput *Dissolve Pseudo Nodes*, *Extend Undershoots* ili *Erase Dangling Objects*, jer je utvrđeno da i one detektiraju određen broj pogrešaka kod geometrije linijskih podataka, ali te pogreške nisu ograničavajuće prilikom daljnje izrade rada. Primjerice, zbog nekorištenja naredbe *Extend Undershoots* u mreži preostaju izolirani linijski segmenti, koji nisu spojeni s ostatkom mreže.

Uz to, izabrana je opcija interaktivnog pregleda pogrešaka. To znači da se pogreške u geometriji neće automatski ukloniti, nego program navodi korisnika do svake pogreške i on može izabrati hoće li ili neće ukloniti pojedinu grešku.

U sljedećem dijelu, pod nazivom *Cleanup Methods*, izabire se način na koji će se pohraniti podaci o greškama. Izabrana je opcija zadržavanja izvornog sloja i kreiranje novih objekata na sloju 0. Taj odabir zapravo i nije predstavljao veliku važnost, jer je odlučeno paralelno kontrolirati i ispravljati greške direktno na shapefile datoteci u QGIS-u. U posljednjem dijelu potrebno je izabrati stil prikaza pojedinih pogrešaka.

Nakon što se klikne na gumb *Finish*, otvara se novi prozor pod nazivom *Drawing Cleanup Errors* (pogreške registrirane prilikom čišćenja crteža), kod kojeg program navodi korisnika do svake pogreške (Slika 5.). Broj i vrstu registriranih pogrešaka tijekom obrade podataka prikazuje Tablica 6. Za kasniju obradu podataka najbitnije je ukloniti pogreške preklapanja geometrije (dvostruke linije), jer je to najveći ograničavajući faktor pri izradi analiza mreže pomoću pgRoutinga.



Slika 5. Postupak interaktivnog uređivanja topologije u AutoCAD Mapu

Kao što je već spomenuto, uklanjanje pogrešaka izvršeno je na prethodno uređenoj shapefile datoteci direktno u QGIS-u. AutoCAD je služio samo kao kontrola i alat za dobivanje lokacije grešaka. Pri tome su neke od pogrešaka i zanemarene (primjerice, linije koje su kraće od 2 cm, ali su potrebne zbog održavanja svojstva povezanosti u mreži plinovoda).

U QGIS-u je korišten još i alat *Provjera valjanosti geometrije*, koji je sastavni dio Alata geometrije unutar dodatka fTools. Pomoću njega je otklonjeno još šest pogrešaka preklapanja geometrija i višestrukih čvorova.

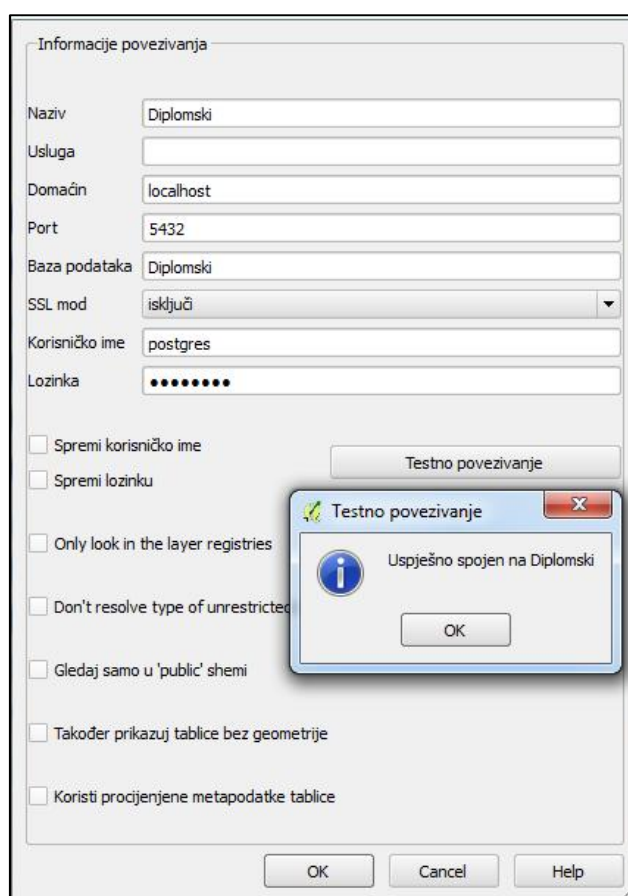
Tablica 6. Broj registriranih pogrešaka u postupku čišćenja crteža u AutoCAD Mapu

Naredba za čišćenje crteža	Broj registriranih pogrešaka
<i>Delete Duplicates</i>	5
<i>Erase Short Line Objects</i>	4
<i>Erase Short Polyline Segments</i>	24

3.4. Unos svih skupova podataka u bazu podataka

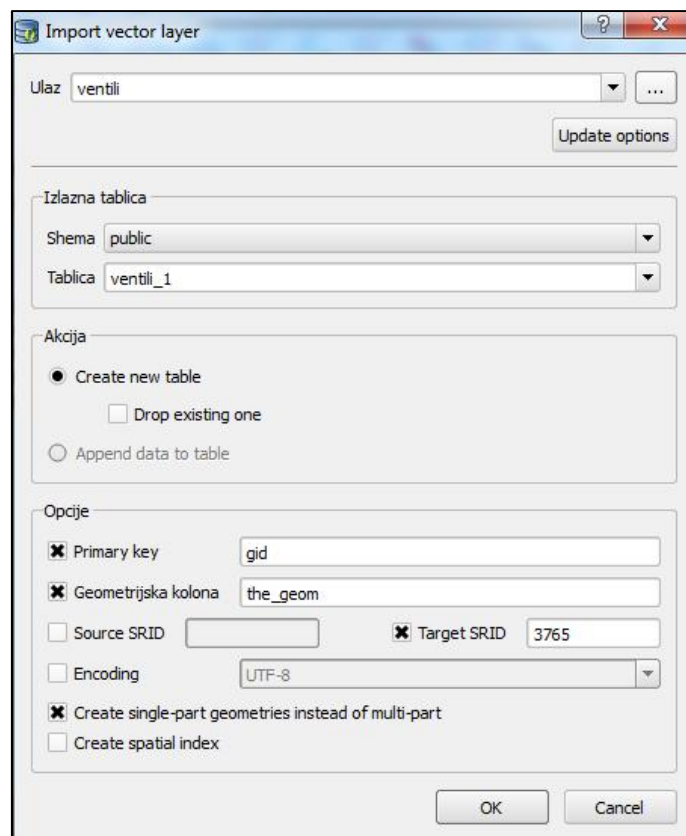
Nakon što je mreža plinovoda topološki pročišćena, potrebno je sve podatke (plinovodi, redukcijske stanice, ventili) unijeti u prethodno kreiranu bazu podataka s nazivom *Diplomski*. Postupak unosa obavlja se u QGIS-u, direktnim ubacivanjem slojeva podataka u formatu shapefile u bazu.

Prije samog unosa shapefile podataka u bazu, potrebno je kreirati novu PostGIS vezu iz QGIS-a na bazu podataka *Diplomski*. U alatnoj traci se izabere alat *Add PostGIS Layers*. Zatim se u novom prozoru izabere opcija *New*. U novi prozor potrebno je upisati naziv veze, domaćina, broj porta, naziv baze podataka s kojom se stvara poveznica, korisničko ime i lozinku. Tim je redoslijedom upisano sljedeće: „*Diplomski*“, „*localhost*“, „*5432*“, „*Diplomski*“, „*postgres*“ i određena lozinka, te potvrđeno s *OK*. Moguće je obaviti i testno povezivanje, kako bi se provjerilo je li moguće uspostaviti vezu na temelju prethodno upisanih informacija. Ako je sve u redu, trebala bi se pojaviti povratna informacija (Slika 6.).



Slika 6. Uspostavljanje poveznice između QGIS-a i baze podataka

Kad je ta veza uspješno uspostavljena, treba se najprije pomoću QGIS dodatka DB Managera uspostaviti veza s bazom podataka *Diplomski* upisivanjem prethodno definiranog korisničkog imena i lozinke, kako bi bilo moguće koristiti alate unutar tog dodatka. Jedan od alata je i *Import layer/file*, koji omogućuje unos vektorskog sloja (koji je trenutno učitani u QGIS-u) u bazu podataka. Klikom na ikonu *Import layer/file* otvara se novi prozor, u kojem je potrebno upisati naziv ulazne shapefile datoteke, naziv sheme i tablice, te se izaberu i dodatne opcije, poput primarnog ključa (engl. *Primary key*), geometrijske kolone, ciljnog referentnog koordinatnog sustava itd. Svaka od tri shapefile datoteke (plinovodi, redukcijske stanice i ventili) zasebno se učitava. Pri tome se za shemu kod svakog unosa postavi *public* (sve se isključivo radi u toj shemi), a za imena tablica upisuju se: „plinovodi_1“, „red_st_1“ i „ventili_1“. U dijelu *Akcija* (engl. *Action*) izabere se *Create new table*. Kod svakog unosa potrebno je upisati i naziv primarnog ključa. Ako je potrebno, može se staviti i naziv koji prethodno ne postoji među stupcima atributne tablice shapefile slojeva. Tada se generira novi primarni ključ s izabranim nazivom. To je, primjerice, vrlo korisno kod datoteke s podacima plinovoda, jer su zbog prethodne konverzije multilinija u linije (objašnjeno u potpoglavlju 3.2.) na mnogim mjestima ostali segmenti koji imaju iste primarne ključeve. Za naziv geometrijske kolone (stupca) uobičajeno je postaviti „the_geom“. Za ciljni referentni koordinatni sustav (engl. *Target SRID*) postavi se „3765“, što predstavlja HTRS96/TM. Uz sve navedene opcije, potrebno je kod unosa svih triju datoteka uključiti i opciju *Create single-part geometries instead of multi-part*. Time se dodatno osigurava da podaci budu učitani u bazu kao jednostruke geometrije, što kasnije olakšava njihovu obradu. Slika 7. prikazuje postavke koje su izabrane prilikom unosa datoteke s podacima o ventilima. Ako je unos u bazu uspješan, dobije se povratna informacija.



Slika 7. Postavke odabrane pri unosu podataka o ventilima u bazu podataka

3.5. Nastavak obrade podataka u QGIS-u

Kad su svi skupovi podataka uneseni u bazu podataka, slijedi njihova obrada paralelnom kombinacijom upita u bazi i funkcija u QGIS-u. Cilj te obrade je osigurati praktičnije upravljanje podacima prilikom kasnijih analiza mreže. Želi se omogućiti da svi točkasti objekti postanu čvorovi kod kreiranja topologije na mreži plinovoda, što je detaljnije objašnjeno u nastavku ovog potpoglavlja. Na taj se način mrežne analize mogu definirati između lokacija redukcijских stanica ili ventila, a ne isključivo između već postojećih točaka na mreži plinovoda.

Prvi korak u toj obradi jest konverzija geometrije redukcijских stanica iz poligona u točke, budući da je potrebno da su jednake geometrijske strukture kao i ventili. Za provedbu te konverzije potrebno u QGIS-u pokrenuti dodatak DB Manager, spojiti se sa bazom podataka. Diplomski te otvoriti alat unutar DB Managera pod nazivom *SQL Window*. Taj *SQL Window* zapravo je direktna veza sa prozorom uređivača SQL upita u bazi podataka (engl. *SQL Editor*). Stoga je omogućeno pisati SQL upite u QGIS-u i izvršiti ih, bez potrebe za otvaranjem sučelja pgAdmina. U *SQL Window* potrebno je upisati sljedeće:


```
SELECT *, ST_Centroid(the_geom) AS centroid  
FROM red_st_1;
```

Rezultat prethodnog upita je odabir svih stupaca iz tablice *red_st_1* (redukcijske stanice) i dodavanje dodatnog stupca s nazivom *centroid*, u kojem su izračunate koordinate centroida (središnje točke) od svakog poligona u toj tablici. Taj rezultat se učitava u QGIS odabirom opcije *Load as new layer*, pri čemu se izabere stupac s primarnim ključem (*gid*), a kao geometrijski stupac izabere se *centroid* (jer bi se odabirom stupca *the_geom* iscrtali poligoni, a ne novokreirani točkasti objekti). Vizualizirani rezultat se zatim spremi kao shapefile datoteka s nazivom *red_st_tocke*.

Slično prethodnome postupku, iz baze se u QGIS učitava tablica *ventili_1* (s primarnim ključem *gid* i geometrijskim stupcem *the_geom*) i spremi kao shapefile datoteka s nazivom *ventili_tocke*.

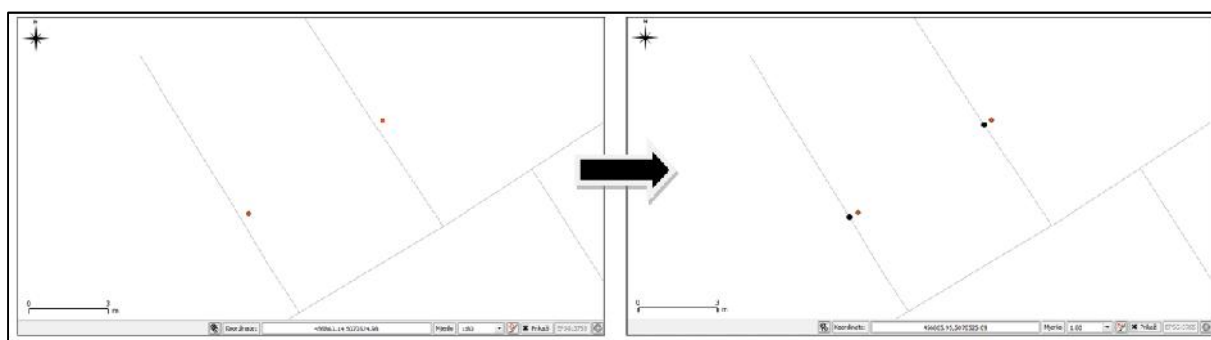
Zatim se u QGIS-u otvore datoteke *red_st_tocke* i *ventili_tocke*. S ciljem spajanja svih točkastih objekata (redukcijske stanice i ventili) u jedinstvenu shapefile datoteku, u QGIS-u se najprije atributnim tablicama ventila i redukcijskih stanica dodaju novi stupci, pomoću QGIS dodatka *Table Managera* i *Field Calculatora*. Svakoj se tablici doda po jedan stupac pod nazivom *napomena*. U tom stupcu pohranit će se tekstualni podatak o vrsti plinske infrastrukture, odnosno je li riječ o redukcijskoj stanici ili ventilu. Kao tip podatka izabere se *String* (tekstualni podatak), a za širinu polja (maksimalni broj znakova) 20. Kod redukcijskih stanica se u tom novom stupcu (za sve pripadajuće redove u tablicama) upiše „redukcijska stanica“, a kod ventila „ventil“.

I kod redukcijskih stanica i kod ventila mogu se obrisati pojedini stupci u atributnim tablicama, koji su u daljnjoj obradi podataka nepotrebni. Među njima su i stupci *the_geom*, koji će se ponovo definirati prilikom kasnijeg unosa jedinstvene shapefile datoteke u bazu. Izvorni ID-evi redukcijskih stanica i ventila preimenovani su kako bi se kasnijim spajanjem u jedinstvenu datoteku definirao novi primarni ključ. Međutim, ti stupci nisu obrisani, kako bi bilo jasnije detektirati porijeklo točaka (i, ako je potrebno, locirati ih po njihovim originalnim ID-evima).

Nakon toga slijedi spajanje datoteka *red_st_tocke* i *ventili_tocke* u jedinstvenu shapefile datoteku korištenjem sljedećeg alata u QGIS-u: *Vektor > Alati za upravljanje podacima >*

Spoji shape datoteke u jednu. Prilikom tog spajanja poželjno je da svi stupci u atributnim tablicama (datoteka koje se spajaju) imaju različite nazive. U suprotnom se prilikom spajanja i oni spoje. Međutim, to je prihvatljivo kod stupca *napomena*, koji je na jednak način definiran u obje tablice. Datoteka s rezultatom spajanja imenovana je *tocke.shp*. Nakon spajanja, tu novu shapefile datoteku potrebno je učitati u bazu podataka. Učitavanje se izvršava pomoću DB Managera, pri čemu se izabere ime *tocke*, kreira novi geometrijski stupac (*the_geom*) i novi primarni ključ (*gid*). Obavezno se uključi i opcija *Create single-part geometries instead of multi-part*, kako bi se osigurao nastavak rada sa točkom kao osnovnim geometrijskim elementom. Ukupno je učitano 313 točaka.

Kad je definirana jedinstvena shapefile datoteka sa svim točkastim objektima, potrebno je te točke prvo *snapirati* („zalijepiti“) na plinovode, a zatim na tim mjestima napraviti nove točke (koje će biti krajnje točke linija). Potreba za takvom obradom podataka objašnjena je u prvom odlomku ovog potpoglavlja. Za postupak snapiranja napisan je algoritam u uređivaču teksta (*Notepad*) i pohranjen pod nazivom *Snapiranje_tocaka.sql*. Taj se algoritam može kopirati i pokrenuti u SQL prozoru DB Managera u QGIS-u. U njemu se koriste dvije funkcije PostGIS-a: *ST_ClosestPoint(geom1, geom2)* i *ST_Collect(geom)*. *ST_ClosestPoint* pronalazi točku na jednoj geometriji koja je najbliža drugoj geometriji (u ovom slučaju točke na mreži plinovoda koje su prostorno najbliže redukcijским stanicama i ventilima). Funkcija *ST_Collect* spaja sve segmente jedne geometrije u jednu cjelinu (npr. sve linije u jedan skup). Rezultat je nova tablica naziva *snapirane_tocke*, koja kao jedan od stupaca (stupac *snapped_point*) sadrži koordinate (geometriju) novodobivenih snapiranih točaka. Zatim se iz baze u QGIS pomoću alata *Add PostGIS Layers* učitava novokreirana tablica. Pri učitavanju se izabere geometrijski stupac *snapped_point*, jer u tablici postoji više geometrijskih stupaca (npr. izvorna geometrija ventila). Rezultat opisane obrade prikazuje Slika 8.



Slika 8. Prikaz rezultata u postupku snapiranja točaka na mrežu plinovoda

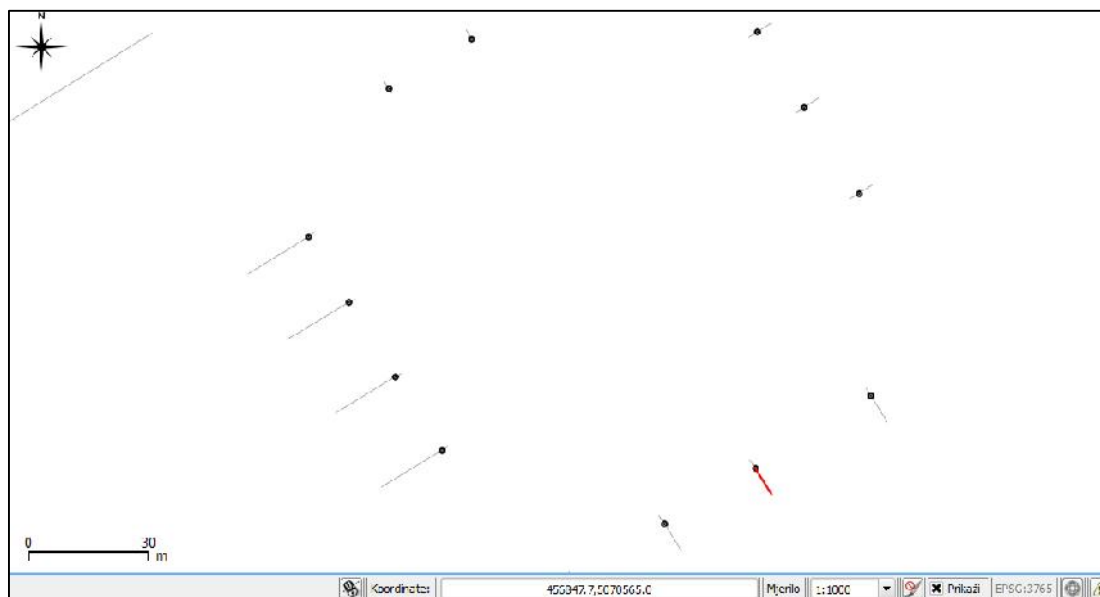
Prije postupka kreiranja novih krajnjih točaka linija, potrebno je napraviti provjeru preklapanja geometrije točaka pomoću QGIS dodatka Topology Checkera. Najprije je potrebno spremiti tablicu *snampirane_tocke* u format shapefile, jer će se na toj datoteci raditi provjera. Ta provjera je nužna zbog karakteristika algoritma korištenog u daljnoj obradi podataka (*Uredivanje_linija.sql*). Funkcionalnost tog algoritma je ograničena u slučaju ako postoje točke koje se preklapaju (koje su snapirane na isto mjesto na liniji), pa čak i ako postoje linije na kojima se nalaze dvije ili više točaka (ne moraju se preklapati). Iako skup točkastih objekata nije gust, a linijski segmenti su relativno kratki (većina ih je nije dulja od nekoliko metara), ipak je detektirano nekoliko mjesta gdje su se točke morale razmaknuti. Tako uređena datoteka učitana je natrag u bazu podataka i zamijenila je tablicu *snampirane_tocke* (ali je zadržan taj naziv). Pri tome je naziv stupca *snapped_point* zamijenjen s *the_geom*.

Po završetku te provjere nastavlja se s postupkom kreiranja novih točaka na linijama (plinovodima), na mjestima prethodno snapiranih točaka. Za tu obradu se koristi nešto složeniji algoritam pohranjen pod nazivom *Uredivanje_linija.sql*. Taj algoritam je, zbog svojstava pojedinih PostGIS funkcija koje se u njemu koriste, ponajprije *ST_Split*, realiziran „zaobilaznim“ putem. Iako bi sama funkcija *ST_Split* trebala biti dovoljna, zbog njezinih ograničenja, potrebno je osigurati određene pragove tolerancije. Ideja za pisanje tog algoritma dobivena je na web stranicama *GIS Stack Exchangea* (URL 17). Cijeli algoritam je dostupan kao jedan od priloga na kraju rada. Sastoji se od nekoliko koraka:

1. Funkcija *ST_Dwithin* traži sve točke unutar 1 cm od linija (plinovoda) i samo se one uzimaju u obzir;
2. Funkcijom *ST_Collect* spajaju se sve linije (plinovodi) u jedinstvenu geometriju;
3. Geometrija dobivena u prethodnom koraku snapira se pomoću funkcije *ST_Snap* na svaku točku, uz prag tolerancije od 1 cm (na taj se način zapravo osigurava da su točke točno na linijama i izbjegavaju se mogući problemi kod funkcije *ST_Split*);
4. Upotreba funkcije *ST_Split*, u obliku *ST_Split(geometrija iz prethodnog koraka, geometrija točaka)*, što znači da će se geometrija iz prethodnog koraka „presjeći“ točkama;
5. Konačno, izabire se geometrija (*geom*) funkcije *ST_Dump* kako bi konačni rezultat bile raščlanjene linije.

Neka od ograničenja ovog algoritma već su ranije u ovom potpoglavlju objašnjena (problem kod preklapanja točaka ili više točaka na istoj liniji). Uz njih, primijećene su i pogreške u rezultatima ako su pragovi tolerancije previsoki, ponajprije kod funkcije ST_Dwithin.

Rezultat prethodno opisanog algoritma je nova tablica u bazi podataka, naziva *linije_razdijeljene*. Ta tablica kao jedan od stupaca sadrži novu geometriju (*geom*). Ta je geometrija pohranjena u formatu shapefile pod nazivom *linije_razdijeljene.shp*. Ako se ta geometrija učitava u QGIS, može se vidjeti rezultat algoritma (Slika 9.). Linijski segmenti (plinovodi) uz svaku točku su podijeljeni i samo su oni uzeti u obzir. Dakle, sve ostale linije, koje na sebi nemaju snapirane točke, nisu sastavni dio rezultata (geometrije). Zbog toga je još potrebno urediti podatke tako da se najnovija kreirana geometrija spoji sa preostalim linijskim segmentima.



Slika 9. Prikaz međurezultata u postupku kreiranja novih točaka na linijama

Prethodno dobivena tablica *linije_razdijeljene* ima još jedan geometrijski stupac (*the_geom*), koji se pomoću alata *Add PostGIS Layers* učitava u QGIS. Ta geometrija obuhvaća linije koje na sebi sadrže snapirane točke, ali još nisu raspoložljive (za razliku od *geom*). I tu geometriju potrebno je pohraniti u formatu shapefile, ali pod nazivom *linije_razdijeljene_2.shp*. Kod obje datoteke, *linije_razdijeljene* i *linije_razdijeljene_2*, potrebno je izbrisati stupce *gid*, *the_geom* i *geom* iz atributnih tablica.

Obrada se nastavlja pomoću dodatka fToolsa. Najprije je potrebno napraviti razliku geometrija između shapefile datoteke koja sadrži topološki uređenu cjelokupnu linijsku

strukturu (*plinovodi_1*) i prethodno pohranjene datoteke *linije_razdijeljene_2.shp*. Za to se koristi alat *Vektor > Alati geoprocesiranja > Razlika*. Za sloj razlike izabere se *linije_razdijeljene_2.shp*, a izlazna shapefile datoteka se nazove *plinovodi_2.shp*. Zatim je potrebno u jedinstvenu shapefile datoteku (pomoću Alata za upravljanje podacima) spojiti prethodno dobivenu datoteku *plinovodi_2.shp* i datoteku *linije_razdijeljene.shp*. Tako se u mrežu plinovoda dodaju linije koje imaju točkaste objekte (redukcijske stanice i ventile) kao svoje krajnje točke. Izlazna datoteka je imenovana *plinovodi.shp* i to je konačna shapefile datoteka s plinskom mrežom. Tu datoteku je još potrebno pod nazivom *plinovodi* učitati u bazu podataka (uz definiranje *gid* kao primarnog ključa i geometrijskog stupca *the_geom*).

Sve tablice u bazi podataka, osim tablica *plinovodi* i *snagirane_tocke*, u ovom koraku postaju nepotrebne, jer se ne koriste pri daljnjoj izradi rada. Stoga se mogu izbrisati.

3.6. Uspostava topologije pomoću pgRoutinga

Nakon što je u bazu podataka učitana konačna tablica s linijama (*plinovodi*), potrebno je na njoj kreirati topologiju. To podrazumijeva da svaka krajnja točka linije (a ne i sve prijelomne točke na liniji) postane čvor (dobije svoj ID). Samo tablice s uspostavljenom topologijom mogu se koristiti pri izradi analiza mreže.

Zbog karakteristike funkcije kojom se kreira topologija u pgRoutingu, najprije je potrebno u tablicu *plinovodi* dodati dva nova stupca. Oni su nazvani *source* (ishodišni čvor linije) i *target* (ciljni čvor linije). Ti će stupci biti popunjeni s ID-evima čvorova.

Upit kojim se u pgRoutingu kreira topologija je:

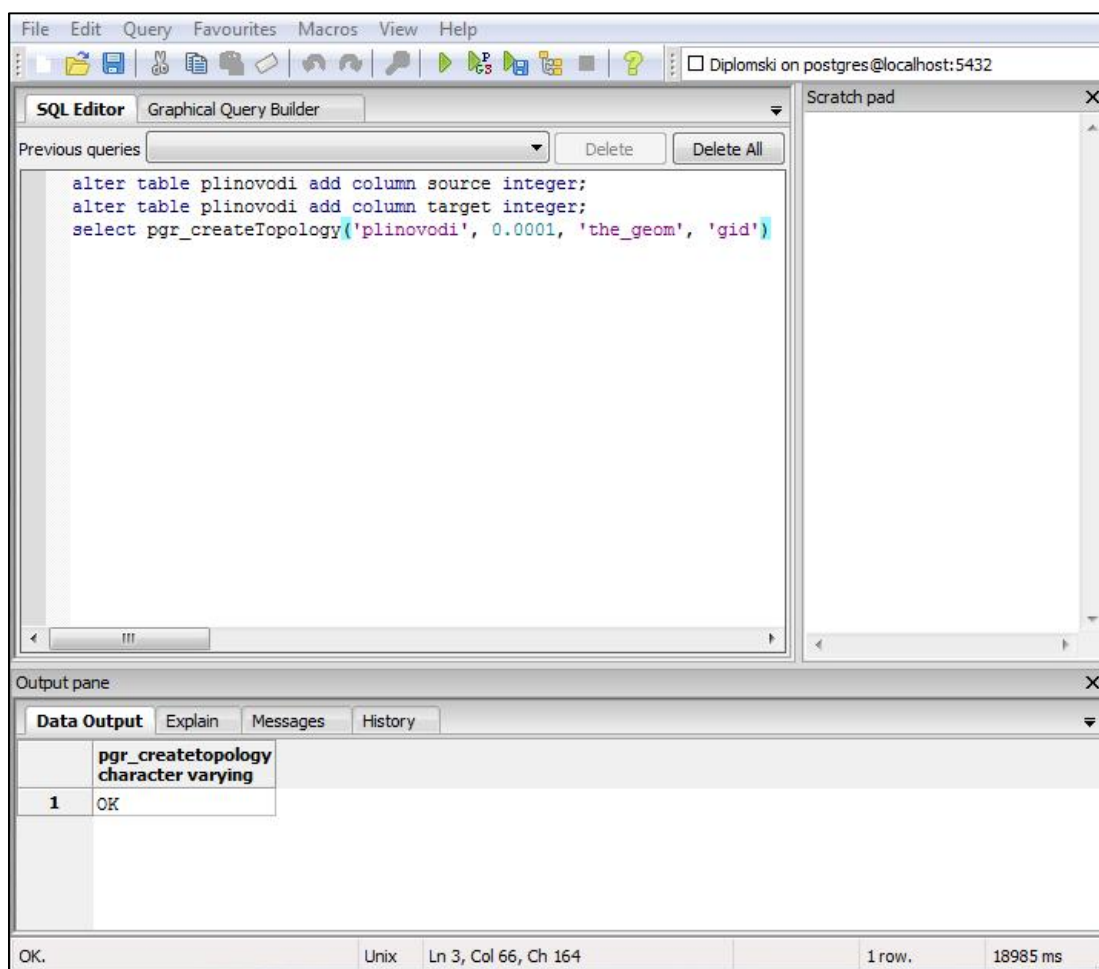
```
SELECT pgr_createTopology('plinovodi', 0.0001, 'the_geom', 'gid');
```

U tom je upitu izabrana tablica za koju će se kreirati topologija (*plinovodi*), prag tolerancije (do koje udaljenosti se bliski čvorovi smatraju istim čvorom), geometrijski stupac (*the_geom*) i stupac s primarnim ključem iz tablice *plinovodi* (*gid*).

Funkcija *pgr_createTopology*, korištena u upitu, kreira novu tablicu pod nazivom *plinovodi_vertices_pgr*, koja sadrži sve čvorove u mreži. Osim toga, stupci *source* i *target* popunjavaju se odgovarajućim ID-evima iz te nove tablice.

Brzina kreiranja topologije u pgRoutingu ovisi o veličini i kompleksnosti mreže. Primjerice, za mrežu *plinovodi*, koja ima ukupno 13542 linijska segmenta, proces je trajao 18985 ms (18,985 s). U tablici *plinovodi_vertices_pgr* kreirano je 13511 čvorova. Nakon što je topologija kreirana, dobije se povratna informacija u bazi podataka (Slika 10.).

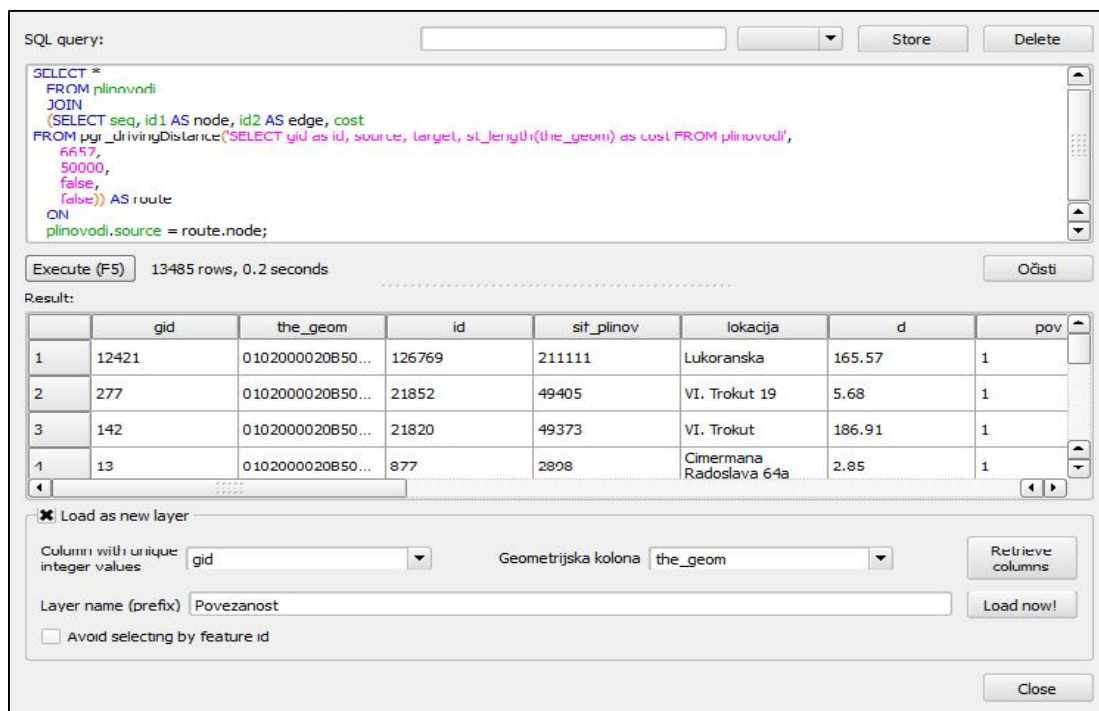
Bitno je spomenuti da usmjerenost mreže, koja je postignuta popunjavanjem stupaca *source* i *target*, ne mora nužno odgovarati stvarnom stanju u mreži, jer se radi o automatskom popunjavanju. Ako je smjer bitan, primjerice kod analiza protoka plina iz cijevi sa visokim tlakom u cijevi s nižim tlakom, tada je potrebno podatke u stupcima *source* i *target* promijeniti sukladno stvarnoj situaciji.



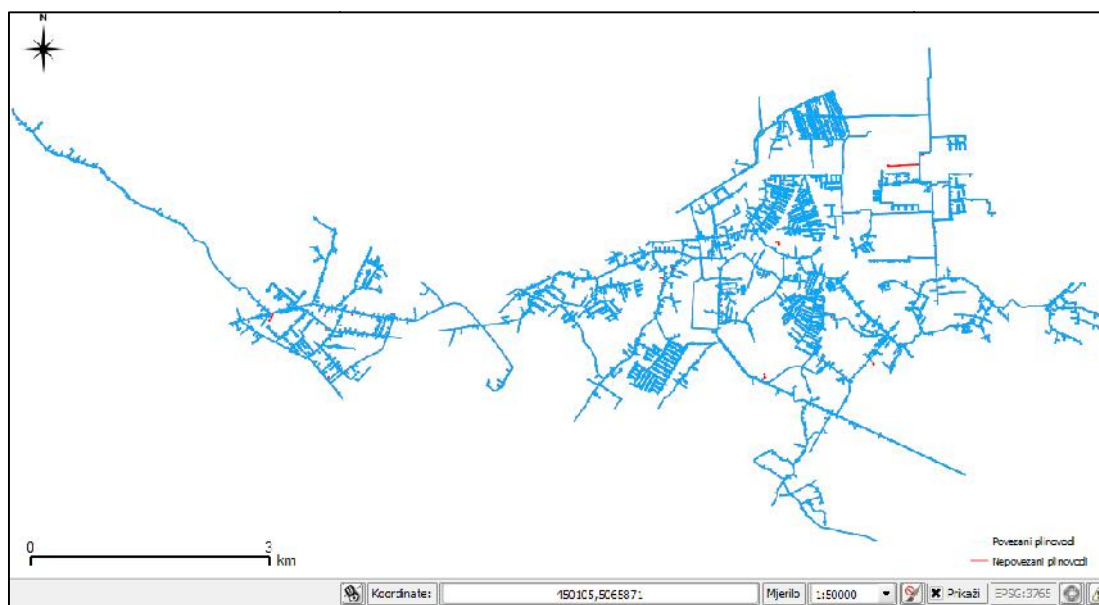
Slika 10. Upit za kreiranje topologije pomoću PgRoutinga

Zatim se može napraviti kontrola povezanosti mreže *plinovodi*. Tako se dobije informacija postoje li linijski segmenti koji nisu povezani s ostatkom mreže i je li moguće očekivati probleme prilikom izrade analiza mreže. Ta se kontrola može napraviti na više načina, a dva su detaljnije opisana. Prvi od ta dva načina je korištenje funkcije Driving Distance

(*pgr_drivingDistance*) nad cijelom mrežom. Rezultat funkcije učitava se u QGIS pomoću dodatka DB Managera (Slika 11.). Primijećeni su određeni linijski segmenti koji nisu spojeni s ostatkom mreže (Slika 12.). Ti segmenti su jednim dijelom posljedica nekorištenja naredbe *Extend Undershoots*, što je objašnjeno u poglavlju 3.3. Kako je riječ o vizualnoj kontroli, moguće je da se neki kraći izolirani segmenti i ne primijete.



Slika 11. Postupak učitavanja rezultata upita o povezanosti mreže u QGIS



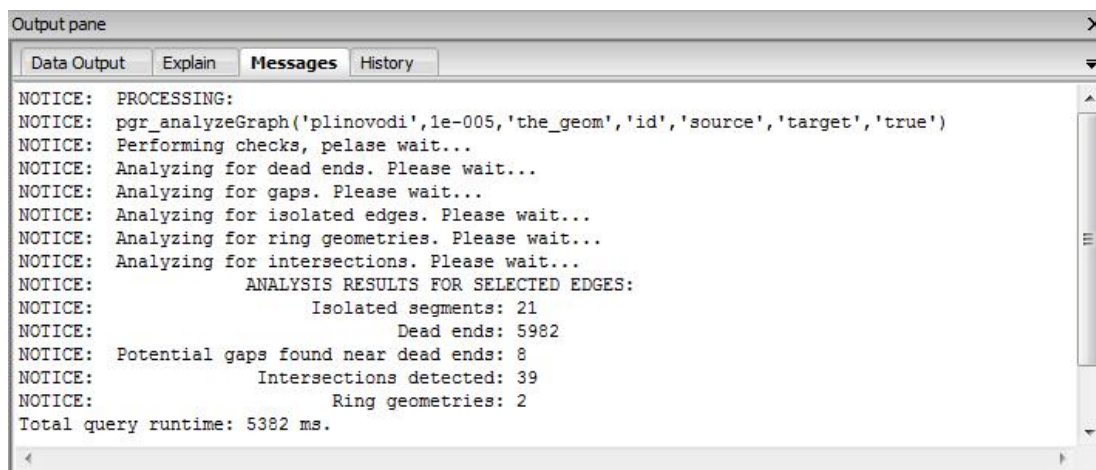
Slika 12. Vizualna kontrola povezanosti linijskih segmenata mreže u QGIS-u

Drugi način je analiza grafa (odnosno mreže) pomoću funkcije *pgr_analyzeGraph*:

```
SELECT pgr_analyzeGraph('plinovodi', 0.00001);
```

Rezultat te funkcije je tekstualni opis u tabu *Messages* u bazi podataka. On sadrži podatke o broju izoliranih linijskih segmenata (*Isolated segments*), krajnjih čvorova mreže (*Dead end*), linija koje se sijeku, ali nisu učvorene (*Intersections*) te drugih potencijalnih problema (Slika 13.).

Osim toga, tom se funkcijom popunjavaju stupci *cnt* i *chk* u tablici sa čvorovima (*plinovodi_vertices_pgr*). *Cnt* predstavlja broj krajnjih čvorova mreže s kojima je povezan pojedini čvor u toj tablici. To znači da je kod krajnjih čvorova mreže *cnt* jednak 1.



Slika 13. Rezultat provjere povezanosti linijskih segmenata mreže u postupku analize grafa

Iako su kontrole pokazale određene nedostatke u povezanosti linijskih segmenata u mreži, njezina se geometrija nije dodatno uređivala. Dakle, ulazna geometrija mreže u izradi analiza mreže ostala je jednaka geometriji prije izrađenih kontrola. No, kontrolama je dobiven uvid u dijelove mreže u kojima bi rezultati analiza mogli biti neočekivani. Mreža bi se mogla dodatno urediti pomoću funkcije *pgr_nodeNetwork*.

3.7. Završna priprema podataka za izradu geoprostornih analiza

Završno uređivanje podataka prije izrade geoprostornih (ponajprije mrežnih) analiza uključuje:

- Konačno uređivanje tablice *plinovodi_vertices_pgr* dodavanjem novih stupaca;

- Uređivanje podataka u tablici *plinovodi*, kako bi se omogućilo isključivanje pojedinih cijevi iz plinovodne mreže.

Prvi dio se radi s ciljem dodavanja dodatnih stupaca u tablicu s čvorovima. Cilj je omogućiti praktičnije upravljanje podacima i ukloniti potrebu za daljnjim korištenjem tablice *snampirane_tocke*. Zbog toga je potrebno u tablicu *plinovodi_vertices_pgr* dodati stupce *napomena*, *gid_reds* (ID-evi redukcijских stanica) i *fid_vent* (ID-evi ventila) iz tablice *snampirane_tocke*. To iziskuje kreiranje nove tablice s proizvoljnim nazivom. Nakon kreiranja potrebno je izbrisati postojeću tablicu sa čvorovima (*plinovodi_vertices_pgr*) i novokreiranu tablicu preimenovati u taj naziv. Takav postupak je nužan zbog toga što tablica s čvorovima mora imati naziv oblika „<tablica sa geometrijom mreže>_vertices_pgr“. U suprotnom ne bi bilo moguće izraditi geoprostorne analize pomoću pgRoutinga.

U drugom dijelu potrebno je urediti podatke u tablici *plinovodi*, kako bi se u mrežnim analizama mogle koristiti težine prolaska kroz mrežu. Najprije je potrebno dodati dva nova stupca, koji će predstavljati atribut *cost* i *reverse cost*. Konkretno, za *cost* je postavljen naziv *direction* (trošak putovanja u smjeru *source-target*). Za *reverse cost* je postavljen naziv *reverse* (trošak putovanja u smjeru *target-source*). Ti novi stupci popunjeni su vrijednostima duljine pripadajućih linijskih segmenata, korištenjem prostornog upita u bazi podataka. Nakon toga, pojedini su redovi (cijevi u mreži) u tim stupcima promijenjeni u vrijednost *-1*. Ta vrijednost, kao što je prethodno objašnjeno u potpoglavlju 2.8.2., „isključuje“ linijski segment iz mrežne analize (odnosno predstavlja svojevrsnu zabranu prolaska kroz taj linijski segment u definiranom smjeru).

4. Analiza rezultata

U nastavku su predstavljeni i analizirani rezultati izrađene geoprostorne analize. Pri izradi analiza korišteni su pojedini algoritmi za analizu mreža dostupni u sklopu pgRoutinga. Svi korišteni algoritmi dostupni su u prilogima na kraju rada. Većina algoritama daje rezultate, ali je mogućnost njihove primjenjivosti, s obzirom na tematiku rada, vrlo mala. Stoga je najveći naglasak stavljen na tri algoritma, odnosno funkcije: Shortest Path Dijkstra, kDijkstra i osobito na algoritam Driving Distance. Shortest Path Dijkstra i kDijkstra u odnosu na Driving Distance imaju vrlo malo područje primjene. Svi su rezultati vizualizirani u QGIS-u.

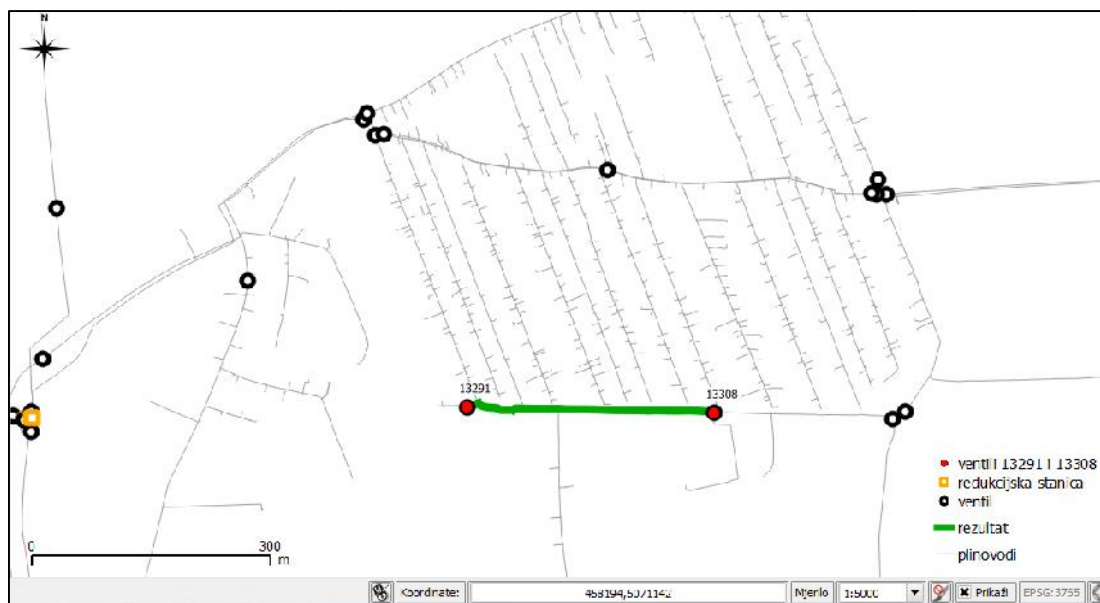
4.1. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije Shortest Path Dijkstra

Postupak traženja najkraćeg puta između dvije točke na mreži općenito je jedan od najčešćih zadataka u analizi gotovo svake mreže (primjerice traženje najkraće rute putovanja). U slučaju plinske mreže može se također upotrijebiti u određenim situacijama. Jedna od mogućnosti analizirana je u nastavku.

4.1.1. Analiza najkraćeg puta između dva ventila u plinskoj mreži

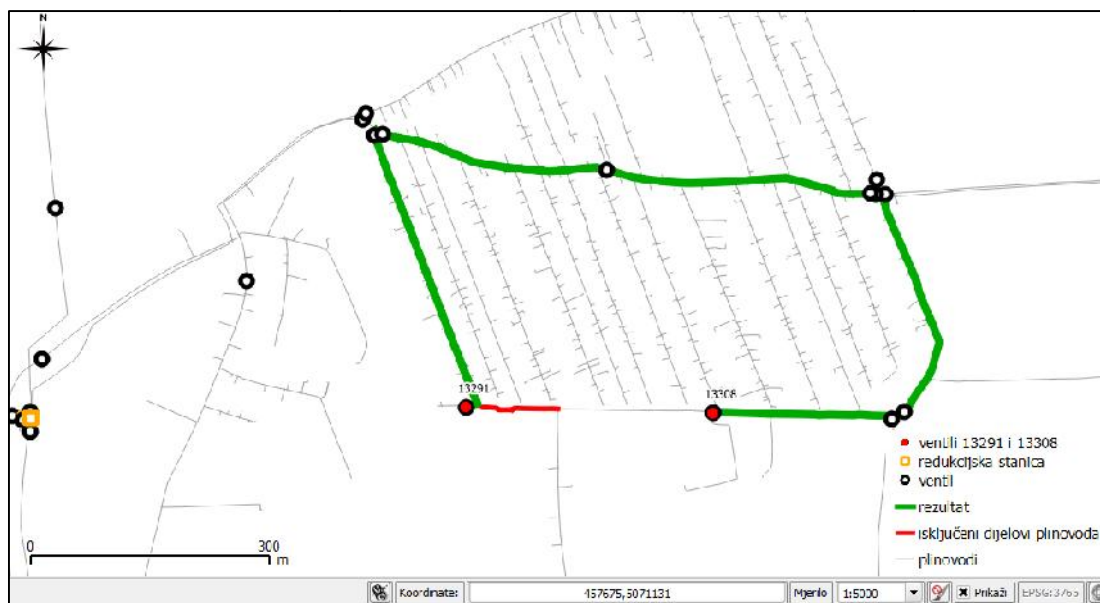
Za analizu najkraćeg puta između dva ventila u plinskoj mreži izrađene su dvije situacije. Prva situacija podrazumijeva detekciju stvarnog najkraćeg puta između ventila. U drugu situaciju uključeni su određeni ograničavajući uvjeti, zbog čega najkraći put nije fizički najkraća udaljenost između ventila. Ta situacija moguća je ako se iz određenog razloga neka cijev (ili skup cijevi) isključi iz mreže. Obje situacije analizirane su na dijelu plinske mreže u mjesnom odboru Kajzerica.

Slika 14. prikazuje rezultat prve situacije. Tu je najkraći put između dva ventila u mreži zaista i fizički najkraći put između tih ventila.



Slika 14. Prikaz rezultata analize najkraćeg puta između ventila 13291 i 13308, bez ograničavajućih uvjeta

Drugu situaciju prikazuje Slika 15. Analizirano je isto područje kao i kod prethodne situacije, ali je rezultat, zbog postavljenih ograničenja, drukčiji. Zbog postavljanja vrijednosti -1 u stupac *direction*, kod dvije plinovodne cijevi između ventila 13291 i 13308, nije moguće direktno proći plinskom mrežom između tih ventila. U tom slučaju najkraći put ne predstavlja i fizički najkraću udaljenost. Takva situacija je moguća kada je, primjerice, došlo do puknuća određene cijevi, a potrebno je provjeriti postoji li alternativna mogućnost opskrbe pojedinih korisnika (nije moguć uobičajen smjer protoka plina).



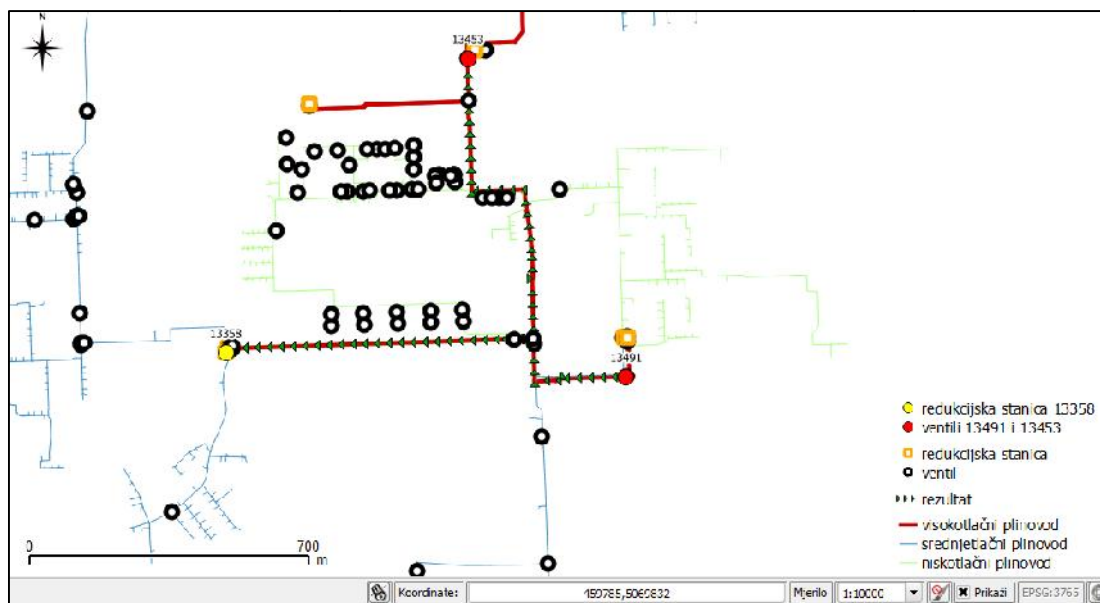
Slika 15. Prikaz rezultata analize najkraćeg puta od ventila 13291 do ventila 13308, uz postavljene ograničavajuće uvjete

4.2. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije kDijkstre

U pojedinim situacijama analiza jednog najkraćeg puta nije dovoljna. U tom je slučaju moguće koristiti funkcije `pgr_kdijkstraPath` ili `pgr_kdijkstraCost`, koje pronalaze najkraći put između jednog ishodišnog i nekoliko (može biti i značajno veći broj) ciljnih čvorova. U radu je korištena samo funkcija `pgr_kdijkstraPath`. Tu funkciju moguće je upotrijebiti u plinskoj mreži kod pronalaska najkraćih putova strujanja plina od, primjerice, reduksijske stanice ili ventila na visokotlačnoj mreži do određenih ventila u srednjetlačnom ili niskotlačnom dijelu mreže. Takva analiza opisana je u nastavku.

4.2.1. Analiza najkraćih puteva od reduksijske stanice do grupe ventila u plinskoj mreži

Za analizu je izabran dio plinske mreže u gradskim mjesnim odborima Sigetu i Sopotu. Na tom području postoje visokotlačni i srednjetlačni plinovodi. To, među ostalim, omogućuje izradu analiza koje uzimaju u obzir smjer kretanja plina iz cijevi s višim tlakom u niži tlak. Stoga, osim najkraćih putova od reduksijske stanice s ID-em 13358 do dva ventila (13491 i 13453), vizualiziran je i mogući smjer strujanja plina. Slika 16. prikazuje konačni rezultat. Smjer strujanja plina vizualiziran je strelicama samo na temelju topoloških podataka (početni i završni čvor), te se ne mora nužno poklapati sa stvarnim stanjem. Uz to, u analizi je taj smjer ograničen samo na visokotlačne segmente.



Slika 16. Prikaz rezultata analize višestrukih najkraćih puteva korištenjem algoritma kDijkstre

4.3. Geoprostorna analiza plinske mreže pomoću funkcije Driving Distance

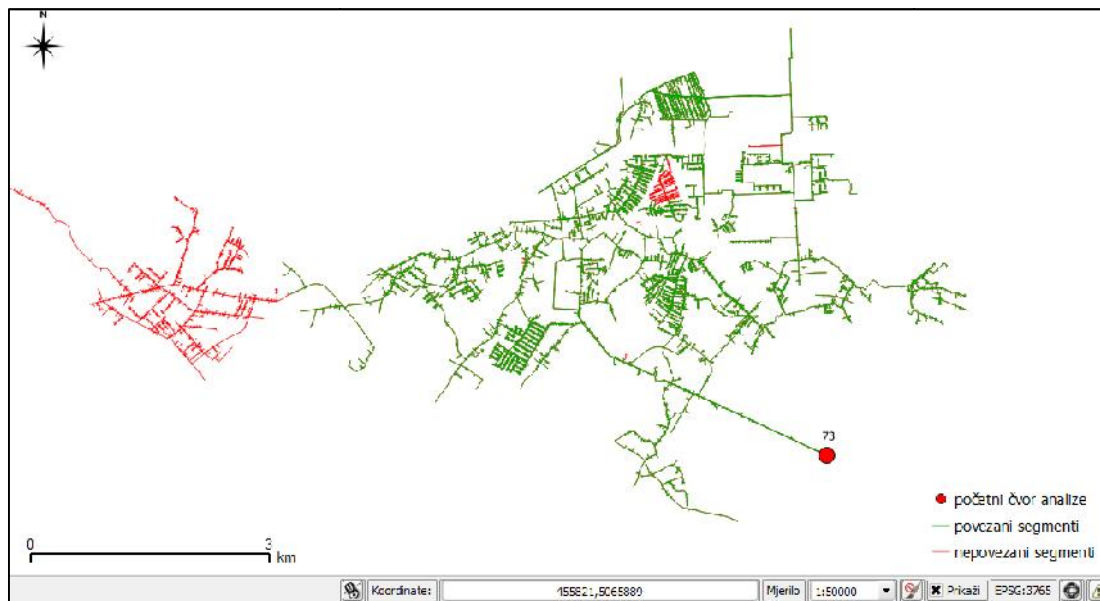
Analiza plinske mreže pomoću funkcije `pgr_drivingDistance` obuhvaća najveći dio mogućih scenarija pri izvanrednim situacijama. Zato je u nastavku opisano pet različitih analiza, u kojima su pokazane mogućnosti koje ta funkcija pruža.

4.3.1. Analiza povezanosti segmenata plinske mreže uz određene uvjete

U potpoglavlju 3.6. već je korištena funkcija `pgr_drivingDistance` kako bi se prikazala povezanost linijskih segmenata cijele plinske mreže. Međutim, tamo je ispitivana mreža koja nije sadržavala nikakve „a priori“ isključene segmente. S druge strane, u ovom potpoglavlju analizirana je povezanost mreže, ali ako postoje određena ograničenja. Takva analiza korisna je u slučaju kada se treba dobiti povratna informacija koji su dijelovi mreže „protočni“, a koji ne. Kao početni čvor izabran je čvor s ID-em 73. Slika 17. prikazuje rezultat te analize. Određena područja, poput dijela mjesnog odbora Savski Gaj te većina područja na krajnjem zapadu mreže (na slici su označena crvenom bojom), uređena su u potpoglavlju 3.7. tako da su „isključena“ iz funkcionalnog stanja (kôd je dostupan u prilogu na kraju rada).

Jedan od problema kod korištenja ove funkcije je potreba za proizvoljnim definiranjem atributa *distance*. Kod ovakvih analiza uobičajeno je staviti vrlo velik iznos, čime se

osigurava pokrivenost cijele mreže funkcijom (računanjima). U ovom slučaju postavljen je iznos od 50000 metara, što zasigurno pokriva cijeli interesni dio mreže.



Slika 17. Prikaz rezultata analize povezanosti segmenata plinske mreže ako postoje ograničavajući uvjeti

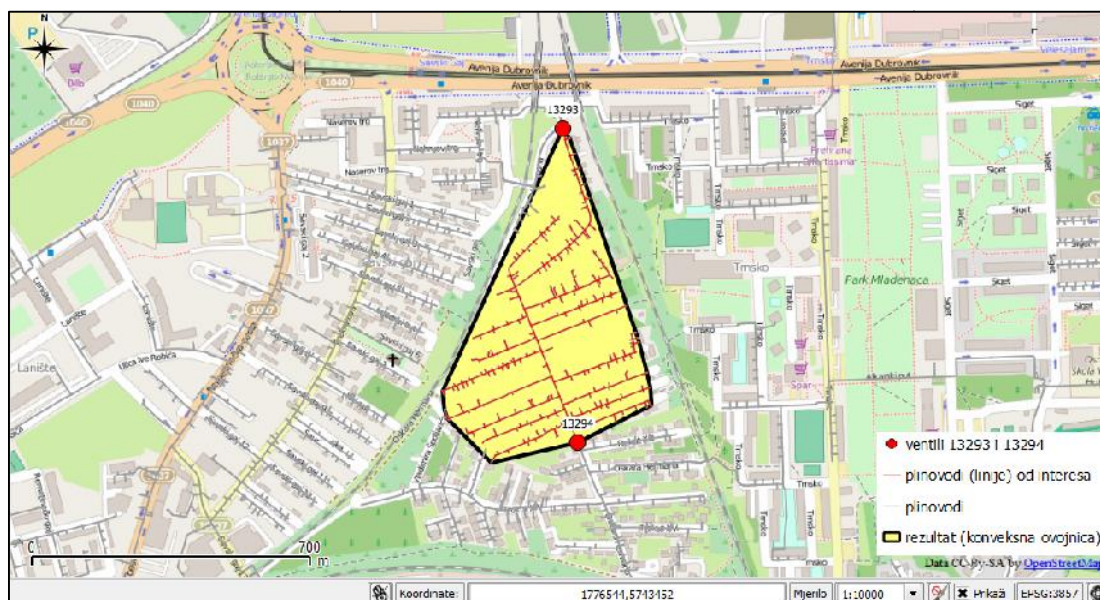
4.3.2. Identifikacija svih linijskih segmenata između dva čvora

U prethodnoj analizi detektirani su pojedini dijelovi plinske mreže koji su „neprotočni“. Jedan od tih dijelova, točnije onaj na području Savskog Gaja, malo će se detaljnije analizirati. To je područje smješteno između dva ventila (s ID-evima 13293 i 13294), a krajnje cijevi isključene su iz mreže (-1). Analiza, koja se na takvom dijelu mreže može provesti, uključuje identifikaciju svih linijskih segmenata između navedenih ventila (Slika 18.). To je u plinskoj mreži korisno kod identifikacije korisnika (dijela mreže) koji će biti isključeni ako se na tom području radi sanacija nakon izvanredne situacije ili bilo kakvi drugi radovi, zbog kojih je prekinuta opskrba plinom. I ovdje je jedno od ograničenja proizvoljno zadavanje atributa udaljenosti (2 kilometra).



Slika 18. Prikaz rezultata identifikacije svih linijskih segmenata između ventila 13293 i 13294

Osim linija, izrađena je i analiza područja pomoću funkcije „konveksna ovojnica“ (engl. *Convex Hull*) u PostGIS-u. Na taj način je interesno područje, koje prikazuje Slika 18., obuhvaćeno najmanjim mogućim poligonom. Rezultat te analize prikazuje Slika 19. Zbog karakteristika korištene funkcije može se uočiti da se pojedine plinovodne cijevi, koje nisu dio prethodno analiziranog dijela mreže, preklapaju s ovojnicom. Za podlogu pri vizualizaciji rezultata korišten je sloj *OpenStreetMap* iz dodatka *Open Layersa*.

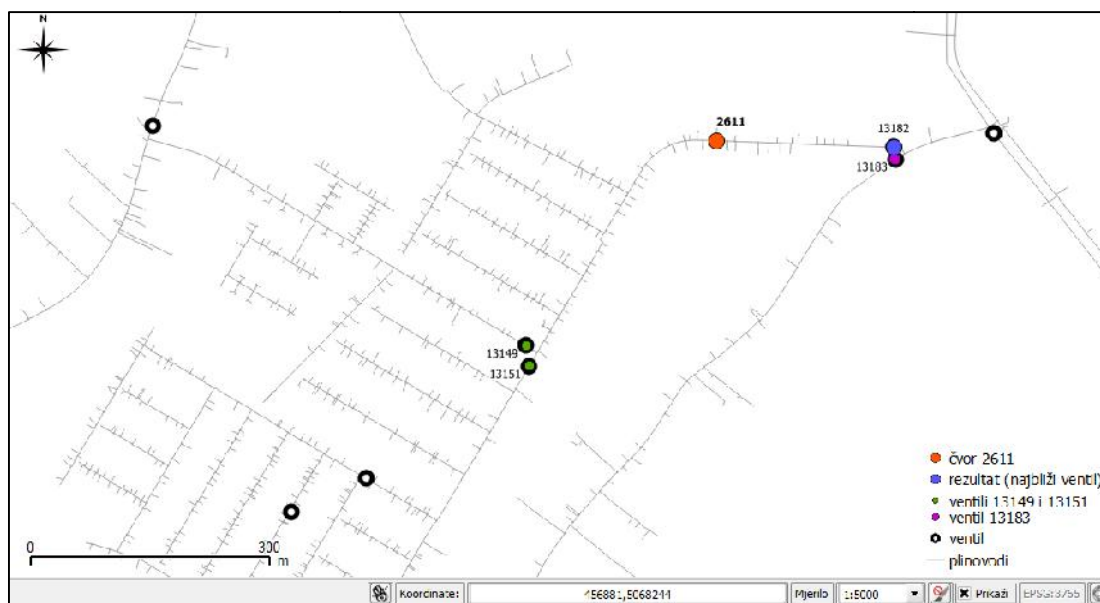


Slika 19. Prikaz rezultata identifikacije svih linijskih segmenata između ventila 13293 i 13294 pomoću konveksne ovojnice

4.3.3. Identifikacija ventila koji je najbliži nekom čvoru u mreži

Jedna od izuzetno korisnih analiza u plinskoj mreži jest identifikacija čvorova koji su najbliži nekom čvoru. U stvarnoj situaciji to može predstavljati potrebu za pronalaskom ventila u mreži (ili grupe ventila) koji je najbliži čvoru smještenom na puknutoj cijevi. Na taj način moguće je maksimalno reducirati područje kojemu je potrebno isključiti opskrbu, jer se definira područje između dva (ili više) ventila. Analiza je provedena na dijelu plinske mreže unutar mjesnog odbora Botinec.

Slika 20. prikazuje rezultat te analize. Na toj slici crvenim je krugom prikazan čvor (koji nije ventil) te je identificiran njemu najbliži ventil (krug plave boje). Krugovima zelene boje prikazana su još dva ventila koje je potrebno zatvoriti kako bi područje u kojem se nalazi čvor 2611 bilo izolirano od ostatka mreže. Međutim, prema testiranom algoritmu, sljedeći najbliži ventil čvoru 2611 je ventil s oznakom 13183. To je geometrijski točan rezultat. No taj se ventil nalazi na istom dijelu mreže kao i „prvi“ najbliži ventil (13182). Ideja je, međutim, dobiti sve „najbliže“ ventile, ali u svim različitim smjerovima iz kojih dolazi plin do pojedinog čvora (u ovom slučaju čvora 2611). To znači da bi rješenja trebala biti ventili 13149, 13151 i 13182. Međutim, takav se algoritam nije uspio realizirati, te su otvorene mogućnosti za daljnja istraživanja.

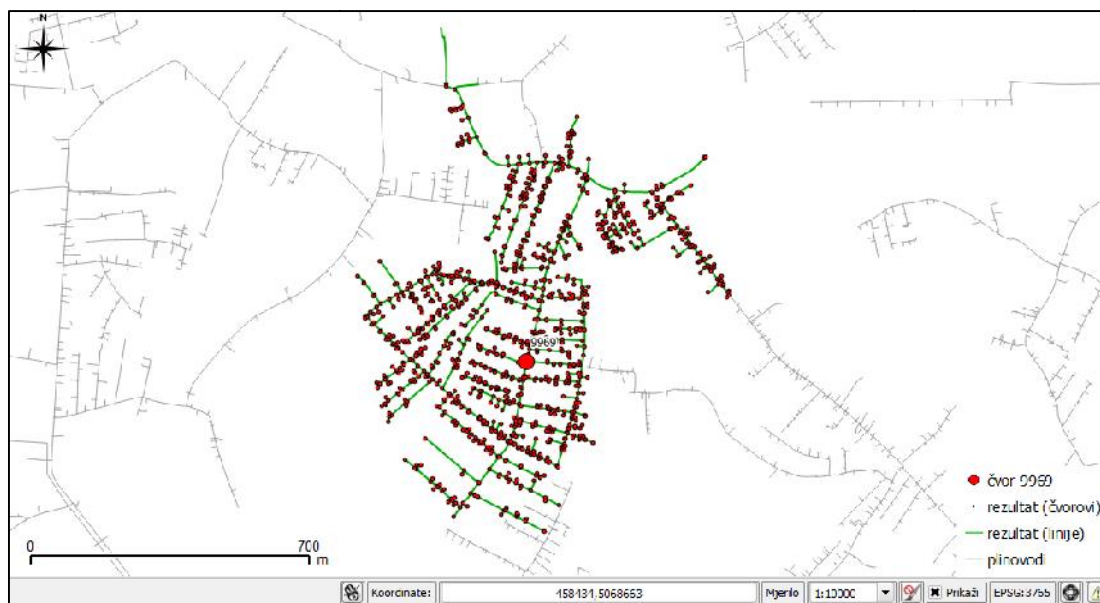


Slika 20. Prikaz rezultata identifikacije ventila najbližeg čvoru 2611

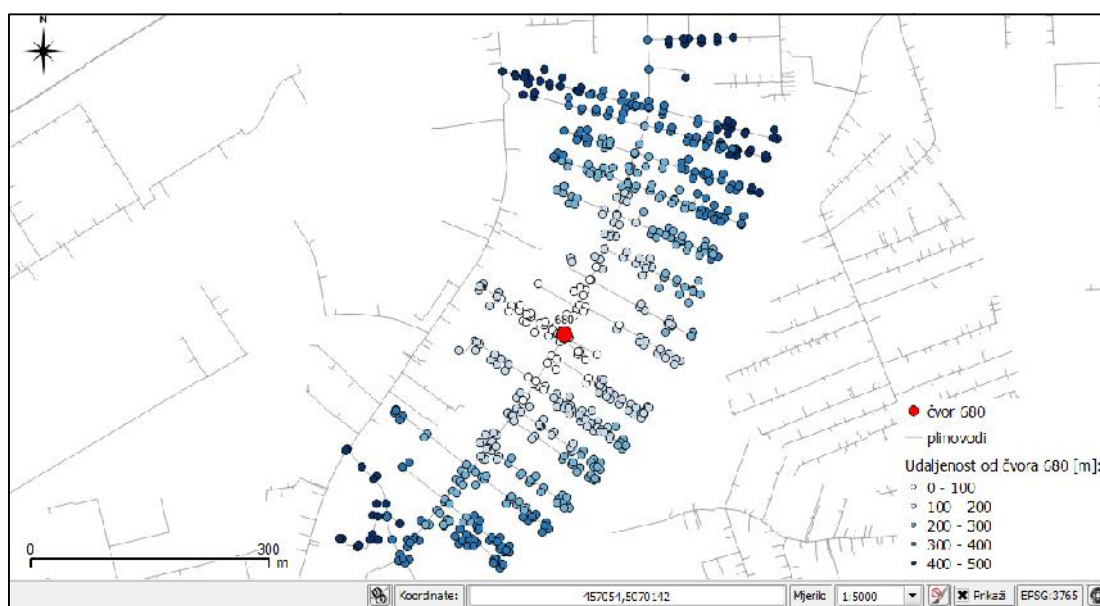
4.3.4. Identifikacija svih linijskih segmenata i čvorova unutar određene udaljenosti od nekog čvora

Kao svojevrsna kombinacija analiza iz potpoglavlja 4.3.1. i 4.3.3. izrađena je analiza identifikacije svih linija i čvorova u mreži, koji su unutar određene udaljenosti od nekog čvora. Kod takvih analiza dobro je uključiti i veći broj atributa točkastih objekata, poput njihova tipa (npr. ventil). Izvršene su dvije analize. Ishodišni čvor prve analize (s ID-em 9969) nalazi se približno u središtu cjelokupne analizirane plinske mreže, na području mjesnog odbora Sveta Klara. Drugi ishodišni čvor (s ID-em 680) nalazi se na području mjesnog odbora Savski Gaj. Prva analiza uključuje identifikaciju linija i čvorova unutar 1000 metara od prvog navedenog čvora, a druga samo identifikaciju čvorova unutar 500 metara od drugog navedenog čvora.

Konačne rezultate tih analiza prikazuju Slika 21. i Slika 22. Kod prve analize može se primijetiti geografsko podudaranje izdvojenih linijskih segmenata i čvorova, što se i očekuje. Jedinu dio na kojem postoje određena odstupanja nalazi se na krajnjem sjeveru izdvojene mreže. Tamo se posljednji linijski segment pruža prema sjeveru više od stotinu metara nakon posljednjeg čvora (zelena linija bez čvorova). To je posljedica duljine tog linijskog segmenta, jer pojedini čvorovi, koji su na njemu, ne nalaze se unutar definirane udaljenosti od čvora 9969). U drugoj analizi je rezultat pri vizualizaciji klasificiran na 5 klasa u nijansama plave boje, ovisno o udaljenosti svakog čvora do čvora 680. Klase su definirane po načelu jednakih intervala (0 m – 100 m, 100 m – 200 m, itd.).



Slika 21. Prikaz rezultata identifikacije linijskih segmenata i čvorova unutar udaljenosti od 1000 metara od čvora 9969



Slika 22. Prikaz rezultata identifikacije čvorova unutar udaljenosti 500 metara od čvora 680

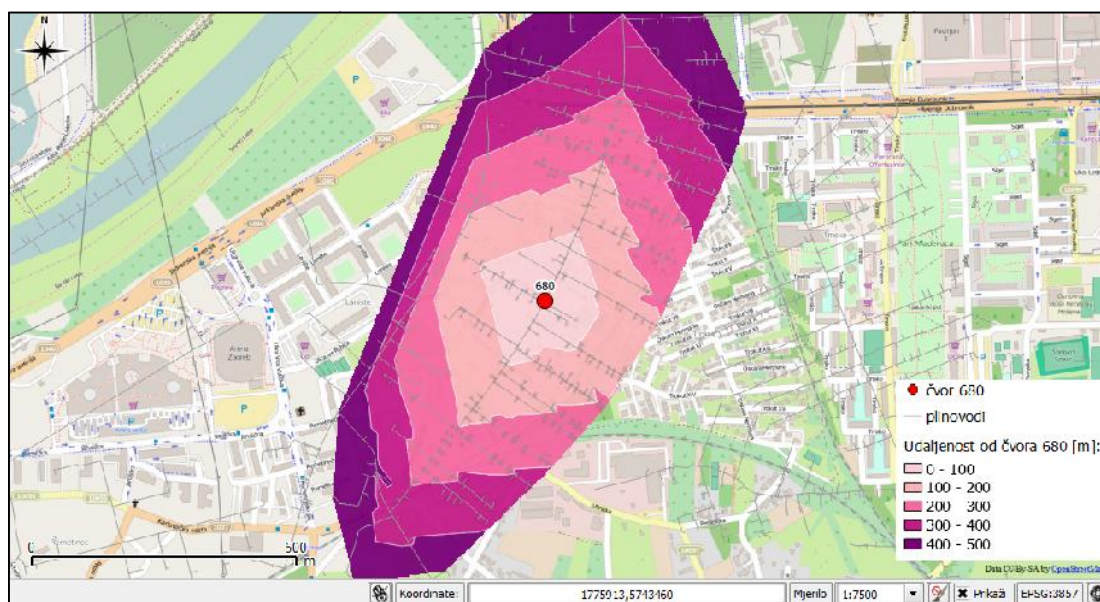
4.3.5. Analiza udaljenosti čvorova postupkom interpolacije

Na temelju jednog od rezultata dobivenog u prethodnoj analizi, točnije udaljenosti čvorova od čvora 680, izrađena je analiza područja na temelju ekvidistance (linije jednake udaljenosti od zadane točke) i interpolacije. Ta analiza je jedan od tipova tzv. *buffer* (zona obuhvaćanja) analize. Rezultat klasične *buffer* analize oko neke točke (čvora) je krug na određenoj

udaljenosti oko te točke. S druge strane, u radu je u analizu uključena i mreža. Stoga se iskartiralo područje na temelju atributa udaljenosti čvora 680 od svakog čvora na mreži. Prilikom izrade analize korišteni su alati unutar QGIS dodatka GDALTools (*Interpolation* i *Contour*), jer se na mjestima s manjom gustoćom čvorova morala izvršiti interpolacija. Kao podloga za vizualizaciju rezultata korišten je sloj *OpenStreetMap* iz dodatka *Open Layers*. Alat *Contour* je korišten samo kako bi se vizualno naglasila granica između klasa dobivenih pomoću alata *Interpolation*.

Rezultat analize prikazuje Slika 23. Iz te slike vidljivo je kako je u tom dijelu grada plinska mreža (i čvorovi) vrlo pravilno raspoređena. Za prikaz udaljenosti čvorova od čvora 680 izabrano je 5 klasa, s jednakim intervalima (0 m – 100 m, 100 m – 200 m, itd.). Zbog postupka interpolacije, iskartirano je zatvoreno kompaktno područje, bez „rupa“. To jest, određena vrijednost udaljenosti interpolirana je i na mjestima na kojima nema čvorova (nema nositelja podatka o udaljenosti). Kako je već opisano, područje ima relativno pravilan raspored plinske mreže i čvorova, pa se to može primijetiti i kod konačnog rezultata. Jedini dio na kojem je razvidna primjena interpolacijske funkcije je zapadni dio područja, gdje nema čvorova. To je izazvalo gust raspored svih klasa na duljini manjoj od 200 metara.

Takva analiza može se provesti s ciljem utvrđivanja udaljenosti pojedinih korisnika (priključaka) od mjesta izvanredne situacije na samoj mreži (a ne zračne udaljenosti).



Slika 23. Prikaz rezultata analize udaljenosti čvorova od čvora 680 postupkom polinomne interpolacije

5. Rasprava

Pisanje svakog rada iziskuje upoznavanje s osnovnim pojmovima koji su sastavni dio istraživanja. Već tijekom prvog pregleda dostupne literature, utvrđene su određene razlike u definiranju tih pojmova, ovisno o njihovom izvoru. Tako je, na primjer, pojam „mreža“ (engl. *Network*) u kontekstu geoprostornih znanosti u pojedinim izvorima definiran drukčije od istoimenog pojma u teoriji grafova. S obzirom na to da se većina praktičnog dijela temelji na algoritmima koji se mogu primijeniti u teoriji grafova, u radu se uglavnom pod tim pojmom podrazumijeva njegova definicija iz teorije grafova.

Osnovni zadatak u ovom radu bio je istraživanje primjenjivosti algoritama za analizu mreže unutar pgRoutinga na podacima plinske mreže i izrada geoprostorne analize na temelju rezultata tih algoritama. Prije izrade bilo kakvih analiza, pa tako i prethodno spomenute, podaci moraju biti uređeni. Izvorni podaci (prije svega geometrija plinovoda) najprije su se morali topološki „pročistiti“. Iz tog je razloga korišten AutoCAD Map 3D. Pretpostavljeno je da će taj softver vrlo pouzdano automatski riješiti većinu problema. No, uvidjelo se da je prihvatljiviji interaktivan postupak čišćenja crteža, a u konačnici i simultana provjera i ispravljanje pogrešaka direktno u QGIS-u. Razlog tome je karakteristika geometrije i semantika izvornih podataka, poput velikog broja kratkih linijskih segmenata koji nisu „pogreške“, ali su zbog zadanog praga tolerancije tako registrirani. Zbog takvih i sličnih situacija, morale su se izbjeći pojedine naredbe za čišćenje crteža (npr. *Extend Undershoots*), što je u kasnijoj obradi podataka uzrokovalo nepovezanost mreže. Također, dodatnim provjerama u QGIS-u ustanovljeno je da postoje pojedine greške u geometriji koje AutoCAD nije detektirao, ali nije jasan uzrok tome.

Uz linije i multilinije, izvorni podaci su bili pohranjeni i kao multipoligoni, poligoni i točke. Kako bi se radilo sa što jednostavnijim geometrijskim strukturama, podaci su konvertirani u jednostavne elemente (točke, linije, poligone). Također, kako bi obrada podataka bila jednostavnija, odlučeno je raditi samo sa točkama i linijama, zbog čega se geometrija redukcijskih stanica morala konvertirati. Ta konverzija ukazala je na problem nepovezanosti pojedinih dijelova mreže, jer su se linije (plinovodi) spajale s rubovima tih poligona. Kreiranjem točaka više nije bilo objekta koji ih povezuje. Iako su se ti problemi mogli prethodno riješiti definiranjem određene tolerancije kod naredbi za čišćenje crteža, to nije bilo prihvatljivo, jer je vrlo teško odrediti prag tolerancije. U nekim slučajevima moguć je vrlo malen razmak (od možda nekoliko metara) između plinovoda koji u stvarnosti nisu povezani,

a jednak prostorni razmak dobije se i nakon konverzije geometrije redukcijских stanica u točke.

Jedan od nedostataka kod izvornih podataka bio je geografski smještaj ventila. Oni nisu snapirani na plinovode, nego između njih i plinovoda postoje mali razmaci (do jednog metra). Dva su moguća uzroka tome: ili ventili zaista nisu snapirani, ili su malo odmaknuti od mreže, ali nedostaju linijski segmenti, koji bi ih povezali s plinovodima. S obzirom na to da se u izradu geoprostornih analiza nastojalo uključiti i redukcijske stanice i ventile, a zbog karakteristika izrade topologije u pgRoutingu, bilo ih je potrebno snapirati na najbliže linijske segmente i potom ih učiniti sastavnim dijelovima mreže (kao što su i ostale točke na njoj). U tu svrhu napisana su dva algoritma. Prvi služi za snapiranje točaka na linije. Drugi služi za lomljenje postojećih linijskih segmenata snapiranim točkama. Prilikom daljnje obrade podataka, uočeni su nedostaci drugog algoritma. Prvi nedostatak je njegova složenost zbog nedostataka funkcije `ST_Split`, što se mora kompenzirati upotrebom funkcije `ST_Snap`. Drugi nedostatak su pogreške u rezultatima obrade ako su pragovi tolerancije kod funkcije `ST_Dwithin` postavljeni previsoko. Uz to, najveći nedostatak je ograničena funkcionalnost algoritma ako su dvije točke snapirane na istom mjestu ili na istoj liniji. Iz tog se razloga prilikom obrade morala raditi dodatna provjera podataka.

Obrada podataka prije izrade analiza bila je vrlo zahtjevna. Bilo je mnogo brisanja, dodavanja i mijenjanja datoteka i podataka, kako u bazi podataka, tako i unutar datoteka shapefile. Pri tome nije u potpunosti provedena ni optimizacija niti automatizacija obrade podataka. To bi se eventualno moglo poboljšati korištenjem programskog jezika Python.

Nadalje, tijekom analize podataka utvrđeno je da konačni podaci, nakon obrade, i dalje imaju određene pogreške u geometriji, poput linija koje se ne presijecaju. Zbog toga na pojedinim dijelovima mreže nije moguće izraditi analize (ustvari je moguće, ali rezultati nisu točni). Iako bi se pojedine pogreške mogle ukloniti korištenjem funkcije `pgr_nodeNetwork`, nije ih moguće ukloniti u potpunosti. Najbolje bi rješenje, stoga, bilo pažljiv unos linija u mrežu kod prvog ucrtavanja, tj. njihovog unosa u sustav.

Naposljetku, pri izradi geoprostornih analiza nisu ostvarene sve planirane analize, poput identifikacije najbližih čvorova u svim smjerovima od početnog čvora. Testirani su pojedini algoritmi koji bi mogli dati to rješenje, ali iz određenih razloga nisu funkcionirali. Stoga, ostaje otvorena mogućnost daljnjeg istraživanja.

6. Zaključak

U okviru ovog diplomskog rada predstavljena je metodologija obrade podataka plinske mreže i ispitana mogućnost izrade geoprostornih analiza s ciljem utvrđivanja geoprostornog smještaja dijelova mreže u nadležnosti Gradske plinare Zagreb d.o.o., u slučaju izvanrednih situacija.

Podaci su uređeni, topološki pročišćeni i pripremljeni za izradu geoprostornih analiza. Tijekom realizirane obrade podataka ustanovljeni su pojedini nedostaci u postojećoj geometrijskoj strukturi plinske mreže, koji otežavaju izradu njezine analize. Na taj način ukazalo se na određene postupke, koji se mogu od samog početka unosa podataka u plinsku mrežu prilagoditi tako da se olakša kasnija analizu podataka.

Zbog jednostavnijeg rukovanja podacima, isti su učitani u bazu podataka PostgreSQL s proširenjima PostGIS i pgRouting. Na taj način je dobivena baza prostornih podataka koja, upotpunjena mogućnostima GIS aplikacija, poput QGIS-a, omogućuje niz alata za provedbu geoprostornih analiza. Ispitane su mogućnosti i primjenjivost nekoliko različitih algoritama unutar pgRoutinga. Za konačnu izradu geoprostornih analiza odabrane su tri funkcije s najvećim mogućnostima primjene: Shortest Path Dijkstra, Kdijkstra i Driving Distance.

Osnovni definirani cilj rada je ispunjen. Istražena je mogućnost modeliranja plinske mreže unutar GIS aplikacija te su izrađene geoprostorne analize koje uvelike mogu olakšati analizu funkcionalnog stanja plinovoda u mreži u slučaju izvanrednih situacija.

Jedna od ideja prilikom izrade rada bilo je i korištenje tehnologija otvorenog koda. To je uspješno ostvareno, jer je su konačni rezultati dobiveni upotrebom gotovo isključivo tehnologija otvorenog koda.

Kao daljnji nastavak ovog istraživanja moguća je izrada novih analiza, ovisno o potrebama operatora plinskog distributivnog sustava. Također, unaprijeđenjem funkcionalnosti napisanih algoritama te daljnjom optimizacijom procesa obrade podataka moguće je uključiti i nove informacije za provedbu složenijih analiza.

Popis literature

de Smith, M. J., Goodchild, M. F. , Longley, P. A. (2015): Geospatial Analysis - A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools, 5. izdanje, e-knjiga

Kljajić, I. (2012): Predavanja iz kolegija Rukovanje geoinformacijama, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lapaine, M., Vučetić, N., Tutić, D. (2001): Kartografija i AutoCAD Map, str. 16., 17., 26., Zagreb

Medak, D. (2012): Modeli podataka i aksiomi, predavanja iz kolegija Analiza prostornih podataka, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Obe, R. O., Hsu, L. S. (2011): PostGIS in Action, 1. izdanje, str. 3.-7., Manning Publications Co., Stamford, SAD

Odošić, D. (2009): Specifikacija i implementacija mrežnih modela prostornih podataka, diplomski rad, str. 13., 25., Geodetski fakultet, Zagreb

Šavar, M., Doliner, Z., Virag, Z. (2000): Locations of Line Brake Detectors in a Gas Network, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

Vučetić, N., Barković, Đ. (2010): Predavanja iz kolegija Osnove geoinformatike, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Worboys, M., Duckham, M. (2004): GIS - A Computing Perspective, 2. izdanje, str. 99., 100., 117., 118., 212.-216., CRC Press, London, UK

Xiao, G.-q., Huang, H.-f., Dou, Z.-y. (2014): City Gas Pipeline Burst Analysis Based on MapXtreme, Southwest Petroleum University, Chengdu, Kina

URL 1: Applications of pgRouting, examples,
<http://planet.qgis.org/planet/tag/pgrouting/>, (3.6.2015.)

URL 2: ESRI, Geometric Networks in ArcGIS,
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//002r00000001000000>,
(22.6.2015.)

- URL 3: OGC-Open Geospatial Consortium,
<http://www.opengeospatial.org/ogc>, (23.6.2015.)
- URL 4: PLINACRO, opis izvanredne situacije u distribuciji plina,
<http://www.plinacro.hr/default.aspx?id=188>, (1.7.2015.)
- URL 5: AutoCAD User Guide,
http://images.autodesk.com/adsk/files/autocad_map_3d_user_s_guide0.pdf, (4.6.2015.)
- URL 6: QGIS web stranica,
<http://www.qgis.org/en/site/about/index.html#tour>, (27.1.2015.)
- URL 7: BoundlessGeo - QGIS,
<http://boundlessgeo.com/solutions/solutions-software/qgis/>, (27.1.2015.)
- URL 8: QGIS User Manual (2012.),
http://docs.qgis.org/2.0/en/docs/user_manual/plugins/plugins_index.html, (23.6.2015.)
- URL 9: PostgreSQL,
<http://www.postgresql.org/about/>, (27.1.2015.)
- URL 10: SUBP, Wikipedia,
https://hr.wikipedia.org/wiki/Sustav_za_upravljanje_bazom_podataka, (27.1.2015.)
- URL 11: PostGIS,
<http://postgis.net/>, (27.5.2015.)
- URL 12: PgRouting web stranica,
<http://pgrouting.org/>, (27.7.2015.)
- URL 13: pgDijkstra,
<http://docs.pgrouting.org/dev/src/dijkstra/doc/index.html>, (28.6.2015.)
- URL 14: KDijkstra,
<http://docs.pgrouting.org/dev/src/kdijkstra/doc/index.html>, (28.6.2015.)
- URL 15: Driving Distance,
http://docs.pgrouting.org/dev/src/driving_distance/doc/index.html, (27.7.2015.)
- URL 16: PgAdmin,
<http://pgadmin.org/index.php>, (27.7.2015.)
- URL 17: GIS Stack Exchange, algoritam dijeljenja linija,
<http://gis.stackexchange.com/questions/101459/using-st-split-to-split-a-line-feature-using-nearby-points>, (29.7.2015.)

Popis slika

Slika 1. <i>Analiza topološke ekvivalentnosti kod grafova (de Smith i dr., 2015)</i>	8
Slika 2. <i>Primjer funkcioniranja algoritma Dijkstra (Worboys i dr., 2004)</i>	11
Slika 3. <i>Prikaz smještaja dijela plinske mreže koji je analiziran u radu</i>	24
Slika 4. <i>Prikaz izvornih, neobrađenih skupova podataka sustava plinske mreže pomoću osnovnih geometrijskih elemenata</i>	25
Slika 5. <i>Postupak interaktivnog uređivanja topologije u AutoCAD Mapu</i>	31
Slika 6. <i>Uspostavljanje poveznice između QGIS-a i baze podataka</i>	32
Slika 7. <i>Postavke odabrane pri unosu podataka o ventilima u bazu podataka</i>	34
Slika 8. <i>Prikaz rezultata u postupku snapiranja točaka na mrežu plinovoda</i>	36
Slika 9. <i>Prikaz međurezultata u postupku kreiranja novih točaka na linijama</i>	38
Slika 10. <i>Upit za kreiranje topologije pomoću PgRoutinga</i>	40
Slika 11. <i>Postupak učitavanja rezultata upita o povezanosti mreže u QGIS</i>	41
Slika 12. <i>Vizualna kontrola povezanosti linijskih segmenata mreže u QGIS-u</i>	41
Slika 13. <i>Rezultat provjere povezanosti linijskih segmenata mreže u postupku analize grafa</i>	42
Slika 14. <i>Prikaz rezultata analize najkraćeg puta između ventila 13291 i 13308, bez ograničavajućih uvjeta</i>	45
Slika 15. <i>Prikaz rezultata analize najkraćeg puta od ventila 13291 do ventila 13308, uz postavljene ograničavajuće uvjete</i>	46
Slika 16. <i>Prikaz rezultata analize višestrukih najkraćih puteva korištenjem algoritma kDijkstre</i>	47
Slika 17. <i>Prikaz rezultata analize povezanosti segmenata plinske mreže ako postoje ograničavajući uvjeti</i>	48
Slika 18. <i>Prikaz rezultata identifikacije svih linijskih segmenata između ventila 13293 i 13294</i>	49
Slika 19. <i>Prikaz rezultata identifikacije svih linijskih segmenata između ventila 13293 i 13294 pomoću konveksne ovojnice</i>	49
Slika 20. <i>Prikaz rezultata identifikacije ventila najbližeg čvoru 2611</i>	50
Slika 21. <i>Prikaz rezultata identifikacije linijskih segmenata i čvorova unutar udaljenosti od 1000 metara od čvora 9969</i>	52
Slika 22. <i>Prikaz rezultata identifikacije čvorova unutar udaljenosti 500 metara od čvora 680</i>	52
Slika 23. <i>Prikaz rezultata analize udaljenosti čvorova od čvora 680 postupkom polinomne interpolacije</i>	53

Popis tablica

Tablica 1. <i>Pojedina topološka i netopološka svojstva objekata u euklidskoj ravnini</i>	5
Tablica 2. <i>Opis osnovnih pojmova iz teorije grafova (de Smith i dr., 2015)</i>	7
Tablica 3. <i>Osnovne operacije pri ispitivanju prostornih relacija nad jednostavnim geometrijskim objektima prema OGC-u (de Smith i dr., 2015)</i>	12
Tablica 4. <i>Osnovne operacije pri prostornim analizama jednostavnih geometrijskih objekata prema OGC-u (de Smith i dr., 2015)</i>	13
Tablica 5. <i>Naredbe za čišćenje crteža u AutoCAD Mapu (Kljajić, 2012)</i>	15
Tablica 6. <i>Broj registriranih pogrešaka u postupku čišćenja crteža u AutoCAD Mapu</i>	31

Prilozi

Prilog 1. Algoritmi korišteni u obradi i analizi podataka

Omogućavanje funkcionalnosti postGIS-a i pgRoutinga:

```
CREATE EXTENSION postgis;  
CREATE EXTENSION pgrouting;
```

Konverzija geometrije redukcijских stanica iz multipoligona u točke:

```
SELECT *, ST_Centroid(the_geom) AS centroid  
FROM red_st_1;
```

Snapiranje ventila i red.st. na najbliži plinovod (Snapiranje_tocaka.sql):

```
CREATE TABLE snapirane_tocke AS  
SELECT tocke.*,  
ST_ClosestPoint((ST_Collect(plinovodi_1.the_geom)), tocke.the_geom) AS snapped_point  
FROM plinovodi_1, tocke  
GROUP BY tocke.gid;
```

Lomljenje linija (plinovoda) na mjestima ventila (Uredivanje_linija.sql):

```
CREATE TABLE linije_razdijeljene AS(  
SELECT a.*, (ST_Dump(ST_Split(ST_Snap(ST_Collect(a.the_geom), b.the_geom,  
0.01),b.the_geom))).geom  
FROM plinovodi_1 AS a  
JOIN snapirane_tocke AS b  
ON ST_DWithin(b.the_geom, a.the_geom, 0.01)  
GROUP BY b.the_geom, a.gid );
```

Uspostava topologije u pgRoutingu:

```
ALTER TABLE plinovodi ADD COLUMN source integer;  
ALTER TABLE plinovodi ADD COLUMN target integer;  
SELECT pgr_createTopology('plinovodi', 0.0001, 'the_geom', 'gid');
```

Uređivanje podataka prije izrade analiza mreže:

A) Kontrola povezanosti linijskih segmenata mreže pomoću funkcije Driving Distance (Primarni ključ pri učitavanju datoteke u QGIS je 'gid'):

```
SELECT *
FROM plinovodi
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, st_length(the_geom) AS cost
FROM plinovodi', 6657, 50000, false, false)) AS route
ON
plinovodi.source = route.node;
```

B) Kontrola povezanosti linijskih segmenata mreže analizom grafa:

```
SELECT pgr_analyzeGraph('plinovodi', 0.00001);
```

C) Dodavanje stupaca 'napomena', 'gid_reds', 'fid_vent' u tablicu sa čvorovima:

```
CREATE TABLE plinovodi_vertices_pgr2 AS
SELECT  plinovodi_vertices_pgr.id  as  primary  key,  plinovodi_vertices_pgr.cnt,
plinovodi_vertices_pgr.chk,      plinovodi_vertices_pgr.ein,      plinovodi_vertices_pgr.eout,
plinovodi_vertices_pgr.the_geom,  snapirane_tocke.napomena,  snapirane_tocke.gid_reds,
snapirane_tocke.fid_vent
FROM plinovodi_vertices_pgr
LEFT OUTER JOIN snapirane_tocke
ON snapirane_tocke.the_geom=plinovodi_vertices_pgr.the_geom;

ALTER TABLE plinovodi_vertices_pgr2
ADD PRIMARY KEY (id);

ALTER TABLE plinovodi_vertices_pgr2
RENAME TO plinovodi_vertices_pgr;
```

D) Uređivanje podataka u tablici 'plinovodi' (cost i reverse_cost):

```
ALTER TABLE plinovodi
```

```
ADD COLUMN direction double precision;
```

```
ALTER TABLE plinovodi
```

```
ADD COLUMN reverse double precision;
```

```
UPDATE plinovodi
```

```
SET direction=ST_Length(the_geom);
```

```
UPDATE plinovodi
```

```
SET reverse=ST_Length(the_geom);
```

```
UPDATE plinovodi    UPDATE plinovodi
```

```
SET direction=-1    SET reverse=-1
```

```
WHERE gid=1620;    WHERE gid=13236;
```

```
UPDATE plinovodi    UPDATE plinovodi
```

```
SET direction=-1    SET direction=-1
```

```
WHERE gid=1622;    WHERE gid=13234;
```

```
UPDATE plinovodi    UPDATE plinovodi
```

```
SET direction=-1    SET reverse=-1
```

```
WHERE gid=5037;    WHERE gid=13234;
```

```
UPDATE plinovodi
```

```
SET direction=-1
```

```
WHERE gid=13236;
```

Analiza mreže:

1) Najkraći put po algoritmu Shortest Path Dijkstra između ventila 13291 i 13308 (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'seq'):

- bez ograničenja smjera:

```
SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost, the_geom
```

```
FROM pgr_dijkstra(  
'SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost FROM plinovodi', 13291, 13308, false,  
false ) AS dijkstra  
JOIN plinovodi  
ON dijkstra.id2 = plinovodi.gid
```

- sa ograničenjem smjera:

```
SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost, the_geom  
FROM pgr_dijkstra('SELECT gid AS id, source, target, direction as cost, reverse AS  
reverse_cost FROM plinovodi',13291, 13308, true, true ) AS dijkstra  
JOIN plinovodi  
ON dijkstra.id2 = plinovodi.gid
```

2) *Najkraći put po funkciji pgr_kdijkstraPath, između red.st 13358 i ventila 13491 i 13453 (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'seq'):*

```
SELECT seq, id1 AS path, id2 AS node, id3 AS edge, cost, the_geom  
FROM pgr_kdijkstraPath(  
SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost  
FROM plinovodi', 13358, array[13491,13453], false, false) AS kdijkstra  
JOIN plinovodi  
ON plinovodi.gid=kdijkstra.id3;
```

3) *Analiza povezanosti linijskih segmenata mreže, uz postojanje određenih uvjeta (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'gid'):*

```
SELECT *  
FROM plinovodi  
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost  
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost, reverse  
AS reverse_cost FROM plinovodi', 73, 50000, true, true)) AS route  
ON plinovodi.source = route.node;
```

4) Identifikacija svih linijskih segmenata između dva čvora (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'gid'):

- vizualizacija linijama:**

```
SELECT *
FROM plinovodi
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid as id, source, target, direction AS cost, reverse AS
reverse_cost FROM plinovodi', 13293, 2000, true, true)) AS route
ON plinovodi.source = route.node;
**--> pohraniti rezultat tog upita u bazu pod nazivom 'geometrija'
```

- vizualizacija konveksnom ovojnica:***

```
CREATE TABLE konveksna_ovojnica AS
SELECT ST_ConvexHull(ST_Collect(geom))
FROM geometrija;
***--> pohraniti pod nazivom konveksna_ovojnica

ALTER TABLE konveksna_ovojnica
ADD COLUMN id integer;

UPDATE konveksna_ovojnica
SET id=1 WHERE ST_ConvexHull IS NOT NULL;
```

5) Identifikacija ventila koji je najbliži nekom čvoru (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'gid'):

```
SELECT *
FROM plinovodi_vertices_pgr AS vertices
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost, reverse
AS reverse_cost FROM plinovodi', 2611, 2000, true, true)) AS route
ON vertices.id = route.node
WHERE vertices.napomena='ventil'
ORDER BY cost asc
LIMIT 1;
```

6) Identifikacija svih linijskih segmenata i čvorova unutar određene udaljenosti od nekog čvora:

- za linije (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'gid'):

```
SELECT *  
FROM plinovodi  
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost  
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost  
FROM plinovodi', 9969, 1000, false, false)) AS route  
ON plinovodi.source = route.node;
```

- za čvorove (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'seq'):

```
SELECT *  
FROM plinovodi_vertices_pgr AS vertices  
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost  
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost  
FROM plinovodi', 9969, 1000, false, false)) AS route  
ON vertices.id = route.node;
```

7) Identifikacija svih čvorova unutar određene udaljenosti od čvora 680 (Primarni ključ za učitavanje rezultata u QGIS je 'seq'):

```
SELECT *  
FROM plinovodi_vertices_pgr AS vertices  
JOIN (SELECT seq, id1 AS node, id2 AS edge, cost  
FROM pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, direction AS cost  
FROM plinovodi', 680, 500, false, false)) AS route  
ON vertices.id = route.node;
```


Prilog 2. Sadržaj priloženog optičkog medija (CD-a)

Br.	Naziv datoteke	Opis sadržaja
1.	DiplomskiRad_tosimunovic.doc	Tekst diplomskog rada (doc/docx format)
2.	DiplomskiRad_tosimunovic.pdf	Tekst diplomskog rada (pdf format)
3.	Algoritmi.txt	Tekstualna datoteka sa svim algoritmima korištenima u radu

Životopis

EUROPEAN CURRICULUM VITAE FORMAT



OSOBNJE OBAVIJESTI

Ime i prezime	Tomislav Šimunović
Adresa	Ulica Hrvatskog proljeća 153 (do 2015. Ribnica 45/1), Ribnica, 10415, Novo Čiče, Hrvatska
Telefon	01/ 6233 043, 099 590 8783
E-pošta	tomislavsimunovic92@gmail.com
Državljanstvo	hrvatsko
Datum rođenja	6.2.1992.

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- | | |
|--|---|
| • Datum (od – do) | 2013. – 2015. |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Geodetski fakultet u Zagrebu, diplomski studij geoinformatike |
| • Osnovni predmet /zanimanje | geodet/geoinformatičar |
| • Datum (od – do) | 2010. – 2013. |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Geodetski fakultet u Zagrebu, preddiplomski studij geodezije i geoinformatike |
| • Osnovni predmet /zanimanje | geodet |
| • Naslov postignut obrazovanjem | prvostupnik geodezije i geoinformatike |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) | viša stručna sprema |
| • Datum (od – do) | 2006. – 2010. |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Gimnazija Velika Gorica, opći smjer |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) | srednja stručna sprema |

EDUKACIJSKA POSTIGNUĆA

ak. god. 2013./2014.

Rektorova nagrada za studentski rad *Geostatistička analiza prostorne distribucije prometnih nesreća na području Grada Zagreba u razdoblju od 2010. do 2013. godine* (T. Šimunović, F. Todić), mentor: D. Medak

šk. god. 2009./2010.

1. mjesto na državnom natjecanju u znanju iz geografije

OSOBNOSTNE VJEŠTINE I
SPOSOBNOSTI

MATERINSKI JEZIK hrvatski

DRUGI JEZICI

Samoprocjena:

	Razumijevanje				Govor				Pisanje	
	Slušanje		Čitanje		Govorna interakcija		Govorna produkcija			
	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik
Engleski	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik	C1	Iskusni korisnik
Njemački	B2	Samostalni korisnik	B2	Samostalni korisnik	B1	Samostalni korisnik	B1	Samostalni korisnik	B1	Samostalni korisnik

ORGANIZACIJSKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI timski rad, sudjelovanje u projektima u organizaciji Geodetskog fakulteta u Zagrebu

TEHNIČKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI
Računalne vještine

Obrada teksta: Microsoft Word, LibreOffice
Prezentacijski alati: Microsoft PowerPoint, Prezi
Obrada slike: Gimp, Inkscape
GIS softveri: QGIS, GRASS GIS; SAGA GIS, Intergraph GeoMedia, ILWIS, IDRISI
CAD softveri: Autodesk AutoCAD Map 3D, AutoCAD Civil, OCAD
Baze podataka: PostgreSQL (PostGIS, pgRouting)
Programiranje: Python
Ostalo: TNT Mips, Google SketchUp, rad s Linux sustavima

VOZAČKA DOZVOLA B

DODATNE INFORMACIJE

U ak.god. 2013./2014. sudjelovao sam u *Ljetnoj školi GIS-a*, u organizaciji Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta za hortikulturu i krajobrazno inženjerstvo Sveučilišta za agrikulturu iz Nitre u Slovačkoj te Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba.