



Sveučilište u Zagrebu

Geodetski fakultet

Martina Baučić

GEOPROSTORNE SEMANTIČKE MREŽE U UPRAVLJANJU IZVANREDNIM SITUACIJAMA U ZRAČNIM LUKAMA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2014.



Sveučilište u Zagrebu

Geodetski fakultet

Martina Baučić

GEOPROSTORNE SEMANTIČKE MREŽE U UPRAVLJANJU IZVANREDNIM SITUACIJAMA U ZRAČNIM LUKAMA

DOKTORSKI RAD

Mentor:
prof.dr.sc. Damir Medak

Zagreb, 2014.



University of Zagreb

Faculty of Geodesy

Martina Baučić

GEOSPATIAL SEMANTIC WEB IN EMERGENCY MANAGEMENT AT AIRPORTS

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof. Damir Medak, PhD

Zagreb, 2014.

PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

I. A u t o r

Ime i prezime	Martina Baučić
Datum i mjesto rođenja	11. siječnja 1967. u Zagrebu
Naziv fakulteta i datum diplomiranja	Geodetski fakultet u Zagrebu, 3. srpnja 1992.
Sadašnje zaposlenje	Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu; Geodata d.o.o. Split

II. D o k t o r s k a d i s e r t a c i j a

Naslov	Geoprostorne semantičke mreže u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama
Broj stranica	170
Broj priloga	2
Broj tablica	10
Broj slika	76
Broj bibliografskih podataka	120
Znanstveno područje	Tehničke znanosti
Znanstveno polje	Geodezija
Znanstvena grana	Geomatika
Mentor	Prof.dr.sc. Damir Medak
Fakultet na kojem je rad objavljen	Geodetski fakultet u Zagrebu
Oznaka i redni broj rada	79

III. O c j e n a i o b r a n a

Datum prihvatanja teme od Znanstveno-nastavnog vijeća	27. svibnja 2011.
Datum sjednice Fakultetskog vijeća na kojoj je prihvaćena pozitivna ocjena rada	18. prosinca 2014.
Sastav povjerenstva koje je rad ocijenilo	Prof.dr.sc. Nada Vučetić Doc.dr.sc. Dubravko Gajski Prof.dr.sc. Sanja Steiner
Datum obrane rada	29. prosinca 2014.
Sastav povjerenstva pred kojim je rad obranjen	Prof.dr.sc. Nada Vučetić Doc.dr.sc. Dubravko Gajski Prof.dr.sc. Sanja Steiner

Zahvala

U protekle četiri godine, koliko je trajalo ovo putovanje, imala sam potporu mnogih ljudi.

Moj mentor dr.sc. Damir Medak pokazao mi je prolaze do novih mora geoinformatike. Doktorandi Mario Miller i Dražen Odošić rado su saslušali moja pitanja i dileme. Od samog početka putovanja sa mnom su bile moje kolegice dr.sc. Tea Duplanić-Leder i dr.sc. Ivana Racetin. Bili su tu kad je trebalo i dr.sc. Nikša Jajac, mr.sc. Tatjana Stazić, mr.sc. Slobodan Pavasović, Ivan Žižić i pred kraj kolegice Marina Tavra i Jelena Kilić. Dr.sc. Snježana Knezić podržala me u uključivanju u međunarodni znanstveni projekt i time mi dala snažan vjetar u leđa. Članovi povjerenstva dr.sc. Nada Vučetić, dr.sc. Sanja Steiner i dr.sc. Dubravko Gajski odvojili su svoje vrijeme i doprinijeli ovom radu. Ovog rada ne bi bilo bez kolega iz Geodate s kojima sam zajedno probijala led na mnogim geoinformatičkim projektima. Moje prijateljice, prof. Renata Kovačić i prof. Tihana Modrić, rado su se odazvale mojoj molbi i lektorirale tekst.

Hvala mojoj obitelji, roditeljima Meliti i Ljubi i suprugu Stipi bez čije ljubavi i podrške ovog ne bi bilo. Uvijek me podržavaju u mojim poduhvatima i uvijek se oslanjam na njih, pa je tako bilo i na ovom putovanju. Moj brat Gordan, sa svojim znanstvenim uspjehom, bio mi je poticaj da ustrajem do kraja. Ivka, Dinko, Lidija, Alene, Barbaro... i svi moji dragi prijatelji, kolege i studenti, bez vas ovo sve ne bi imalo smisla!

Hvala na poticaju da krenem na ovaj put i uspješno doplovim u luku!

Sažetak

Upravljanje kriznim situacijama područje je ljudskog djelovanja koje postavlja visoke zahtjeve nad pristupom geoinformacijama. Danas su mnogi geopodaci na mreži, ali kako bi se ostvarilo njihovo učinkovito pretraživanje, potrebno je razriješiti više problema. Za razrješenje semantičke heterogenosti geopodataka danas se istražuje primjena ontologija i izgradnja geoprostorne semantičke mreže. U doktorskoj disertaciji iznesen je pregled dosadašnjih istraživanja na poboljšanju učinkovitosti pretraživanja geopodataka putem mreže. Za odabranu domenu upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama analizirani su zahtjevi nad geopodacima. Izrađen je UML model geopodataka uključujući i geodinamičke podatke koji su modelirani prema konceptu 4D Fluents modela. Potrebni geopodaci su detaljno opisani svojim atributima, izvorom, obuhvatom i mjerilom. Temeljem UML modela, GeoSPARQL standarda i W3C Time ontologije izrađena je geoprostorna ontološka shema za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama te prototip geoprostorne semantičke baze Z-ONTO. Odabrana su tri slučaja korištenja i za svaki je napravljen scenarij pretraživanja geopodataka na mreži. Po tim scenarijima ispitane su mogućnosti semantičkog geoprostornog pretraživanja u Z-ONTO bazi podataka. U softveru Protégé izrađeni su SPARQL upiti, konstruirane su nove klase i izvedeni novi podaci korištenjem algoritma rasuđivanja. Ispitivanje pretraživanja geopodataka u prototipu Z-ONTO pokazalo je da geoprostorna semantička mreža poboljšava pretraživanje i povezivanje geopodataka na sljedeće načine: geopodaci iz više izvora objedinjavaju se bez potrebe za novim softverom; rasuđivanjem se izvode nove geoprostorne i vremenske relacije između individua; geopodaci se klasificiraju i filtriraju temeljem upisanih svojstava, uključujući geoprostorna i vremenska kvalitativna svojstva. Na kraju doktorske disertacije navedeno je nekoliko mogućih smjerova za nastavak ovog istraživanja.

Ključne riječi

geopodaci, ontologija, ontološka shema, semantička mreža, geoprostorna semantička mreža, zračna luka, upravljanje izvanrednim situacijama

Abstract

Emergency management is an area of human activity that imposes high requirements over access to geoinformation. Today, a huge amount of geospatial data is on the Web, but to realize its efficient searching there are still multiple problems to be solved. To overcome semantic heterogeneity in geospatial data, researches are now exploring the application of ontologies and development of Geospatial Semantic Web. The doctoral thesis presents an overview of current status and research on improving geospatial data search via Web. For the chosen domain of emergency management at airports, the user requirements over geospatial data are analysed. A UML model of geospatial data is built including geodynamic data that are modelled based on the concept of 4D Fluent. The required geospatial data sets are described by their attributes, sources, extents and scales. Based on the UML model, GeoSPARQL standard and W3C Time ontology, a geospatial ontological schema for emergency management at airports and a prototype of geospatial semantic database called Z-ONTO are built. Three use cases are selected and the scenarios of geospatial data search were made for each case. According to these scenarios possibilities of geospatial semantic search in Z-ONTO database were examined. By use of the Protégé software: the SPARQL queries are made, new data classes are constructed and new data is derived using the reasoning algorithm. Testing geospatial data search in the Z-ONTO prototype has showed that Geospatial Semantic Web improves search and integration of geospatial data in the following ways: geospatial data from multiple sources are integrated without the need for new application software; the reasoning derives new geospatial and temporal relations between individuals; geospatial data is classified and filtered based on asserted properties, including geospatial and time qualitative properties. At the end, the doctoral thesis outlines possible directions of further research.

Keywords

geospatial data, ontology, ontological scheme, semantic web, geospatial semantic web, airport, emergency management

Extended abstract

This dissertation explores geospatial data search via Web in the domain of emergency management at airports to enable integration of geospatial data from various sources in real time. Today, a huge amount of geospatial data is on the Web, but to realize its efficient searching there are still multiple problems to be solved. To overcome semantic heterogeneity in geospatial data, researchers are now exploring the application of ontologies and development of the Geospatial Semantic Web. The main idea is to add a semantic description of the data that can be used by computers. This will enable better search and integration of geospatial data via Web. The dissertation consists of six chapters. The first three chapters lay down the theoretical basis used in the next two chapters that describe the development and testing of Z-ONTO prototype. The last chapter gives conclusions and scientific contributions of the whole research.

The first chapter describes the object of research and the expected scientific contributions, the research objectives and hypothesis of the dissertation. It was found that the emergency management is an area of human activity that imposes high demands on access and searching of geospatial data in real time. Geospatial data originate from maps and field and are exchanged among the participants. Is the solution in the construction of a large and comprehensive Geoinformation system (that will encompass all the participants and data), or, what is the hypothesis of this study, in the design of Geospatial Semantic Web that would meet the requirements of this domain?

The second chapter gives an overview of the current research on improving the efficiency of geospatial data search via Web. The current state is characterized by several problems: syntactic and semantic heterogeneity of geospatial data, the use of structured query language (SQL) that requires knowledge of the database structure and SQL language, search by spatial relations which is still in development, the search result is the whole file, not just geospatial object of interest and other problems. Solutions to these problems require the research and development of Semantic Web and Geospatial Semantic Web. Emergency management is an area of human activity where timely information is crucial and is therefore selected for the study.

The third chapter lays down the foundation of semantic web technology: ontology, descriptive logic and reasoning algorithms as well as network technologies RDF, SPARQL and OWL. A detailed description is given for formal models of geospatial data and relations, GeoSPARQL standard and geospatial reasoning. Implementation of Geospatial Semantic Web is in the initial stage, there are only a few available software products which support geospatial data in the RDF model, geospatial queries and reasoning.

In this dissertation, a prototype of geospatial semantic database called Z-ONTO was made. The prototype includes the necessary geospatial data for the emergency management at airports with a focus on response phase. The conducted research has shown that geospatial data model and ontological scheme for emergency management do not exist and thus it is necessary to develop them from the scratch. The fourth chapter describes the development methodology, analysis of user requirements, a UML model, geospatial ontological scheme and realization of a prototype in Protégé software.

Creating geospatial semantic database combines methodology for creating a database with the methodology of creating the ontological scheme. For the analysis of user requirements and modelling of geospatial database, UML language was selected. Standards relating to geospatial data are studied and described: ICAO, FAA and national standards and regulations. The operating practices at two airports are studied, too. Built UML model represents the conceptual design of system for managing emergency situations at the airport and it contains the description of users, functions and information needs.

Emphasis was put on geospatial data that are modelled and described in detail. Results are presented using UML class diagrams with 19 geostatic and 13 geodynamic data classes. Geodynamic data change its location, shape and other properties during the response to the emergency situation and is modelled using 4D Fluents model. The geospatial ontological scheme has been created by mapping classes, attributes and relations from UML diagrams in OWL classes and constructors. GeoSPARQL, W3C Time and 4D Fluents ontology are used as domain ontologies, and DOLCE-Lite ontology is used as upper ontology. The constructed geospatial ontological scheme is an application ontology which means it should contain only the knowledge necessary to solve its tasks.

The developed geospatial semantic scheme is realized in Protégé software (developed at Stanford University) and represents TBox knowledge database. The prototype of geospatial semantic database Z-ONTO was built by entering the data in ABox knowledge database. Logical consistency of Z-ONTO prototype was tested and confirmed by reasoning algorithm Pellet, ie. there are no individuals belonging to disjoint classes in the prototype. However, the prototype was not completed because it should answer the questions in the domain of emergency management at airports. Therefore, it is further refined during the testing as described in the following chapter.

The fifth chapter gives a detailed description of Z-ONTO prototype testing and discusses the test results. Geospatial Semantic Web is under development and so far there is no standard for testing the validity of geospatial semantic schemas and databases. This study begins by asserting that the ontology should be evaluated according to its use value, ie. whether an ontological scheme satisfies its purpose and what are the questions that should be answered. Three use cases are selected and the scenarios of geospatial data search were made in each case. According to these scenarios the possibilities of geospatial semantic search in Z-ONTO database were examined.

The cases selected are the ones from the response phase. They request access to existing geodata (geostatic data) and the field data (geodynamic data), and they are of critical importance for the success of the rescue operation. These are: availability of emergency location data (coming from multiple sources including ad-hoc participants); search for the closest rescuers, equipment and materials; search for passable routes for rescue vehicles. According to these scenarios, the possibilities of geospatial semantic search in Z-ONTO database were examined. By use of Protégé software: the SPARQL queries are made, new data classes are added to the previously drawn geospatial ontological scheme and new data are derived using the reasoning algorithm. Testing geospatial data search in Z-ONTO prototype has shown that Geospatial Semantic Web improves search and integration of geospatial data in the following ways: geospatial data from multiple sources are integrated without need for new application software (important for geodynamic operative data coming from the field); the reasoning derives new geospatial and temporal relations between individuals (enabling locating when there is no explicit data about location); geospatial data are classified and filtered based on asserted properties, including geospatial and time

qualitative properties (enabling construction of common operating picture with dynamic classification).

Chapter six presents scientific contributions and conclusions of the dissertation, and lists several possible directions for future research. During the research several new proposals and models were developed for the domain of emergency management at the airports: the UML model which is a conceptual model of activities, participants and geospatial data; detailed requirements of geospatial data; geospatial ontological scheme; and the prototype of geospatial semantic database Z-ONTO, verified by testing in three selected cases which are of critical importance to the success of the rescue.

The conclusions drawn from the overall work of the research are as follows. Today's Web with its AAA slogan (Anyone can say Anything about Any topic) represents the information and communication infrastructure that can provide a dynamic common operating picture for conducting rescue operations. The present state of geospatial data on the Web is characterized by a multitude of syntactically and semantically non-homogeneous data, which hinder the development of Web GIS services. In the emergency management at airports today there are no standards for digital geospatial data, let alone for semantic harmonization of operational pictures of individual units which is necessary for the data integration. It is therefore necessary to develop conceptual and formal models that provide the basis for a common interpretation of geospatial data. Models must meet user requirements, regulations and standards, and provide the basis for the development of Web GIS services. The developed UML model can meet these purposes, and thus contribute to the development of Web GIS services in the domain. The practical application of GIS application in Split airport, even though it includes only geostatic data, has shown that GIS significantly enhances the emergency management.

There are several possible directions for the further research. The proposed UML model has developed necessary geospatial data in detail, but other data class diagrams are yet to be developed. Geospatial data requirements can be extended with description of metadata according to ISO standard (19100 series). Today, the existing standards and recommendations for aeronautical information do not contain specifications for geospatial data and GIS functions to manage emergency situations at airports, so they can be extended by the findings of this study. Further development of Z-ONTO prototype can expand TBox with complex

logical rules, eg. by modelling the flow of rescue procedures. Z-ONTO prototype can be transferred into a commercial system for managing RDF database allowing expansion of ABox (entering larger amounts of data or connecting to a relational database already containing the data).

In order to realize Geospatial Semantic Web still requires a lot of effort. It is just emerging and many issues are open: domain ontologies development, development of RDF database that fully supports geospatial data and queries, algorithms for geospatial-temporal reasoning, software for extracting qualitative spatial relations from geometry by GeoSPARQL RIF rules, extension of standards on 3D geospatial objects and raster data. However, since the beginning of the study to the present, Geospatial Semantic Web progressed substantially. The GeoSPARQL standard was made providing the conceptual basis of geospatial semantic database and software. Also, there are more and more publicly available geospatial databases in RDF model.

SADRŽAJ

1 UVOD	1
1.1 Predmet istraživanja	1
1.2 Ciljevi i hipoteze istraživanja	2
1.3 Struktura disertacije.....	3
2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	4
2.1 Sadašnje stanje pretraživanja geoinformacija na mreži	4
2.2 Geoprostorna semantička mreža	7
2.3 Upravljanje kriznim situacijama	9
2.4 Daljnja potrebna istraživanja.....	11
3 TEORIJSKA OSNOVA GEOPROSTORNE SEMANTIČKE MREŽE	12
3.1 Semantička mreža	12
3.1.1 Sadašnja mreža i stog semantičke mreže	13
3.1.2 Ontologije.....	16
3.1.3 Deskriptivna logika i rasuđivanje.....	21
3.1.4 RDF model podataka.....	26
3.1.5 SPARQL upiti	32
3.1.6 RDFS.....	34
3.1.7 OWL.....	38
3.1.8 Postojeći sustavi	42
3.2 Geopodaci.....	44
3.2.1 Formalni modeli geopodataka.....	45
3.2.2 GeoSPARQL.....	49
3.2.3 Prostorne relacije.....	53
3.2.4 Geoprostorno rasuđivanje	60
3.2.5 Postojeći sustavi	64
4 GEOPROSTORNA SEMANTIČKA BAZA ZA UPRAVLJANJE IZVANREDNIM SITUACIJAMA U ZRAČNIM LUKAMA – PROTOTIP Z-ONTO	67
4.1 Metodologija izrade geoprostorne semantičke baze	67
4.2 Analiza korisničkih zahtjeva	70
4.2.1 Općenito o geoprostornim podacima u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama	70

4.2.2 Standardi za geoprostorne podatke u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama	73
4.2.3 Operativna praksa u zračnim lukama	75
4.3 UML model	78
4.4 Geoprostorna ontološka shema	92
4.5 Realizacija prototipa Z-ONTO u Protégé softveru	98
5 ISPITIVANJE PRETRAŽIVANJA GEOPODATAKA U PROTOTIPU Z-ONTO	106
5.1 Prvi slučaj: objedinjavanje geopodataka o lokaciji izvanredne situacije	107
5.2 Drugi slučaj: traženje najbližih spasilaca, opreme i materijala	117
5.3 Treći slučaj: traženje prohodnih ruta za spasilačka vozila	125
5.4 Rezultati i diskusija	131
6 ZAKLJUČCI ISTRAŽIVANJA.....	134
LITERATURA.....	138
POPIS SLIKA	151
POPIS TABLICA.....	155
POPIS KRATICA	156
PRILOZI.....	161
PRILOG 1: POTREBNI GEOPODACI.....	162
PRILOG 2: IZVORI I OPIS GEOPODATAKA.....	165
ŽIVOTOPIS	170

1 UVOD

1.1 Predmet istraživanja

U ovom istraživanju ispitat će se pretraživanje geopodataka putem mreže (engl. *world wide web*, *web*) u domeni upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama kako bi se omogućio razvoj mrežnih servisa koji će integrirati podatke iz različitih izvora u realnom vremenu (bez preuzimanja, kopiranja i procesiranja podataka na lokalnom poslužitelju).

Upravljanje kriznim situacijama područje je ljudskog djelovanja koje postavlja visoke zahtjeve nad brzim pristupom geoinformacijama. Danas su mnogi geopodaci na mreži, ali kako bi se ostvarilo njihovo učinkovito pretraživanje, potrebno je razriješiti više problema. Za razrješenje semantičke heterogenosti geopodataka danas se istražuje primjena ontologija i izgradnja geoprostorne semantičke mreže. Za odabranu domenu upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama, u ovom istraživanju dat će se pregled sadašnjeg stanja i dosadašnjih istraživanja na poboljšanju pretraživanja geopodataka putem mreže. Prema analiziranim zahtjevima izradit će se konceptijsko rješenje i prototip geoprostorne baze s ontološkom shemom. Prototip će se testirati i analizirat će se koliko predloženi koncept geoprostorne semantičke mreže može zadovoljiti visoke zahtjeve u ovoj domeni.

Da bi se ostvarilo učinkovito pretraživanje geoinformacija na mreži potrebno je razriješiti više problema (vidi pregled u Scharl i Tochtermann, 2007):

- Sintaktičku heterogenost geoinformacija
- Semantičku heterogenost geoinformacija
- Korištenje strukturiranog jezika za upite (engl. *Structured Query Language*, SQL)
- Pretraživanje po prostornim odnosima
- Rezultat pretraživanja je cijela datoteka, a ne samo geoprostorni objekt od interesa
- Drugi problemi kao npr. ekstrahiranje geoinformacija iz nestrukturiranih podataka (npr. tekstualnih datoteka), geoprostorno označavanje dokumenata i slika, izgradnja rječnika toponima, vizualizacija rezultata geoprostornog pretraživanja, uključivanje vremenske komponente, izgradnja semantičkih geoprostornih servisa (koji uključuju operacije od pretraživanja i obrade do prezentacije rezultata pretraživanja).

Očekuje se znanstveni doprinos u sljedećim područjima:

- Modeliranje procesa i geoprostornih baza uključujući i vremenski aspekt, dinamički podaci
(razvoj konceptijskog modela aktivnosti, sudionika i geopodataka u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama)
- Razvoj infrastrukture geopodataka
(izrada zahtjeva o geopodacima za potrebe upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama)
- Geoprostorna semantička mreža
(razvoj geoprostorne ontološke sheme u domeni upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama).

Proširenjem mreže prema geoprostornoj semantičkoj mreži i dohvat geopodataka postat će toliko precizan da će rezultat upita odmah biti koristan, bez daljnjeg izbacivanja neodgovarajućih rezultata (Egenhofer, 2002).

1.2 Ciljevi i hipoteze istraživanja

U upravljanju kriznim situacijama izuzetno je važno brzo dobiti odgovarajuću geoinformaciju. Zbog toga je potrebno razviti metode za efikasno pretraživanje geoinformacija na mreži pa je cilj ovog istraživanja sljedeći:

- Razvoj koncepta koji će osigurati pravovremene i odgovarajuće geoinformacije svim dionicima u kriznim situacijama.

Geopodaci potrebni za upravljanje kriznim situacijama nalaze se u bazama podataka i nestrukturiranim dokumentima. Da bi se ti podaci koristili, nužno je omogućiti njihovo lako pretraživanje putem mreže što danas nije slučaj. Pri tome se mora razriješiti sintaktička i semantička heterogenost geopodataka. Stoga je hipoteza ovog istraživanja sljedeća:

- Može li se izgradnjom geoprostorne semantičke mreže unaprijediti pretraživanje geopodataka putem mreže u domeni upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama?

1.3 Struktura disertacije

Disertacija je strukturirana u šest poglavlja. Prva tri poglavlja predstavljaju teorijsku osnovu za sljedeća dva u kojima se izrađuje i ispituje prototip geoprostorne baze Z-ONTO. Posljednje poglavlje daje zaključke te opis znanstvenog doprinosa ove disertacije.

Poglavljje 1 opisuje predmet istraživanja i očekivani znanstveni doprinos te ciljeve i postavljenu hipotezu disertacije.

Poglavljje 2 daje pregled dosadašnjih istraživanja na poboljšanju učinkovitosti pretraživanja geopodataka putem mreže. Opisano je sadašnje stanje i daljnja potrebna istraživanja. Također, opisano je upravljanje kriznim situacija jer je to domena na kojoj se ispituju nova rješenja.

Poglavljje 3 opisuje osnovu semantičke mreže: ontologije, deskriptivnu logiku i algoritme rasuđivanja te razvijene mrežne tehnologije RDF, SPARQL i OWL. Posebno su opisani formalni modeli geopodataka i geoprostornih relacija, GeoSPARQL standard i načini geoprostornog rasuđivanja što je od značaja za razvoj geoprostorne semantičke mreže.

Poglavljje 4 predstavlja Z-ONTO prototip geoprostorne semantičke baze za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Opisana je metodologija izrade, analiza korisničkih zahtjeva, UML model, geoprostorna ontološka shema te realizacija prototipa u Protégé softveru.

Poglavljje 5 detaljno opisuje ispitivanje Z-ONTO prototipa na tri slučaja korištenja iz faze odgovora na izvanrednu situaciju u zračnoj luci. U diskusiji rezultata opisana su postignuta poboljšanja koja donosi geoprostorna semantička mreža.

Poglavljje 6 iznosi zaključke i znanstvene doprinose ove disertacije.

2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju opisana su dosadašnja istraživanja na poboljšanju učinkovitosti pretraživanja geopodataka putem mreže. U prvom odjeljku opisano je sadašnje stanje pretraživanja geoinformacija na mreži. U drugom odjeljku opisani su problemi i područja istraživanja u razvoju geoprostorne semantičke mreže. Treći odjeljak je posvećen upravljanju kriznim situacijama. Četvrti odjeljak opisuje daljnja potrebna istraživanja.

2.1 Sadašnje stanje pretraživanja geoinformacija na mreži

Današnja mreža sadrži mnogobrojne informacije, uključujući i geoinformacije, pa je velika vjerojatnost da je geoinformacija koju trebamo već negdje na mreži. Problem više nije u tome postoji li geoinformacija, već kako je naći. Kod upravljanja kriznim situacijama izuzetno je važno brzo dobiti odgovarajuću geoinformaciju (Zlatanova i Fabbri, 2009). Zbog toga je potrebno razviti metode efikasnijeg pretraživanja geoinformacija na mreži.

Da bi se realiziralo efikasno pretraživanje geoinformacija na mreži, potrebno je razriješiti više problema (vidi pregled u Scharl i Tochtermann, 2007):

- Sintaktičku heterogenost geoinformacija

Kako su geopodaci pohranjeni u različitim formatima, tj. sintaktički su heterogeni, potrebno je imati alat za pretraživanje različitih formata.

- Semantičku heterogenost geoinformacija

Da bi se mreža pretraživala na način da smo sigurni u sadržaj informacije koju ćemo dobiti pretraživanjem, tj. da traženi pojam ima značenje na koje smo mislili, potrebno je razriješiti semantičku heterogenost geopodataka, tj. problem da isti pojam ima različito značenje ovisno o kontekstu, odnosno o domeni iz koje dolazi. Npr. *sigurna zona* unutar konteksta požarne zaštite znači: zonu sigurnu od požara, a unutar domene sigurnosti na zračnim lukama znači: zonu u kojoj su svi putnici i predmeti prošli kontrolu.

- Korištenje strukturiranog jezika za upite ili SQL-a

Za pretraživanje po ključnim riječima ili za pretraživanje sadržaja baza podataka, koriste se inačice SQL jezika koji zahtjeva da korisnik poznaje kako se piše SQL

sintaksa upita, te da korisnik poznaje strukturu baze podataka. To ograničava efikasnost pretraživanja pa je cilj da se upit postavlja bez korištenja sintakse.

- Pretraživanje po prostornim odnosima

Prostorni odnosi govore jesu li dva geoprostorna objekta ista po svom položaju i obliku, presijecaju li se, diraju, sadrže i dr. Podaci o prostornim odnosima mogu se izračunati iz geometrije geoprostornih objekata, a mogu biti jednokratno izračunani i pohranjeni u bazu podataka za sve objekte. Pretraživač mora omogućiti pretraživanje po prostornim odnosima, npr. pronaći sve zgrade koje se nalaze na udaljenosti manjoj od 500 metara od incidenta.

- Rezultat pretraživanja je cijela datoteka, a ne samo geoprostorni objekt od interesa

Baze geopodataka su memorijski velike te je prijenos geopodataka putem mreže zahtjevan ako bismo prebacivali čitave skupove podataka u datotekama. Zbog toga je potrebno postići da rezultat pretraživanja ne bude cijela datoteka, već pojedini geoprostorni objekt (engl. *feature*).

- Drugi problemi, kao npr. ekstrakiranje geoinformacija iz nestrukturiranih podataka (npr. tekstualnih datoteka), geoprostorno označavanje (engl. *geotagging*) dokumenata i slika, izgradnja rječnika toponima, vizualizacija rezultata geoprostornog pretraživanja, uključivanje vremenske komponente, izgradnja semantičkih geoprostornih servisa (koji uključuju operacije od pretraživanja i obrade do prezentacije rezultata pretraživanja).

Rješenja gore navedenih problema traže se u istraživanjima i razvoju semantičke mreže (engl. *semantic web*) i dalje u području geoprostorne semantičke mreže (engl. *geospatial semantic web*) koja uključuje specifičnosti geopodataka i operacija nad geopodacima. Upravljanje kriznim situacijama područje je ljudskog djelovanja gdje je upravo pravovremena informacija ključna te je stoga odabrano za istraživanje.

Današnja mreža ima dva značajna ograničenja za ovo istraživanje i za geopodatke:

- Pretraživanje po ključnim riječima (ograničavajuće je zbog semantičke heterogenosti odnosno zato što ista riječ ima različito značenje; riječ može imati svoje inačice i kratice; možda nas zanimaju dva pojma, ali koji kao fraza previše limitiraju pretraživač i sl).

- Rezultat pretraživanja je cijeli dokument (a ne dio u kojem se nalazi ključna riječ pretraživanja pa moramo dalje čitati i interpretirati sadržaj dokumenta da dođemo do informacije) (Scarponcini *et al.*, 2008).

Rezultat pretraživanja najčešće je velik broj dokumenata (nekoliko tisuća ili čak stotina tisuća), a koji se dalje mora ručno filtrirati. Zato je sljedeći korak dodati u dokumente informacije koje će omogućiti kompjuteru poznavanje sadržaja dokumenata. To su meta podaci (podaci o dokumentu, npr. autor, ključne riječi i sl.) koji već uveliko postoje na mreži te semantika informacije koja govori o sadržaju stranica (ostvarena kroz primjenu ontologija, tj. kroz definiranje značenja pojmova na mreži (Prcela, 2008)). Te informacije omogućit će pretraživačima bolje pretraživanje, povezivanje mrežnih stranica i dat će manji broj dokumenata koji bolje odgovaraju zadanom pojmu. Sljedeći korak u unapređenju pretraživanja mreže je da rezultat pretraživanja ne bude cijeli dokument u kojem se negdje nalazi tražena informacija, već korisnik odmah dobija adekvatno prezentiranu traženu informaciju. To uključuje razvoj čitavog niza usluga koje pristupaju raznim podacima, obrađuju ih, integriraju i prezentiraju na način razumljiv korisniku.

Takva mreža zove se semantička mreža i ona je danas u razvoju. Njezin razvoj zasniva se na ontologiji (znanost o tome što svijet jest) i/ili epistemologiji (znanosti o znanju i prezentaciji znanja o tom svijetu) (Johnson, 2002; Medak, 1999), a da bismo imali metodu predstavljanja znanja na način da se definiraju koncepti i relacije među konceptima unutar određene domene. Glavna ideja je postići zajedničko shvaćanje strukture informacije među ljudima i računalima, da se pretpostavke unutar domene eksplicitno definiraju te da se jednom zapisano znanje može ponovno uporabiti u više primjena (Prcela, 2008). Time bi nestala semantička heterogenost kao npr. da pojam linija (engl. *line*) samo na stranicama Wikipedije daje devet konceptata iz domene znanosti i tehnologije, pet iz prometa, dva iz poslovanja, tri iz vojske, deset iz sporta, osam iz umjetnosti, četiri iz mode te četrnaest iz ostalih domena. Semantička heterogenost podataka dolazi iz kognitivne heterogenosti i heterogenosti imenovanja objekata realnog svijeta. Kognitivna heterogenost je kad isti objekt u različitim domenama, ima različitu definiciju (zbog različitog pogleda na isti objekt), a heterogenost imenovanja je kad isti objekt u različitim domenama, nosi različito ime (Athanasios *et al.*, 2009).

W3C (World Wide Web Consortium) grupa (W3C, 2014b) predvodi razvoj semantičke mreže koja uključuje koncepte deskriptivne logike, model podataka za semantičku mrežu RDF

(Resource Description Framework) s RDF shemama (RDFS) i URI identifikatorima (Uniform Resource Identifier), OWL jezik (Web Ontology Language), SPARQL jezik za upite nad RDF-om, RIF format (Rule Interchange Format), SKOS jezik (Simple Knowledge Organization System) i dr. (vidi u Batcheller i Reitsma, 2010 i Zhang *et al.*, 2010). Dosadašnja istraživanja i razvoj pokazali su i mnoge probleme semantičke mreže. Od sporosti, višestrukih URI-a, postupka izgradnje domena koji nije definiran, provođenja izmjena u ontologiji, verifikacija i validacija ontologija do pretvorbe ogromnih količina podataka na mreži u ontologije i u prezentiranju rezultata (pregled u Prcela, 2008).

Ipak, koncept semantičke mreže ima već i svoju komercijalnu primjenu. Oracle Database 11g, ima svoje proširenje Semantic Technologies koje koristi ontologije: RDF, RDFS, SKOS i OWL standarde u svojoj bazi te SPARQL upite (Oracle, 2014). Na listi referenci nalaze se velike tvrtke koje su taj koncept primijenile unutar svojih poslovnih informacijskih sustava. Zamah razvoja ovog koncepta vidljiv je po mnogim aktivnostima kao npr. Semantic Technology konferenciji održanoj u lipnju 2010. godine (Semantic Universe, 2010) na kojoj je sudjelovalo preko tisuću ljudi iz uglednih tvrtki i na kojoj je u pet dana bilo oko dvjesto četrdeset izlaganja.

2.2 Geoprostorna semantička mreža

Uvaženo je mišljenje da 80% svih informacija ima svoju lokaciju u prostoru (na direktan ili indirektan način), tj. geoprostornu komponentu. To može biti adresa, GNSS (Global Navigation Satellite System) lokacija, toponim i dr. Geopodaci se mogu iskoristiti u povezivanju različitih podataka putem iste ili bliske lokacije i tako zajedno sa semantičkim proširenjem mreže stvoriti novu geoprostornu semantičku mrežu. Geoprostorna semantička mreža omogućit će pretraživanje informacija po njihovom sadržaju i po lokaciji, što otvara potpuno nove mogućnosti korištenja postojećih informacija i iz toga novo razumijevanje svijeta koji te informacije opisuju.

Međutim, nije jednostavno doći do geoprostorne semantičke mreže, tj. doći do dobre geoprostorne ontološke sheme i semantičkog geoprostornog pretraživanja (vidi pregled u Scarponcini *et al.*, 2008). Sama lokacija može biti određena adresom, koordinatama, opisom (dvije ulice južno od trga), apsolutno, relativno. Da bi se ta lokacija mogla koristiti i

uspoređivati s drugim lokacijama, potrebno je imati dodatne podatke o koordinatnom sustavu, o koordinatama referentne točke i dr. Osim lokacije objekti imaju svoj oblik koji opisujemo osnovnim tipovima, geometrijskim elementima (točkom, linijom, površinom), ali imamo i prostorne te topološke veze između objekata kao i operacije (npr. sadrži, presijeca, dira). Sve to traži dogovor oko precizne definicije geoprostornih lokacija, oblika objekata, veza i operacija. Osim diskretnih objekata koje možemo klasificirati u ontološkoj shemi, geopodaci prezentiraju i kontinuirane objekte, npr. visinski prikaz terena gdje lokaciju možemo smatrati atributom, što daje dodatnu složenost u prikazu ontološke klasifikacije geoprostornih objekata. Prostorne i topološke veze često nisu spremljene u bazi podataka, već ih se po potrebi izračunava, što znači da ih pretraživač ne može naći eksplicitno zapisane, već treba imati servis koji će to izračunati po zahtjevu. Dodatni specifični zadatak je indeksiranje podataka za što kod geopodataka postoje posebne metode.

Dodatni problemi u razvoju geoprostorne semantičke mreže su u tome što se geopodaci nalaze u raznim zatvorenim formatima te postoje različite definicije i nazivi prostornih funkcija i relacija, a sve ovise o pojedinom komercijalnom rješenju. Zbog toga je potrebna standardizacija tehnoloških i konceptijskih rješenja u području geoinformatike na kojoj radi OGC (Open Geospatial Consortium) (OGC, 2014) i ISO (International Organization for Standardization) (ISO, 2014). Rezultat OGC napora je GML (Geography Markup Language) koji predstavlja proširenje XML (Extensible Markup Language) na geoprostorne podatke i služi za razmjenu podataka. Na području mrežnih servisa (engl. *web services*) WFS (Web Feature Service) predstavlja standardni protokol za upite i transakcije nad geopodacima i to na razini pojedinog geoprostornog objekta, WMS (Web Map Service) predstavlja standard izrade zahtjeva za mapu, a WCS (Web Coverage Service) standard izrade zahtjeva za rasterskim podacima određenog područja. GML JG2 standard koristi GML shemu za pohranu geopodataka u JPG2000 formatu te time JPG2000 format sadrži i podatke o geopoložaju slike. Tehnička komisija ISO organizacije ISO/TC 211 zadužena je za standardizaciju u području geopodataka i geoinformatike i dosad je izradila 69 standarda, a mnogi su još u razvoju. Upravo ovi standardi predstavljaju osnovnu infrastrukturu za realizaciju geoprostorne mreže (engl. *geospatial web*).

Dakle, standardizacija koja bi riješila sadašnju semantičku heterogenost geopodataka i omogućila razvoj semantičke geoprostorne mreže tek je započela. Standard ISO 19146:2010 daje metodologiju spajanja tehničkih rječnika koji se primjenjuju kod različitih korisnika

geopodataka, a nedavno je objavljen GeoSPARQL standard izrađen od OGC-a (OGC, 2012) za geoprostornu ontološku shemu i geoprostorne upite nad RDF podacima.

Opširan pregled područja istraživanja u razvoju geoprostorne mreže se nalazi u (Bai *et al.*, 2009; Buccella, 2009; Durbha *et al.*, 2009; Huber i Klump, 2009; Lumb *et al.*, 2009; Lutz *et al.*, 2009; Reitsma *et al.*, 2009; Scharl i Tochtermann, 2007; Zhao *et al.*, 2009). To su:

- Geoprostorne ontologije i razvoj geoprostornih ontoloških shema po domenama
- Razvoj geoprostornih semantičkih upita
- Razvoj geoprostornih semantičkih mrežnih aplikacija
- Geoprostorno označivanje (pridruživanje lokacija dokumentima i slikama)
- Identificiranje lokacija na koje se odnose informacije iz nestrukturiranih podataka, npr. tekstualnih datoteka (engl. *geoparsing*)
- Pretraživanje toponima i razrješenje neodređenosti toponima
- Vremenski aspekt (događaji imaju i lokaciju i vrijeme).
- Prezentacija rezultata pretraživanja geopodataka
- Dinamička vizualizacija geopodataka
- Sociološki utjecaji razvoja javnih geoprostornih servisa
- Složeni geoprostorni mrežni servisi u različitim područjima primjene

2.3 Upravljanje kriznim situacijama

Za ispitivanje primjene geoprostorne semantičke mreže odabrano je područje upravljanja kriznim situacijama. U kriznim situacijama potrebni su svi podaci koji mogu pomoći – često i nepredvidivi podaci koji dolaze s nekog privatnog poslužitelja (engl. *server*), npr. u koji je prebačen disk s podacima poslužitelja koji je uništen, npr. poplavljen. Moguća situacija: netko na terenu stavlja slike požara na svoj poslužitelj i sl.

Podaci postoje, ali im se ne može pristupiti. Dakle, problem nije u tome da nema podataka, već oni nisu dostupni. Nalaze se u različitim formatima, u različitim bazama s različitim shemama, s različitom semantikom. Zbog toga je potrebno pronaći bolje metode efikasnog pretraživanja i dijeljenja informacija. Razina heterogenosti na sintaktičkoj razini je riješena ili se rješava OGC standardima GML, WMS, WCS, no nedostaje semantička izjednačenost (Zhang *et al.*, 2010). Efikasno pretraživanje znači: uključiti semantiku da bismo pronašli sve

relevantne informacije, te ubrzati pretraživanje što je bio dosadašnji problem kod primjene ontologija.

Upravljanje kriznim situacijama područje je ljudskog djelovanja koje se bavi izbjegavanjem ili ublažavanjem učinka katastrofa; bilo da se radi o prirodnim katastrofama (npr. potresi, poplave) ili katastrofama nastalim antropogenim djelovanjem (npr. industrijske nesreće, prometne nesreće). Osnovne faze u upravljanju kriznim situacijama prikazane su na Slici 2-1. To su: prevencija, mitigacija (ublažavanje) i pripravnost, koje se odvijaju prije samog događaja koji uzrokuje katastrofu, te faze odgovora i oporavka, a koje započinju po samoj nezgodi (Lindell *et al.*, 2006). Prevencija i mitigacija usmjerene su na dugoročne mjere smanjivanja ranjivosti, a pripravnost na izradu akcijskih planova, uvježbanost i drugo. U trenutku nesreće koja može prerasti u katastrofu započinje faza odgovora. Ona uključuje mobilizaciju službi koje odlaze na mjesto nesreće, spašavanje ljudskih života i sprečavanje štete. Odgovor je najzahtjevnija faza sa svojom dinamikom i nepredvidivosti. Faza odgovora mora: biti brza, imati pouzdan pristup postojećim informacijama, imati pristup aktualnim podacima koji dolaze s terena, imati mogućnost integracije podataka za potrebe odlučivanja i distribucije informacija i dr. Oporavak je faza u kojoj se obnavlja pogođeno područje. Značaj geopodataka, sadašnji razvoj u modeliranju geopodataka i razvoj geoprостorne semantičke mreže u domeni upravljanja kriznim situacijama obrađuje Zlatanova s koautorima u člancima (Dilo i Zlatanova, 2010; Fan i Zlatanova, 2010; Zlatanova, 2008; Zlatanova, 2010; Zlatanova i Dilo, 2010; Zlatanova i Fabbri, 2009; Zlatanova *et al.*, 2010).



Slika 2-1: Faze upravljanja kriznim situacijama

Faza odgovora na kriznu situaciju razlikuje se od drugih faza po više značajki: vrijeme odgovora je kritično za spašavanje; dinamika događaja je veća nego u normalnim okolnostima; mnogi ljudi su uključeni; ljudsko ponašanje (panika, bol, stres) igra važnu ulogu; infrastruktura može biti dijelom ili potpuno uništena; komunikacija između sudionika može biti otežana ili potpuno nemoguća; pristup informacijama onemogućen i dr. Da bi faza

odgovora bila uspješna, a vezano za geopodatke, Zlatanova i Fabbri (2009) ističu sljedeće značajke: poznavanje geopodataka (potreba da se zna koji geopodaci postoje i da se njima može pristupiti), suradnja i razmjena informacija (između unaprijed definiranih sudionika, ali i *ad hoc* osoba koje šalju korisne geopodatke s terena) te intuitivna sučelja (operateri u stresnim situacijama imaju jasne prikaze geopodataka putem standardiziranih simbola i geoprostornih funkcija).

U kojoj mjeri geoprostorna semantička mreža može udovoljiti ovim zahtjevima?

2.4 Daljnja potrebna istraživanja

Daljnja potrebna istraživanja i razvoj geoinformatike vezano za aktivnosti upravljanja kriznim situacijama su prema Zlatanovoj i Fabbri (2009) sljedeća:

- Razvoj infrastrukture geopodataka, semantike i ontologija
(što treba omogućiti efikasan pristup i razmjenu geopodataka)
- Upravljanje dinamičkim geopodacima
(koji stižu s terena iz različitih senzora na satelitima, mobitelima, iz vozila; koji nastaju u realnom vremenu i trebaju se integrirati i analizirati; trodimenzionalni modeli podataka i vremenska komponenta podataka)
- Prostorne analize
(uključujući trodimenzionalne prostorne analize u tzv. punom trodimenzionalnom prostoru, npr. najbliži hidrant požaru na 2. katu zgrade)
- Intuitivna sučelja i vizualizacija geopodataka
(koja trebaju omogućiti ljudsku interakciju s geoprostornim sustavom)

U ovom istraživanju ispitat će se pretraživanje geopodataka putem mreža u domeni upravljanja kriznim situacijama, a da bi se omogućio razvoj mrežnih servisa koji će integrirati podatke iz različitih izvora u realnom vremenu (bez preuzimanja, kopiranja i procesiranja podataka na lokalnom poslužitelju).

3 TEORIJSKA OSNOVA GEOPROSTORNE SEMANTIČKE MREŽE

U ovom su poglavlju opisani osnovni koncepti na kojima se zasniva semantička mreža i mrežne tehnologije nužne za primjenu. Drugi odjeljak opisuje posebnosti geopodataka koje treba razriješiti kako bi se razvila geoprostorna semantička mreža.

3.1 Semantička mreža

Semantička mreža je ideja mreže povezanih podataka (engl. *web of data*) za razliku od sadašnje mreže koja je zapravo mreža povezanih dokumenata, mrežnih stranica, tekstova, slika, filmova (engl. *web of documents*). Semantičku mrežu možemo slikovito zamisliti kao bazu podataka koju mogu pretraživati računala, a sadašnju mrežu kao knjigu koju mogu pretraživati samo ljudi. Ideja je razviti metode i tehnologije kojima bi se omogućilo da se podaci s mreže kvalitetnije dijele i višestruko koriste. Sami korisnici stavljaju podatke na mrežu, opisuju ih, stvaraju rječnike i pišu pravila za korištenje podataka. Računala tako opisane podatke pretražuju.

W3C grupa predvodi razvoj semantičke mreže koja je zasnovana na novom modelu podatka RDF (Resources Description Framework). Podaci se opisuju s RDF shemama (Resource Description Framework Scheme) i OWL jezikom (Web Ontology Language). Za identifikaciju se koriste mrežni URI identifikatori (Uniform Resource Identifier). Razvijen je SPARQL jezik za upite nad RDF bazama podataka, istovjetno SQL jeziku za upite nad relacijskim bazama podataka. RIF (Rule Interchange Format) i SWRL (Semantic Web Rule Language) su jezici za pisanje pravila koji proširuju izražajnost OWL jezika.

Semantička mreža zasniva se na ontologijama. Ontologijom predstavljamo znanje pojedinog područja ljudskog djelovanja, tj. domene. Mogućnost rasuđivanja (engl. *reasoning*) u ontološkim shemama zasniva se na deskriptivnoj logici. Temeljem logičkih izraza upisanih u ontološku shemu, automatskim (računalom podržanim) rasuđivanjem može se izvesti novo znanje iz već postojećeg znanja.

Iako je tek u drugom desetljeću razvoja, semantička mreža ima svoju primjenu. U znanosti se koristi za spajanje znanja iz istraživačkih laboratorija. Npr. konferencija Semantičke mrežne

aplikacije i alati za znanosti o životu (engl. *Semantic web applications and tools for life sciences*) već šest godina okuplja znanstvenike, razvojne inženjere i korisnike koji rade u biomedicini, istraživanju lijekova, biologiji i dr. Komercijalnu primjenu ima u Oracle sustavima upravljanja bazama podataka. Oracle Database 11g, ima proširenje sustava koje se zove semantičke tehnologije (engl. *semantic technologies*) koje koristi ontologije za kvalitetnije pretraživanje baza podataka.

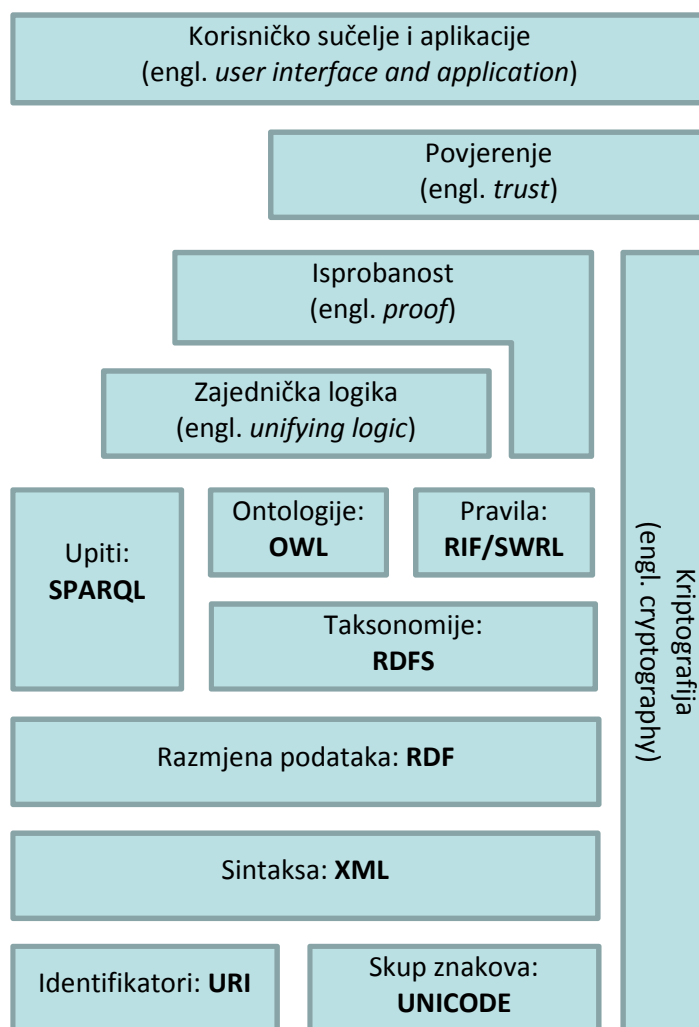
3.1.1 Sadašnja mreža i stog semantičke mreže

Karakteristike sadašnje mreže su prema Allemangu i Hendleru (2011) sljedeće:

- AAA slogan (engl. *Anyone can say Anything about Any topic*)
Govori da svatko može napisati bilo što o bilo čemu i to staviti na mrežu. To je rezultiralo da milijuni ljudi pune sadržaje na mreži, ali da o istoj temi možemo naći različite ili proturječne informacije. Istraživanje autora Gullija i Signorinija (2005) pokazalo je da se na mreži početkom 2005. godine nalazilo 11,5 milijardi stranica na 75 svjetskih jezika.
- Otvoreni svijet (engl. *open world assumption*)
Znači da u svakom trenutku dolaze nove informacije i da se sadržaj na mreži stalno dopunjuje i mijenja. To utječe na izvođenje zaključaka jer ne možemo niti u jednom trenutku pretpostaviti da su podaci na mreži potpuni.
- Nejedinstveno imenovanje (engl. *nonunique naming*)
Znači da isti objekt ili pojam može biti naveden različitim imenima.
- Efekt mreže
Znači da što se više ljudi uključuje u mrežu, ona postaje zanimljivija sve širem i širem broju novih korisnika. Tako se povećanje broja korisnika ubrzava, pa je danas broj korisnika mreže ogroman. ITU unija (International Telecommunication Union) objavila je da je u ožujku 2013. godine broj korisnika iznosio 2,7 milijardi, što predstavlja 38,8% svjetske populacije (International Telecommunication Union, 2013).
- Džungla podataka
Tako se slikovito naziva stanje većine podataka na mreži gdje nitko ne odgovara za podatke niti za to kako ćemo ih razumjeti.

Ideja semantičke mreže je da dobre strane sadašnje mreže ostanu te da džungla mora postati prohodna. Na mrežu će se dodati ontološke informacije u obliku ontoloških shema. Koncepti i njihove klasifikacije reći će nam što je zajedničko, a što različito. Svaki izvor podatka dat će svoju ontološku shemu, a sheme će se spajati bez da se prethodno svi moraju dogovoriti oko svega.

Da bi se ideja semantičke mreže ostvarila, potrebno je razviti i standardizirati nove mrežne tehnologije koje će nadograditi sadašnje. Na Slici 3-1 prikazana je semantička mreža kao stog mrežnih tehnologija. Tu su tehnologije koje se koriste u sadašnjoj mreži (URI, Unicode i XML) te novorazvijene i standardizirane tehnologije semantičke mreže (RDF, RDFS, OWL, SPARQL, RIF, SWRL). Za dovršenje ideje semantičke mreže potrebno je još ostvariti gornje slojeve ovog stoga i to: zajedničku logiku (engl. *unifying logic*), isprobanost (engl. *proof*), povjerenje (engl. *trust*) i kriptografiju (engl. *cryptography*).



Slika 3-1: Stog semantičke mreže prema Berners-Leeju (2002)

U temelju stoga semantičke mreže nalaze se URI identifikatori (Uniform Resource Identifier) koji predstavljaju globalne identifikatore resursa na mreži. URI identifikator je jedinstven, tj. jedan URI predstavlja samo jedan resurs na mreži. Tako je semantička mreža dobila način kako jedinstveno identificirati svaki koncept (ontologija dijeli svijet u koncepte ili istovrsne objekte, tj. klase). S obzirom da jedan koncept može biti predstavljen na mreži više puta, tj. s više resursa, imat će i više URI-a. Višestruki URI-ji predstavljaju prvi problem ideje semantičke mreže. Taj se problem može riješiti na način da se zapiše da npr. dva URI-a predstavljaju isti koncept, ali to se mora napraviti ručno. Kako je količina podataka na mreži velika, a time je i mogućnost višestrukih URI-a velika, taj problem se ne može u cijelosti riješiti na ovaj način. Drugi način za rješavanje višestrukih URI-a je da se izgradi jedna ontologija koja bi sadržavala sve koncepte i njima pripadne URI-e. Treći način je da se unutar pojedinih područja ljudskog djelovanja, ili unutar organizacija koje žele dijeliti svoje podatke, postigne dogovor i dodijele URI-ji.

Sintaksa URI-a se sastoji od URI sheme (sintaksa s protokolom za prijenos podataka putem mreže, npr. http, ftp, mailto i dr.) i tekstualnog dijela koji označava mrežni resurs koji pozivamo (npr. ime poslužitelja i ime datoteke). Podskup URI-a su URL lokatori (Uniform Resource Locator) koji predstavljaju identifikatore mrežnih stranica, tj. njihove mrežne adrese. Primjer jednog URL-a koji koristi http URI shemu i identificira datoteku `statut.pdf`, a koja se nalazi na mrežnom serveru Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu (`www.gradst.hr`) u direktoriju `Portals/9/PropertyAgent/1167/Files/1883` izgleda ovako:

`http://www.gradst.hr/Portals/9/PropertyAgent/1167/Files/1883/statut.pdf`

Da bi se nedvosmisleno obuhvatili sadržaji na mreži napisani na različitim jezicima, u temelju semantičke mreže je Unicode standard (Unicode, 2014). To je standard za kodiranje preko milijun znakova. Sadrži slova svih svjetskih jezika uključujući i povijesne jezike i znakove tehničkih disciplina. To omogućuje razmjenu, procesiranje i ispravan prikaz tekstova različitih jezika. Jedan od najkorištenijih Unicode kodova je UTF-8.

Još jedan standard sadašnje mreže koji koristi semantička mreža je XML (engl. *Extensible Markup Language*) i to kao jezik za označavanje podataka (W3C, 2014a). Ima jednostavnu sintaksu (podatak uokvirujemo oznakama koje ga opisuju) i vrlo je raširen na mreži gdje se

koristi za razmjenu podataka. Lako je čitljiv i ljudima i računalima. Za njegovu standardizaciju se brine W3C grupa.

Nove semantičke tehnologije koje su nedavno razvijene i standardizirane su: RDF model podataka, RDFS shema podataka u koju zapisujemo taksonomije, OWL jezik za izradu ontoloških shema, SPARQL jezik za upite nad RDF podacima i RIF/SWRL jezici za pisanje pravila. Ove tehnologije su detaljno opisane u poglavljima koja sljede.

Zajednička logika je sloj koji još nedostaje, a koji bi omogućio istovremeno korištenje znanja iz OWL i RIF/SWRL slojeva, tj. koji bi mogao rasuđivati istovremeno nad ontologijom i pravilima. Isprobanost tehnologije i povjerenje u podatke su slojevi koji se trebaju razviti, ne samo za potrebe semantičke mreže, već mreže uopće. Jedan način rješavanja je npr. upotreba digitalnog potpisa kojim jamčimo izvor podatka.

Svim slojevima semantičkog stoga potrebna je sigurna komunikacija, tj. zaštita podataka od neovlaštenog čitanja i mijenjanja (npr. kod plaćanja putem mreže). U tu svrhu razvijene su i dalje se razvijaju tehnologije zaštite podataka bazirane na kriptografiji. Kriptografija putem ključa pretvara razumljiv tekst u nerazumljiv (enkripcija), a zatim ga vraća u prvobitni tekst (dekripcija).

3.1.2 Ontologije

Ontologija (engl. *ontology*) je znanost o tome što svijet jest, a epistemologija (engl. *epistemology*) je znanost o znanju i prezentaciji znanja o tom svijetu. U računarskim znanostima ontologije se koriste u predstavljanju znanja (engl. *knowledge representation*) te da bi se jednom zapisano znanje moglo ponovno uporabiti. Prema Gruberu (1993) ontologija je formalna specifikacija zajedničke konceptualizacije (engl. "*An ontology is a formal specification of a shared conceptualization.*"). Konceptualizacija predstavlja pojednostavljen pogled na stvarnost kojim se prezentira stvarnost za određenu namjenu. Specifikacije eksplicitno definiraju koncepte i relacije među konceptima. Postojanje takvih zajedničkih konceptualizacija omogućuje ljudima i računalima da imaju isto razumijevanje informacija.

Ontologija promatranu domenu dijeli u koncepte ili istovrsne objekte (tipove). Elementi od kojih se ontologije sastoje su:

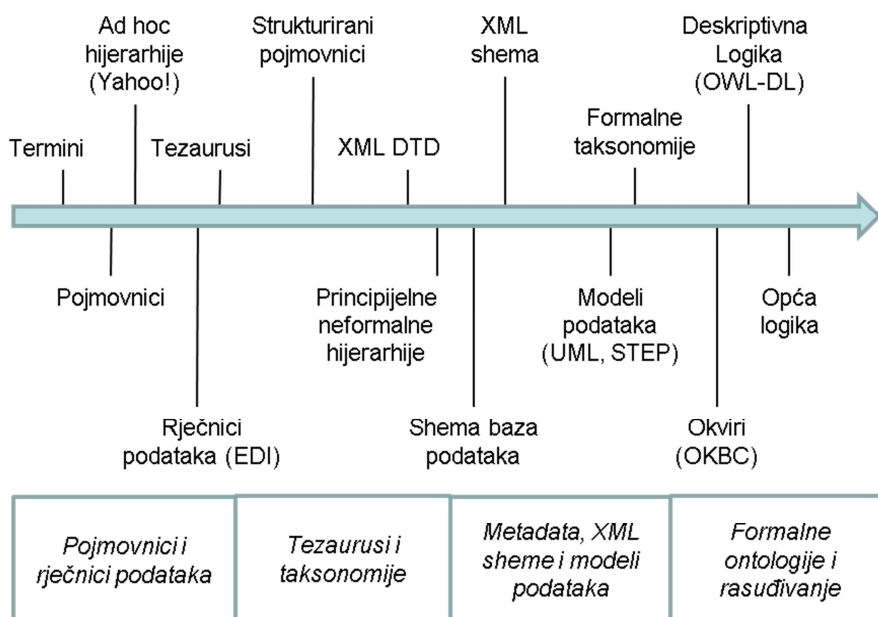
- Koncepti ili klase (engl. *concepts* ili *classes*)
- Relacije (engl. *relations*)
- Individue (engl. *instances*)
- Svojstva (engl. *attributes* ili *slots*)
- Formalna pravila (engl. *axioms*)

Koncepti i podkoncepti složeni su u hijerarhiju. Koncepti i individue opisani su svojstvima. Individue predstavljaju konkretizaciju koncepata. Relacije povezuju koncepte i podkoncepte. Kroz formalna pravila opisujemo značenje koncepata i relacija. Formalna pravila predstavljaju dodatno znanje koje računala mogu čitati i time omogućuju automatsko rasuđivanje.

Relacije u ontologijama opisuju stvarnost i pomažu u stvaranju cjelovitog znanja. Npr. "dio od" je relacija koja govori da je nešto dio nečega i tako možemo znati od kojih dijelova se neko tijelo sastoji. Npr. prst je dio tijela, lice je dio tijela itd., pa možemo zaključiti da se tijelo sastoji od prsta, lica i dr. Relacije u ontologijama možemo podijeliti na tri tipa (Munn i Smith, 2008):

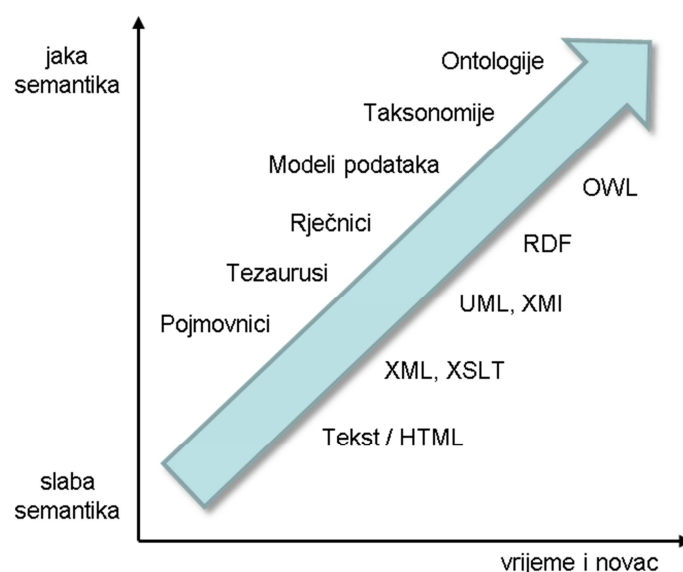
- Između koncepata
Npr. koncept čovjek i koncept sisavci su povezani relacijom "je", tj. čovjek je sisavac.
- Između individue i koncepta
Npr. individua Petar i koncept čovjek su povezani relacijom "je", tj. Petar je čovjek.
- Između individua
Npr. individua Ana i individua Klara su povezani relacijom "je kći", tj. Ana je Klarina kći.

Prema semantičkoj preciznosti razlikujemo jednostavne ontologije koje sadrže samo rječnik pojmova za zadanu domenu, preko onih koje sadrže entitete (npr. objekte, svojstva, procese i odnose), do najpreciznijih koje sadrže formalna pravila (Slika 3-2). Što je ontologija preciznija, to je bogatija semantikom, tj. sadrži više znanja, manje je neodređenosti, a time raste i mogućnost rasuđivanja.



Slika 3-2: Vrste ontologija (Uschold i Gruninger, 2004)

Prema McCrearyju (2006), semantički bogatije ontologije traže više vremena za izgradnju i više koštaju (Slika 3-3). U primjeni, potrebno je odabrati onu preciznost ontologije koja će dati najbolji omjer između troška i snage rasuđivanja. Danas su u uporabi razne ontologije: od onih nepreciznih (npr. Yahoo! subject ontology) do semantički bogatih ontologija baziranih na formalnom jeziku za semantičke sheme OWL-u (npr. Simple Knowledge Organization System, SKOS).

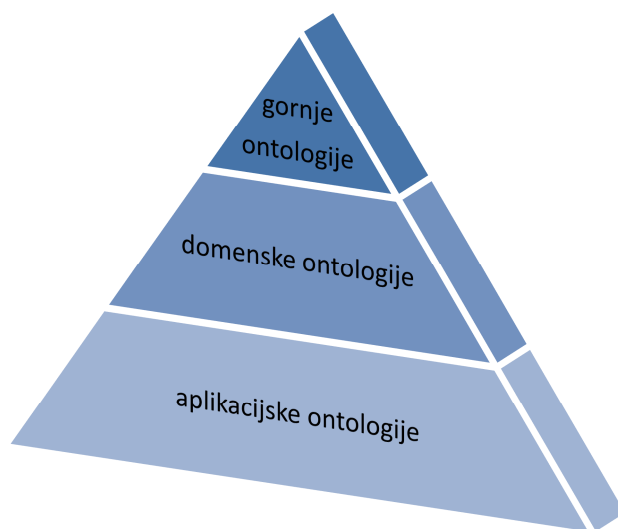


Slika 3-3: Odnos složenosti ontologije prema vremenu i trošku izgradnje (McCreary, 2006)

Isti dio stvarnosti može se promatrati iz različitih perspektiva (različitih znanstvenih disciplina, s različitom razinom detaljnosti i sl.). Tako će isti dio stvarnosti imati različit opis, model ili ontologiju. U ideji semantičke mreže je da alternativne ontologije za isti dio stvarnosti mogu koegzistirati. Tako se otvara problem: kako različite ontologije možemo koristiti zajedno, ili npr. kako možemo spajati znanja iz različitih znanstvenih disciplina? Rješenje nije u izradi jedinstvene i sveobuhvatne ontologije oko koje će se svi složiti. Upravo suprotno, rješenje je da mogu nastajati stalno nove i nove ontologije, ali da se one povezuju uz pomoć gornjih i domenskih ontologija. Npr. za svoje stručno područje možemo napraviti svoju ontologiju i povezati je s odabranom domenskom ontologijom (prihvaćenom od zajednice s kojom želimo podijeliti svoje znanje). Povezivanjem koncepata naše i domenske ontologije određujemo kako se naši podaci mogu spajati s podacima iz drugih izvora, a da se njihovo značenje točno prenese. Tako ćemo omogućiti da se naši podaci, opisani našom ontologijom, koriste od drugih korisnika.

Razlikujemo nekoliko razina ontologija (Slika 3-4) (Guarino, 1997):

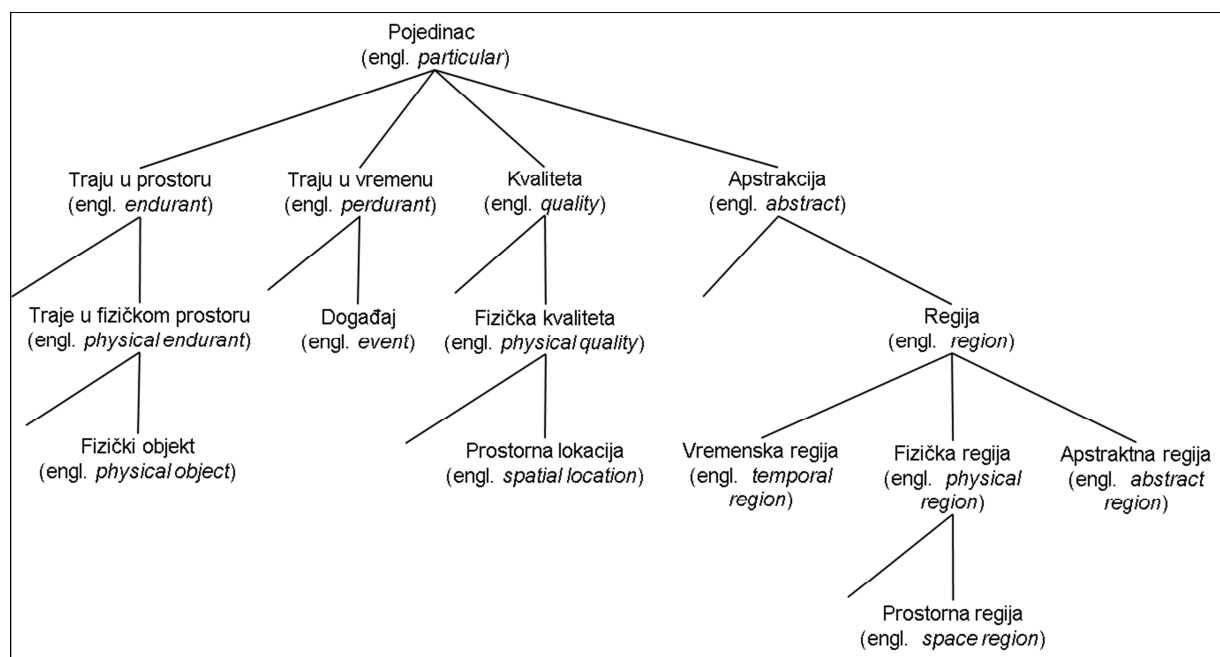
- Gornje ontologije (engl. *top level ontologies*)
- Domenske ili referentne ontologije (engl. *domain ili reference ontologies*)
- Aplikacijske ontologije (engl. *application ontologies*)



Slika 3-4: Razine ontologija

Gornje ontologije definiraju opće koncepte svijeta i time osiguravaju osnovu za spajanje ontologija. Koje su najopćenitije klase svih klasifikacija? Je li to Aristotelova lista kategorija

svega na svijetu? Nekoliko gornjih ontologija razvijeno je za potrebe semantičke mreže. SUMO (Suggested Upper Merged Ontology) ontologija je razvijena na način da su spojene slobodne nekomercijalne ontologije zajedno s domenskim ontologijama. BFO (Basic Formal Ontology) ontologiju je razvio IFOMIS (Institute for Formal Ontology and Medical Information Science, Njemačka) i koristi se u području biomedicine kao gornja ontologija. Tri glavne BFO ontološke dihotomije su: ovisan (engl. *dependent*) versus neovisan (engl. *independent*), trajni (engl. *continuant*) versus povremen (engl. *occurrent*), sveopći (engl. *universal*) versus posebni (engl. *particular*). Njihovom daljnjom podjelom grade se nove kategorije i BFO ontologija (Munn i Smith, 2008). DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) ontologija je razvijena na Laboratory for Applied Ontology, Italija s ciljem da opiše ontološke kategorije na kojima se temelji ljudsko sporazumijevanje i rasuđivanje. DOLCE ontologija ima četiri glavna koncepta: trajni koji zauzimaju prostor, npr. objekti i tvari (engl. *endurant*), trajni koji zauzimaju vrijeme, npr. događaji i stanja (engl. *perdurant*), kvaliteta koja opisuje individue (engl. *quality*) i apstraktni (engl. *abstracts*) koji uglavnom predstavljaju koncepte (Slika 3-5) (Masolo *et al.*, 2003).



Slika 3-5: Dio taksonomije glavnih DOLCE koncepta (Masolo *et al.*, 2003)

Domenske ontologije opisuju dio stvarnosti iz perspektive nekog područja ljudskog djelovanja, npr. medicina, inženjerstvo i sl. One sadrže rječnike i koncepte iz domene, relacije i pravila među njima koji su specijalizacija koncepta definiranih u gornjim ontologijama. Razvijaju se neovisno o mogućoj pojedinoj primjeni, a služe za povezivanje znanja unutar

domene. U domeni upravljanja kriznim situacijama domenska ontologija je još u razvoju. W3C radna skupina Emergency Information Interoperability Frameworks objavila je prve rezultate razvoja ontologije u izvještaju W3C Incubator Group Report 6 (W3C, 2009a). Za geoprostorne podatke, OGC objavio je GeoSPARQL standard za geoprostornu ontologiju 2012. godine (OGC, 2012). Za vremensku ontologiju, W3C radna skupina objavila je W3C Time ontologiju (W3C, 2006b).

Da bi se riješio neki određen zadatak, izrađuje se aplikacijska ontologija. Ona sadrži samo ono znanje potrebno za rješavanje zadanog zadatka. Da bi se razmjenjivali podaci između pojedinih aplikacija, potrebno je aplikacijske ontologije povezati s konceptima referentne ontologije.

3.1.3 Deskriptivna logika i rasuđivanje

Deskriptivna logika (engl. *description logic*) čini osnovu semantičke mreže i ontologije. To je skupina formalizama koja predstavlja znanje (engl. *knowledge representation*) i rasuđivanje (engl. *reasoning*) (Baader i Nutt, 2003). Deskriptivnom logikom opisujemo svijet na način da se prvo definiraju svi koncepti unutar domene (terminologija domene), a zatim svojstva i individue. Tako opisano znanje pohranjujemo u obliku ontologija i pomoću rasuđivanja iz zapisanog znanja izvodimo novo znanje. Izvođenje novog implicitno zapisanog znanja bazira se na klasifikaciji koncepata i individua. Klasifikacija koncepata određuje povezanost koncepata (podkoncept i nadkoncept relacija), a pripadnost individue konceptu određuje svojstva individue. U odnosu na prethodne modele predstavljanja znanja, deskriptivna logika posjeduje formalnu i na logici baziranu semantiku. U predikatnoj logici prvog reda, koncepti bi bili unarni predikati, relacije binarni predikati, a individue konstante. Za razliku od predikatne logike prvog reda, u deskriptivnoj logici rasuđivanje ima svojstvo da uvijek završava u konačnom vremenu, tj. da uvijek daje odgovor (engl. *decidability*). To ne jamči da ćemo odgovor dobiti u razumnom vremenu, pa je pitanje složenosti rasuđivanja u deskriptivnoj logici vrlo važno i predstavlja zasebno polje istraživanja.

Svojstveni jezik (engl. *attributive language*, skraćeno $\mathcal{AL}$ jezik) osnovni je jezik deskriptivne logike. Osnovu jezika čine atomički koncepti (zrakoplov, zona, putnik, osoblje) i atomička

svojstva (ima tip, ima ime, je zaposlen). Individue nastaju instanciranjem koncepata (npr. Ante je instanca koncepta putnik), a relacije nastaju instanciranjem svojstava (npr. Ante je zaposlen u zračnoj luci). Složeni koncepti i svojstva grade se uz pomoć konstruktora iz atomičkih.

Tablica 3-1: Sintaksa i semantika $\mathcal{AL}$ jezika (tablica proširena iz Obitko, 2007)

Sintaksa	Ime	Semantika	Opis
A	atomički koncept	$A^I \subseteq \Delta^I$	pojmovi iz stvarnosti, podskup domene
R	atomička relacija	$R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$	nastaju instanciranjem svojstava, binarna relacija
$\top$	univerzalni koncept	Δ^I	obuhvaća sve u domeni, domena
$\perp$	prazni koncept	$\emptyset$	ne obuhvaća niti jednu individuu u domeni, prazni skup
$\neg A$	atomička negacija	$\Delta^I \setminus A^I$	negacija atomičkog koncepta, komplement atomičkog koncepta
$C \sqcap D$	presjek dvaju koncepata	$C^I \cap D^I$	presjek dvaju skupova, individua zadovoljava više koncepata
$\forall R.C$	univerzalni kvantifikator	$\{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in R^I \rightarrow b \in C^I\}$	restrikcija na vrijednost relacije, skup individua za koje sve relacije R pokazuju na individue iz koncepta C
$\exists R.T$	egzistencijalni kvantifikator	$\{a \in \Delta^I \mid \exists b. (a, b) \in R^I\}$	restrikcija na vrijednost relacije, barem jedna relacija R izlazi iz individue

U sintaksi $\mathcal{AL}$ jezika velika slova A i B označavaju atomičke koncepte, C i D složene koncepte, a R atomičko svojstvo. Semantiku $\mathcal{AL}$ jezika definiramo pomoću domene Δ^I (neprazni skup) i interpretacijske funkcije $\cdot^I$ (funkcija preslikavanja), a što označavamo kao

par $(\Delta^I, \cdot^I)$. Funkcija $\cdot^I$ preslikava atomički koncept A u skup A^I , a koji je podskup Δ^I i atomičko svojstvo R preslikava u binarnu relaciju R^I koja je podskup $\Delta^I \times \Delta^I$. Individuu i preslikava u i^I , a koja je element od Δ^I . $\top$ predstavlja univerzalni koncept koji obuhvaća sve individue u domeni, a $\perp$ prazni koncept koji ne obuhvaća niti jednu individuu. U $\mathcal{AL}$ jeziku imamo sljedeće definicije funkcije interpretacije: $\neg A$ predstavlja atomičku negaciju, $C \sqcap D$ predstavlja presjek dvaju koncepata, $\forall R.C$ predstavlja restrikciju na vrijednost relacije, a $\exists R.T$ egzistencijalni kvantifikator. Tablica 3-1 navodi osnovne koncepte $\mathcal{AL}$ jezika s njihovom sintaksom, semantikom i opisom.

Najbolje je ilustrirati sintaksu $\mathcal{AL}$ jezika i njezinu izražajnost na jednom primjeru. U slučaju izvanredne situacije na zračnoj luci, neka su *Sudionik* i *Ozlijeđena osoba* dva atomička koncepta. Tada je $\text{Sudionik} \sqcap \text{Ozlijeđena osoba}$, koncept koji opisuje sve ozlijeđene sudionike. $\text{Sudionik} \sqcap \neg \text{Ozlijeđena osoba}$, predstavlja sve neozlijeđene sudionike. Neka je *evakuiran U* atomička relacija: tada $\text{Sudionik} \sqcap \exists \text{evakuiran } U.T$, opisuje sve evakuirane osobe, a $\text{Sudionik} \sqcap \forall \text{evakuiran } U.Zona trijaže$, opisuje sve osobe koje su evakuirane u Zonu trijaže.

Da bismo povećali izražajnost $\mathcal{AL}$ jezika, proširujemo ga s novim konstruktorima. Tako proširen jezik imenujemo dodavanjem početnog slova konstruktora. Npr. $\mathcal{AL}\mathcal{U}$ jezik je proširen s unijom. Što je više konstruktora, povećava se izražajnost jezika, ali se povećava i složenost rasuđivanja. Tablica 3-2 navodi primjere proširenja $\mathcal{AL}$ jezika.

Tablica 3-2: Primjeri proširenja $\mathcal{AL}$ jezika (tablica proširena iz Obitko, 2007)

Ime	Sintaksa	Semantika	Opis
$\mathcal{U}$	$C \sqcup D$	$C^I \sqcup D^I$	unija dva koncepata
$\mathcal{E}$	$\exists R.C$	$\{a \in \Delta^I \mid \exists b. (a, b) \in R^I \wedge b \in C^I\}$	neograničeni egzistencijalni kvantifikator
$\mathcal{N}$	$\geq nR$ $\leq nR$	$\{a \in \Delta^I \mid \{b \mid (a, b) \in R^I\} \geq n\}$ $\{a \in \Delta^I \mid \{b \mid (a, b) \in R^I\} \leq n\}$	ograničenje kardinaliteta svojstva (min i maksimalni broj relacija)
$\mathcal{C}$	$\neg C$	$\Delta^I \setminus C^I$	negacija složenih koncepata

OWL jezik koji se koristi za izradu ontologija u razvoju semantičke mreže zasnovan je na deskriptivnoj logici, a njegova verzija OWL-DL ima semantičku izražajnost jezika *SHOIN* ($\mathcal{D}$). S stoji za tranzitivnost, $\mathcal{H}$ za hijerarhiju svojstava, O za navođenje individua od kojih se koncepti sastoje, $\mathcal{N}$ za ograničenje kardinaliteta i $\mathcal{D}$ za tipove podataka (npr. cijeli broj, tekst i sl). Svi sustavi koji se baziraju na deskriptivnoj logici imaju jezik za postavljanje pravila (engl. *rules*) koji predstavlja mehanizam rasuđivanja, a koji se može isprogramirati te tako računala mogu rasuđivati.

Baza znanja (engl. *knowledge base*) u deskriptivnoj logici je uređeni par $(\mathcal{T}, \mathcal{A})$. $\mathcal{T}$ ili TBox predstavlja konačni skup izraza s terminologijom, tj. sadrži definiciju koncepata i svojstava. $\mathcal{A}$ ili ABox predstavlja konačni skup s individuama (instanciranim konceptima) i relacijama (instanciranim svojstvima). Koncepti opisuju skupove individua, a svojstva opisuju relacije među individuama.

U TBox se zapisuju izrazi koji govore o uključenosti jednog koncepta C (podkoncept) u drugi koncept D (nadkoncept):

$$C \sqsubseteq D$$

a izraz $C \equiv D$ govori da je:

$$C \sqsubseteq D \text{ i } D \sqsubseteq C$$

Ovisno o izražajnosti svojstvenog jezika koji koristimo (konstruktorima koje imamo na raspolaganju), u TBox se upisuju izrazi koji definiraju složene koncepte i svojstva.

Jedan primjer izraza u TBoxu, a koji govori o povezanost koncepata, tj. da je *Ozlijeđena osoba* podkoncept od *Sudionika*:

$$\textit{Ozlijeđena osoba} \sqsubseteq \textit{Sudionik}$$

ili izraz koji govori da ako je neka individua *Sudionik* i postoji bar jedna individua (iz univerzalnog koncepta T ili domene) u koju je *evakuirana*, tada je osoba evakuirana:

$$Evakuirani \equiv Sudionik \sqcap \exists evakuiran U.T$$

U ABox se zapisuju izrazi koji instanciraju koncept C u individuu a :

$$a: C$$

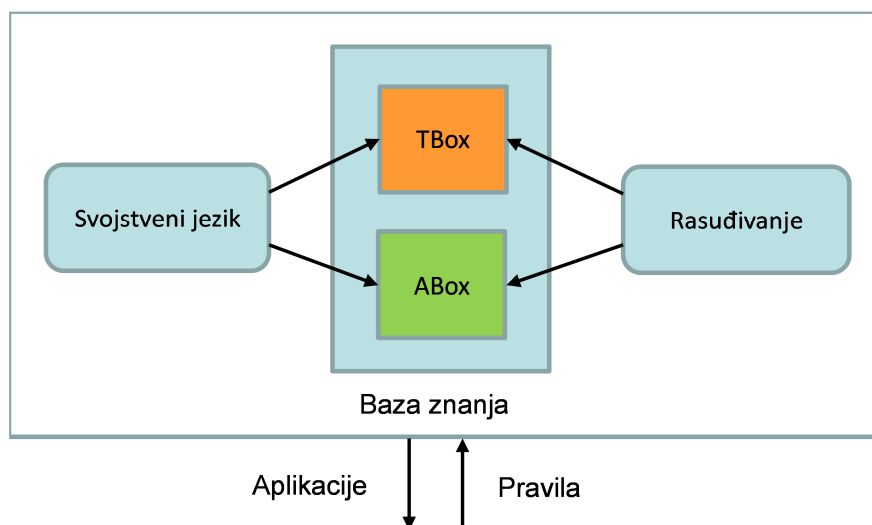
i instanciraju svojstvo između individua a i b u relaciju u R :

$$(a,b) : R$$

Jedan primjer izraza u ABoxu koji govori da je *Ante* (individua) *putnik* (koncept) i da je *evakuiran U* (relacija) u *Bolnicu Firule* (individua):

$$Ante : putnik, (Ante, Bolnica Firule):evakuiran U$$

Arhitektura baze znanja dana je na Slici 3-6. Baza znanja se sastoji od svojstvenog jezika koji predstavlja formalni jezik za izraze koji se nalaze u TBoxu i ABoxu, zatim od TBoxa i ABoxa i algoritma rasuđivanja. Kod implementacije baze znanja, ona predstavlja jednu komponentu računalne aplikacije s kojom ostale komponente komuniciraju, npr. pretražuju bazu znanja i mijenjaju izraze u TBoxu i ABoxu. Da bi se kontroliralo dodavanje i mijenjanje izraza, koristi se jezik postavljanja pravila.



Slika 3-6: Arhitektura baze znanja zasnovane na deskriptivnoj logici (Baader i Nutt, 2003)

Rasuđivanje se vrši na izrazima u TBoxu i ABoxu. Rasuđivanje na TBoxu ima zadatak odrediti podrazumijevanje (engl. *subsumption*), klasifikaciju (engl. *classification*), zadovoljivost (engl. *satisfiability*) i dr. Podrazumijevanje zaključuje je li neki koncept podkoncept ili nadkoncept drugog koncepta. Klasifikacija organizira sve koncepte u hijerarhiju, a zadovoljivost zaključuje je li neki koncept prazan skup, tj. nije zadovoljiv (u definiciji ima kontradikciju). Rasuđivanje na ABoxu ima zadatak odrediti konzistentnost (engl. *consistency*), provjeriti instance (engl. *instance checking*) i dr. Konzistentnost pronalazi kontradikcije u bazi. Npr. ako za neku individuu kažemo da se u trenutku T nalazi na lokaciji A i na lokaciji B, a u TBoxu smo definirali da se u jednom trenutku jedna individua može nalaziti samo na jednoj lokaciji, onda imamo kontradikciju. Provjera instanci provjerava pripadnost individue *a* konceptu *C*. Ove vrste rasuđivanja mogu se međusobno izvoditi, tj. implementacijom jednog rasuđivanja; ostala rasuđivanja možemo izračunati. Danas popularni programi za rasuđivanje, npr. Fact++, Pellet i Racer, koriste *tableau* algoritam koji ispituje zadovoljivost. Rasuđivanje se koristi kod stvaranja i održavanja ontologija (npr. za provjeru konzistentnosti), kod integracije ontologija (npr. za stvaranje zajedničke klasifikacije koncepata iz više ontologija) i kod korištenja ontologija (npr. za provjeru pripadnosti individua konceptima).

Deskriptivna logika prihvaća koncept otvorenog svijeta (engl. *open world assumption*) koji govori da znanje u bazi znanja nije cjelovito i da možda postoji tvrdnja koje nema u bazi znanja. To znači da ako se za nešto ne može dokazati da je istina, ne implicira da je to laž. Kod primjene relacijskih baza polazimo od suprotne pretpostavke, tj. koncepta zatvorenog svijeta (engl. *closed world assumption*). To znači da tvrdnje koje ne postoje u bazi smatramo neistinitima.

3.1.4 RDF model podataka

Zahvaljujući AAA sloganu sadašnje mreže, na mrežu u svakom trenutku dolaze novi podaci. Da bismo podatke, distribuirane po cijeloj mreži, mogli kvalitetnije koristiti i dijeliti, potrebno je razviti model podataka koji može upravljati distribuiranim podacima. RDF (Resource Description Framework) je novi model za distribuirane podatke i predstavlja temelj semantičke mreže. Svaki objekt, stvar, pojam i dr. o čemu želimo nešto napisati na mreži, u RDF modelu podataka nazivamo resurs (engl. *resource*).

Primjer koji slijedi objašnjava kako se podaci o književnim djelima iz Tablice 3-3 mogu distribuirati na više lokacija na mreži.

Tablica 3-3: Podaci o književnim djelima

Identifikator djela	Autor	Naslov	Vrsta
1	Parun	Crna maslina	zbirka pjesama
2	Neruda	16.	pjesma
3	Parun	Stablo	pjesma

RDF model koristi trojke (engl. *triples*), osnovni građevni element RDF-a. Svaka ćelija tablice je predstavljena jednom trojkom koje se mogu nalaziti svaka na svojoj lokaciji na mreži. Svaka trojka se sastoji od subjekta, predikata i objekta. U Tablici 3-3, identifikator reda je subjekt, ime stupca predikat, a sama vrijednost iz ćelije je objekt.

Npr. ćelija iz tablice:

	Naslov
1	Crna maslina

je predstavljena trojkom: (*Djelo1*, *imaNaslov*, *CrnaMaslina*);

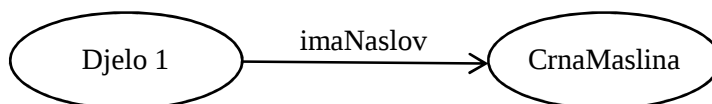
a ćelija iz tablice:

	Autor
1	Parun

je predstavljena trojkom: (*Djelo1*, *imaAutora*, *Parun*).

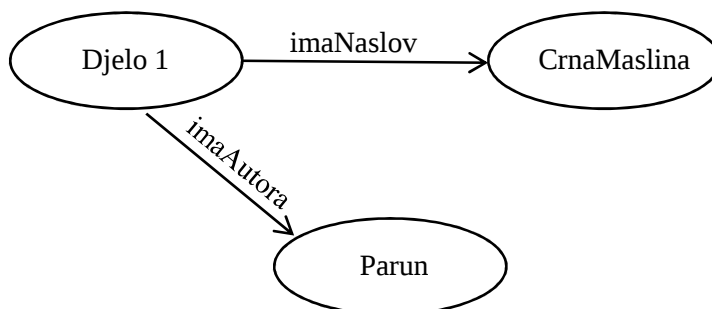
Naziv stupca koji predstavlja predikat u trojci se pretvara u glagol, a da bi se cijela trojka mogla čitati kao rečenica. Npr. *Djelo 1* ima naslov *Crna maslina*. Da trojke ne bi sadržavale razmake između riječi, koristi se InterCap konvencija ili način pisanja CamelCase koji umjesto razmaka svaku novu riječ počinje velikim slovom. Tako se *Crna maslina* piše *CrnaMaslina*, a *ima autora* se piše *imaAutora*.

Trojke se mogu predstaviti usmjerenim grafom (engl. *directed graph*). Subjekt i objekt se prikazuju čvorovima, a predikat je usmjereni veza od subjekta prema objektu. Npr. trojka (*Djelo 1*, *imaNaslov*, *CrnaMaslina*) ima usmjereni graf prikazan na Slici 3-7.



Slika 3-7: Usmjereni graf za trojku: (*Djelo1*, *imaNaslov*, *CrnaMaslina*)

Neka se trojke: (*Djelo1*, *imaNaslov*, *CrnaMaslina*) i (*Djelo1*, *imaAutora*, *Parun*) nalaze na dvije lokacije na mreži. Da bi se tako distribuirani podaci ponovno ujedinili, koristi se postupak spajanja usmjerenih grafova, na način da se spajaju isti čvorovi. Takav ujedinjeni usmjereni graf, nastao spajanjem ove dvije trojke izgleda kao na Slici 3-8.



Slika 3-8: Ujedinjeni usmjereni graf za trojke:
(*Djelo1*, *imaNaslov*, *CrnaMaslina*) i (*Djelo1*, *imaAutora*, *Parun*)

Da bi se usmjereni grafovi mogli spajati, mora se znati kada čvorovi iz jednog grafa odgovaraju čvorovima iz drugog. Rješenje ovog problema u RDF modelu je u korištenju URI-a. Dakle, da bi se distribuirani podaci mogli ponovno ujediniti, potrebno je za subjekte, predikate i objekte iz trojki koristiti identifikatore resursa na mreži, a to su URI-ji. Sada se može zaključiti da čvor iz jednog grafa odgovara čvoru iz drugog, kada ima isti URI.

Trojke iz primjera, ako se koriste URI-ji, izgledaju ovako na mreži (navedeni URI-ji ne postoje u stvarnosti):

(<http://www.knjige.hr/djela#Djelo1>, <http://www.knjige.hr/djela#imaNaslov>,
<http://www.knjige.hr/djela#CrnaMaslina>)

(<http://www.knjige.hr/djela#Djelo1>, <http://www.atori.hr/knjizevnici#imaAutora>,
<http://www.atori.hr/knjizevnici#Parun>)

Da bi se olakšalo pisanje, koristi se skraćeni oblik pisanja URI-a (engl. *qnames*). URI se dijeli u dva dijela: prvi dio sadrži kraticu (engl. *namespace*) koja zamjenjuje domen i putanju do resursa; drugi dio je identifikator resursa, a između se stavlja dvotočka. Npr. ako se za <http://www.knjige.hr/djela#> uvede kratica *knj*, onda će URI <http://www.knjige.hr/djela#Parun> skraćeno glasniti: *knj: Parun*. U primjeru se koriste URI-ji koji se nalaze na dvije lokacije na mreži, tj. književnici dolaze s lokacije <http://www.atori.hr/knjizevnici#> kojoj će se dati kratica *aut*. Ovdje vidimo da čak unutar jedne trojke podaci mogu dolaziti s više lokacija. Sada trojke iz primjera izgledaju ovako:

(*knj:Djelo1*, *knj:imaNaslov*, *knj:CrnaMaslina*)
(*knj:Djelo1*, *aut:imaAutora*, *aut: Parun*)

W3C grupa uvela je standardne kratice lokacija na kojima se nalaze resursi tih standarda:

- *rdf* je kratica za www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#
- *rdfs* je kratica za www.w3.org/2000/01/rdf-schema#
- *owl* je kratica za www.w3.org/2002/07/owl#

Za prikaz RDF trojki u tekstualnom obliku koriste se različite sintakse. N-Triples sintaksa zapisuje trojke točno onako kako su definirane, s punim URI-jima i jedna trojka u jednom redu. Da bi trojke bile lakše za čitanje i ispis, koristi se sintaksa Turtle koja na početku zapisa uvodi kratice za lokacije, kod ponavljanja subjekta i predikata uvodi skraćeni zapis, standardne predikate zamjenjuje kraticama i dr. Trojke iz primjera u Turtle sintaksi izgledaju ovako:

@prefix knj: <http://www.knjige.hr/djela#>

@prefix aut: <http://www.atori.hr/knjizevnici#>

knj:Djelo1 knj:imaNaslov knj:CrnaMaslina;

aut:imaAutora, aut: Parun.

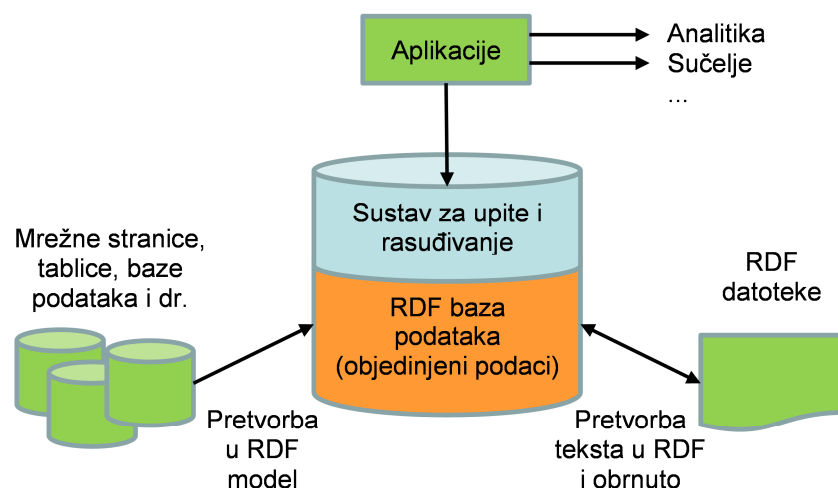
RDF/XML sintaksa koristi XML strukturu zapisa i preporučena je od W3C grupe. Detaljni opis RDF/XML sintakse se nalazi u (W3C, 2004b). Trojke iz primjera u RDF/XML sintaksi izgledaju ovako:

```
<rdf:RDF
xmlns:knj="http://www.knjige.hr/djela#"
  xmlns:aut="http://www.autori.hr/knjizevnici#"
  <knj:Djelo
rdf:about="http://www.knjige.hr/djela#Djelo1">
  <knj:imaNaslov>Crna maslina</knj:imaNaslov>
  <aut:imaAutora> Parun </aut:imaAutora>
  </knj:Djelo>
</rdf:RDF>
```

Objekt u RDF trojci može biti resurs na mreži definiran URI-em ili alfa-numerički podatak. U gornjem primjeru RDF/XML zapisa, naslov pjesme *Crna maslina* i naziv autora *Parun* su alfa-numerički podaci. Ako se želi nešto reći o stvari za koju ne postoji URI, to se može uz pomoć tzv. praznog čvora (engl. *blank node*) koji se u Turtle sintaksi označava s ? i stavlja unutar uglatih zagrada.

Da bismo izradili aplikaciju koja će koristiti podatke distribuirane na mreži, u RDF modelu potrebne su sljedeće komponente (Slika 3-9):

- RDF baza podataka (engl. *RDF store*)
- Sustav za upite i rasuđivanje nad RDF podacima (engl. *inference and query engine*)
- Alati za pretvorbu podataka u RDF model (engl. *converters and scrapers*)
- Alati za pretvorbu tekstualnog zapisa u RDF i obrnuto (engl. *parsers and serializers*)
- Aplikacijski kod



Slika 3-9: Arhitektura semantičke mreže (Allemang i Hendler, 2011)

RDF baza podataka omogućuje pohranu i upravljanje podacima u obliku trojki. Ona objedinjuje podatke iz više izvora (engl. *data federation*) te se sada upiti i rasuđivanje vrše nad RDF bazom umjesto nad različitim formatima i modelima podataka. Danas postoji više komercijalnih i slobodnih RDF baza podataka, npr. Bigdata, OWLIM, TDB (Jena), Virtuoso, AllegroGraph, Sesame, Oracle i dr. Sustav za upite i rasuđivanje omogućuje dohvat podataka iz RDF baze te izvođenje novih podataka iz onih pohranjenih u bazi. SPARQL je standardni jezik za upite nad RDF podacima i bit će detaljnije opisan u sljedećem poglavlju. Alati za pretvorbu podataka u RDF model (engl. *converters and scrapers*) pretvaraju podatke iz tablica, relacijskih baza, mrežnih stranica i dr. u RDF. Ako se trojke nalaze u tekstualnim datotekama *.rdf*, koriste se alati za pretvorbu tekstualnog zapisa u RDF bazu (engl. *parsers*). Za obrnuti postupak, tj. za pretvorbu trojki iz RDF baze u tekstualnu datoteku koristi se serializacija (engl. *serialization*). Postoje već standardne sintakse za tekstualni zapis trojki, npr. RDF/XML ili Turtle. Kroz aplikacijski kod izradit će se korisničko sučelje, potrebne analize i prikaz podataka, a podaci se dohvaćaju iz RDF baze putem SPARQL upita istovjetno SQL upitima kod relacijskih baza. Iako se koriste podaci iz različitih izvora, različitih struktura, formata i schema, aplikacijski kod o tome ne mora voditi računa jer su podaci prethodno objedinjeni u RDF bazi.

3.1.5 SPARQL upiti

Za pristupanje RDF podacima koristimo SPARQL (SPARQL Protocol And RDF Query Language) jezik za upite. To je standard W3C grupe (W3C, 2008) koji koristi Turtle sintaksu u pisanju upita. Za razliku od SQL, u SPARQL upitima se ne definiraju međusobne veze između podataka (engl. *cross-references*) jer RDF model podataka te veze sadrži u samim podacima, tj. trojkama. Struktura SPARQL upita odgovara SQL upitima. Koriste se iste ključne riječi, npr. Select, Where, Distinct, Filter, Order by, Limit, Desc, Asc, Count, Group by, Having, Union i dr. koje imaju isto značenje kao i u SQL-u. U SPARQL upit se upisuju trojke, a za traženi podatak se upisuje varijabla (slobodno odabrana riječ koja počinje sa znakom ?). Npr, za podatke iz prethodnog poglavlja jedan SPARQL upit izgleda ovako:

```
SELECT ?što
WHERE {?što knj:imaNaslov knj:CrnaMaslina}
```

Dio unutar *Where* dijela zovemo uzorak grafa (engl. *graph pattern*). On se uspoređuje s trojkama u RDF bazi ili grafom podataka (engl. *data graph*). Rezultat gornjeg SPARQL upita je *knj:Djelo1* jer u RDF bazi postoji trojka (*knj:Djelo1*, *knj:imaNaslov*, *knj:CrnaMaslina*), odnosno na mjestu *?što* iz upita u RDF bazi stoji *knj:Djelo1*. Jedan složeniji upit izgleda ovako:

```
SELECT ?zbirka ?pjesma
WHERE {?zbirka aut:imaAutora aut:Parun .
      ?zbirka knj:jeTip knj:LjubavnePjesme .
      ?pjesma knj:izZbirke ?zbirka}
```

Sve tri trojke u *Where* dijelu trebaju se zadovoljiti, tj. treba se naći dio iz grafa podataka koji se podudara s ove tri trojke. Tako će se dobiti nazivi zbirke i nazivi pjesama, a da je autorica zbirke Vesna Parun, da se radi o zbirkama ljubavnih pjesama i da su pjesme iz tih zbirki. Redoslijed trojki u *Where* dijelu ne utječe na rezultat, ali utječe na brzinu izvođenja pretraživanja. Pretraživanje se izvodi trojka po trojka, odozgo prema dolje. Prvo se traže sve trojke koje zadovoljavaju prvu trojku u *Where* dijelu, a zatim se iz tog podskupa traže sve trojke koje zadovoljavaju drugu trojku i tako dalje. Zbog toga se u prve trojke stavljaju one

koje biraju manji skup trojki, tj. one s po jednom nepoznanicom, a u zadnje one s više nepoznanica. Tako se brže smanjuje broj trojki koje se pretražuju, a pretraživanje ubrzava.

RDF baza podataka ima svoju shemu podataka pohranjenu zajedno s ostalim podacima u obliku trojki. Kako pomoću SPARQL upita možemo doći do nje? Npr. sljedećim upitom može se vidjeti koje sve klase podatka postoje u RDF bazi (što odgovara entitetima u relacijskoj bazi):

```
SELECT DISTINCT ?klasa  
WHERE {?nešto rdf:type ?klasa}
```

Riječ *?nešto* zamjenjuje bilo koji podatak na mjestu subjekta, a *rdf:type* je standardno svojstvo koje govori da neka stvar ili pojam pripada nekoj klasi. Ako bismo htjeli naći sva svojstva koja postoje u RDF bazi (što odgovara nazivima stupaca u relacijskoj bazi), postavljamo sljedeći upit:

```
SELECT DISTINCT ?svojstvo  
WHERE {?subjekt ?svojstvo ?objekt}
```

Riječ *?subjekt* zamjenjuje bilo koji podatak na mjestu subjekta, a *?objekt* bilo koji podatak na mjestu objekta. Tako će svi mogući predikati biti odabrani.

Tri tipa SPARQL upita prema početnoj ključnoj riječi koja se koristi i odgovoru koji se dobiva su sljedeća:

- *Select* upiti, odgovor je u obliku tablice s jednim ili više stupaca
- *Ask* upiti, odgovor je da ili ne
- *Construct* upiti, odgovor su novonapravljene trojke koje se pohranjuju u RDF bazu ili u tekstualnu datoteku *.rdf*

SPARQL upiti tipa *Construct* koriste se za izradu pravila kojima iz postojećih podataka u RDF bazi stvaramo nove podatke. Pravila mogu biti:

- Pravila kompletnosti (engl. *completeness rules*)
Npr. ako je Vesna Antičina kći, onda je Antica Vesnina majka.

- Logička pravila (engl. *logic rules*)
Npr. ako je Sokrat čovjek, a ljudi smrtni, onda je Sokrat smrtan.
- Definicije (engl. *definitions*)
Npr. ako je Antina sestra Marijina mama, tada je Ante Marijin ujak.
- Poslovna pravila (engl. *business rules*)
Npr. svi kupci koji su potrošili više od 5.000 su veliki kupci.

Npr. pravilo da ako je netko čovjek onda je smrtan, možemo izreći SPARQL *Construct* upitom:

```
CONSTRUCT {?netko rdf:type bio:Smrtan}
WHERE {?netko rdf:type bio:Čovjek}
```

Rasuđivanje u semantičkoj mreži zasniva se na pravilima koji su zapravo SPARQL *Construct* upiti. Daljnja razrada pravila za rasuđivanje (engl. *inference rules*) nalazi se u RDFS i OWL jezicima i dalje u RIF/SWRL jezicima.

3.1.6 RDFS

RDF model podataka daje mogućnost objedinjavanja podataka iz više izvora, ali time ne nestaju semantičke razlike koje se nalaze u podacima. Npr. želimo napisati jedan upit koji će odabrati odgovarajuće podatke iz objedinjenih, ali semantički heterogenih podataka u RDF bazi. U ideji semantičke mreže to se rješava pomoću RDF sheme (RDFS) i OWL jezika kojima se modeliraju veze između podataka iz različitih izvora i pišu pravila rasuđivanja. U RDFS-u postoji svega nekoliko pravila koja klasificiraju koncepte i svojstva, dok se u OWL jeziku detaljno opisuju klase pomoću vrijednosti njihovih svojstava. I RDFS i OWL su standardi W3C grupe, a njihove specifikacije se nalaze na mreži (W3C, 2004a; W3C, 2012c).

RDFS jezik se sastoji od nekoliko RDF resursa (klasa i svojstava) kojima možemo opisati ostale RDF resurse. *Rdfs* i *rdf* su kratice za lokacije na kojima se nalaze resursi RDFS jezika i RDF-a. Uz pomoć RDFS resursa, koncepte i svojstva slažemo u hijerarhije i određujemo veze između njih. To radimo tako da konstruiramo trojke koristeći *rdfs* klase i svojstva te ih

zapisujemo u RDF bazu zajedno s podacima. U Tablici 3-4 opisane su osnovne RDFS klase, a u Tablici 3-5 RDFS svojstva.

Tablica 3-4: Osnovne RDFS klase

Naziv klase	Opis klase
rdfs:Resource	Svaki objekt, stvar, pojam i dr. o čemu imamo informaciju na mreži, u RDF-u nazivamo resurs (engl. <i>resource</i>). Zato je klasa <i>rdfs:Resources</i> klasa svega na mreži. Sve ostale klase su podklase ove klase.
rdfs:Class	Resursi na mreži se mogu podijeliti u grupe zvane klase. Ako neki resurs predstavlja klasu, onda ga definiramo kao člana klase <i>rdfs:Class</i> .
rdf:Property	Ako je neki resurs na mreži svojstvo, onda ga definiramo kao člana klase <i>rdf:Property</i> .
rdfs:Datatype	Ako neki resurs na mreži opisuje tip podatka (npr. cijeli broj, datum i sl.), onda pripada klasi <i>rdf:Datatype</i> . To ne može biti ni subjekt ni predikat, već samo objekt u RDF trojci.
rdfs:Literal	Ako je neki resurs predstavljen s pisanom vrijednošću (npr. brojkama i slovima), onda je član ove klase.
rdf:XMLLiteral	Ako je neki resurs predstavljen pisanom vrijednošću u XML formatu, onda je član ove klase.

Tablica 3-5: Osnovna RDFS svojstva

Naziv svojstva	Opis svojstva	Domena	Kodomena
rdf:type	Subjekt je instanca klase. Npr. R <i>rdf:type</i> C govori da je R instanca klase C.	rdfs:Resource	rdfs:Class
rdfs:subClassOf	Subjekt je podklasa klase. Npr. C1 <i>rdfs:subClassOf</i> C2 govori da je klasa C1 podklasa klase C2.	rdfs:Class	rdfs:Class
rdfs:subPropertyOf	Subjekt je podsvojstvo svojstva. Npr. P1 <i>rdfs:subPropertyOf</i> P2 govori da je svojstvo P1 podsvojstvo svojstva P2.	rdf:Property	rdf:Property
rdfs:domain	Domena svojstva. Npr. P <i>rdfs:domain</i> C govori da su subjekti u trojkama gdje je svojstvo P predikat, instance klase C.	rdf:Property	rdfs:Class

Naziv svojstva	Opis svojstva	Domena	Kodomena
rdfs:range	Kodomena svojstva. Npr. P <i>rdfs:range</i> C govori da su objekti u trojkama gdje je svojstvo P predikat, instance klase C.	rdf:Property	rdfs:Class
rdfs:label	Ime resursa pogodno za pisanje ili čitanje. Npr. R <i>rdfs:label</i> L govori da resurs R možemo pisati sa L.	rdfs:Resource	rdfs:Literal
rdfs:comment	Opis resursa. Npr. R <i>rdfs:comment</i> L govori da je L opis resursa R pogodan za čitanje.	rdfs:Resource	rdfs:Literal
rdfs:seeAlso	Daljnje informacije o resursu. Npr. S <i>rdfs:seeAlso</i> O govori da resurs O daje dodatne informacije o S.	rdfs:Resource	rdfs:Resource
rdfs:isDefinedBy	Definicija resursa. Npr. S <i>rdfs:isDefinedBy</i> O govori da resurs O definira S.	rdfs:Resource	rdfs:Resource

RDFS svojstvo *subClassOf* koristi se za izgradnju hijerarhija klasa, a *subPropertyOf* za izgradnju hijerarhija svojstava. Svojstva su neovisna od klasa (za razliku od objektno-orijentirane paradigme gdje svojstvo ne postoje bez pripadne klase). Nasljeđivanje u RDF hijerarhijama klasa i svojstava ide odozdo prema gore, tj. od detaljnog prema općem (za razliku od objektno-orijentirane paradigme gdje nasljeđivanje ide odozgo prema dolje, tj. od opće klase prema detaljnim).

Nakon što je definirana hijerarhija klasa i svojstava, pomoću SPARQL *Construct* upita mogu se napisati pravila za nasljeđivanje članstva u klasama i svojstvima. Npr. ako je klasa A podklasa klase B i *r* instanca klase A, tada je *r* instanca klase B. Tako je iz postojeće dvije trojke, *Construct* upitom nastala nova trojka koja govori da je *r* instanca klase B:

```
CONSTRUCT {?r rdf:type ?B}
WHERE {?A rdfs:subClassOf ?B .
      ?r rdf:type ?A}
```

Za nasljeđivanje svojstava, odozdo prema gore po hijerarhiji svojstava, imamo SPARQL *Construct* upit:

```

CONSTRUCT {?x ?r ?y}
WHERE {?x ?q ?y .
      ?q rdfs:subpropertyOf ?r}

```

Ako zamislimo da je svojstvo *jeBrat*, podsvojstvo svojstva *jeRođak* i da je Ivo brat od Darka, tada je Ivo rođak od Darka i upravo je to nova trojka koja je nastala gornjim pravilom koje sada izgleda:

```

CONSTRUCT {Ivo jeRođak Darko}
WHERE {Ivo jeBrat Darko .
      jeBrat rdfs:subpropertyOf jeRođak}

```

RDFS svojstva domene (engl. *domain*) i kodomene (engl. *range*) koristimo za filtriranje i klasificiranje podataka jer prema sudjelovanju subjekta ili objekta u relaciji zaključujemo kojoj klasi pripadaju. Za razliku od objektno-orijentirane paradigme, svojstva domene i kodomene ne služe za ispitivanje ispravnosti podataka, tj. ne ograničavaju sudjelovanje resursa u relaciji, baš suprotno: svaki resurs može sudjelovati u svakoj relaciji.

Sa svega nekoliko RDFS klasa i svojstava može se riješiti više problema u objedinjavanju podataka iz različitih izvora:

- Usklađenje terminologija (engl. *terminology reconciliation*) koje se koriste u različitim izvorima podataka rješavamo uz pomoć *subPropertyOf* ili *subClassOf* svojstava. Umjesto da zamjenjujemo jedan termin drugim, stavljamo ih u relaciju. Npr. termine istraživač i znanstvenik povezujemo na način da kažemo da je znanstvenik općenitiji termin od istraživača što u RDFS jeziku glasi: istraživač *rdfs:subClassOf* znanstvenik. Sada će rasuđivanje povezivati termine, podaci se ne moraju mijenjati, a to znači da se ne moraju mijenjati ni postojeće aplikacije koje koriste ove podatke.
- Objedinjavanje podataka na razini instanci treba nam kada podaci dolaze iz dva izvora, a imaju isto značenje. To se RDFS-om rješava uvođenjem nove klase. Npr. u jednom izvoru postoji klasa *Radnici*, a u drugom klasa *Zaposlenici*. Možemo uvesti novu klasu *ZaposleneOsobe* i reći:

```

Radnici rdfs:subClassOf ZaposleneOsobe
Zaposlenici rdfs:subClassOf ZaposleneOsobe

```

Sada će sve instance koje dolaze iz jednog ili drugog izvora pripadati jednoj klasi *ZaposleneOsobe* i s njima ćemo raditi na isti način.

- Filtriranje i klasificiranje podataka uz pomoć svojstava domene i kodomene, tj. prema sudjelovanju subjekta ili objekta u relaciji zaključujemo kojoj klasi pripadaju. Tako možemo podatke koji dolaze iz različitih izvora klasificirati u nove, iste klase, i s njima raditi na isti način.

3.1.7 OWL

Za složenije rasuđivanje, čija svrha nije samo objedinjavanje podataka, već npr. dobivanje podataka i o modelu podataka, RDFS se proširuje s OWL konstruktorima. Svaki OWL konstruktor se definira *Construct* upitom u SPARQL jeziku na isti način kao što je pokazano za RDFS konstruktore u poglavlju 3.1.6. OWL jezik je standard W3C grupe i njegove specifikacije se nalaze na mrežnim stranicama W3C grupe, npr. pregled i priručnik OWL jezika nalaze se u (W3C, 2009b; W3C, 2012a). U Tablici 3-6 su opisani osnovni OWL konstruktori.

Tablica 3-6: Odabrani osnovni OWL konstruktori

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
Klase svojstva	
owl:TransitiveProperty	Ako je P tranzitivno svojstvo, instance A i B u relaciji P i instance B i C u relaciji P, tada se zaključuje da su instance A i C isto u relaciji P.
owl:SymmetricProperty	Ako je P simetrično svojstvo i instance A i B u relaciji P, tada se zaključuje da je i B u relaciji P s instancom A.
owl:FunctionalProperty	Funkcijsko svojstvo govori da subjekt jedinstveno određuje objekt. Npr. ako je P funkcijsko svojstvo i instance A i B te A i C u relaciji P, tada se izvodi da instance B i C predstavljaju isti resurs.
owl:InverseFunctionalProperty	Inverzno-funkcijsko svojstvo govori da objekt jedinstveno određuje subjekt (injektivnost). Npr. ako je P inverzno-funkcijsko svojstvo i instance A i B te C i B u relaciji P, tada se izvodi da instance A i C predstavljaju isti resurs.
owl:ObjectProperty	Ako je svojstvo P tipa ObjectProperty, onda ono povezuje instancu s instancom.

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
owl:DatatypeProperty	Ako je svojstvo P tipa DataProperty, onda ono povezuje instancu s podatkom.
Jednakost	
owl:equivalentClass	Dvije klase sadrže isti skup instanci.
owl:equivalentProperty	Dva svojstva su jedno drugom podsvojstva. To ne znači da su dva svojstva jednaka, tj. da imaju isto značenje.
owl:sameAs	Dvije instance su iste, tj. njihovi URI identifikatori opisuju istu stvar.
Restrikcije	
owl:Restriction	Svojstvo restrikcije služi za definiranje klasa na način da je neki resurs član klase ako zadovoljava uvjet postavljen restrikcijom. Takve klase se nazivaju restriksijske klase.
owl:onProperty	Povezuje restrikciju s određenim svojstvom.
owl:hasValue	Određuje instance ili vrijednosti koje svojstvo restrikcije treba poprimiti na način da sve instance za svojstvo P imaju vrijednost A.
owl:someValuesFrom	Određuje instance ili vrijednosti koje svojstvo restrikcije treba poprimiti na način da sve instance imaju barem jednu vrijednost svojstva P koja dolazi iz klase C.
owl:allValuesFrom	Određuje instance ili vrijednosti koje svojstvo restrikcije treba poprimiti na način da instance imaju sve vrijednosti svojstva P iz klase C.
Operacije nad skupovima	
owl:unionOf	Povezuje klasu s listom klasa na način da određuje klasu čiji članovi su članovi barem jedne klase iz liste klasa.
owl:intersectionOf	Povezuje klasu s listom klasa na način da određuje klasu čiji članovi su članovi svih klasa iz liste klasa.
owl:complementOf	Određuje klasu kao komplement klase O (objekt u tvrdnji). Nova klasa ima članove koji nisu članovi klase O.
Zatvaranje otvorenog svijeta	
owl:oneOf	Određuje klasu čiji članovi su članovi liste (objekt u tvrdnji), niti više niti manje.
owl:differentFrom	Dvije instance su različite, tj. njihovi URI identifikatori opisuju različite stvari.
owl:disjointWith	Klase nemaju zajedničke članove, tj. ne postoje instance koje bi bile članovi obiju klasa.
owl:cardinality	Tip restrikcije koji opisuju klasu sa točno N semantički različitih članova (za zadano svojstvo).

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
owl:minCardinality	Tip restrikcije koji opisuju klasu s minimalno N semantički različitih članova (za zadano svojstvo).
owl:maxCardinality	Tip restrikcije koji opisuju klasu s maksimalno N semantički različitih članova (za zadano svojstvo).

Na koja pitanja se može odgovoriti uz pomoć OWL konstruktora? Nekoliko karakterističnih zadataka OWL rasuđivanja je objašnjeno u nastavku.

Za rasuđivanje o tome jesu li dva resursa ista, koristimo *FunctionalProperty* i *InverseFunctionalProperty* svojstva. Npr. ako svojstvo *imaOca* proglasimo funkcionalnim, što znači da netko može imati samo jednog oca, imamo sljedeće trojke:

```
fam:imaOca rdf:type owl:FunctionalProperty
fam:Ana fam:imaOca fam:Ivo
fam:Ana fam:imaOca fam:Ivan
```

rasuđivanje će zaključiti da su Ivo i Ivan iste osobe, tj. rasuđivanje će konstruirati sljedeću trojku:

```
fam:Ivo owl:sameAs fam:Ivan
```

InverseFunctionalProperty igra ulogu sličnu primarnim ključevima u relacijskim bazama (za razliku od relacijske paradigme ovdje nema ograničenja da isti resurs sudjeluje u više relacija). Ako dva različita resursa sudjeluju kao subjekti u relaciji koja ima svojstvo *InverseFunctionalProperty*, zaključuje se da ti resursi predstavljaju isti entitet. Primjeri svojstava koji su inverzno-funkcionalni razni su identifikacijski brojevi, npr. OIB, serijski broj i sl. Npr. ako svojstvo *imaOIB* proglasimo inverzno-funkcionalnim i imamo sljedeće trojke:

```
fam:imaOIB rdf:type owl:InverseFunctionalProperty
fam:Ana fam:imaOIB fam:56894587215
fam:Ankica fam:imaOIB fam: 56894587215
```

rasuđivanje će zaključiti da su Ana i Ankica iste osobe, tj. rasuđivanje će konstruirati sljedeću trojku:

fam:Ana owl:sameAs fam:Ankica

Kombinacijom više konstruktora dobivamo sve bogatije mogućnosti modeliranja podataka. Kombinacijom *inverseOf* i *subPropertyOf* možemo povezati klasifikacije iz različitih izvora podataka i stvoriti novu objedinjenu klasifikaciju. Kombinacijom *TransitiveProperty* i *subPropertyOf* modeliramo ulančane resurse. Restrikcije služe za klasificiranje uz pomoć definiranih svojstava: npr. neki resurs *r* je član klase *A* ako zadovoljava uvjet postavljen restrikcijom *R*. Restrikcije su ključni OWL konstruktori jer je ideja OWL modela da se članstvo u klasi ne definira eksplicitno, već da se dobije rasuđivanjem iz svojstava. Klase dobivene restrikcijama se zovu restriksijske klase (engl. *restriction classes*). Restrikcija tipa *hasValue* predstavlja glavni konstruktor koji uspostavlja vezu između instance i klase. Kombinacijom restrikcija na svojstvima *subPropertyOf* i *subClassOf*, mogu se modelirati složene relacije između svojstava, klasa i individua. Hijerarhija klasa se isto ne definira eksplicitno u modelu, već se izvodi rasuđivanjem iz upisanih svojstava (npr. unija, presjek, komplement, restrikcija i dr).

Kod rasuđivanja može doći do toga da novokonstruirane trojke i one upisane u model postanu kontradiktorne (ne mogu sve biti istina). Tada kažemo da je model logički nekonzistentan. U takvom modelu, neke klase ne mogu imati članove (niti jedna instanca ne može zadovoljiti uvjete te klase jer su uvjeti kontradiktorni) i takve klase zovemo nezadovoljive klase (engl. *unsatisfiable classes*).

OWL jezik ima tri inačice koje se razlikuju po ekspresivnosti. OWL Lite inačica ima najmanju ekspresivnost i ona prvenstveno služi za definiranje klasifikacija i postavljanje jednostavnih uvjeta. OWL DL daje maksimalnu ekspresivnost uz uvjet da je rasuđivanje izračunljivo, tj. da uvijek daje odgovor. Izračunljivost se osigurava određenim ograničenjima, npr. svojstva koja su tranzitivna ne mogu imati restrikciju na broj članova, tj. kardinalnost. OWL Full inačica daje maksimalnu slobodu u korištenju OWL konstruktora, ali ne garantira izračunljivost.

OWL jezik ima i svoje podskupove, tj. verzije jezika koje imaju isti skup konstruktora, ali se razlikuju po algoritmu rasuđivanja. To su OWL 2 EL, OWL 2 QL i OWL 2 RL i njihov opis

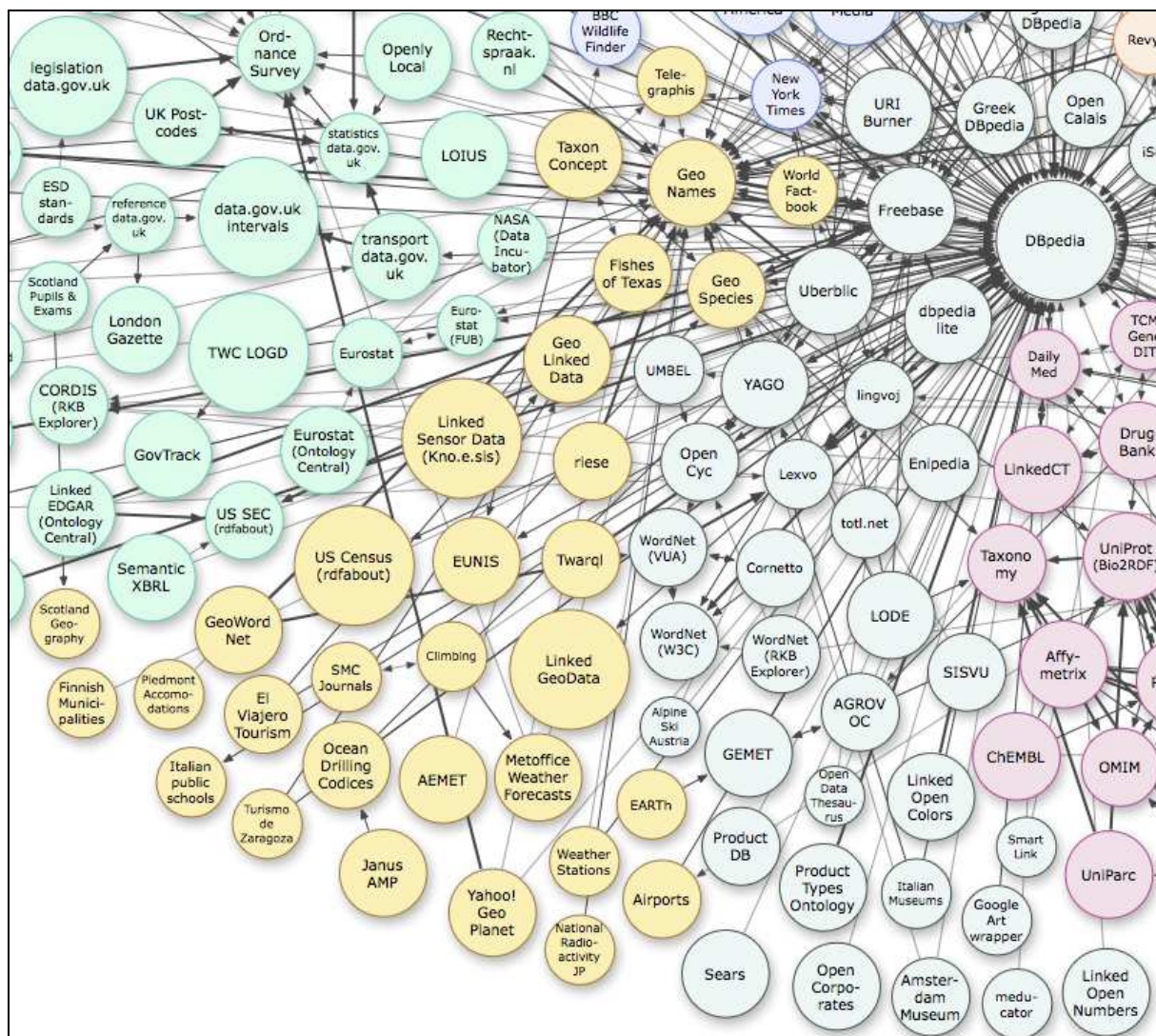
se nalazi na mrežnoj stranici (W3C, 2012b). EL podskup koristi polinomsko-vremenske algoritme (engl. *polynomial time algorithms*), QL koristi konjuktivne upite (engl. *conjunctive queries*) i RL koristi proširenje na pravila (engl. *rule-extended*).

3.1.8 Postojeći sustavi

Svakodnevno se na mreži objavljuju nove ontologije i podaci u RDF modelu. Nekoliko primjera je opisano u nastavku: od javnih baza podataka objavljenih u RDF modelu, malih ontoloških shema koje se koriste za opisivanje sadržaja na mreži, do velikih ontologija koje opisuju čitava područja ljudskog djelovanja. Pojam Linked data je prerastao u projekt u kojem organizacije povezuju svoje podatke uz pomoć semantičke mreže. U kolovozu 2011. ovim načinom su spojeni podaci iz 295 skupova podataka i oni sadrže 31,6 milijardu trojki (Linked Data community, 2014). Dio oblaka skupova podataka koji sadrže geografske podatke prikazan je na Slici 3-10. Sa slike je vidljivo da skup podataka GeoNames od svih geografskih podataka ima najviše veza prema drugim podacima.

Da bi podaci bili dostupni i razumljivi što većem broju korisnika, javne administracije su zajedno počele objavljivati svoje podatke i metapodatke u RDF modelu podataka (npr. Velika Britanija, Sjedinjene Američke Države, Svjetska banka, Ujedinjeni narodi). To je omogućilo njihovo povezivanje s ostalim podacima kao npr. Wikipedia, Google, podacima iz elektronskih medija i sl. Vidi (U.K. Government, 2014) i (U.S. Government's open data, 2014).

Sasvim druga vrsta primjene semantičke mreže je Open Graph Protocol koji koristi Facebook društvena mreža za tzv. "*lajkanje*" mrežnih resursa. Sličnu primjenu ima Good Relations Ontology koja se koristi za opisivanje poslovnih informacija na mreži i koriste je mrežni pretraživači, npr. Yahoo! i Google.



Slika 3-10: Dio oblaka povezanih geografskih podataka (Linked Data community, 2014)

Globalni projekt Simple Knowledge Organization System (SKOS) je projekt W3C grupe koji omogućava predstavljanje znanja uz pomoć rječnika, sinonima, taksonomija i dr. ali na distribuirani način. To znači da se uz pomoć koncepta semantičke mreže to znanje lako proširuje, dodaju se rječnici drugih organizacija i povezuju s onim već objavljenim (koristeći semantičke relacije *skos:broader*, *skos:narrower* i *skos:related*). Još jedan globalni projekt je Quantities/Units/Dimensions/Types. To je mrežni resurs koji opisuje mjerne jedinice iz svih mjernih sustava i omogućava njihovu konverziju. Open Biological and Biomedical Ontologies (OBO) je skup ontologija s velikom količinom znanja i podataka iz biomedicine i biologije. Osim što jednoznačno opisuju biomedicinske koncepte, ove ontologije povezuju biološke entitete bez obzira na njihovo različito imenovanje u pojedinim disciplinama i omogućuju pretraživanje podataka koji dolaze iz različitih istraživačkih laboratorija.

Projekt DBpedia preuzima podatke s Wikipedijinih stranica, strukturira ih, povezuje pomoću semantičkih shema i omogućuje njihovo pretraživanje. Projekt je započeo 2007. godine i u 2013. je sadržavao oko 3 milijuna koncepata povezanih u ontološkoj shemi, 2,6 milijardi RDF trojki, a sadržaj je napisan na 119 jezika (Dbpedia, 2014). Upravo ovaj skup podataka nalazi se u centru oblaka podataka projekta Linked data (Slika 3-10).

3.2 Geopodaci

Današnja mreža sadrži mnogobrojne geopodatke, tj. podatke koji imaju svoju lokaciju na površini Zemlje, npr. adresu, GNSS koordinate ili toponim. Da bi se unaprijedilo njihovo pretraživanje, razvija se geoprostorna semantička mreža. Kako geopodaci omogućuju povezivanje različitih podataka putem iste ili bliske lokacije, tako će geoprostorna semantička mreža omogućiti pretraživanje informacija i po njihovom sadržaju i po lokaciji. To će otvoriti potpuno nove mogućnosti korištenja mreže i razvoj novih mrežnih servisa koji će integrirati podatke iz različitih izvora.

Razvoj geoprostorne semantičke mreže je na samom početku. Možemo reći da je započeo 1994. godine. Te je godine osnovana W3C grupa i od tada se organizirano uvode mrežni standardi za razvoj semantičke mreže. Specifičnosti geopodataka i operacija nad njima traže dodatne standarde. ISO organizacija osniva te iste godine tehničku komisiju ISO/TC 211 koja je do danas razvila cca 70 standarda za geoprostorne podatke. Te 1994. godine osnovana je i OGC grupa koja je dosad izradila cca 40 standarda čiji je primarni cilj interoperabilnost različitih geoinformatičkih tehnoloških rješenja.

Specifičnosti geopodataka traže dogovor oko definicije geoprostornih lokacija (npr. adresa, koordinate i koordinatni sustavi), tipa i oblika geoprostornog objekta (npr. diskretni objekti prikazani točkom, linijom i površinom te kontinuirani objekti prikazani poljem), geoprostornih relacija (npr. kvantitativnih i kvalitativnih), geoprostornih operacija i, s razvojem semantičke mreže, geoprostornih ontoloških shema.

U ovom poglavlju su ukratko opisani formalni modeli geopodataka i geoprostornih relacija, GeoSPARQL standard i načini geoprostornog rasuđivanja, što je od značaja za razvoj geoprostorne semantičke mreže.

3.2.1 Formalni modeli geodataka

Da bi se geopodaci pohranili u digitalni oblik i dalje u bazu podataka i/ili na mrežu, potrebno je imati formalni model, tj. matematički zasnovan model geodataka. Isto tako, potrebno je imati sustav za geokodiranje kojim određujemo položaj na Zemlji.

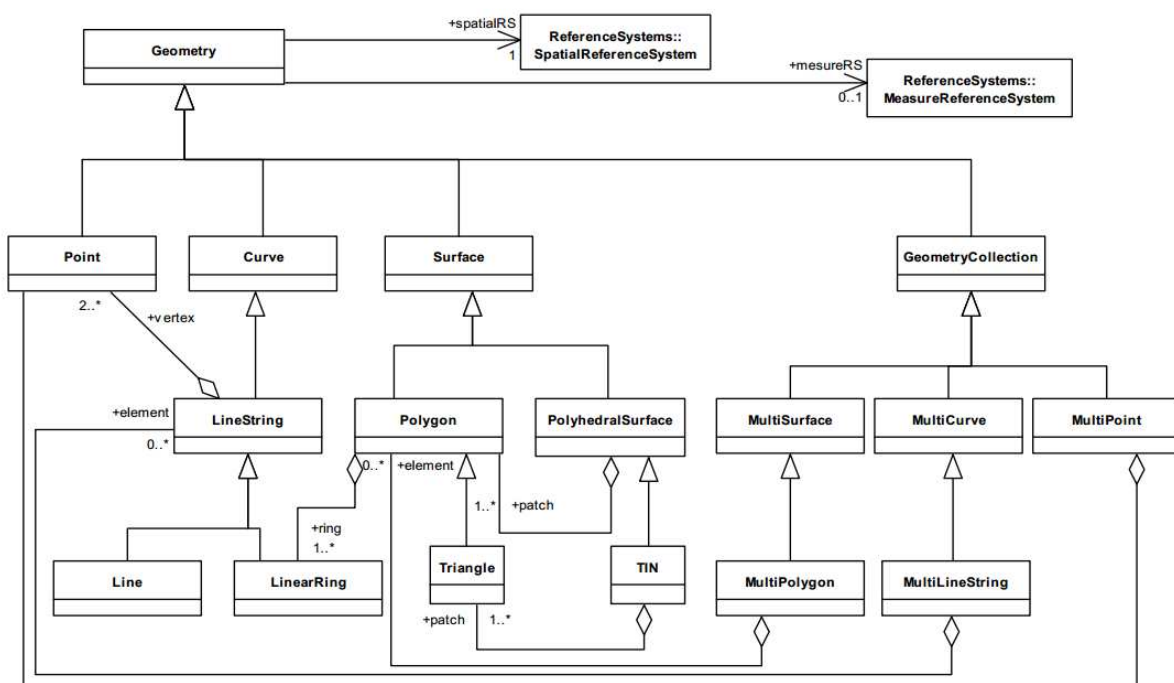
Dvije osnovne konceptualizacije geoprostornih informacija su: koncept diskretnih objekata (engl. *object-based view*) kada možemo jasno razgraničiti objekte u prostoru (npr. zgrada ili parcela), i koncept kontinuiranog polja (engl. *field-based view*) kada se geoprostorna informacija kontinuirano mijenja iz točke u točku (npr. visina terena ili temperatura zraka). Ova dva konceptijska modela odgovaraju vektorskom i rasterskom prikazu. U vektorskom prikazu diskretni objekti su prikazani točkama, linijama i površinama čiji je položaj, oblik i veličina određen n-torkama koordinata. U rasterskom prikazu geoprostor je podijeljen u kvadrate (engl. *pixels*) kojima je pridružena informacija (npr. visina terena i položaj na površini Zemlje). Veličina kvadrata ili piksela naziva se rezolucija rastera.

Različite tehničke izvedbe vektorskog i rasterskog prikaza geodataka rezultirale su različitim formatima digitalnog zapisa (vidi pregled u Wikipedia, 2014a). Npr. geopodatke možemo pohraniti kao vektorske u AutoDesk DXF i DWG formatu, ESRI Shape formatu ili Google KML formatu. Rasterski geodatak možemo pohraniti u opće poznate formate, npr. TIF, JPEG, GIF, ili specifične formate za geopodatke, npr. ArcInfo GRID ili Imagine IMG. Geopodatke možemo pohraniti u relacijske baze podataka, npr. u Oracle ili PostgreSQL, najčešće kada postoji potreba da veći broj korisnika koristi i održava geopodatke. I tu su primijenjena različita tehnička rješenja, npr. različite konceptijske, logičke i fizičke sheme geodataka, algoritmi za indeksiranje geodataka, operacije nad geopodacima i dr.

Za potrebe korištenja podataka iz više izvora i pohranjenih u različite formate, OGC grupa je razvila format za razmjenu podataka Geography Markup Language (GML). GML se zasniva na XML jeziku i može pohraniti vektorske podatke. Osim za pohranu podataka, GML služi i za modeliranje podataka kroz GML shemu. Struktura i sadržaj GML podataka za neko područje ljudskog djelovanja se zove GML aplikacijska shema i omogućuje interoperabilnost unutar te domene (npr. Aeronautical Information eXchange Model (AIXM) za područje aeronautike ili INSPIRE aplikacijska shema za europsku geoprostornu infrastrukturu). Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) je razvio slobodnu biblioteku softvera za čitanje i

pisanje različitih rasterskih i vektorskih formata (Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) i OGR Simple Features Library), a koriste je skoro svi softveri za obradu geoprostornih podataka. Well Known Text (WKT) je OGC-ov i ISO-ov standard za zapisivanje vektorskih geoprostornih podataka te za zapis parametara koordinatnih referentnih sustava i parametara transformacija među njima. Njegova inačica s binarnim zapisom je Well Known Binary (WKB) standard koji se koristi za prijenos i pohranu podataka u relacijskim bazama.

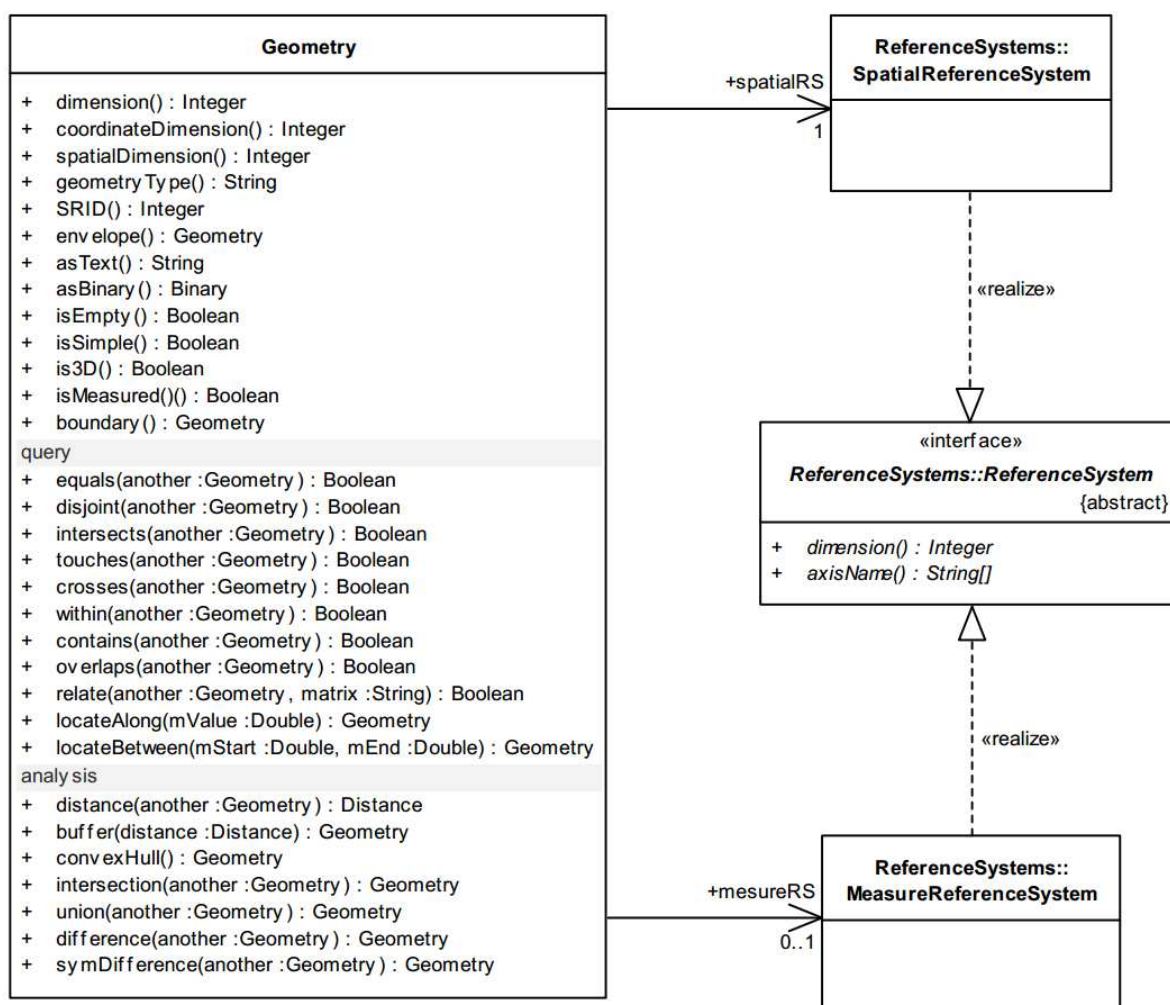
Za razvoj geoprostornih mrežnih servisa OGC grupa je razvila više standarda kao npr. Web Map Service (WMS) za učitavanje georeferenciranih rasterskih slika preko mreže, Web Feature Service (WFS) za učitavanje geoprostornih objekata preko mreže, Web Coverage Service (WCS), Web Coverage Processing Service (WCPS), Web Processing Service (WPS) i dr.



Slika 3-11: Simple Feature Access ili ISO 19125 model geopodataka (OGC, 2011)

Da bi se standardizirala pohrana i upravljanje geopodacima u relacijskim i objektno-orijentiranim bazama podataka i time omogućilo lakše korištenje podataka iz više izvora, OGC i ISO izradili su standard Simple Feature Access ili ISO 19125. Standard dolazi u dva dijela. Prvi dio, ISO 19125-1 definira zajedničku arhitekturu, tj. konceptijski model, operacije nad geopodacima i WKT zapis (OGC, 2011) sve za vektorske dvodimenzionalne podatke. Slika 3-11 prikazuje model geopodataka kao Unified Modeling Language (UML) dijagram s

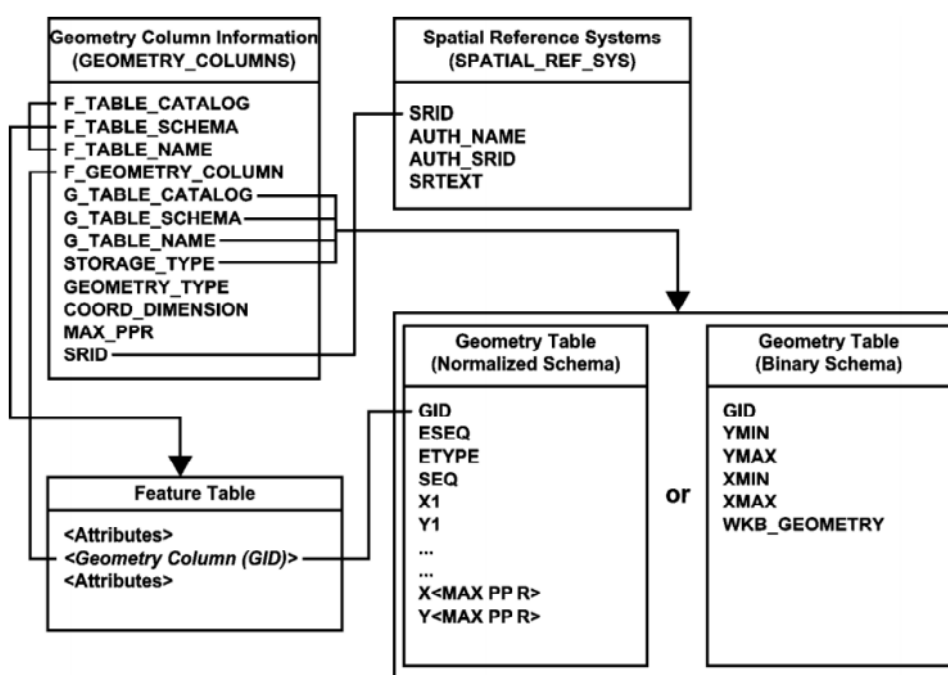
apstraktnom klasom geometrijski objekt (engl. *geometry*) i podklasama točka (engl. *point*), krivulja (engl. *curve*), površina (engl. *surface*) i geometrijska kolekcija (engl. *geometry collection*). Geometrijska kolekcija je objekt koji sadrži različite geometrije, tj. točke, krivulje i površine. Svaki geometrijski objekt je povezan s objektom referentni koordinatni sustav (engl. *spatial reference system*).



Slika 3-12: Simple Feature Access ili ISO 19125 operacije nad geopodacima (OGC, 2011)

Slika 3-12 prikazuje metode geometrijskog objekta. Osnovne metode uključuju određivanje dimenzije, geometrijskog tipa (podklasa iz UML modela geopodataka), identifikatora koordinatnog referentnog sustava (SRID) i dr. Metode za ispitivanje prostornih relacija između geoprostornih objekata uključuju određivanje jednakosti, razdvojenosti, presijecanja i dr. Metode prostorne analize uključuju određivanje udaljenosti, zaštitne zone, unije i dr. Standard ne definira fizički dizajn baze niti matematički izračun za realizaciju metoda, ali definira WKT zapis za geometrijske tipove i za referentni koordinatni sustav.

Drugi dio standarda, ISO 19125-2 (OGC, 2010), definira implementaciju modela u relacijskoj bazi podataka, tj. definira logičku shemu. Slika 3-13 prikazuje logičku shemu u slučaju korištenja definiranih tipova podataka. U relacijskoj bazi, objekti iste vrste (iste klase) prikazuju se u atributnoj tablici (engl. *feature table*). Stupci predstavljaju attribute, a reci pojedine objekte. Geometrija objekta (koordinate) pohranjena je u drugoj, geometrijskoj tablici (engl. *geometry table*). Ove dvije tablice su povezane putem stranog ključa, tj. identifikator geometrije je pohranjen u stupcu atributne tablice (na slici GID). Geometrija objekta može biti pohranjena u tablici na dva načina: prvi, kada se koordinate pohranjuju u stupce; drugi, kada se koordinate pohranjuju u jedan stupac u binarnom WKB standardu.



Slika 3-13: Logička shema geopodataka po Simple Feature Access
ili ISO 19125 standardu (OGC, 2010)

Logička shema na Slici 3-13 uključuje i tablicu s metapodacima koja se zove Geometry Columns Information. Svaka klasa geopodataka u bazi (npr. parcele, zgrade i dr.) ima jedan redak u ovoj tablici. Tako se povezuje atributna tablica s geometrijskom tablicom za tu klasu, definira se stupac u atributnoj tablici koji sadrži identifikator geometrije, npr. GID i definira se referentni koordinatni sustav u kojem su koordinate.

Specifičnost geopodataka je da imaju lokaciju na površini Zemlje, a mogu imati i prostorni obuhvat, tj. liniju, površinu ili volumen koji zauzimaju u prostoru. Da bi se omogućilo

objedinjeno korištenje geopodataka, potrebno je sve lokacije imati u jednom sustavu za geokodiranje. Kod korištenja koordinatnog referentnog sustava (engl. *coordinate reference system*) potrebno je imati njegove specifikacije da bi se podaci mogli objединiti s podacima čije se koordinate nalaze u drugom koordinatnom referentnom sustavu. Koordinatni referentni sustav vezan je za Zemlju pomoću datuma, tj. definiranjem zemljinog modela (elipsoida ili sfere s pripadajućim dimenzijama) i njegovog ishodišta, orijentacije osi i mjerila. Druga komponenta koordinatnog referentnog sustava je kartografska projekcija, tj. matematički postupak preslikavanja plohe elipsoida ili sfere u ravninu. Tako koordinate mogu biti geografske (geografska duljina i širina) kada se nalaze na sferi, geodetske (geodetska duljina i širina) kada se nalaze na elipsoidu, (X,Y,Z) koordinate ako se nalaze u Kartezijevom pravokutnom koordinatnom sustavu u prostoru (3D) ili (x,y) koordinate u Kartezijevom pravokutnom koordinatnom sustavu u ravnini kada je primijenjena kartografska projekcija.

Zbog postojanja velikog broja koordinatnih referentnih sustava u upotrebi, definiran je međunarodni identifikator koordinatnih referentnih sustava SRID (engl. *spatial reference system identifier*). Za SRID se koristi European Petroleum Survey Group (EPSG) registar koordinatnih referentnih sustava i parametara transformacija između njih (International Association of Oil & Gas Producers, 2014) tako da je danas EPSG SRID četveroznamenasti broj prepoznat od OGC grupe i od svih proizvođača geopodataka, baza podataka i softvera. Postojanje ovog standarda vrlo je važno za objedinjeno korištenje geopodataka putem mreže jer se geopodaci ne mogu objединiti niti analizirati ako nisu u istom koordinatnom referentnom sustavu.

3.2.2 GeoSPARQL

Kako bi se unaprijedilo pretraživanje geopodataka na mreži, potrebno ih je prevesti u isti digitalni zapis (sintaktički homogenizirati), prevesti u isti sustav za geokodiranje i spojiti njihove konceptijske modele i attribute (semantički homogenizirati). Ideja geoprostorne semantičke mreže je semantička homogenizacija geopodataka putem geoprostornih ontoloških shema. Tehnička komisija ISO/TC 211 2006. godine pokrenula je projekt 19150 Geografske informacije – ontologija. Cilj projekta je ispitati i preporučiti tehnologiju semantičke mreže u poboljšanju interoperabilnosti geoprostornih informacija. Početni

zaključci ovog projekta, navedeni u izvještaju br. 2705 iz 2009. godine (ISO, 2009), su sljedeći:

- ISO/TC 211 treba uključiti tehnologije semantičke mreže u svoje standarde.
- Specifikacije u obliku UML modela treba prevesti u OWL-DL modele, da bi se omogućilo korištenje ISO/TC 211 standarda u semantičkoj mreži.
- Izraditi pravila konzistentnog prevođenja UML modela u OWL-DL modele
- Omogućiti svim zainteresiranim korištenje OWL-DL modela stavljanjem na mrežu
- Potaknuti razvoj referentnih ontologija za geopodatke i time omogućiti povezivanje aplikacijskih geoprostornih ontologija
- Proširiti standarde za razvoj mrežnih geoprostornih servisa s ontologijama i time poboljšati pronalaženje mrežnih servisa
- Proširiti standarde za prostorno-vremenske operatore sa semantičkim operatorima bliskosti (engl. *semantic proximity operators*) – npr. ako dvije osobe rade u istoj tvrtki, možemo ih smatrati semantički bliskim.

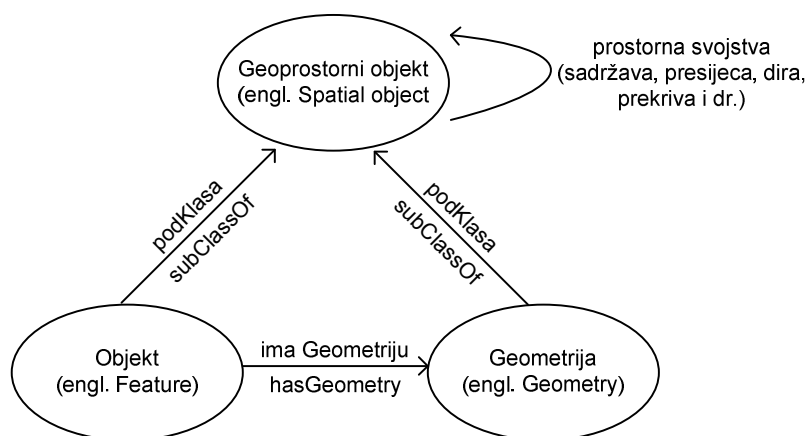
U skladu s gore navedenim zaključcima, OGC grupa 2012. godine objavila je standard GeoSPARQL – A Geographic Query Language for RDF data (OGC, 2012). GeoSPARQL se može smatrati referentnom ontologijom za geopodatke. Ako se pojedine aplikacijske ontologije povežu s konceptima GeoSPARQL ontologije, onda se geopodaci tih aplikacija mogu zajedno koristiti.

GeoSPARQL standard proširuje SPARQL jezik na geopodatke. Specifikacije su u skladu s više standarda, a za definiciju geoprostornih objekata koristi se Simple Feature Access ili ISO 19125 standard.

GeoSPARQL standard proširuje SPARQL sljedećim resursima:

- RDFS/OWL glavne klase i svojstva geoprostornih objekata (meta podaci)
- RDF definicije zapisa geometrije
- RDF definicije netopoloških funkcija
- RDF definicije topoloških svojstava i funkcija
- RDFS proširenje s hijerarhijom klasa geometrijskih tipova WKT i GML standarda (vidi Sliku 3-11)
- RIF pravila određivanja topoloških svojstava izvršenjem topoloških funkcija (pomoću geometrijskih izračuna)

GeoSPARQL ontološka shema geopodataka odvaja pojedinca od geoprostornog prikaza. Tri su osnovne klase GeoSPARQL ontološke sheme: objekt (engl. *feature*) – npr. spomenik koji može imati svoj geoprostorni položaj, oblik i veličinu; geometrija (engl. *geometry*) – npr. par koordinata, i geoprostorni objekt (engl. *spatial object*) koji predstavlja super-klasu. Relacija ima geometriju (engl. *has geometry*) povezuje klase objekt i geometrija. Na taj način jedan objekt može imati više geometrija. Slika 3-14 prikazuje usmjereni graf GeoSPARQL ontološke sheme geopodataka.



Slika 3-14: Usmjereni graf GeoSPARQL ontološke sheme geopodataka

OGC grupa uvela je nekoliko kratica lokacija na kojima se nalaze resursi GeoSPARQL standarda:

- *geo* je kratica za www.opengis.net/ont/geosparql#
- *geof* je kratica za www.opengis.net/def/function/geosparql/
- *geor* je kratica za www.opengis.net/def/rule/geosparql/

RDF Turtle zapis usmjerenog grafa GeoSPARQL ontološke sheme za geopodatke izgleda ovako:

```

@prefix geo:http://www.opengis.net/ont/geosparql#
geo:SpatialObject rdf:type owl:Class
geo:Feature rdf:type owl:Class;
               rdfs:subClassOf geo:SpatialObject.
geo:Geometry rdf:type owl:Class;
               rdfs:subClassOf geo:SpatialObject.

```

```

geo:hasGeometry rdf:type owl:ObjectProperty;
               rdfs:domain geo:Feature;
               rdfs:range geo:Geometry.

```

Geometrija objekta zapisuje se kao tekstualna vrijednost prema WKT ili GML standardu. To ujedno određuje i konceptualizaciju geopodataka jer WKT zapis podržava geometrijske tipova podataka iz Simple Feature Access standarda. Osim osnovnih klasa, svojstava i zapisa geometrije, GeoSPARQL standard definira topološka svojstva i funkcije (npr. unutar, presijeca i dr.) te netopološke funkcije (npr. udaljenost, razlika i dr.). Detaljan opis GeoSPARQL standarda nalazi se u (OGC, 2012), a osnovni RDFS/OWL konstruktori su dani u Tablici 3-7.

Tablica 3-7: RDFS/OWL konstruktori za glavne klase
i svojstva geoprostornih objekata prema GeoSPARQL standardu

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
Klase	
geo:SpatialObject	Klasa svih objekata koji imaju svoj geoprostorni prikaz. Superklasa klasama Feature i Geometry.
owl:Feature	Superklasa svim objektnim klasama koje prikazuju istovrsne objekte (engl. <i>feature</i>).
owl:Geometry	Superklasa svim klasama geometrijskih tipova.
Svojstva – metadata	
geo:hasGeometry	Povezuje klase Feature i Geometry i određuje geometrijski prikaz za objekt.
geo:hasDefaultGeometry	Povezuje klase Feature i Geometry i određuje zadani geometrijski prikaz za objekt.
geo:dimension	Svojstvo za klasu Geometry, daje topološku dimenziju objekta.
geo:coordinateDimension	Svojstvo za klasu Geometry, daje koordinatnu dimenziju objekta.
geo:spatialDimension	Svojstvo za klasu Geometry, daje prostornu dimenziju objekta.
geo:isEmpty	Svojstvo za klasu Geometry, daje Booleovu nulu za praznu geometriju.
geo:isSimple	Svojstvo za klasu Geometry, daje Booleovu nulu ako geometrija ne presijeca samu sebe.

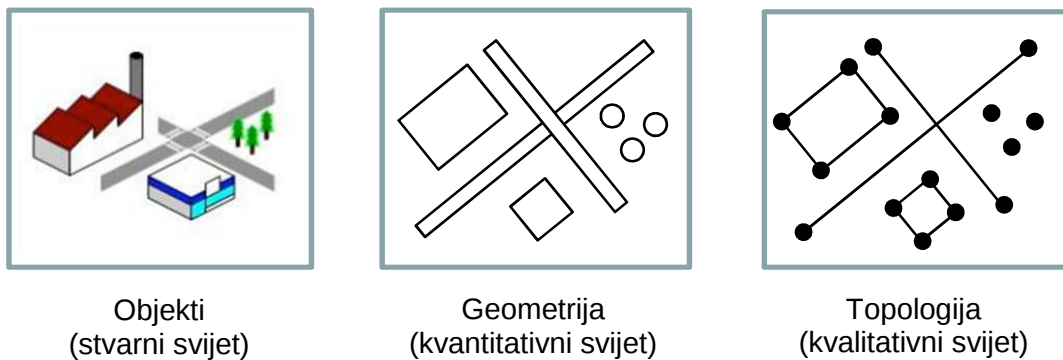
Naziv konstruktora	Opis konstruktora
Zapis geometrije	
geo:hasSerialization	Svojstvo za klasu Geometry, povezuje geometriju s njezinim zapisom.
geo:wktLiteral	Podklasa klase DataType. Svojstvo koje govori da je zapis u WKT standardu.
geo:asWKT	Podsvojstvo svojstva <i>hasSerialization</i> , povezuje geometriju s njezinim WKT zapisom.
geo:gmlLiteral	Podklasa klase DataType. Svojstvo koje govori da je zapis u GML standardu.
geo:asGML	Podsvojstvo svojstva <i>hasSerialization</i> , povezuje geometriju s njezinim GML zapisom.

Kako bi se podržalo geoprостorno rasuđivanje zasnovano na kvantitativnim geoprостornim relacijama, tj. onima koja se računaju iz geometrije objekata, GeoSPARQL uvodi RIF pravila za transformaciju topoloških upita u geometrijske upite. Više o tome u sljedećem poglavlju.

Ono što GeoSPARQL standard ne sadrži, a omogućilo bi geoprостorno rasuđivanje, jesu OWL pravila. Očekuje se daljnji razvoj u tom području, kao i u proširenju geoprостornog rječnika i korištenja drugih zapisa geometrije: npr. KML, GeoJSON. GeoSPARQL ne koristi W3C standard Basic Geo Vocabulary, jer ne uključuje informaciju u kojem su referentnom koordinatnom sustavu geoprостorni podaci, i time onemogućuje objedinjavanje podataka. Da bi se ti podaci koristili moraju se prevesti u WKT zapis pomoću SPARQL jezika.

3.2.3 Prostorne relacije

Ponekad je dovoljno imati geopodatke u bazi znanja, tj. objekte i svojstva pohranjene u ABoxu, a definicije koncepta u TBoxu. Da bi se u potpunosti iskoristila baza znanja, potrebno je imati algoritme rasuđivanja i izvoditi novo znanje iz postojećeg, tj. izvoditi nove RDF trojke iz onih već upisanih u bazi putem OWL konstruktora i pravila. Kod geoprостornih podataka, potrebno je imati algoritme koji mogu rasuđivati nad prostornim relacijama između objekata.



Slika 3-15: Svijet i njegov kvantitativni prikaz (geometrijski vjeran)
i kvalitativni prikaz (topološki vjeran) (Chen *et al.*, 2005)

Geoprostorno rasuđivanje vrlo je kompleksno, dijelom zbog višedimenzionalnosti prostora, raznovrsnosti prikaza prostora (Slika 3-15) i izraza koji opisuju prostorne relacije. Mogu se opisivati udaljenosti (blizu, daleko, 102 m udaljeno), smjerovi (lijevo, poviše), veličine (malo, veliko, 502 m dugačko), oblici (okruglo, pravocrtno, konkavno), topologija (unutar, granično) i dr. Prostorne relacije klasificiraju se u kvantitativne i kvalitativne. Kvantitativne prostorne relacije zasnivaju se na kvantitativnim veličinama koje se izvedu iz geometrije, tj. udaljenostima, smjerovima ili površinama (npr. Split je udaljen 400 km od Zagreba, zgrada ima površinu od 250 m²). Da bi se izvele, potrebna je geometrija objekta u nekom formalnom modelu (npr. kao niz koordinata lomnih točaka u Kartezijevom pravokutnom koordinatnom sustavu) i matematička formula za izračun. Kvalitativne prostorne relacije ne ovise o veličinama i opisuju topološke odnose (susjedstvo, presijecanje, povezanost), orijentaciju (sjeverno od, južno od) i sl. Parcela može graničiti sa željezničkom prugom (bez obzira koliko je duga ta granica) ili se nalaziti u građevinskoj zoni (bez obzira koliko bila velika). Kvalitativne prostorne relacije mogu se poznavati i bez poznavanja geometrije objekta ili koordinatnog sustava, tj. kada su informacije nepotpune, što je čest slučaj na mreži. Isto tako, kvalitativne prostorne relacije su bliže ljudskom predstavljanju prostora (npr. čovjek neće opisati lokaciju koordinatama nego opisom: ljekarna je iza trgovine lijevo) i zato se smatraju pogodnima za geoprostorno rasuđivanje i izgradnju geoprostorne semantičke mreže (Christodoulou *et al.*, 2012; Renz i Nebel, 2007).

Kako bi se omogućilo geoprostorno rasuđivanje, GeoSPARQL standard definira RDFS/OWL konstruktore za kvantitativna i kvalitativna prostorna svojstva (Tablica 3-8). Uključene su funkcije koje definiraju izračun udaljenosti i konstruiranje novih geometrijskih objekata iz

postojećih: npr. unija (engl. *union*) ili razlika (engl. *difference*). Topološka svojstva su definirana za tri formalna modela kvalitativnih prostornih relacija: Simple Features Access, Region Connection Calculus (RCC8) i Egenhofer Dimensionally Extended Nine Intersection Model (DE-9IM). Sva tri modela razmatraju prostorne relacije između dvodimenzionalnih objekata u dvodimenzionalnom prostoru, tj. projekcije objekata na horizontalnu ravninu. Razvoj formalnih modela topoloških relacija za trodimenzionalne objekte i njihova standardizacija potrebna za razvoj tehničkih rješenja su u začetku, npr. rad Egenhofera (2005).

Tablica 3-8: RDFS/OWL konstruktori za prostorna svojstva
prema GeoSPARQL standardu

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
Netopološke funkcije	
geof:distance	Funkcija vraća najkraću udaljenost između geometrija dva objekta.
geof:buffer	Funkcija vraća novi objekt čija je geometrija na zadanoj udaljenosti od zadanog objekta.
geof:convexHull	Funkcija vraća najmanji konveksni objekt zadanog objekta.
geof:intersection	Funkcija vraća novi objekt čija je geometrija presjek dviju geometrija zadanih objekata.
geof:union	Funkcija vraća novi objekt čija je geometrija unija dviju geometrija zadanih objekata.
geof:difference	Funkcija vraća novi objekt čija je geometrija razlika dviju geometrija zadanih objekata.
geof:symDifference	Funkcija vraća novi objekt čija je geometrija simetrična razlika dviju geometrija zadanih objekata.
geof:envelope	Funkcija vraća minimalni okvir zadanog objekta.
geof:boundary	Funkcija vraća zatvorenu granicu zadanog objekta.
geof:getsrid	Funkcija vraća URI referentnog koordinatnog sustava zadanog objekta.
Topološka svojstva – Simple Features Access standard	
geo:sfEquals	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta ista.
geo:sfDisjoint	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta razdvojena.
geo:sfIntersects	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da se dva objekta presijecaju.
geo:sfTouches	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da se dva objekta diraju.

Naziv konstruktora	Opis konstruktora
geo:sfWithin	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da je jedan objekt unutar drugog objekta.
geo:sfContains	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt sadrži drugi.
geo:sfOverlaps	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt preklapa drugi.
geo:sfCrosses	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt presijeca drugi.
Topološka svojstva – Region Connection Calculus (RCC8) standard	
geo:rcc8eq	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta ista.
geo:rcc8dc	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da dva objekta nisu povezana.
geo:rcc8ec	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta povezana rubom.
geo:rcc8po	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da se dva objekta djelomično preklapaju.
geo:rcc8tpi	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt sadrži drugi i da s njim dijeli granicu.
geo:rcc8tpp	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da je jedan objekt dio drugog i da dijele granicu.
geo:rcc8ntpp	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da je jedan objekt dio drugog i da ne dijele granicu.
geo:rcc8ntppi	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt sadrži drugi i da s njim ne dijeli granicu.
Topološka svojstva – Egenhofer DE 9IM standard	
geo:ehEquals	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta ista.
geo:ehDisjoint	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da su dva objekta razdvojena.
geo:ehMeet	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da se dva objekta dodiruju.
geo:ehOverlap	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da se dva objekta preklapaju.
geo:ehCovers	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt prekriva drugi.
geo:ehCoveredBy	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da je jedan objekt prekriven s drugim.
geo:ehInside	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da je jedan objekt unutar drugog.
geo:ehContains	Svojstvo za klasu Spatial object, govori da jedan objekt sadrži drugog.

Za svako topološko svojstvo iz Tablice 3-8 definirana je pripadna funkcija i pravilo. Npr. za svojstvo unutar, tj. OWL konstruktor *geo:sfWithin*, definirana je funkcija *geof:sfWithin* i pravilo *geor:sfWithin*. Kako bi se ispitalo je li objekt A unutar objekta B, koristi se pravilo *geor:sfWithin* koje pokreće funkciju *geof:sfWithin*. Funkcija računa ovaj prostorni odnos iz geometrije objekata A i B, a rezultat ove funkcije je Booleova varijabla. Ako je rezultat istina, onda ovo pravilo izvodi i upisuje novu trojku u RDF bazu:

$$A \text{ geo:stWithin } B$$

a što znači da je objekt A unutar objekta B.

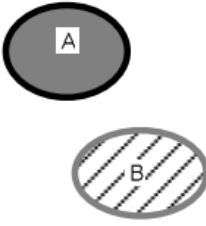
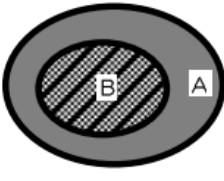
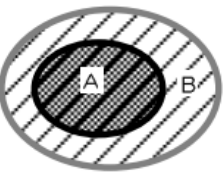
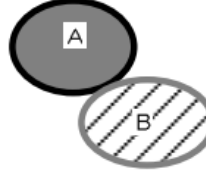
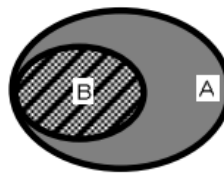
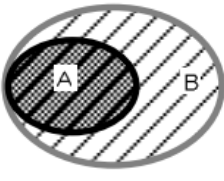
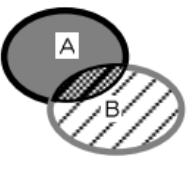
GeoSPARQL standard podržava tri formalna modela kvalitativnih prostornih relacija. Simple Features Access standard zasniva se na Egenhoferovom modelu devet presjeka (DE-9IM) (OGC, 2011). Model je opisan u više dokumenata, npr. u Egenhofer i Herring (1991). Osnova ovog modela su binarne topološke relacije izvedene iz devet presjeka za unutrašnjost (engl. *interior*), granicu (engl. *boundary*) i vanjštinu (engl. *exterior*) dvaju objekata u dvodimenzionalnom prostoru. Presjeci se prikazuju u matrici (Slika 3-16). $R(A,B)$ označava binarnu topološku relaciju između objekata A i B. Oznake A° i B° označavaju unutrašnjost objekata, ∂A i ∂B granicu, a A^{-} i B^{-} vanjštinu objekata. Svaki od devet presjeka ove matrice može biti prazan ili neprazan skup, tako da ova matrica može poprimiti 2^9 ili 512 različitih kombinacija vrijednosti. Ove kombinacije predstavljaju sve moguće topološke relacije između dva objekta i međusobno su isključive, tj. za dva objekta A i B postoji samo jedna od tih 215 kombinacija.

$$R(A, B) = \begin{pmatrix} A^{\circ} \cap B^{\circ} & A^{\circ} \cap \partial B & A^{\circ} \cap B^{-} \\ \partial A \cap B^{\circ} & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^{-} \\ A^{-} \cap B^{\circ} & A^{-} \cap \partial B & A^{-} \cap B^{-} \end{pmatrix}$$

Slika 3-16: Matrica Egenhoferovog modela devet presjeka (Egenhofer i Herring, 1991)

Ostaje pitanje koje od ovih 512 relacija stvarno postoje, a što ovisi o dimenziji objekta (nula za točku, jedan za liniju i dva za regiju) i kodimenzijski (engl. *codimension*) objekta, tj. razlici dimenzije objekta i dimenzije prostora u kojem se objekt nalazi (npr. jedan za jednodimenzionalni objekt koji se nalazi u dvodimenzionalnom prostoru). U radu Egenhofera

i Herringa (1991) izvedeno je da postoji osam relacija između dviju zatvorenih regija bez šupljina (Slika 3-17), deset relacija između dviju otvorenih regija, 33 između dviju jednostavnih linija (jednostavna linija ima granica od dvije točke), 24 između kompleksnih linija, 20 između regije i linije, tri između linije i točke, tri između regije i točke i dvije između dviju točaka (točke mogu biti ili jednake ili razdvojene).

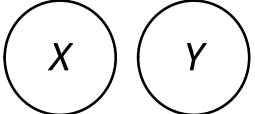
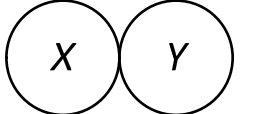
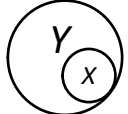
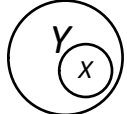
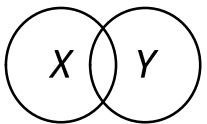
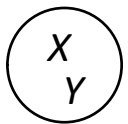
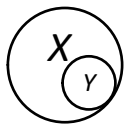
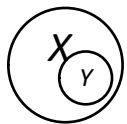
A je razdvojena od B (engl. <i>disjoint</i>)	A sadrži B (engl. <i>contains</i>)	A je unutar B (engl. <i>inside</i>)	A je jednaka B (engl. <i>equal</i>)
 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $
 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $	 $ \begin{matrix} A^{\circ} \\ \partial A \\ A^{-} \end{matrix} \begin{pmatrix} B^{\circ} & \partial B & B^{-} \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} $
A dodiruje B (engl. <i>meet</i>)	A prekriva B (engl. <i>covers</i>)	A je prekrivena s B (engl. <i>covered by</i>)	A ima preklap s B (engl. <i>overlap</i>)

Slika 3-17: Osam binarnih topoloških relacija između dviju zatvorenih regija bez šupljina u dvodimenzionalnom prostoru i pripadne matrice presjeka Egenhoferovog modela (Egenhofer i Herring, 1991)

GeoSPARQL standard je obuhvatio osam binarnih topoloških relacija za regije bez šupljina u dvodimenzionalnom prostoru, a prikazane su na Slici 3-17 s pripadnim matricama presjeka.

Region Connection Calculus (RCC8) je formalni model za kvalitativne prostorne relacije koji su razvili Randell, Cui i Cohn 1992. godine (Randell *et al.*, 1992). Zasniva se na relaciji

$C(X,Y)$ između dvije regije X i Y , što čitamo X je spojen s Y . Različiti stupnjevi spojenosti dviju regija, od razdvojenosti do jednakosti, predstavljaju različite prostorne relacije od kojih je osam osnovnih i one su međusobno isključive. RCC8 prostorne relacije su prikazane na Slici 3-18. Kombinacijom ovih osnovnih RCC8 relacija izvode se ostale.

X i Y su razdvojeni (engl. <i>disconnected</i>) $X \text{ DC } Y$ 	X i Y su povezani rubom (engl. <i>externally connected</i>) $X \text{ EC } Y$ 	X je dio Y i dijele granicu (engl. <i>tangential proper part</i>) $X \text{ TPP } Y$ 	X je dio Y i ne dijele granicu (engl. <i>non-tangential proper part</i>) $X \text{ NTPP } Y$ 
X i Y se djelomično preklapaju (engl. <i>partially overlapping</i>) $X \text{ PO } Y$ 	X i Y su isti (engl. <i>equal</i>) $X \text{ EQ } Y$ 	X sadrži Y i dijele granicu (engl. <i>tangential proper part inverse</i>) $X \text{ TPPi } Y$ 	X sadrži Y i ne dijele granicu (engl. <i>non-tangential proper part inverse</i>) $X \text{ NTPPi } Y$ 

Slika 3-18: Osam binarnih topoloških relacija između dvaju objekata u RCC8 modelu
(Randell *et al.*, 1992)

Postoje i drugi formalni modeli za kvalitativne prostorne relacije. Opsežan pregled nalazi se u (Chen *et al.*, 2013). Nekoliko ih je zasnovano na orijentaciji, npr. Star calculus (Mitra, 2002) ili Cone based calculus (Frank, 1992). Ovi modeli kvalitativno prikazuju smjerove ili sektore (ravnina se dijeli u sektore s n pravaca) i prikladni su za prostorne relacije između točaka. Kod prostornih objekata koji zauzimaju neki prostor i imaju svoj smjer protezanja, određivanje međusobnih smjerova predstavlja teškoću. Allen's Interval Relations model (Allen, 1983) definira kvalitativne relacije za vrijeme. Zasniva se na prostornim odnosima intervala na pravcu i sadrži trinaest topoloških relacija. Više autora ovaj koncept širi na dvodimenzionalni i trodimenzionalni prostor razmatrajući projekcije prostornog objekta na koordinatnim osima kao intervale iz Allenovog modela. Rectangle Algebra proširuje ovaj koncept na dvodimenzionalni prostor (Balbiani *et al.*, 1998), a Block Algebra na trodimenzionalni (Balbiani *et al.*, 1999).

Dio današnjih znanstvenih istraživanja bavi se izgradnjom modela za kvalitativno predstavljanje oblika geoprostornih objekata (engl. *shape*). Jedan pristup polazi od opisa granice objekta, npr. da se ispituje promjena smjera tangente kada se ide iz točke u točku po granici objekta (Meathrel i Galton, 2001). Drugi pristup opisuje unutrašnjost objekta, npr. pomoću kompaktnosti i izduljenosti koje se izvode iz minimalnog opisanog pravokutnika. Kompaktnost je odnos površine objekta i minimalnog opisanog pravokutnika, a izduljenost je omjer širine i visine minimalnog opisanog pravokutnika (Clementini i Felice, 1997).

Poseban problem predstavlja nesigurnost podataka (engl. *uncertainty*) koja se kod geopodataka može razmatrati kao nesigurnost lokacija, oblika i prostornih relacija. Bittner je nesigurnost lokacije opisao s tri različite klase lokacija: egzaktna lokacija, djelomična i gruba lokacija (Harmelen *et al.*, 2007). Za RCC8 model i Egenhoferov model devet presjeka, predložena su proširenja na način da obuhvate i nesigurnost prostornih relacija (Harmelen *et al.*, 2007).

Svi ovi formalni modeli imaju različite mogućnosti primjene u geoprostornoj semantičkoj mreži, a naročito su važni za geoprostorno rasuđivanje što je opisano u sljedećem odjeljku.

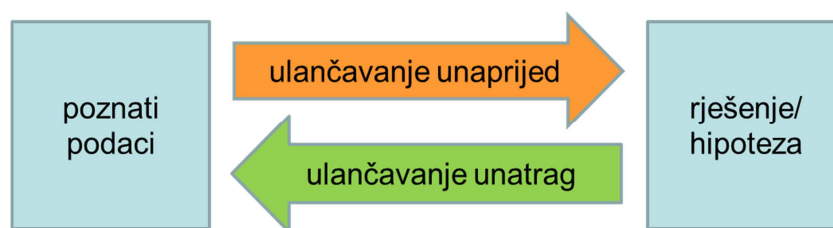
3.2.4 Geoprostorno rasuđivanje

Rasuđivanje izvodi novo znanje iz postojećega. Potrebno je imati bazu znanja u koju su upisani objekti i njihova svojstva, ali i njihove definicije i međusobne relacije te algoritme rasuđivanja. Geoprostorno rasuđivanje nije drugačije od rasuđivanja nad drugim područjima znanja, ali kako postoji različito razumijevanje prostora s različitim prikazima, tako postoje i različiti pristupi geoprostornom rasuđivanju. Algoritmi rasuđivanja predstavljaju zasebno polje znanstvenih istraživanja, zato će ovdje biti samo navedeni.

Kod geopodataka imamo prostorne relacije koje su kvalitativne ili kvantitativne. Ako se rasuđuje uz pomoć kvalitativnih prostornih relacija, onda se ispituju binarne relacije između objekata definirane formalnim modelom prostornih relacija (npr. RCC8 ili Egenhoferovim modelom devet presjeka). Da bismo ispitivali kvantitativne relacije, potrebno ih je prevesti u geometrijske upite (npr. izračunaj udaljenost između A i B) i koristiti geometrijske izračune. GeoSPARQL standard ima RDFS/OWL konstruktore za kvantitativna i kvalitativna prostorna

svojstva (Tablica 3-8). Za rasuđivanje nad kvalitativnim relacijama koristi se algoritam ulančavanja unatrag, a za rasuđivanje nad kvantitativnim relacijama GeoSPARQL koristi pravila za prevođenje upita u geometrijske upite i računanja iz geometrije objekata.

Algoritmi rasuđivanja provode ulančavanje pravila, tj. zaključak jednog pravila predstavlja uvjet za drugo pravilo. Razlikujemo ulančavanje unaprijed (engl. *forward chaining*) i ulančavanje unatrag (engl. *backward chaining*). Ulančavanje unaprijed kreće od poznatih podataka i ide prema rješenju, tj. potvrdi hipoteze, dok ulančavanje unatrag kreće od postavljanja hipoteze, a zatim se ispituje podržavaju li poznati podaci hipotezu (Slika 3-19).



Slika 3-19: Rasuđivanje ulančavanjem unaprijed ili unatrag

Ulančavanje unaprijed kreće od poznatih podataka i pravila i provjerava koja pravila se mogu izvršiti, tj. čije uvjete zadovoljavaju poznati podaci. Ako je takvih pravila više, odabire se jedno (prvo ili neko drugo ovisno o primijenjenoj strategiji), ono se izvršava i rezultat pravila se unosi u bazu znanja (to može biti novi podatak ili novo pravilo). Postupak se ponavlja, a zaustavlja se kada više nema pravila koja se mogu izvršiti. Time se stvaraju svi mogući zaključci i pokušava se doći do rješenja, tj. dobiti podatak koji potvrđuje hipotezu. Ulančavanje unaprijed je prikladno kada ima malo poznatih podataka, a puno rješenja. Nedostatak ovog algoritma je mogućnost stvaranja dugih lanaca koji ne vode do rješenja i koji traže veliku radnu memoriju računala.

Ulančavanje unatrag kreće od postavljanja hipoteze, a zatim se pretražuju pravila i odabiru se ona iz kojih se može izvesti zaključak koji potvrđuje hipotezu. Za svako od tih pravila dalje se ispituje postoje li podaci koji zadovoljavaju uvjete pravila. Ako postoje, pravilo će se izvršiti, a ako ne postoje, pravilo se neće izvršiti. Postupak se zaustavlja kada se izvrši pravilo koje potvrđuje hipotezu. Ako su sva pravila provjerena a hipoteza se nije potvrdila, tada kažemo da je hipoteza neistinita. Ulančavanje unatrag je prikladno kada ima puno poznatih podataka, a malo mogućih zaključaka.

Kod geoprostornog rasuđivanja često želimo naći odgovor na pitanje tipa: Koja parcela se nalazi u građevinskoj zoni, a na udaljenosti većoj od 5 km od zračne luke? Odgovor možemo naći ako riješimo problem zadovoljenja uvjeta (engl. *constraint satisfaction problem*, CSP). Ovaj problem je definiran konačnim brojem uvjeta nad varijablama, tj. svojstvima geoprostornih objekata. Njihovim rješavanjem se dobiva skup geoprostornih objekata koji zadovoljavaju uvjete. Algoritmi koji rješavaju ovakve probleme zovu se algoritmi zasnovani na uvjetima (engl. *constraint based algorithms*). Kako ih većina koristi ulančavanje unatrag koje može postati vrlo neefikasno kod složenijih problema (Planet Data EU Network of Excellence, 2011), tako se za geoprostorno rasuđivanje nad kvalitativnim relacijama koristi algoritam konzistentnog puta (engl. *path consistency*). Kod primjene kompozicije relacija, dobivene relacije mogu biti nekonzistentne. To se provjerava algoritmom konzistentnog puta. Ovaj algoritam uzastopno primjenjuje sljedeću formulu (uz upotrebu odgovarajućih instanci):

$$\forall k : R_{ij} := R_{ij} \cap (R_{ik} \circ R_{kj})$$

Gornja formula izvodi presjek postojeće relacije s kompozicijom (koja bi trebala dati istu relaciju). Ako je rezultat ovog presjeka prazni skup (postojeća relacija i kompozicija nemaju zajedničke članove), tada se zaključuje da postoji nekonzistentnost što znači da problem zadovoljenja uvjeta nema rješenje (Renz i Nebel, 2007).

Preduvjet za korištenje bilo kojeg algoritma zasnovanog na uvjetima je da imamo konačni skup osnovnih binarnih relacija koje imaju svojstvo da zajedno čine puni skup i da su međusobno isključive (engl. *jointly exhaustive and pairwise disjoint*, JEPD). Npr. dva objekta A i B ne mogu biti u prostornoj relaciji koja nije sadržana u skupu, a mogu biti samo u jednoj relaciji, npr. A sadrži B. Skup svih mogućih prostornih relacija je skup svih mogućih unija ovih osnovnih relacija, a rasuđivanje se izvodi ispitivanjem kompozicija relacija. Ako to napišemo uz pomoć relacijske algebre, dvije relacije R_1 i R_2 imaju svoju kompoziciju:

$$R_1 \circ R_2 = \{(x,y) \mid \exists z : (x,z) \in R_1 \text{ i } (z,y) \in R_2\}$$

Npr. ako A sadrži B i B je jednak C, sada je pitanje koje su moguće relacije između A i C. To se rješava pomoću kompozicijske matrice u koju su pohranjene prethodno izvedene sve moguće kompozicije relacija. Time smo dobili konačan skup relacija nad kojima možemo vršiti rasuđivanje pomoću algoritma zasnovanog na uvjetima.

Da bi se moglo vršiti rasuđivanje nad geopodacima s gore opisanim algoritmima, potrebno je imati model binarnih prostornih relacija koje zadovoljavaju JEPD zahtjev (da zajedno čine puni skup i da su međusobno isključive) i za koje je izvedena kompozicijska matrica. Prethodno opisani modeli prostornih relacija RCC8 i Egenhoferov model devet presjeka zadovoljavaju ove uvjete. Tako su za njih izvedene i kompozicijske matrice. Kompozicijska matrica za RCC8 model prikazana je u Tablici 3-9. Egenhoferov model devet presjeka uključuje međusobne relacije između točaka, linija i regija pa imamo više kompozicijskih matrica čija izrada je složena. Za relacije između dviju zatvorenih regija kompozicijska matrica je prikazana u Tablici 3-10.

Tablica 3-9: Kompozicijska matrica za RCC8 model (Cui *et al.*, 1993)

	DC (engl. <i>disconnected</i>)	EC (engl. <i>externally connected</i>)	PO (engl. <i>partially overlapping</i>)	TPP (engl. <i>tangential proper part</i>)	NTPP (engl. <i>non-tangential proper part</i>)	TPPi (engl. <i>tangential proper part inverse</i>)	NTPPi (engl. <i>non-tangential proper part inverse</i>)	EQ (engl. <i>equal</i>)
DC	U	DC,EC,PO,TPP,NTPP	DC,EC,PO,TPP,NTPP	DC,EC,PO,TPP,NTPP	DC,EC,PO,TPP,NTPP	DC	DC	DC
EC	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	DC,EC,PO,TPP,TPPi,EQ	DC,EC,PO,TPP,NTPP	EC,PO,TPP,NTPP	PO,TPP,NTPP	DC,EC	DC	EC
PO	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	U	PO,TPP,NTPP	PO,TPP,NTPP	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	PO
TPP	DC	DC,EC	DC,EC,PO,TPP,NTPP	TPP,NTPP	NTPP	DC,EC,PO,TPP,TPPi,EQ	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	TPP
NTPP	DC	DC	DC,EC,PO,TPP,NTPP	NTPP	NTPP	DC,EC,PO,TPP,NTPP	U	NTPP
TPPi	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	EC,PO,TPPi,NTPPi	PO,TPPi,NTPPi	PO,TPP,TPPi,EQ	PO,TPP,NTPP	TPPi,NTPPi	NTPPi	TPPi
NTPPi	DC,EC,PO,TPPi,NTPPi	PO,TPPi,NTPPi	PO,TPPi,NTPPi	PO,TPPi,NTPPi	PO,TPP,NTPP,TPPi,NTPPi,EQ	NTPPi	NTPPi	NTPPi
EQ	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPPi	NTPPi	EQ

Tablica 3-10: Kompozicijska matrica za relacije između dviju zatvorenih regija
Egenhoferovog modela devet presjeka (Egenhofer i Sharma, 1993)

	d (engl. <i>disjoint</i>)	m (engl. <i>meet</i>)	e (engl. <i>equal</i>)	i (engl. <i>inside</i>)	cB (engl. <i>covered by</i>)	ct (engl. <i>contains</i>)	c (engl. <i>covers</i>)	o (engl. <i>overlap</i>)
d	//	d, m, i, cB, o	d	d, m, i, cB, o	d, m, i, cB, o	d	d	d, m, i, cB, o
m	d, m, ct, cv, o	d, m, e, cB, cv, o	m	i, cB, o	m, i, cB, o	d	d, m	d, m, i, cB, o
e	d	m	e	i	cB	ct	cv	o
i	d	d	i	i	i	//	d, m, i, cB, o	d, m, i, cB, o
cB	d	d, m	cB	i	i, cB	d, m, ct, cv, o	d, m, e, cB, cv, o	d, m, i, cB, o
ct	d, m, ct, cv, o	ct, cv, o	ct	c, i, cB, ct, cv, o	ct, cv, o	ct	ct	ct, cv, o
c	d, m, ct, cv, o	m, ct, cv, o	cv	i, cB, o	e, cB, cv, o	ct	ct, cv	ct, cv, o
o	d, m, ct, cv, o	d, m, ct, cv, o	o	i, cB, o	i, cB, o	d, m, ct, cv, o	d, m, ct, cv, o	//

Algoritmi geoprostornog rasuđivanja se intenzivno razvijaju (vidi pregled u Harmelen *et al.*, 2007; Renz i Nebel, 2007). Razmatra se više pitanja: od početnog ontološkog pitanja je li osnovni prostorni entitet točka ili regija, do dokazivanja da su pojedini formalni modeli odlučivi (engl. *decidability*). Cilj je razviti modele znanja i algoritme rasuđivanja koji mogu u razumnom vremenu dobiti odgovor na velikim bazama znanja, a takve su upravo baze geopodataka. Poseban smjer istraživanja vezan za geoprostorno rasuđivanje bavi se objedinjavanjem rasuđivanja nad kvalitativnim i kvantitativnim prostornim relacijama.

3.2.5 Postojeći sustavi

Geoprostorna semantička mreža razvija se dva desetljeća: od razvoja geoprostornih ontologija, geoprostornih baza u RDF modelu, do relacijske algebre za prostorne relacije i algoritma rasuđivanja, a što je dijelom objedinjeno u GeoSPARQL standardu iz 2012. godine. Implementacija je u početnoj fazi jer svega nekoliko javno dostupnih softvera podržava geopodatke u RDF modelu, prostorne upite i rasuđivanje.

Danas ima više javno dostupnih geoprostornih baza podataka u RDF modelu. To su podaci projekta OpenStreetMap koji su stavljeni u RDF model kroz projekt LinkedGeoData

(LinkedGeoData, 2014). Španjolska je svoje nacionalne geopodatke stavila na mrežu kroz projekt GeoLinked Data (Ontology Engineering Group, 2013). Nacionalna agencija za geopodatke Velike Britanije, Ordnance Survey, dio nacionalnih geopodataka je objavila na mreži (Ordnance Survey, 2014). Projekt GeoNames je preko osam milijuna toponima stavio u RDF model (Unxos, 2012). YAGO2 je velika baza znanja koja sadrži preko 10 milijuna entiteta i preko 120 milijuna podataka o njima, a sadrži geoprostorne i vremenske podatke (Max-Planck Institute for Informatics, 2014). Agencija za statistiku Europske komisije Eurostat objavila je podatke o teritorijalnoj administrativnoj podjeli (engl. *Nomenclature of Territorial Units for Statistics*, NUTS) u RDF modelu (Planet Data EU Network of Excellence, 2011). Geoprostorna baza podataka o administrativnim jedinicama za cijeli svijet može se preuzeti i u RDF modelu (GADM project, 2014). United States Geological Survey (USGS) svoju je nacionalnu kartu pripremio u RDF modelu za korištenje preko mrežnog servisa (CEGIS, 2014).

Danas ima oko 35 različitih sustava za upravljanje RDF trojkama (vidi pregled u Wikipedia, 2014b). Dio njih su nadogradnja na postojeće sustave, npr. Oracle i IBM, a dio je napravljen isključivo za RDF trojke, npr. AllegroGraph, BigData i dr. Dio sustava je komercijalan, a dio slobodan. No, samo tri sustava podržavaju geoprostorne podatke: Strabon, Parliament i uSeekM. OpenLink Virtuoso, OWLLIM i AllegroGraph podržavaju samo prikaz lokacija kao točke i pokreću prostornu funkciju (Garbis *et al.*, 2013).

Za geoprostorno rasuđivanje zasnovano na kvalitativnim prostornim relacijama razvija se svega nekoliko sustava na sveučilištima (Chen *et al.*, 2013). Qualitative Algebra Toolkit (QAT) razvija se na Sveučilištu Arois i sadrži tri grupe funkcija: za definiranje algebre kroz XML datoteku, za definiranje mreže uvjeta i algoritme zasnovane na uvjetima (Université d'Artois, 2006). Spatial Reasoning done Qualitatively (SPARQ) razvija se na Sveučilištu u Bremenu i sadrži funkcije za izračun kvalitativnih prostornih relacija iz geometrije objekata, primjenu prostornih relacija i algoritme zasnovane na uvjetima (University of Bremen, 2013). Generic Qualitative Reasoner (GQR) razvija se na Sveučilištu Freiburg i njegovo težište je na algoritmima rasuđivanja (University of Freiburg, 2014). SNARK sadrži algoritme rasuđivanja kao proširenje baze znanja (Artificial Intelligence Center, 2012). Pellet Spatial je nadogradnja Pellet softvera za rasuđivanje i uključuje RCC kvalitativne prostorne relacije (Clark & Parsia, 2014). Znanstveni projekt TELEIOS (TELEIOS project, 2013) imao je za cilj omogućiti efikasan pristup velikim količinama podataka dobivenih satelitskim opažanjem Zemlje tzv.

Virtual Earth Observatories. Pri tom su razvijeni novi modeli, algoritmi i servisi geoprostorne semantičke mreže: stRDF i stSPARQL.

Zaključno, geopodaci su sve više javno dostupni na mreži, a novi standard GeoSPARQL pokušava ujednačiti razvojne napore na RDF modelima geopodataka i relacija te upita nad njima. Nekoliko sustava za upravljanje RDF trojkama razvilo je podršku za geopodatke, svaki na svoj način. Sada ostaje da proizvođači sustava usuglase svoja rješenja s GeoSPARQL standardom i time omoguće korisnicima razmjenu i obradu geopodataka na isti način (Battle i Kolas, 2012).

4 GEOPROSTORNA SEMANTIČKA BAZA ZA UPRAVLJANJE IZVANREDNIM SITUACIJAMA U ZRAČNIM LUKAMA – PROTOTIP Z-ONTO

Kako bi se unaprijedilo pretraživanje geopodataka na mreži, geopodaci se obogaćuju semantičkim opisom koji je pohranjen u geoprostornoj ontološkoj shemi. Geoprostorna semantička baza objedinjuje geopodatke i njihove ontološke sheme u RDF modelu podataka. U ovom istraživanju izrađen je prototip geoprostorne semantičke baze Z-ONTO. Prototip obuhvaća potrebne geopodatke u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama s naglaskom na fazu odgovora. Potrebno je osigurati objedinjavanje i pretraživanje geopodataka iz različitih izvora u realnom vremenu.

U prvom odjeljku opisana je metodologija izrade prototipa. Drugi odjeljak opisuje analizu korisničkih zahtjeva, a treći konceptijski UML model. U četvrtom odjeljku je opisana geoprostorna ontološka shema. Zadnji odjeljak opisuje realizaciju prototipa Z-ONTO u Protégé softveru.

4.1 Metodologija izrade geoprostorne semantičke baze

Izrada geoprostorne semantičke baze objedinjava metodologiju za izradu baze podataka s metodologijom izrade ontoloških shema. U nastavku je ukratko opisana korištena metodologija.

Standardne metodologije za razvoj informacijskih sustava, a time i za razvoj baza podataka kao njihovih dijelova, uključuju sljedeće faze (Fertalj, 2014):

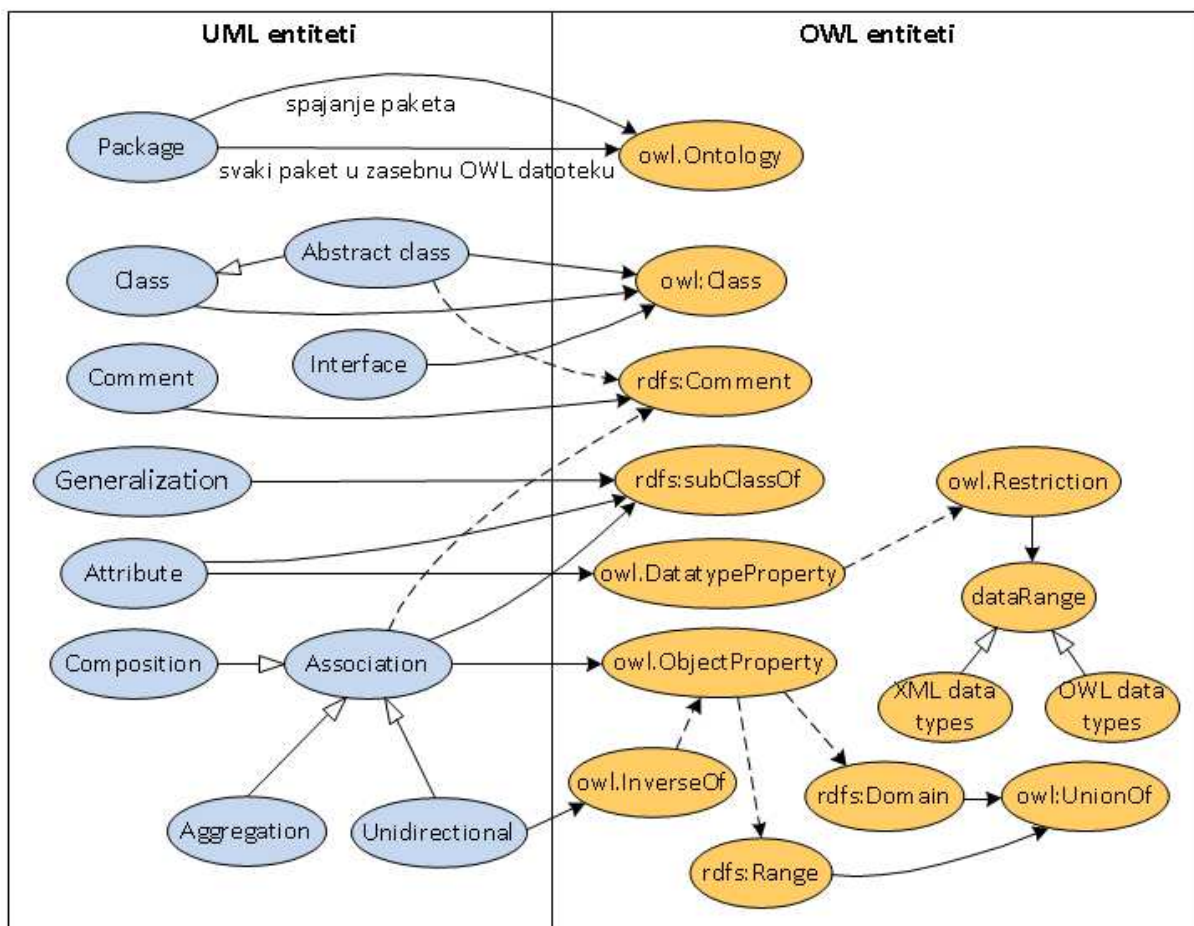
- Planiranje (Zašto gradimo sustav?)
- Analiza (Tko koristi sustav? Što mora raditi? Gdje i kada će se sustav koristiti?)
- Oblikovanje (Kako sustav napraviti i kako će raditi?)
- Izrada i ispitivanje (ugradnja i provjera rješenja)
- Primjena (isporuka, održavanje i poboljšavanje sastavnica sustava)

Nakon što je u fazi planiranja određen obuhvat i domena novog informacijskog sustava, prelazi se na analizu potreba korisnika (engl. *user requirements analysis*) i specifikaciju zahtjeva. U toj fazi prikupljaju se podaci iz dokumenata i intervjuiraju se korisnici.

Prikupljeni zahtjevi dokumentiraju se u izvještaju koji može imati različitu strukturu: sumarna lista zahtjeva, opis slučaja korištenja (engl. *use cases*), tijek poslovnih procesa i dr. U fazi oblikovanja izrađuje se model podataka koji objedinjava prethodno izvedene zahtjeve u jednu shemu podataka.

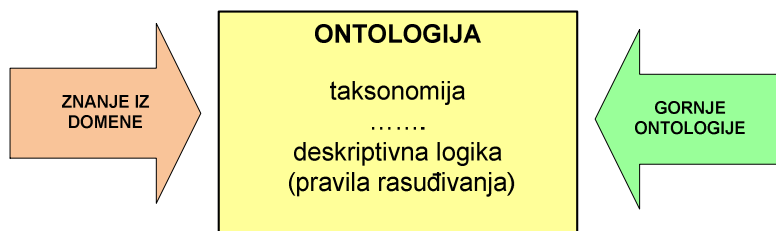
Objektno orijentirane metodologije koriste UML jezik za analizu potreba korisnika (identifikacija korisnika, prikaz slučaja korištenja) i modeliranje novog sustava (tijek procesa, komponente sustava, klase, objekti) (Object Management Group, 2014). UML jezik je vrlo popularan jer ima jednostavan zapis čije je značenje jasno definirano. Može dati sažet, ali i sveobuhvatan prikaz sustava (podržava sve razvojne faze). Skalabilan je, tj. primjenjiv je od malih do složenih projekata. UML jezik koristi grafičke prikaze zbog čega je lako čitljiv i dobro razumljiv korisnicima i programerima. Programeri mogu napraviti skicu novog sustava, detaljni projekt ili čak koristiti UML kao programski jezik i dobiti izvršni kod izravno iz UML dijagrama. Građevni blokovi UML jezika su dijagrami. UML verzija 2 ima 14 vrsta dijagrama. Jedan UML model sastoji se od više dijagrama, a svaki dijagram sastoji se od elemenata i njihovih opisa. Ključni elementi su objekti koji su u interakciji, koji imaju svoje atribute (ono što objekti znaju) i metode (stvari koje objekti mogu učiniti).

Za analizu korisnika i modeliranje geoprostorne baze podataka odabran je UML jezik. Korišteni su dijagrami paketa (engl. *package diagrams*), dijagrami slučaja korištenja (engl. *case diagrams*), dijagrami aktivnosti (engl. *activity diagrams*) i dijagrami klasa (engl. *class diagrams*). Zašto je odabran UML jezik? Osim već navedenih prednosti UML jezika, UML model daje primjere korištenja sustava koji su pogodni za kasnije ispitivanje prototipa. Pogodan je i za izgradnju semantičkih shema. UML dijagram klasa prikazuje klase (osnovne koncepte domene), njihove atribute i međusobne relacije. To su ujedno i osnovni elementi ontološke sheme te se UML dijagrami klasa koriste kao polaznica za izgradnju ontoloških shema. Slika 4-1 prikazuje preslikavanje elemenata UML dijagrama u OWL konstruktore (Grünwald, 2014). Npr. UML generalizacija između dviju klasa se preslikava u svojstvo podklase u ontološkoj shemi.



Slika 4-1: Preslikavanje elemenata UML dijagrama u OWL konstruktore (Grünwald, 2014)

Za izgradnju ontoloških shema koriste se nedavno razvijene metodologije, npr. Methontology, On-To-Knowledge, Diligent i NeOn Methodology (Suárez de Figueroa Baonza, 2010). Proces izgradnje možemo sažeti u dva koraka prikazana na Slici 4-2 (Kun *et al.*, 2005). U prvom koraku stručnjak modelira znanje iz domene: definira osnovne pojmove (koncepte) i njihove odnose; definira pravila tumačenja podataka te zaključivanje. Drugi korak povezuje pojmove domene s pojmovima referentnih viših ontologija. Na taj način omogućuje se međusobno povezivanje nižih ontologija (domenskih i aplikacijskih). Pri tom treba razmotriti ponovnu uporabu već razvijenih ontoloških resursa (shema, uzoraka i dr.).



Slika 4-2: Proces izgradnje ontologije

Novorazvijenu ontološku shemu potrebno je provjeriti. Kako je izrada ontologije subjektivna, pitanje je kako objektivno ispitati njezinu ispravnost. Njezina logička konzistentnost može se ispitati algoritmom rasuđivanja. Npr. ako rasuđivanje izvede da jedna individua pripada dvjema disjunktним klasama, tada imamo nekonzistentnu ontološku shemu. Njena semantička ispravnost može se ispitati uporabom – npr., izrade se pitanja prema namjeni za koju je shema izrađena i ispita se daje li shema dobre odgovore na njih (vidi u Allemang i Hendler, 2011).

Slijedom opisane metodologije, za izradu geoprostorne ontološke sheme iz domene upravljanja izvanrednim situacijama u zračnoj luci koristio se UML jezik kojim je izrađen model geopodataka domene. Klase iz UML modela postale su klase u ontološkoj shemi i spojene su s klasama viših referentnih ontologija. Od domenskih ontologija korištene su GeoSPARQL, W3C Time i 4D Fluents ontologija, a od gornjih ontologija DOLCE ontologija. Izrađena geoprostorna ontološka shema aplikacijska je ontologija što znači da treba sadržavati samo ono znanje potrebno za rješavanje zadanih zadataka.

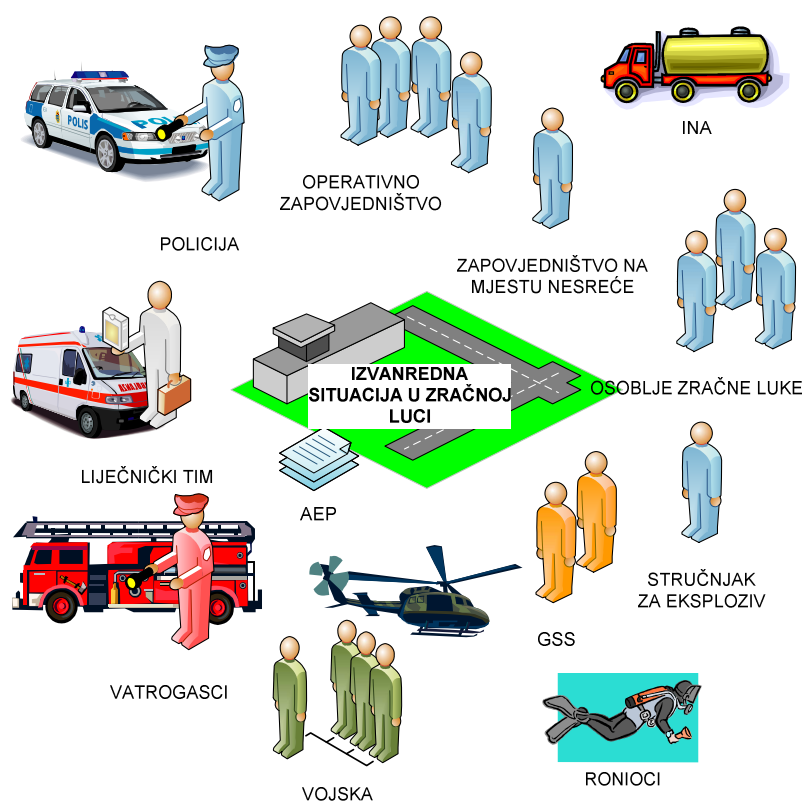
4.2 Analiza korisničkih zahtjeva

U ovom istraživanju analiza korisničkih zahtjeva krenula je od proučavanja domene upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Kako je ta domena izrazito regulirana standardima i tehničkim propisima, tako su proučeni i opisani standardi vezani za geopodatke. Na kraju je operativna praksa proučena u dvjema zračnim lukama.

4.2.1 Općenito o geoprostornim podacima u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama

Upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama predstavlja složenu ljudsku djelatnost. U njoj sudjeluje više službi i ustanova zračne luke i okolnih mjesta (Slika 4-3). Očevici i dobrovoljci priključuju se akcijama spašavanja i tako postaju *ad hoc* sudionici. Upravljanje izvanrednom situacijom ima četiri faze: prevencija i ublažavanje, pripravnost, odgovor i oporavak. U trenutku nesreće započinje faza odgovora. To je najzahtjevnija faza u odnosu na protok informacija. Veliki broj sudionika i resursa bivaju uključeni u međusobno povezane zadatke dijeleći iste podatke. Potrebni su podaci iz različitih izvora, kao i geoprostorni i vremenski podaci. Gdje su ozlijeđeni? Koji su ceste dostupne? Akcije spašavanja ovise o

pouzdanom pristupu podacima, objedinjavanju podataka i dijeljenju podataka između spasilačkih ekipa, građana i sl. (Zlatanova i Fabbri, 2009). Zajednička operativna slika, koju dijele sudionici, prepoznata je kao ključna za uspješnost akcija spašavanja. Tradicionalno su na kartama prikazane lokacije ambulanti, vatrogasnih postrojbi, putna mreža i dr. Danas mrežni GIS softver može izraditi operativnu kartu koristeći podatke iz različitih izvora. Topografske karte pohranjene su na poslužiteljima baza podataka u geodetskim upravama, fotografije šalju *ad hoc* sudionici putem mobilnih telefona, meteorološke podatke šalju dobrovoljci, lokacije spasilačkih timova šalju GNSS uređaji i dr. Svi ti podaci mogu biti objedinjeni u realnom vremenu i predstavljeni kao zajednička operativna slika putem mrežne GIS usluge. Dakle, glavni cilj mrežne GIS usluge je osigurati potrebne informacije svim sudionicima. To će poboljšati komunikaciju i koordinaciju spasilačkih ekipa što će skratiti vrijeme odziva te povećati učinkovitost spasilačkih akcija (Baučić i Medak, 2015).



Slika 4-3: Sudionici akcije spašavanja u izvanrednoj situaciji u zračnoj luci

Postoje mnogi izazovi povezani s razvojem mrežnih GIS usluga za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Neki od njih su sljedeći. Operacije u zračnoj luci regulirane su propisima i tehničkim standardima. Mrežni GIS još nije uključen u standardizaciju i njegov

razvoj zahtijeva dodatne napore i predanost svih sudionika. Sudionici dolaze iz različitih sektora od kojih svaki ima svoju operativnu praksu. Vatrogasci, policija i hitna pomoć imaju svoje dispečerske centre, postupke, rječnik i dr. Institucionalni sporazumi između uključenih sektora nužni su kako bi se omogućila razmjena operativnih podataka. Štoviše, zajedničko razumijevanje podataka među sektorima mora biti postignuto da bi se operativni podaci mogli smisleno objediniti i koristiti. Još uvijek postoje problemi s pristupom i korištenjem geopodataka, uglavnom zato što se geoprostornim podacima upravlja različitim sustavima (CAD ili GIS) te svaki sektor ima svoje definicije objekata i svoje zapise geopodataka (Snoeren *et al.*, 2007). Također, sudionici akcija spašavanja još uvijek ne koriste GIS u dnevnoj rutini te postoji potreba za obukom i podizanjem znanja o GIS-u. Nekoliko studija i projekata pokazalo je da su sudionici akcija spašavanja zainteresirani za razmjenu geoinformacija, te da će korištenje mrežnih GIS usluga imati značajno mjesto u skoroj budućnosti (Abdalla, 2004; Zlatanova i Fabbri, 2009).

Više projekata proučavalo je korištenje geopodataka u kriznim situacijama. Dva nizozemska projekta, Infrastruktura geopodataka za upravljanje kriznim situacijama (Geographical Data Infrastructure for Emergency Management) i Geoinformacije za upravljanje rizicima (Geoinformation for Risk Management) bave se upravljanjem kriznim situacijama za sve vrste katastrofa i za sve upravne razine u Nizozemskoj. Rezultati ovih projekata objavljeni su u mnogobrojnim radovima koji opisuju zahtjeve korisnika (Baučić i Medak, 2015; Borkulo *et al.*, 2006; Diehl, 2006; Snoeren *et al.*, 2007; Zlatanova, 2008; Zlatanova i Fabbri, 2009), UML modele (Zlatanova, 2008; Zlatanova, 2010), e-usluge (Dilo i Zlatanova, 2010), infrastrukturu geopodataka (Baučić i Medak, 2015; Diehl, 2006), modele podataka (Dilo i Zlatanova, 2008; Scholten *et al.*, 2008; Zlatanova, 2010) i dr. Europski projekti ORCHESTRA i OASIS obrađuju interoperabilnost sudionika i njihovih informacijskih sustava u kriznim situacijama. Ipak, niti jedan projekt nije rezultirao modelom i specifikacijama upravljanja kriznim situacijama u zračnim lukama.

Federalna uprava za zrakoplovstvo Sjedinjenih Američkih Država (US Federal Aviation Administration, FAA) nedavno je objavila priručnik za integraciju GIS-a u upravljanju kriznim situacijama u zračnim lukama (Transportation research board, 2013). Priručnik ističe GIS kao produktivan alat poboljšanja upravljanja izvanrednim situacijama. Posebna važnost je posvećena planiranju razvoja GIS-a i analizi potreba korisnika, ali priručnik ne daje model upravljanja kriznim situacijama u zračnim lukama.

Nekoliko primjera modeliranja operacija u zračnim lukama pomoću UML jezika može se naći u EDEMOI projektu za sigurnosne operacije zračnih luka (Delahaye *et al.*, 2008; Ledru *et al.*, 2006) te u radu Ahmada i Saxena za sustav kontrole zračne plovidbe (Ahmad i Saxena, 2008). Prema najboljem saznanju autorice, takvih pokušaja nema za područje upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama.

4.2.2 Standardi za geoprostorne podatke u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama

Operacije u zračnim lukama regulirane su međunarodnim i nacionalnim propisima, preporukama i tehničkim standardima. Pregled standarda, preporuka i projekata vezanih za geoprostorne podatke u zračnim lukama napravili su Baučić *et al.* (2011). Upravljanje izvanrednim situacijama opisano je u sljedećim dokumentima:

Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (International Civil Aviation Organization, ICAO) razvija međunarodne standarde i propise u zračnom prometu. Glavni ICAO dokumenti za planiranje u slučajevima izvanrednih situacija u zračnim lukama su:

- Aneks 14 ICAO konvencije, volumen I (ICAO Annex 14 to the Convention on ICAO, Volume I) (ICAO, 2009)
- Servisni priručnik za zračne luke, ICAO dokument br. 9137, dio 7: Planiranje u slučajevima izvanrednih situacija u zračnim lukama (ICAO Airport Service Manual, doc. 9137, Part 7 Airport Emergency Planning) (ICAO, 1991)

Federalna uprava za zrakoplovstvo Sjedinjenih Američkih Država (FAA) objavila je preporuke za izradu plana upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama:

- FAA savjetodavna kružna preporuka, br. 150/5200-31C, Plan upravljanja izvanrednim situacijama u zračnoj luci (FAA Advisory Circular, No. 150/5200-31C, Airport emergency plan) (FAA, 2009)

Republika Hrvatska ima sljedeći propis koji govori o upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama i koji je usklađen s Aneksom 14 ICAO konvencije:

- Pravilnik o aerodromima, Narodne novine 58/2014 (Republika Hrvatska, 2014)

Prethodno navedeni dokumenti opisuju izradu Plana postupanja za slučaj izvanredne situacije u zračnoj luci (Airport Emergency Plan), dalje u tekstu Plan postupanja. Plan postupanja treba sadržavati najmanje sljedeće:

- Vrste izvanrednih situacija za koje su planirani postupci
- Službe, ustanove i organizacije uključene u plan
- Odgovornosti i uloge sudionika, povjerenstvo i operativno zapovjedništvo za svaku vrstu izvanredne situacije
- Imena i telefonske brojeve ureda i ljudi koje treba kontaktirati u slučaju određene izvanredne situacije
- Kodirane karte područja zračne luke i okolice

Opis i primjeri kodiranih karata nalaze se u sedmom poglavlju Servisnog priručnika za zračne luke, ICAO dokument br. 9137, dio 7:

- Kodirana karta područja zračne luke prikazuje područje zračne luke s prilaznim cestama, objektima za opskrbu vodom, mjestima okupljanja spasilačkih ekipa, mjestima predviđenim za spasilačke aktivnosti i dr.
- Kodirana karta okolice zračne luke prikazuje medicinske objekte, pristupne ceste, mjesta okupljanja spasilačkih ekipa i dr. na udaljenosti cca 8 km od zračne luke.
- Kodirane karte dijele područje na lokacijske sektore koji imaju jedinstvenu oznaku ili kod.
- Medicinski objekti su numerirani i imaju podatak o broju kreveta, osoblja i dr.

Plan upravljanja kontinuirano se održava, uključujući i sadržaj kodiranih karata, te se dostavlja svim planiranim sudionicima. Dodatno, kodirane karte trebaju se nalaziti u kontrolnom tornju, vatrogasnoj stanici te medicinskim, vatrogasnim i drugim spasilačkim vozilima.

Zaključno, stanje standardizacije geopodataka za potrebe upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama je sljedeće:

- Plan postupanja je standardizirani dokument koji uključuje specifikacije za dvije analogne kodirane karte s prikazom važnih lokacija i objekata.
- Digitalni geopodaci su standardizirani po pitanju korištenja koordinatnih sustava i kvalitete podataka objekata zračne luke (Baučić *et al.*, 2011).
- Specifikacije za korištenje digitalnih geopodataka i GIS-a su u razvoju.

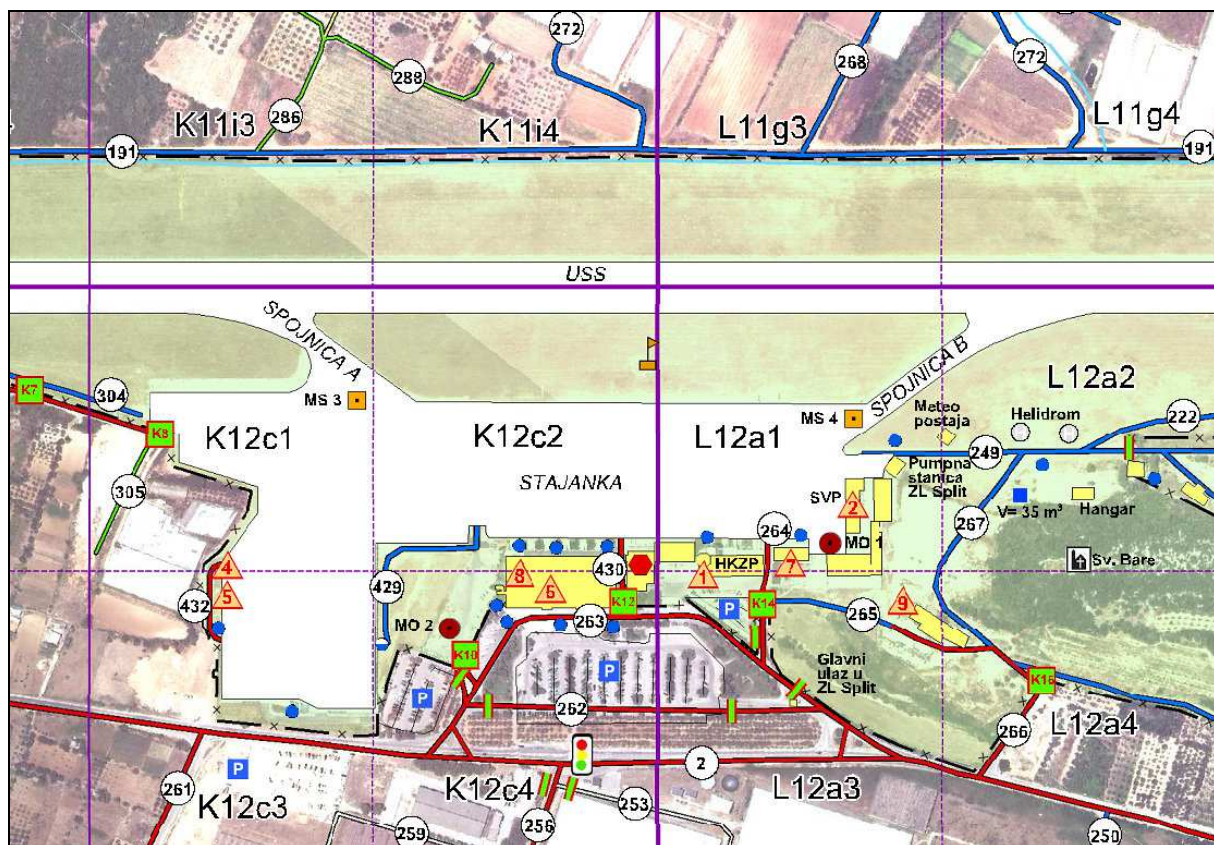
4.2.3 Operativna praksa u zračnim lukama

Operativna praksa u upravljanju izvanrednim situacijama istražena je u Zračnoj luci Split i Zračnoj luci Dubrovnik. Proučeni su Planovi postupanja u obje zračne luke (Zračna luka Dubrovnik, 2012; Zračna luka Split, 2012). Planovi postupanja detaljno opisuju tijek spašavanja, sudionike, odgovornosti i potrebne podatke, a poslužili su kao glavni izvor informacija za izradu UML modela. Za modeliranje geopodataka poslužile su kodirane karte (geopodaci koji postoje prije nesreće) i analiza potreba sudionika i njihovih aktivnosti (geopodaci koji se stvaraju tijekom akcija spašavanja).

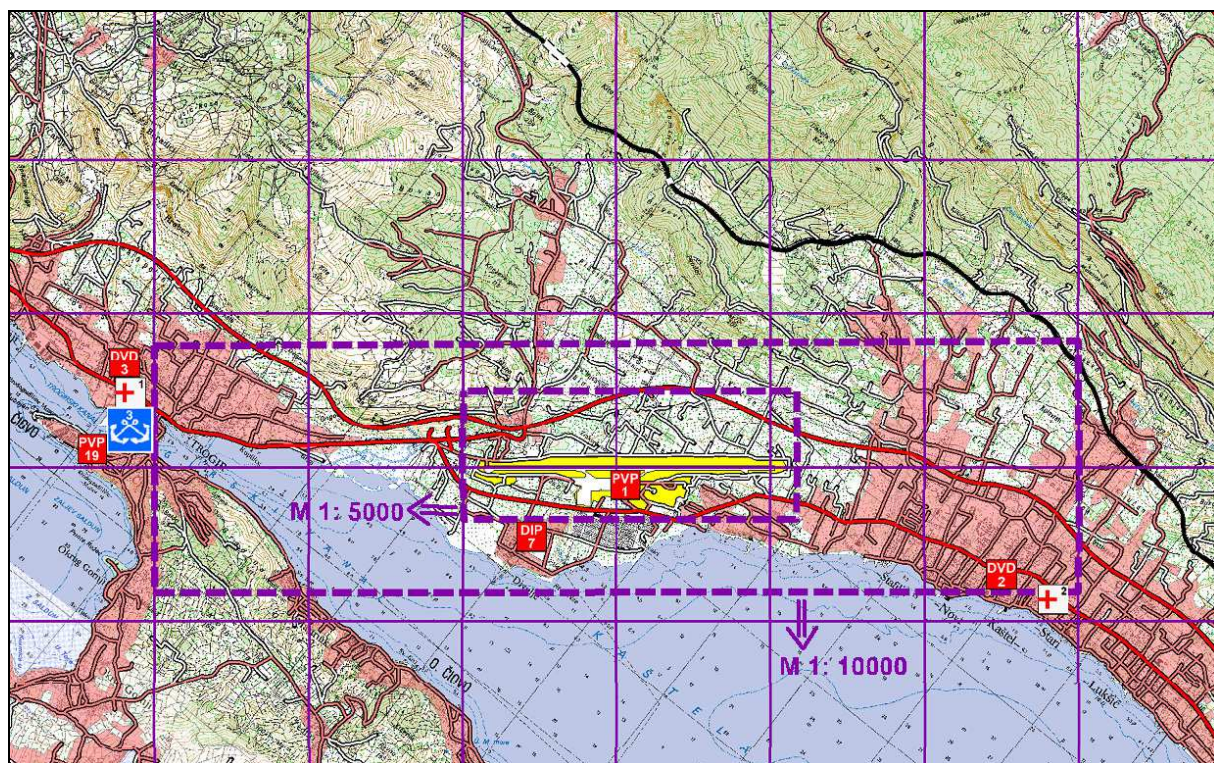
Slika 4-4 prikazuje dio kodirane karte Zračne luke Split u mjerilu 1:5.000. Dionice cesta su klasificirane prema širini vozila za koje su prohodne (npr. crvena boja označuje širinu > 3 metra, a plava širinu od 2,5 do 3 metra) i nose jedinstveni broj. Lokacijski sektori imaju svoju oznaku ili kod koji je složen od oznake glavnog sektora (npr. K12) i oznake podsektora (npr. c1). Ulazi u zračnu luku imaju oznake K1, K2 itd., a numerirani trokutići označavaju lokacije službi u zračnoj luci. Posebno su istaknuti hidranti i vodosprema, mjesta sačekivanja zrakoplova (oznaka MS) te mjesta okupljanja spasilačkih ekipa (oznaka MO). U podlozi je ortofotokarta.

Slika 4-5 prikazuje dio kodirane karte okolice Zračne luke Split u mjerilu 1:50.000. Na topografskoj karti dodatno je iscrtana cestovna mreža, područje zračne luke i lokacije hitnih ustanova (ambulante, profesionalne i dobrovoljne vatrogasne postrojbe, lučke kapetanije). Hitne ustanove su numerirane i u tumaču znakova opisane nazivom, kapacitetom i sl.

Zračna luka Split koristi GIS aplikaciju za podršku upravljanju izvanrednim situacijama koja je detaljno opisana u (Baučić *et al.*, 2011). Geoprostorna baza sadrži podatke kodiranih karata, a GIS aplikacija ima standardne GIS funkcije za prikaz slojeva, uvećanje i umanjenje prikaza, prikaz informacija o objektu i dr. Odmah nakon lociranja nesreće uspostavljaju se prilazne rute za vozila. Taj zadatak je potpomognut GIS funkcijom pronalaženja najkraćeg puta prema odabranom vozilu, tj. njegovoj širini. Na Slici 4-6 sučelje je GIS aplikacije s prikazom najkraćeg puta za odabrano spasilačko vozilo širine do 1,8 metara. Najkraći put je dodatno opisan instrukcijama za vožnju koje sadrže duljine dionica, skretanja i vrijeme vožnje.



Slika 4-4: Dio kodirane karte Zračne luke Split

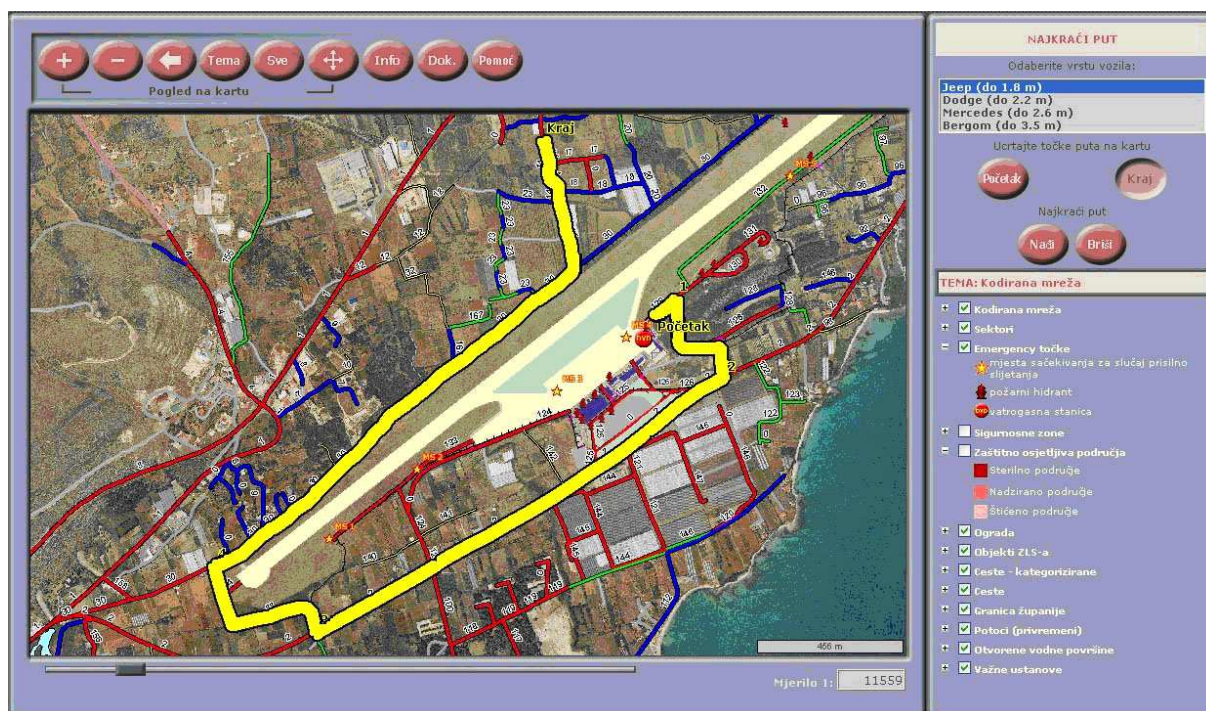


Slika 4-5: Dio kodirane karte okolice Zračne luke Split

Primjena GIS-a u Zračnoj luci Split pokazuje kako GIS može poboljšati upravljanje izvanrednim situacijama:

- Korisnici koriste kodirane karte na nov i proširen način sa standardnim GIS funkcijama pregledavanja i pretraživanja.
- Uspostava ruta podržana je GIS funkcijom za pronalaženje najkraćeg puta.
- Uprava zračne luke ima centralno mjesto u održavanju geopodataka Plana postupanja.
- Svi sudionici imaju pristup istim i aktualnim podacima.

Daljnji razvoj ove GIS aplikacije korisnici vide u proširenju GIS funkcijama za lociranje i upućivanje spasilačkih ekipa (putem GNSS uređaja), pronalaženje najbližeg resursa (primjerice bolnice, hidranta), informiranje javnosti (izrdom karata) i, konačno, za izgradnju zajedničke operativne slike svih službi koje sudjeluju u akcijama spašavanja. Pregled mogućih primjena GIS aplikacija dan je u (Transportation research board, 2013).



Slika 4-6: Sučelje GIS aplikacije Plana upravljanja Zračne luke Split s prikazom najkraćeg puta (© Geodata d.o.o. Split)



Slika 4-7: Vježba postupanja u slučaju izvanrednog događaja u Zračnoj luci Split 2012. godine

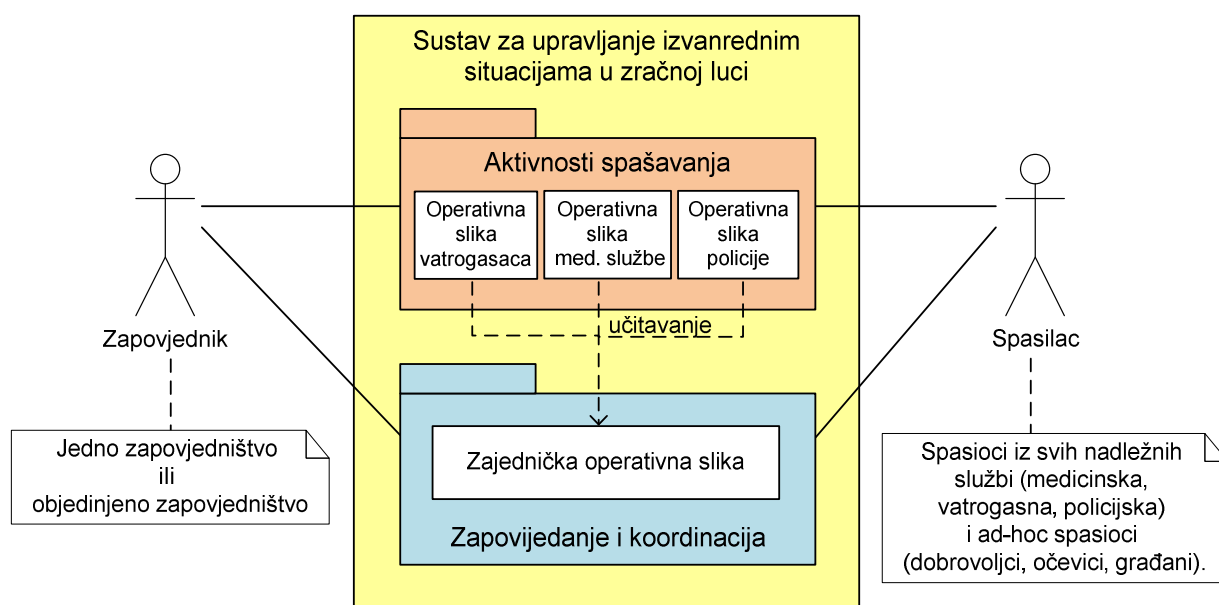
U izradi UML modela i prototipa geoprostorne semantičke baze Z-ONTO korišteno je višegodišnje iskustvo autorice u izradi i održavanju kodiranih karata i GIS aplikacije za Zračnu luku Split. Slika 4-7 prikazuje izvođenje redovne vježbe postupanja u slučaju izvanrednog događaja u Zračnoj luci Split 2012. godine.

4.3 UML model

Analiza korisničkih zahtjeva osigurala je informacije potrebne za izradu konceptijskog modela Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS). Izgrađeni UML model predstavlja idejni projekt SUIS-a koji sadrži opis korisnika, funkcija i informacijskih potreba. Naglasak je stavljen na geoprostorne podatke koji su detaljno opisani i modelirani.

Upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci složena je djelatnost čiji konceptijski model sadrži stotine objekata, klasa (tipova objekata), procesa, odnosa i dr. Da bi se takav

veliki sustav modelirao, njegovi elementi se organiziraju u podsustave ili pakete. Slika 4-8 prikazuje UML paket dijagram SUIS-a s dva paketa: *Aktivnosti spašavanja* te *Zapovijedanje i koordinacija*. Korisnici sustava (engl. *actors*) mogu se promatrati kao *Zapovjednici* ili *Spasioci* (bilo da dolaze iz nadležnih službi ili su *ad hoc* sudionici). *Aktivnosti spašavanja* provode vatrogasci, policajci, liječnici i dr., i oni imaju svoje operativne slike. Kako bi se izgradila zajednička operativna slika, ove operativne slike moraju biti učitane u paket *Zapovijedanje i koordinacija*. Za ilustraciju, Slika 4-8 prikazuje tri operativne slike hitnih službi, dok u stvarnosti tu još mogu biti operativna slika vojske, civilne zaštite i dr.



Slika 4-8: UML paket dijagram Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS)

Slučajevi korištenja opisuju funkcije sustava iz perspektive korisnika. Oni pokazuju korisnike i slučajeve u kojima se koristi sustav. Zbog veličine SUIS-a izrađene su dvije razine UML dijagrama slučaja korištenja. Prva razina sadrži devet slučajeva korištenja i šesnaest korisnika (korisnik je osoba ili objekt koji ima interakciju sa sustavom).

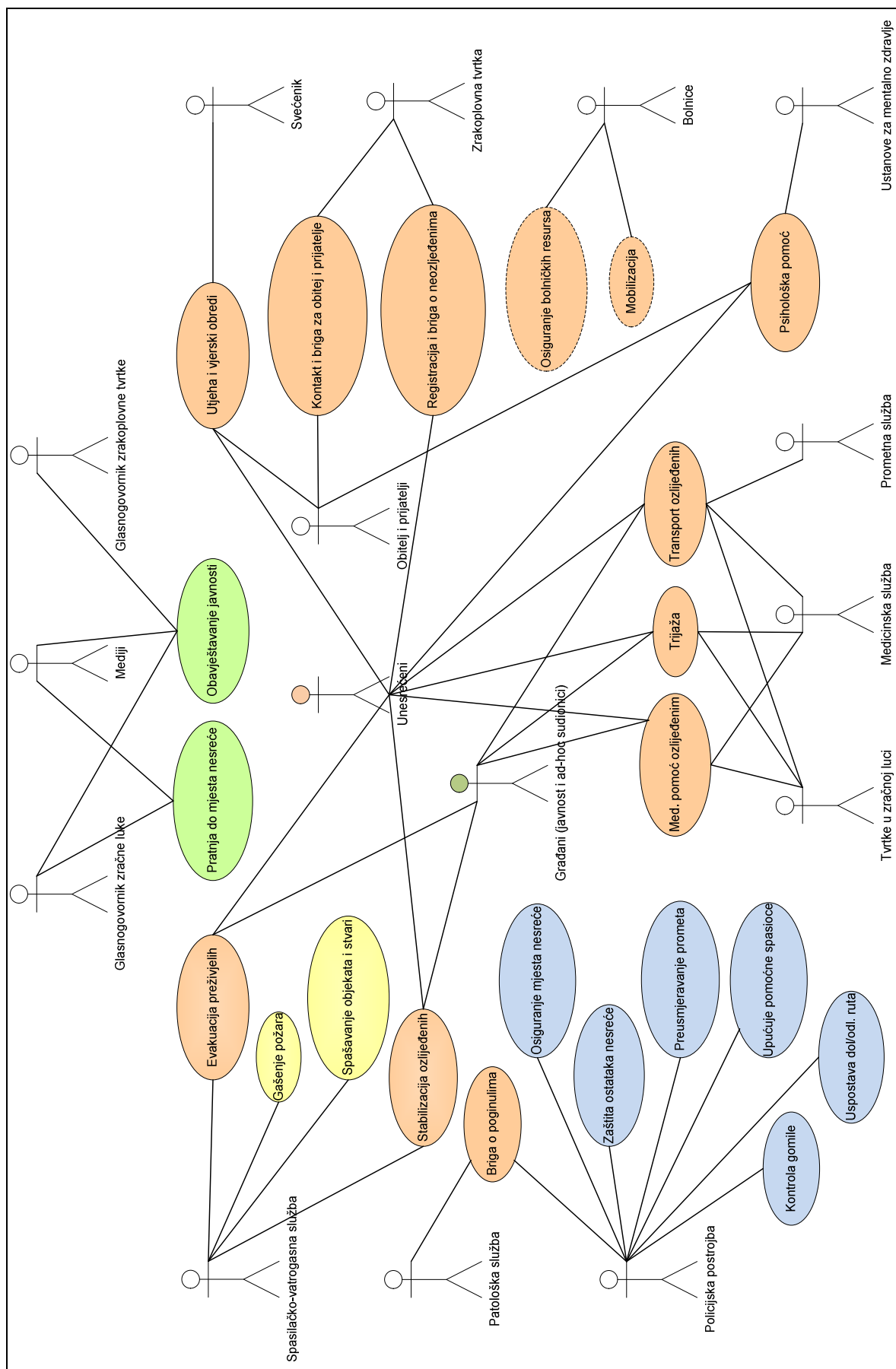
Paket *Aktivnosti spašavanja* sadrži sljedeće slučajeve korištenja:

- *Spašavanje i gašenje*
- *Medicinska pomoć i njega*
- *Sigurnost i provedba zakona*
- *Informiranje javnosti*

Paket *Zapovijedanje i koordinacija* sadrži sljedeće slučajeve korištenja:

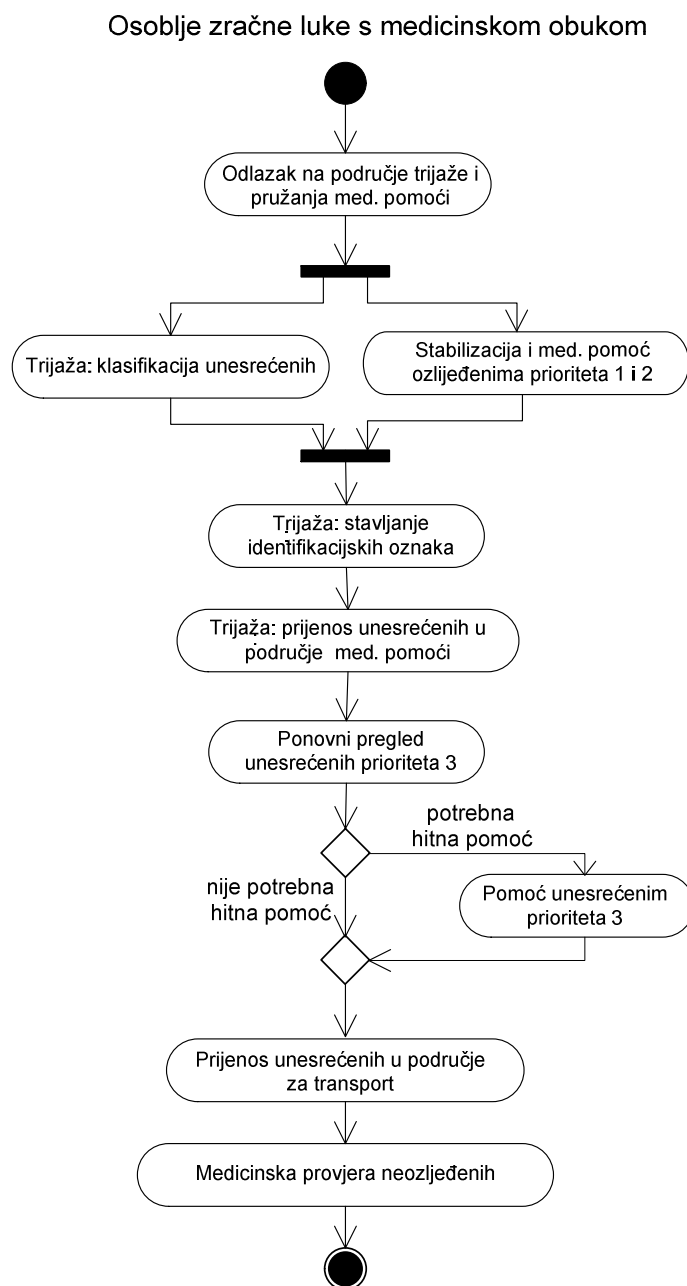
- *Uzbunjivanje i obavješćavanje*
- *Uspostava zapovjedništva*
- *Dodjela odgovornosti*
- *Zapovijedanje i koordinacija (na mjestu nesreće ili glavna)*
- *Nastavak operacija u zračnoj luci*

Sljedeća razina dijagrama sadrži 22 slučaja korištenja u paketu *Aktivnosti spašavanja* (Slika 4-9) i 20 slučaja u paketu *Zapovijedanje i koordinacija*. Slučajevi korištenja predstavljaju glavne funkcije SUIS-a. Na Slici 4-9 slučajevi korištenja obojeni su različitim bojama ovisno o pripadnosti višoj razini: žuta za slučajeve iz *Spašavanja i gašenja*, crvena za *Medicinsku pomoć i njegu*, plava za *Sigurnost i provedbu zakona* i zelena za *Informiranje javnosti*. Dva slučaja ne koriste geopodatke pa se izostavljaju iz daljnjeg razmatranja (na Slici 4-9 označeni isprekidanim rubom).



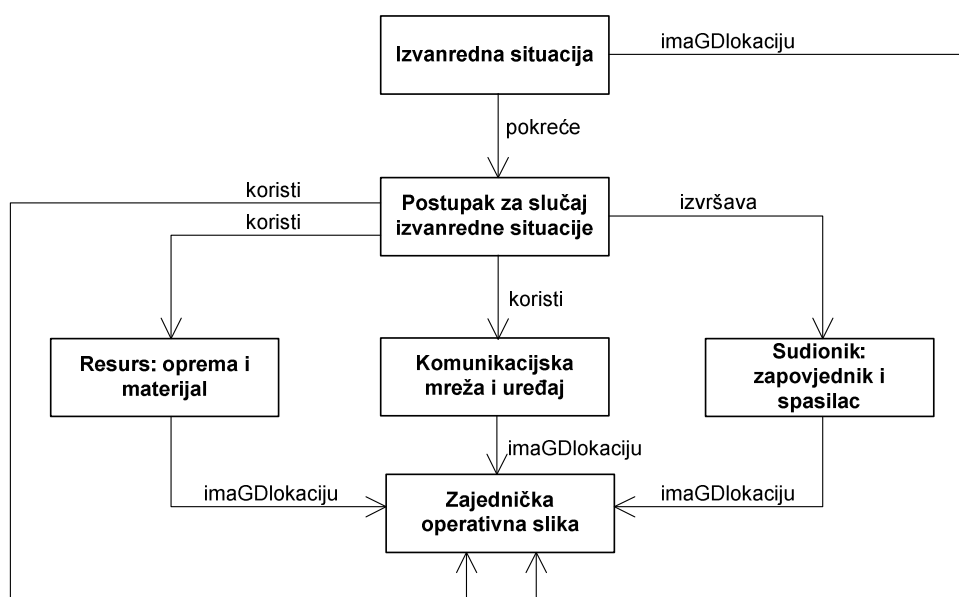
Slika 4-9: UML dijagram slučaja korištenja iz paketa *Aktivnosti spašavanja*

Akcije spašavanja u zračnoj luci moraju slijediti procedure definirane standardima i propisima te Planom postupanja zračne luke. Devet UML dijagrama aktivnosti opisuje slijed spasilačkih aktivnosti. Slika 4-10 prikazuje dio dijagrama aktivnosti za pružanje medicinske pomoći. Medicinsku pomoć pruža osoblje zračne luke koje ima medicinsku obuku (vatrogasci, policajci, liječnici i medicinsko osoblje, zaposlenici zračne luke i zaposlenici u tvrtkama koje se nalaze u zračnoj luci).



Slika 4-10: UML dijagram aktivnosti pružanja medicinske pomoći (dio)

Dijagrami klasa pokazuju strukturu sustava. Klase i njihovi odnosi apstraktni su opisi dijelova sustava. Osnovni UML dijagram klasa sadrži šest klasa: *Izvanredna situacija*, *Postupak za slučaj izvanredne situacije*, *Resurs: oprema i materijal*, *Komunikacijska mreža i uređaj*, *Sudionik: zapovjednik i spasilac* i *Zajednička operativna slika*. Slika 4-11 prikazuje klase i njihove odnose. Izvanredna situacija pokreće postupke koje izvršavaju sudionici. Postupci koriste resurse (opremu i materijal), komunikacijsku opremu i podatke zajedničke operativne slike. Izvanredna situacija, sudionici, resursi i komunikacijska oprema imaju svoje lokacije u prostoru koje se mijenjaju u vremenu; imaju geodinamičke lokacije.



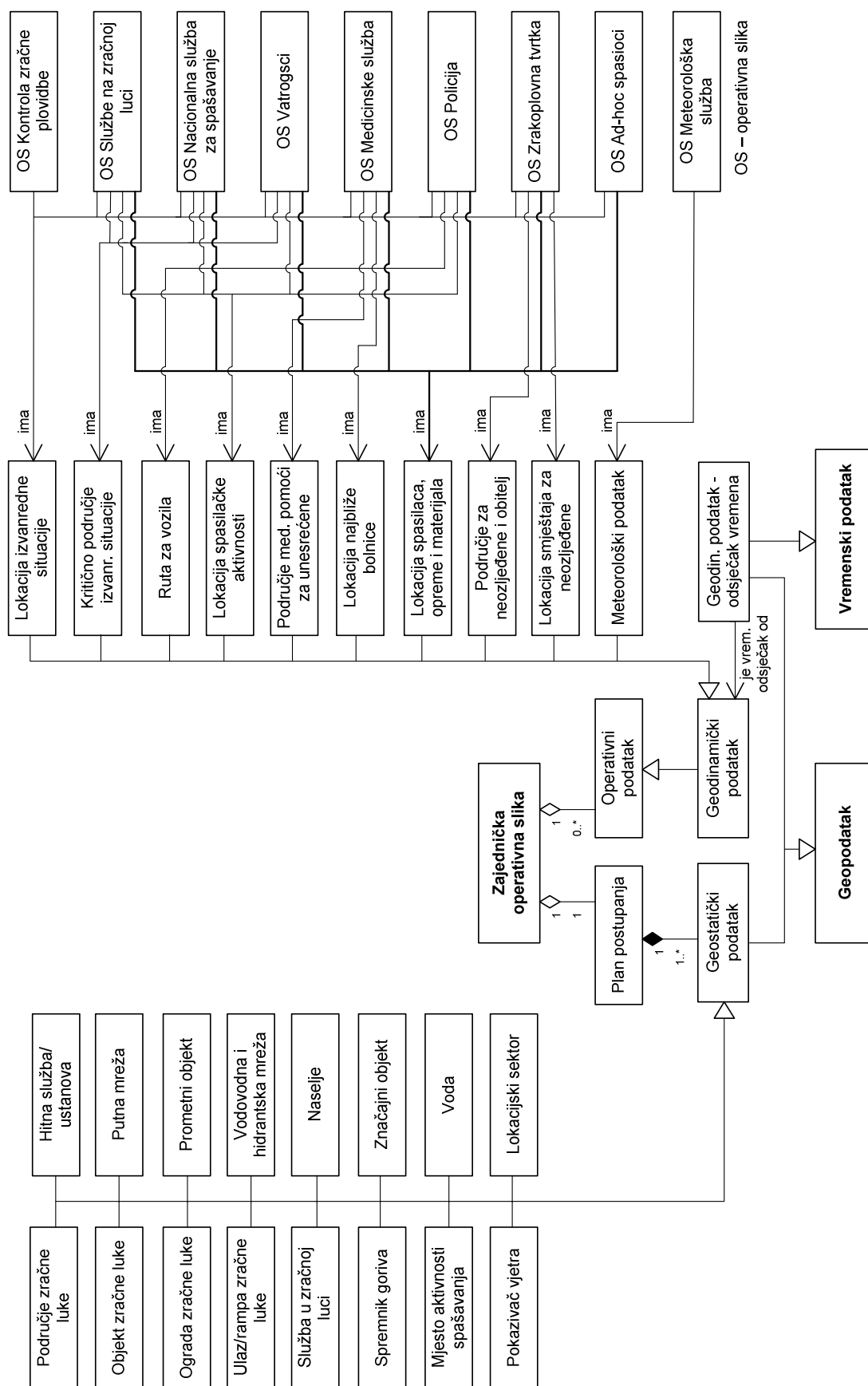
Slika 4-11: Osnovni UML dijagram klasa Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS)

Detaljnija struktura sustava može se dobiti proširenjem osnovnog dijagrama s podklasama i odnosima između podklasa. Slika 4-12 prikazuje dio UML dijagrama klasa za *Medicinsku pomoć i njegu*. Podklase su povezane sa svojim nadklasama generalizacijom (na slici linija s trokutićem). Npr. *Pokretna bolnica* je podklasa *Medicinske opreme*. *Trijaža* je podklasa *Medicinske pomoći i njege*. Asocijacija između klasa je prikazana crtom te strelicom i nazivom. Ona govori o povezanosti objekta jedne klase s objektom druge klase. Npr. *Transport ozlijeđenih* koristi *Medicinsko vozilo*, a *Trijažu* izvršava *Liječnik*. Agregacija između klasa prikazana je crtom i romбом te govori da objekt jedne klase predstavlja dio objekta druge klase. Npr. *Plan postupanja* je dio *Zajedničke operativne slike*. Cijeli UML dijagram za *Medicinsku pomoć i njegu* sadrži 43 klase.

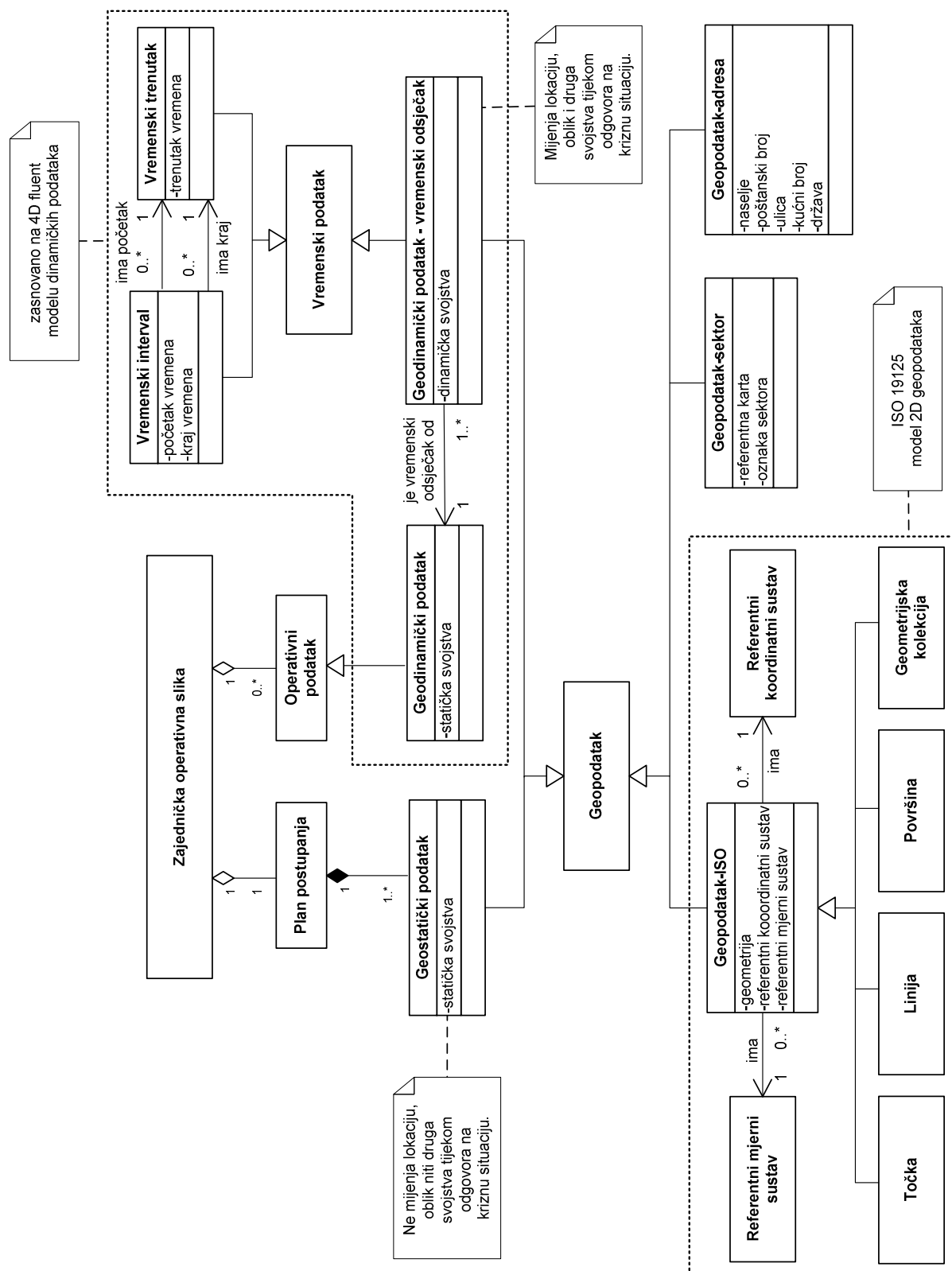
Klase potrebnih geopodataka izvedene su iz specifikacija kodiranih karata i UML dijagrama. Koje podatke trebaju, a koje stvaraju sudionici i postupci? Prilog 1 (Potrebni geopodaci) prikazuje koje sve geopodatke koriste identificirani slučajevi korištenja, a Prilog 2 (Izvori i opis geopodataka) daje izvore i opis geopodataka. Rasterski geopodaci (topografske karte i ortofoto karte) izostavljeni su iz daljnjeg razmatranja jer je njihova semantička informacija sadržana u boji piksela.

Zlatanova *et al.* (2010) predlaže dvije osnovne klase geopodataka u upravljanju kriznim situacijama: geostatičke i geodinamičke podatke. Geostatički podaci postoje prije nesreće, a geodinamički podaci prikupljaju se tijekom incidenta. Geodinamički podaci sastoje se od situacijskih podataka o incidentu (npr. mjesto nesreće, zahvaćena područja, pogođene osobe, mjerenja) i operativnih podataka o spasilačkim postupcima koji su aktivirani (npr. lokacije spasilačkih ekipa, mjesta okupljanja). I u slučaju upravljanja izvanrednim situacijama u zračnoj luci geopodaci se mogu klasificirati u te dvije osnovne klase. Ta klasifikacija dalje je razrađena na sljedeći način.

Slika 4-13 prikazuje osnovni UML dijagram klasa geoprostornih podataka. *Zajedničku operativnu sliku* čine zajedno *Plan postupanja* i *Operativni podaci*. *Plan postupanja* sastoji se od *Geostatičkih podataka*, tj. njihovih 16 podklasa: *Područje zračne luke*, *Objekt zračne luke*, *Ograda zračne luke* itd. *Geodinamički podaci* su podklasa *Operativnih podataka* i imaju 10 podklasa: *Lokacija izvanredne situacije*, *Kritično područje izvanredne situacije*, *Ruta za vozila* itd. Geodinamički podaci dolaze s terena od spasilačkih postrojbi ili *ad hoc* sudionika. Npr. *Lokacija spasilaca*, *opreme i materijala* operativni su podaci različitih službi koje sudjeluju u akciji spašavanja i nalaze se u njihovim operativnim slikama (označeno debljom linijom na Slici 4-13).



Slika 4-13: Osnovni UML dijagram klasa geoprostornih podataka



Slika 4-14: UML dijagram klasa geostatičkih i geodinamičkih podataka

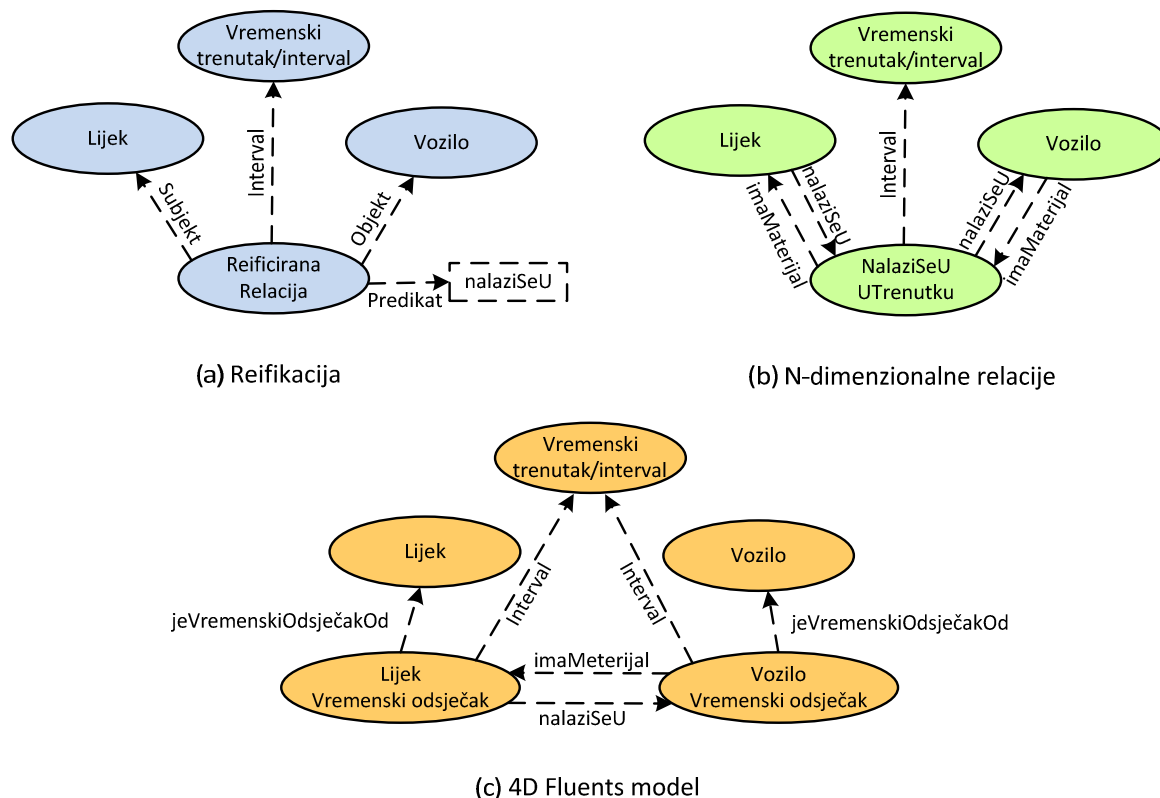
Slika 4-14 prikazuje UML dijagram klasa geostatičkih i geodinamičkih podataka. Klasa *Geopodaci* ima tri podklase: *Geopodatak-ISO*, *Geopodatak-Sektor* i *Geopodatak-adresa* ovisno o tome na koji način je definirana lokacija objekta (ISO 19125 standardom, oznakom lokacijskog sektora ili adresom). Podklasa *Geopodatak* je *Geostatički podatak* koji ne mijenja svoju lokaciju, oblik i druga svojstva tijekom odgovora na izvanrednu situaciju i zato kažemo da ima statička svojstva. Operativni podaci su geodinamički i mijenjaju svoju lokaciju, oblik i druga svojstva tijekom odgovora na izvanrednu situaciju. Oni su modelirani pomoću 4D Fluents modela dinamičkih podataka. Geodinamički podatak ima svojstva koja se ne mijenjaju (npr. identifikacijski broj, naziv) i ima svoj vremenski odsječak u koji pohranjuje svojstva koja se mijenjaju (npr. lokacija, status, količina) i koja zovemo dinamička svojstva. Podaci o vremenu pohranjuju se u klasu *Vremenski podatak* i podklase *Vremenski interval* i *Vremenski trenutak*.

Zašto je odabran model 4D Fluents model za geodinamičke podatke?

Semantička mreža je zasnovana na deskriptivnoj logici, koristi RDF model podataka i OWL jezik i time je ograničena na binarne relacije. Ako želimo reći da se lijek nalazi u vozilu u nekom trenutku, tada imamo relaciju R (nalazi se) s tri argumenta: lijek (l), vozilo (v) i trenutak (t) ili $R(l,v,t)$. Tako dolazimo do problema kako prikazati n -dimenzionalne relacije koristeći binarne relacije. Pregled mogućih rješenja nalazi se u (W3C, 2006a). Tri praktična rješenja su: Reifikacija (engl. *reification*), N -dimenzionalne relacije (engl. *N-ary Relations*) i 4D Fluents model. Reifikacija će za relaciju R kreirati novi objekt *ReificiranaRelacija* koji će imati za svojstva l , v , t i relaciju R (Slika 4-15, dio a). N -dimenzionalne relacije će kreirati novi objekt RT koji predstavlja relaciju R u trenutku t . Argumenti l , v i t postaju svojstva objekta RT (Slika 4-15, dio b). 4D Fluents model uvodi vremenske odsječke (engl. *timeslices*) za lijek i vozilo (Slika 4-15, dio c). Sada početna relacija R stoji između vremenskih odsječaka lijeka i vozila koji postoje u vremenskom intervalu t . Vremenski trenutak je vremenski interval s istim početkom i krajem.

4D Fluents model prikazuje koncepte koji se razvijaju u vremenu kao 4D objekte. Svaki objekt ima svoje vremenske odsječke koje možemo zamisliti kao odsječke "prostorno-vremenskog crva". Welty i Fikes (2006) su pokazali da je to najprikladniji model za prikaz geodinamičkih podataka u RDF modelu i s OWL jezikom. Kod 4D Fluents modela, relacije koje su vrijedile između objekata, vrijede između njihovih vremenskih odsječaka, a sačuvana

su i svojstva relacija, npr. inverznost, simetričnost, kardinalnost i dr. To omogućuje rasuđivanje bez uvođenja nove semantike za reificirane ili n-dimenzionalne relacije što traže ostala rješenja.



Slika 4-15: Reifikacija, N-dimenzionalne relacije i 4D Fluents model
(prilagođeno iz Batsakis *et al.*, 2011)

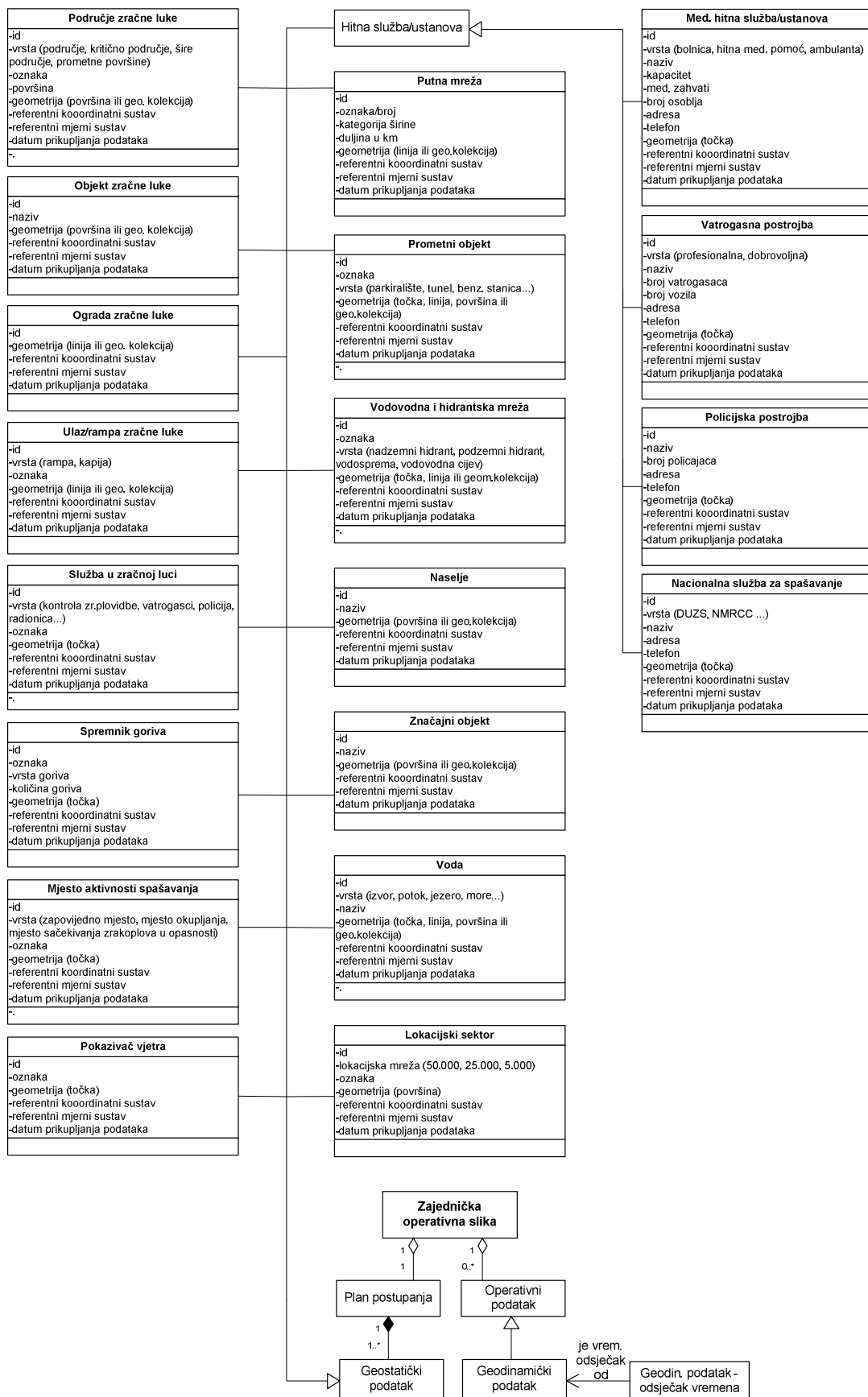
Slika 4-16 prikazuje UML dijagram podklasa geostatičkih podataka s atributima. Slika 4-17 prikazuje UML dijagram podklasa geodinamičkih podataka s atributima. Geodinamički podaci imaju vremenske odsječke u kojima su dinamička svojstva pohranjena kao atributi. Npr. *Sudionik* je osnovna UML klasa koja je po tipu *Geodinamički podatak*. Dinamička svojstva su joj lokacija, uloga koja joj je dodijeljena (npr. glasnogovornik) i zapovjedništvo pod čijom je komandom (npr. glavno zapovjedništvo). Vremenski odsječci mogu imati lokaciju zapisanu ISO 19125 standardom, oznakom lokacijskog sektora ili adresom (npr. na Slici 4-17 *Sudionik* ima lokaciju zapisanu kao oznaku lokacijskog sektora i kao točku ISO 19125 standarda).

Detaljan opis potrebnih geopodataka dan je u Prilogu 2 (Izvori i opis geopodataka). Geopodaci su opisani svojim mjerilom, klasifikacijom, obuhvatom, grafičkim prikazom,

atributima, izvorom i dr. Mjerila idu od 1:5.000 do 1:50.000. Neki podaci obuhvaćaju širi prostor oko zračne luke (npr. ceste, naselja, bolnice), a neki samo prostor u blizini zračne luke (npr. hidranti, mjesta okupljanja spasilačkih timova). Geoprostorni podaci su klasificirani u skladu s potrebama akcija spašavanja. Npr. ceste su klasificirane prema širini spasilačkih vozila za koja su prohodne. Bolnice su klasificirane prema vrsti medicinskih postupaka koje pružaju i broju kreveta. Glavni izvori geopodataka su državna geodetska uprava, lokalna uprava, komunalne tvrtke, zračna luka, spasilačke službe (vatrogasci, hitna medicinska pomoć, policija, *ad hoc* sudionici) i meteorološka služba. Zajedno geostatički i geodinamički podaci sastavljaju zajedničku operativnu sliku za SUIS.

Zaključno, izgradnjom UML modela za Sustav upravljanja izvanrednim situacijama u zračnoj luci osiguralo se sljedeće:

- Zahtjevi međunarodnih i nacionalnih propisa te standarda pretvoreni su u grafički model koji je pogodan za razvoj sustava.
- Zahtjevi koji dolaze od korisnika i njihove prakse uključeni su u isti model.
- Korisnici mogu prihvatiti model i tako postići zajedničko tumačenje specifikacija.
- Programeri mogu izgraditi mrežne GIS usluge koje će osigurati potrebne informacije svim sudionicima.



Slika 4-16: UML dijagram podklasa geostatičkih podataka



Geoprostorna ontološka shema je formalna konceptualizacija znanja o dijelu "geostvarnosti". Ona sadrži hijerarhiju koncepata (klasa), njihovih svojstva i relacija. Može sadržavati i

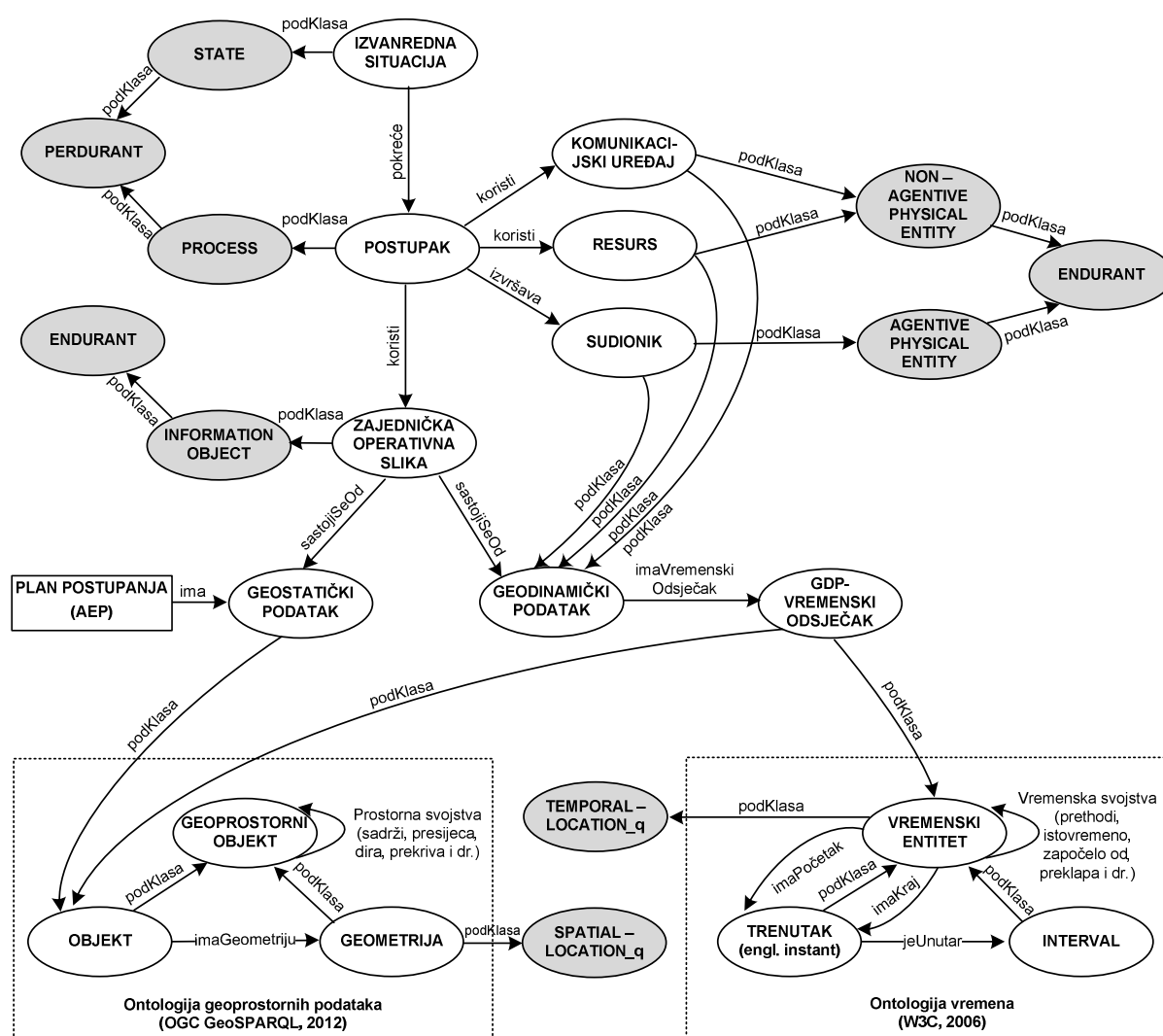
logička pravila za tumačenje podataka i logičko rasuđivanje (izvođenje novih podataka iz onih već upisanih u bazu). U ovom istraživanju konstruirana je geoprostorna ontološka shema za domenu upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama. To je aplikacijska ontologija jer služi za rješavanje zadanih zadataka iz jednog područja primjene.

Prvo su proučene postojeće ontologije. Geoprostorne ontološke sheme su u fazi razvoja, tako da nije pronađena niti jedna shema iz ovog ili srodnog područja. W3C grupa izradila je nacrt o interoperabilnosti informacija u upravljanju izvanrednim situacijama (W3C, 2009a). On sadrži mentalnu mapu (engl. *mind map*) s 21 konceptom, njihovim svojstvima i relacijama. "Gdje?" je osnovni koncept koji može biti opisan točkom na karti, adresom, poštanskim brojem, značajnim objektom u blizini, telefonskim brojem i sl. Dokument savjetuje korištenje ISO i OGC standarda za opis geopodataka da bi se postigla njihova harmonizacija. Osnovni UML model sadrži klasu za pohranu geopodataka *LocationInformation* koja je povezana s klasom *InformationObject* iz gornje ontologije DOLCE-Lite. Jedan od važnijih koncepta u upravljanju izvanrednim situacijama je *Događaj* (engl. *event*). Zato su pretražene ontološke sheme koje modeliraju događaje. Event Model-F je ontološka shema za događaje koja se testno koristila u upravljanju izvanrednim situacijama (Scherp *et al.*, 2009). Sastoji se od više dijelova, tj. ontoloških uzoraka koji modeliraju dijelove domene, npr. sudjelovanje u događajima, dijelovi događaja, kauzalnost događaja, korelacija događaja, dokumentacija i interpretacija. U ovoj shemi geoprostorni koncept opisuje događaje i povezan je s klasom *Quality* iz gornje ontologije DOLCE-Lite. Ipak, geoprostorni podaci nisu detaljno razrađeni da bi Event Model-F shema mogla poslužiti u ovom istraživanju.

Zaključno, geoprostornu ontološku shemu za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama nije moguće izraditi preinakama postojećih shema, već ju je potrebno izvesti iz UML modela. Slika 4-18 prikazuje osnovnu geoprostornu ontološku shemu SUIS-a. Klase osnovnog UML dijagrama SUIS-a (Slika 4-11) i UML dijagrama klasa geoprostornih podataka (Slika 4-13) postale su osnovne klase geoprostorne ontološke sheme.

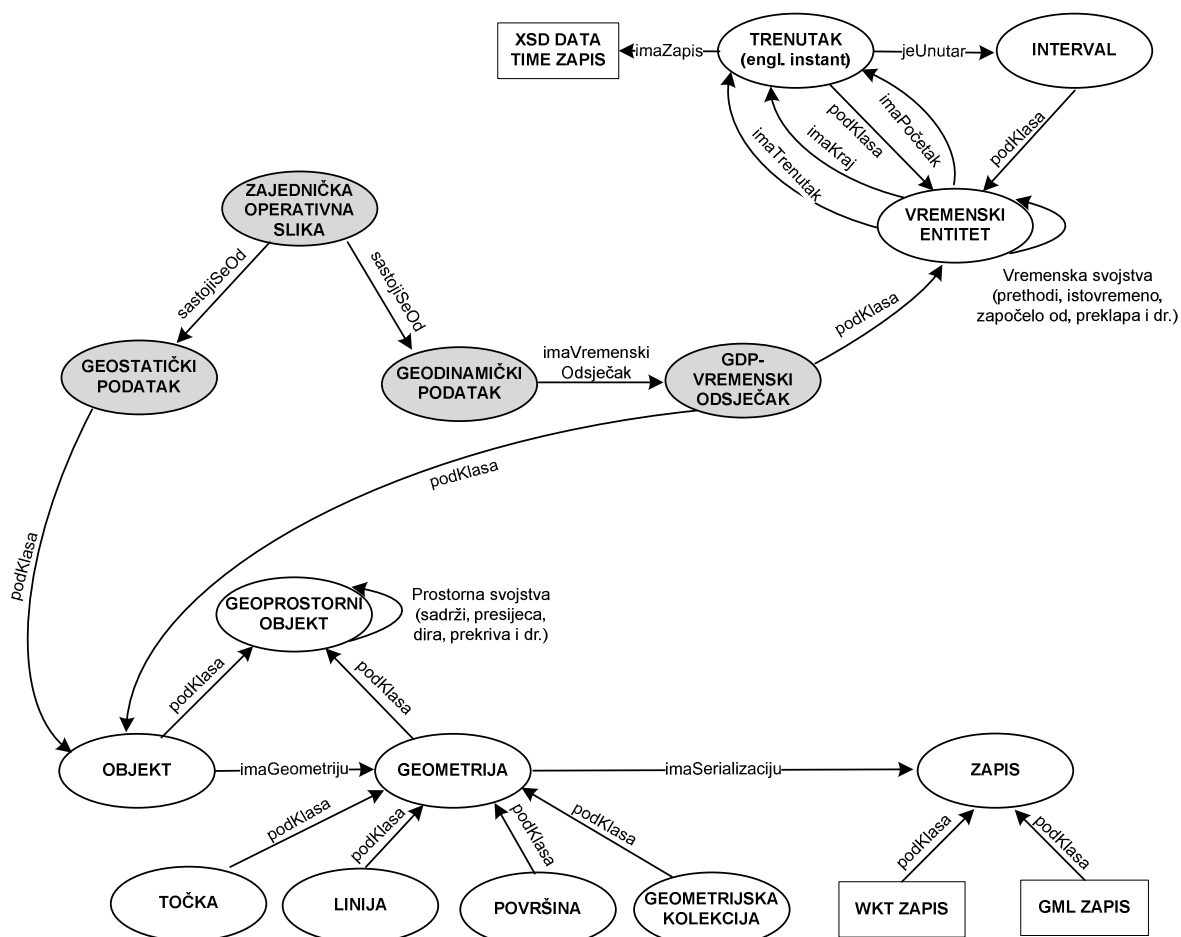
Da bi se omogućilo objedinjavanje podataka, potrebno je shemu povezati s referentnim ontologijama. GeoSPARQL (OGC, 2012) i W3C Time (W3C, 2006b) ontologije odabrane su kao domenske ontologije geoprostornih podataka i vremena. Klase *Geostatički podatak* i *Geodinamički podatak (GDP)-vremenski odjesečak* su podklase GeoSPARQL klase *Objekt*. *Geodinamički podatak (GDP)-vremenski odsječak* je podklasa W3C Time klase *Vremenski*

entitet. DOLCE-Lite ontologija (Masolo *et al.*, 2003) odabrana je za referentnu gornju ontologiju jer se koristi za modeliranje organizacija, planova, informacijskih objekata i sl. Osnovne klase geoprостorne ontološke sheme su povezane s DOLCE-Lite klasama (prikazane sivim ovalima na Slici 4-18). Geoprостorni podaci su podklasa *Information Object* klase i dalje *Endurant* klase (preko Zajedničke operativne slike). *Izvanredna situacija* je podklasa *State* klase, *Postupak* je podklasa *Process* klase i nastavno *Perdurant* klase. *Sudionik*, *Resurs* i *Komunikacijski uređaj* su podklase *Physical Entity* i nastavno *Endurant* klase. *Geometrija* i *Vremenski entitet* su podklase *Quality* klase, tj. njezinih podklasa *Spatial Location* i *Temporal Location*.



Slika 4-18: Osnovna geoprостorna ontološka shema SUIS-a

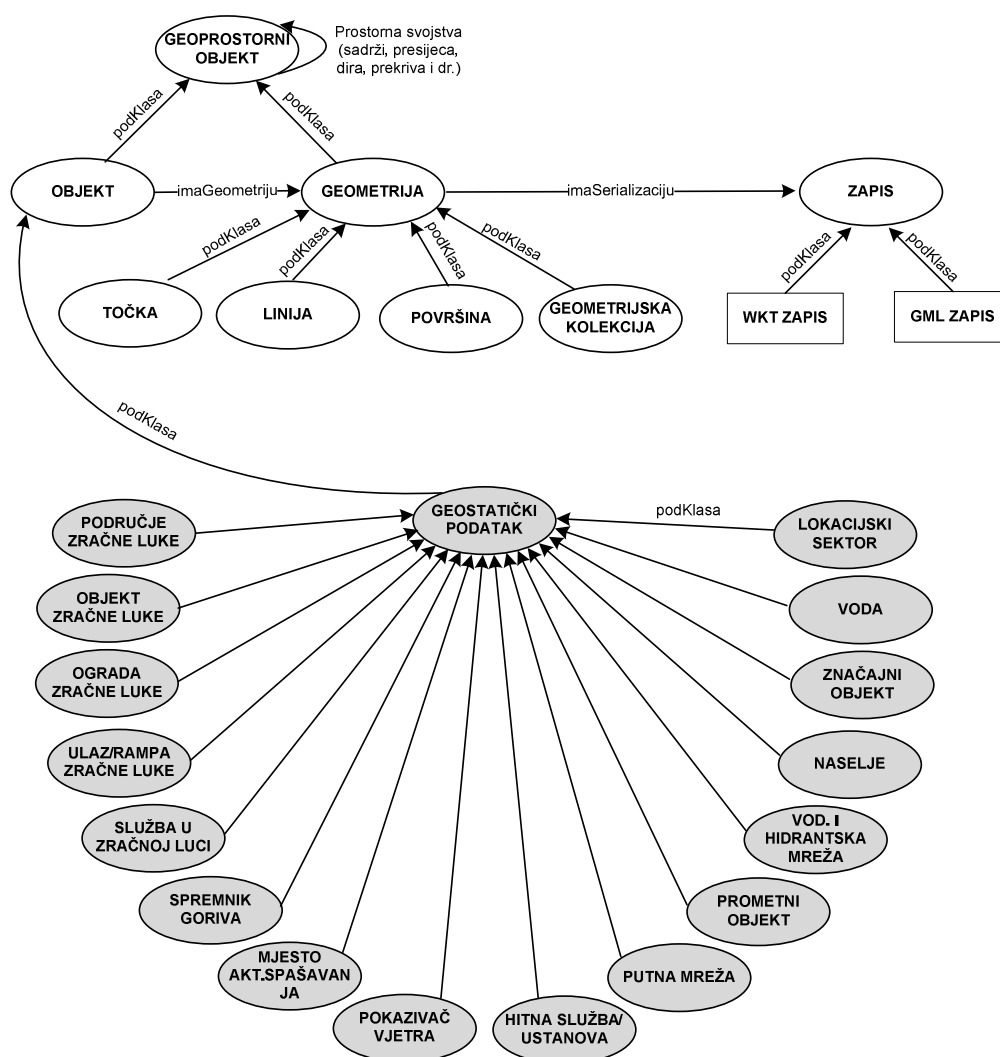
Detaljna razrada geoprostornih podataka prikazana je na Slici 4-19. Klasa *Geometrija* ima podklase *Točka*, *Linija*, *Površina* i *Geometrijska kolekcija*, svojstvo *imaSerializaciju* i klasu *Zapis* koja ima svoje podatkovne podklase *WKT zapis* i *GML zapis* (prema GeoSPARQL standardu). W3C Time ontologija definira svojstvo *imaZapis* i podatkovnu klasu *XSD DateTime zapis*.



Slika 4-19: Geoprostorna ontološka shema s GeoSPARQL i W3C Time klasama

U modeliranju geostatičkih podataka dovoljno je preuzeti klase iz UML dijagrama (Slika 4-16) i staviti ih za podklase *Geostatičkog podatka* u geoprostornoj ontološkoj shemi (Slika 4-20).

U modeliranju geodinamičkih podataka potrebno je definirati podklase za *Geodinamički podatak (GDP)-vremenski odsječak*: *Adresa*, *Lokacija ISO 19125* i *Lokacijski sektor* (ovisno o načinu geolociranja). Sada su klase geodinamičkih podataka iz UML dijagrama (Slika 4-17) podklase *Geodinamičkog podatka* u geoprostornoj ontološkoj shemi (Slika 4-21).

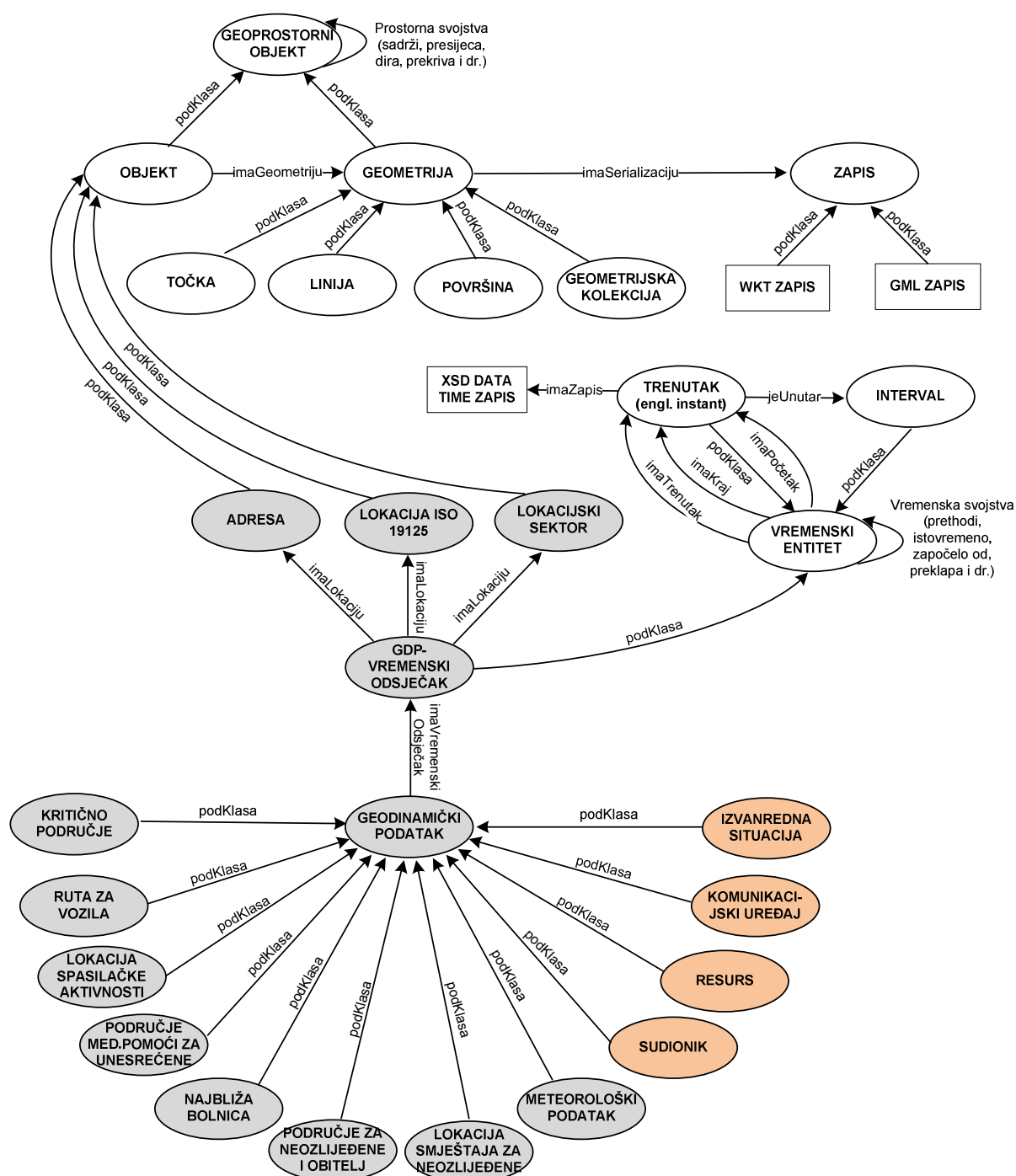


Slika 4-20: Geoprostorna ontološka shema geostatičkih podataka SUIS-a

Česta dilema u izradi ontoloških shema je: da li neki pojam modelirati kao klasu ili individu? To ovisi o namjeni sheme. Isti pojam u jednoj namjeni može imati svoje članice što znači da će se modelirati kao klasa, dok u drugoj namjeni ne mora imati članice, pa će se modelirati kao individua.

Geoprostorna ontološka shema dalje je razrađena preslikavanjem atributa i relacija iz UML dijagrama u OWL konstruktore (opisano u poglavlju 4.1 i na Slici 4-1). Atributi su postali podatkovna svojstva (owl:DataTypeProperties), a relacije su postale objektna svojstva (owl:ObjectProperty). Dodatno su upisana logička pravila klasificiranja i rasuđivanja. U

sljedećem odjeljku opisana je realizacija ove geoprostorne semantičke sheme u prototipu Z-ONTO.



Slika 4-21: Geoprostorna ontološka shema geodinamičkih podataka SUIS-a

4.5 Realizacija prototipa Z-ONTO u Protégé softveru

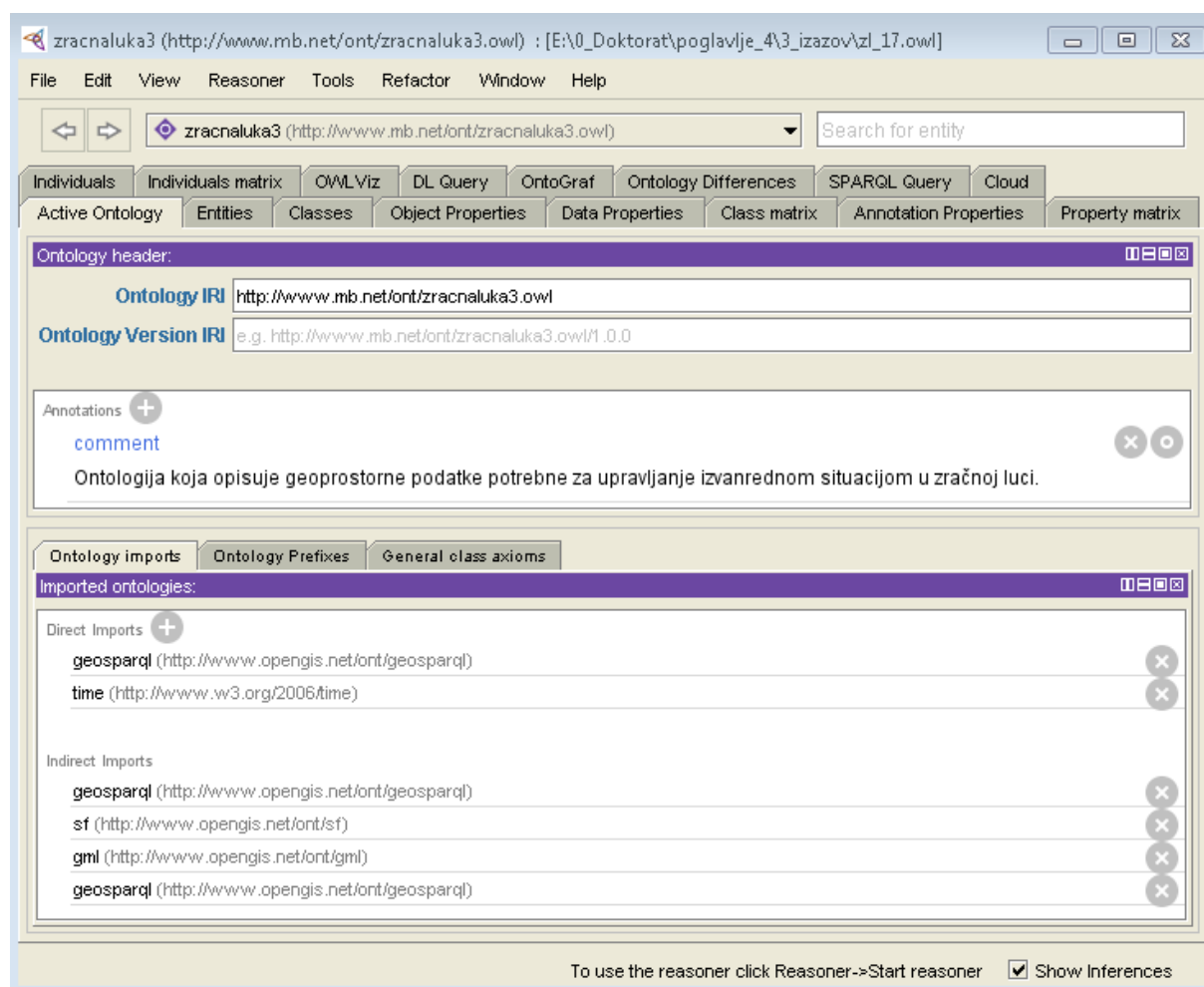
Razvijena geoprostorna semantička shema je realizirana u Protégé softveru i predstavlja TBox baze znanja. U ABox baze znanja upisani su podaci i tako je izgrađen prototip geoprostorne semantičke baze Z-ONTO.

Protégé je slobodni softver za izradu i održavanje ontoloških shema i podataka (Stanford University, 2014). Razvijen je na sveučilištu Stanford, SAD u Istraživačkom centru za biomedicinsku informatiku (Stanford Center for Biomedical Informatics Research). Koristi OWL jezik, ima uključene algoritme rasuđivanja (HermiT, Pellet, FaCT++), alate za spajanje ontologija, vizualizaciju shema i podataka i dr. U ovom istraživanju korištena je verzija 4.3.0. i priručnik (Horridge, 2011).

Da bi se izradila baza znanja u Protégé softveru, potrebni su sljedeći koraci:

- izrada nove ontologije (opis, definiranje URI-ja i dr.)
- učitavanje domenskih ontologija
- upisivanje klasa i njihove hijerarhije
- upisivanje objektnih svojstva, tj. relacija (engl. *object properities*) i njihove hijerarhije
- upisivanje podatkovnih svojstva, tj. atributa (engl. *data properties*) i njihove hijerarhije
- upisivanje pravila, tj. RDFS i OWL svojstva i restrikcija (npr. domena, doseg, tranzitivnost relacije i dr.)
- upisivanje individua i njihovih svojstva

U novokreiranu bazu znanja upisan je njezin opis, URI identifikator i njegova kratica *z/3*. Zatim su učitane OWL datoteke s ontoloških shemama domenskih ontologija: GeoSPARQL i W3C Time ontologija (Slika 4-22). Time su preuzete kratice za URI identifikatore resursa na mreži (Slika 4-23).

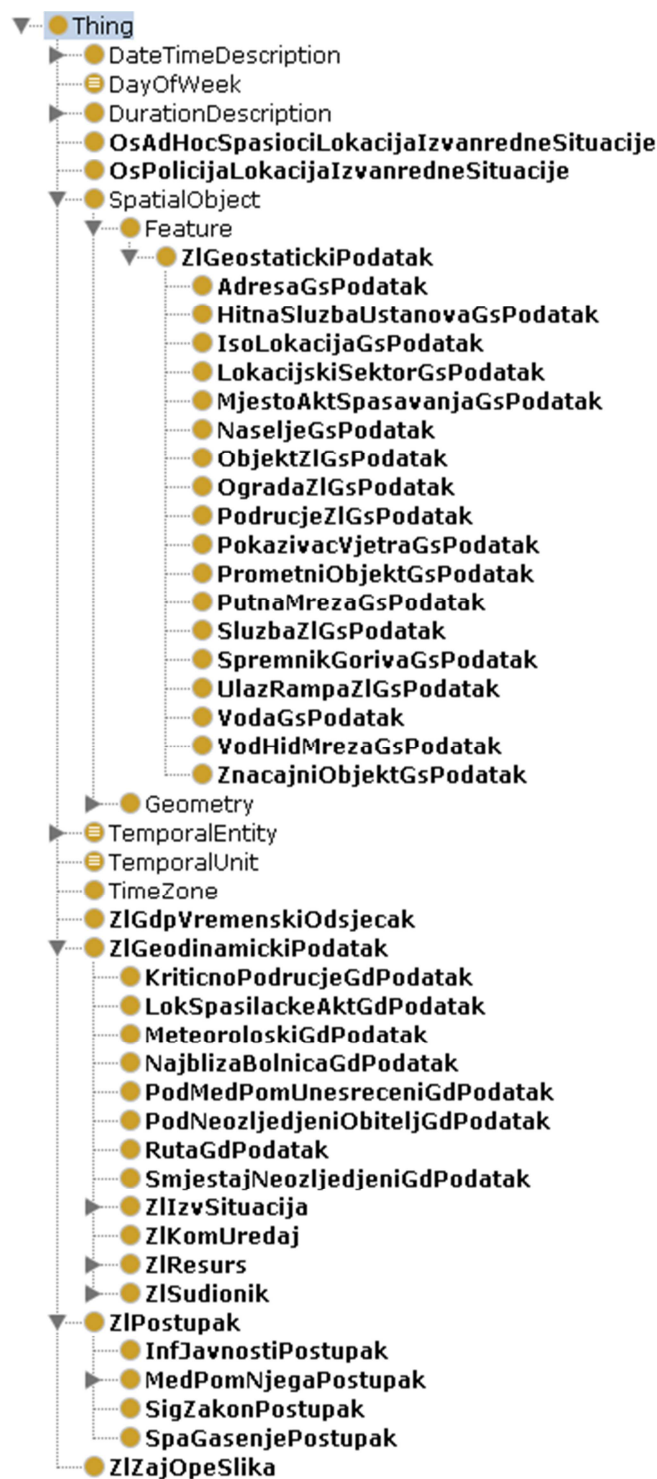


Slika 4-22: Opis geoprostorne ontološke sheme Z-ONTO

Ontology prefixes:	
	
Prefix	
fn	http://www.w3.org/2005/ xpath-functions#
geo	http://www.opengis.net/ont/geosparql#
owl	http://www.w3.org/2002/07/owl#
rdf	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#
rdfs	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#
sf	http://www.opengis.net/ont/sf#
skos	http://www.w3.org/2004/02/skos/core#
time	http://www.w3.org/2006/time#
xml	http://www.w3.org/XML/1998/namespace
xsd	http://www.w3.org/2001/XMLSchema#
zl3	http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#

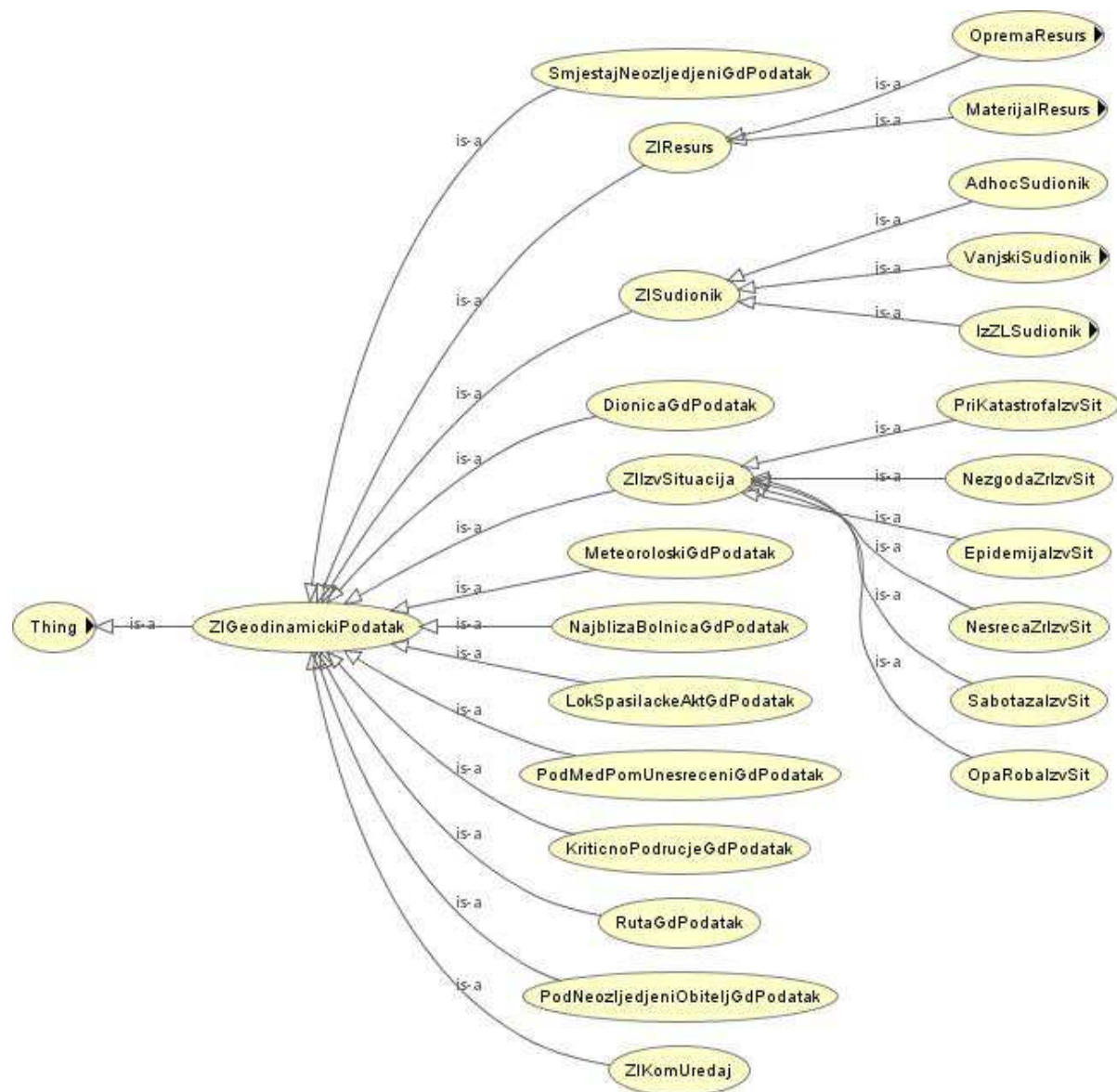
Slika 4-23: Kratice za URI identifikatore resursa na mreži u Z-ONTO prototipu

Sljedeće je upisivanje klasa i njihovo slaganje u hijerarhiju. Na Slici 4-24 prikazana je hijerarhija klasa. Sve klase su podklase klase *owl:Thing* jer je ona superklasa OWL jezika. Tanjim slovima ispisane su klase koje su učitane iz OWL datoteka domenskih ontologija, a masnim slovima one koje su ručno upisane.



Slika 4-24: Hijerarhija klasa u Z-ONTO prototipu

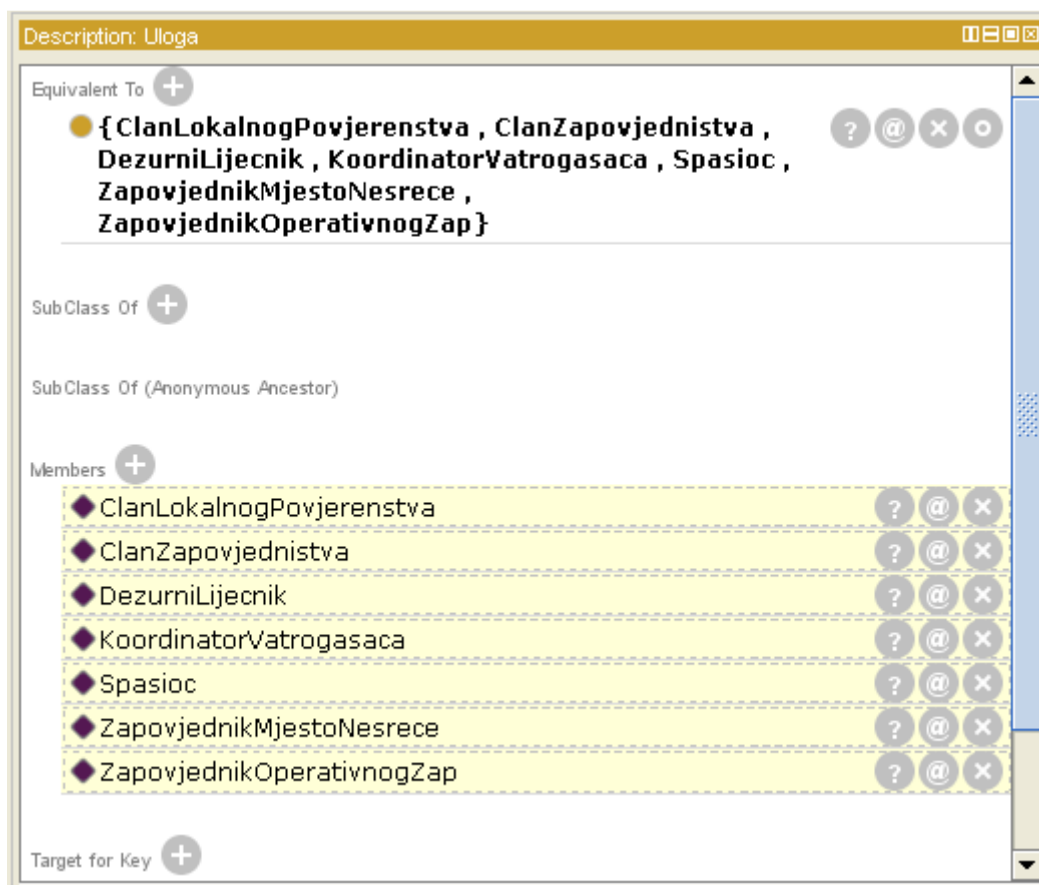
Protégé softver ima mnogo dodataka koji pomažu u izgradnji baze znanja. Dodatak OWL Viz izrađuje usmjereni graf za odabrani dio ontološke sheme. Na Slici 4-25 prikazan je usmjereni graf dijela geodinamičkih podataka. Klase *OpremaResurs*, *MaterijalResurs*, *VanjskiSudionik* i *IzZLSudionik* dalje se granaju u svoje podklase što, zbog ograničenja veličine slike, nije prikazano.



Slika 4-25: Usmjereni graf dijela geodinamičkih podataka u Z-ONTO prototipu
(izrađen OWL Viz dodatkom u Protégé softveru)

Klase mogu biti ručno upisane u hijerarhiju i tada ih zovemo imenovane ili primitivne klase (engl. *named or primitive classes*). Definirane klase (engl. *defined classes*) su definirane restrikcijama i rasuđivanje ih smješta u hijerarhiju. Enumerirane klase imaju unaprijed

definirane članice, tj. individue. Na Slici 4-26 prikazana je enumerirana klasa *Uloga* i njezina definicija: lista individua. Njezine članice izvedene su rasuđivanjem.



Slika 4-26: Definicija enumerirane klase *Uloga* i njezine članice

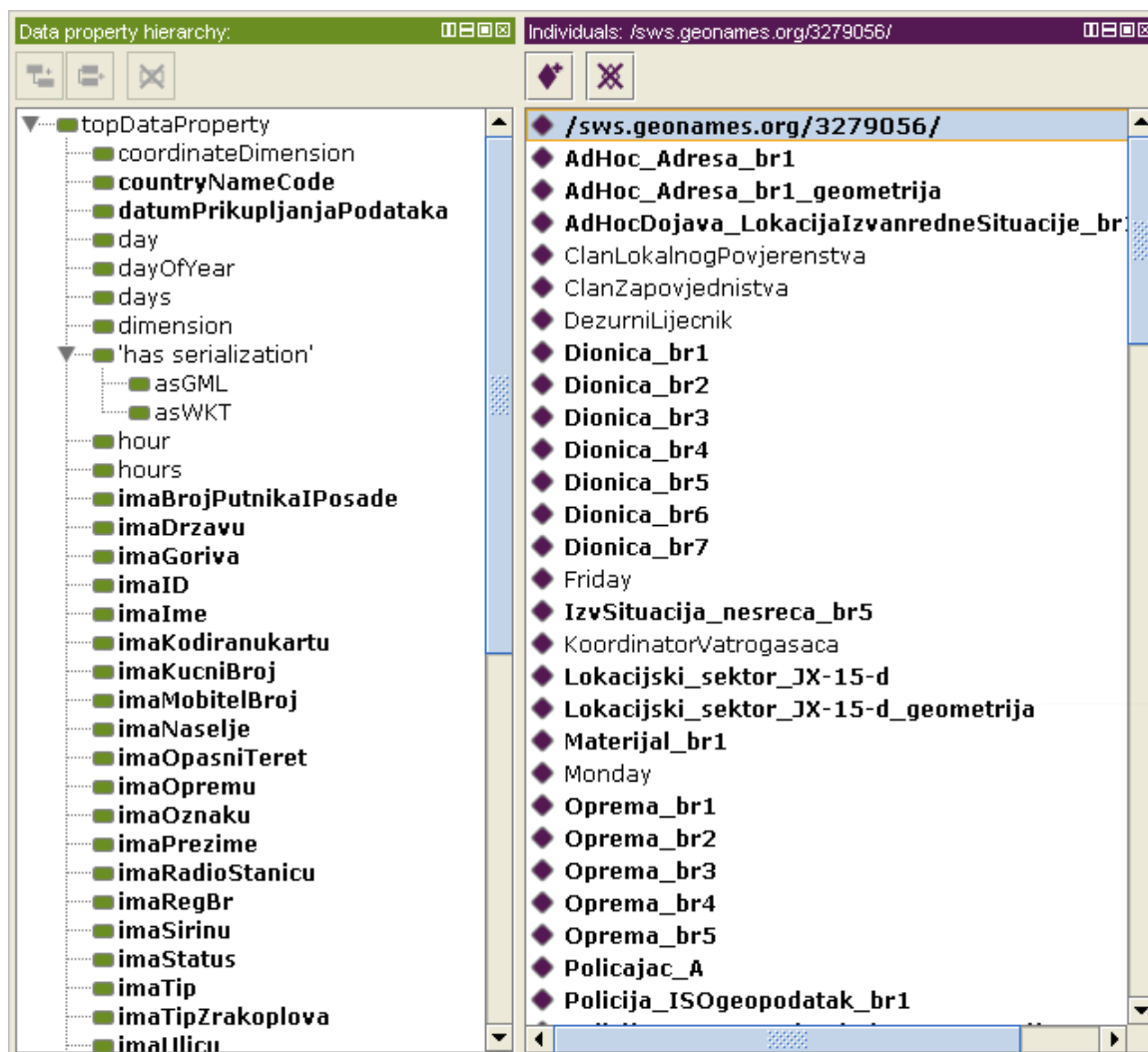
Objektna svojstva ili relacije među klasama upisuju se kao podklase *owl:topObjectProperty*. One tvore svoju hijerarhiju i upisuju se njihova svojstva, npr. domena, doseg, tranzitivnost i sl. (Slika 4-27). Npr. objektno svojstvo *seNalazi* je podsvojstvo od svojstva *imaLokaciju* i tranzitivno je. Objektno svojstvo *imaLokaciju* ima svoje inverzno svojstvo *jeLokacijaOd*. Tanjim slovima ispisana su objektna svojstva koja su učitana iz OWL datoteka domenskih ontologija, a masnim slovima ona koja su ručno upisana.

Object Property	Func	Sym	Inv Fu...	Trans	ASym	Refl	Irrefl	Domain	Range	Inverse
jePokrenutOd	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	ZlPostupak	ZlIzvSituacija	pokrece
meet	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
'non-tangential proper par...	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
overlaps	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
inDateTime	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Instant	DateTimeDescription	
equals	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
intervalEquals	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	ProperInterval	ProperInterval	
imaKompetenciju	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			
intervalOverlappedBy	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			intervalOverlaps
koristi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			jeKoristenOd
crosses	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
hasDateTimeDescription	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	DateTimeInterval	DateTimeDescription	
imaVrijeme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			jeVrijemeOd
hasGeometry	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Feature	Geometry	
intervalContains	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			intervalDuring
touches	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
imaIzvor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			
jeLokacijaOd	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			imaLokaciju
timeZone	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	DateTimeDescrip...	TimeZone	
intervalStartedBy	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			intervalStarts
imaLokaciju	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐			jeLokacijaOd
seNalazi	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐			
coveredBy	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
within	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	
hasBeginning	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	TemporalEntity	Instant	
hasDurationDescription	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	TemporalEntity	DurationDescription	
jeDioOd	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐			imaDio
intersects	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SpatialObject	SpatialObject	

Slika 4-27: Hijerarhija objektnih svojstva i njihove definicije u Z-ONTO prototipu

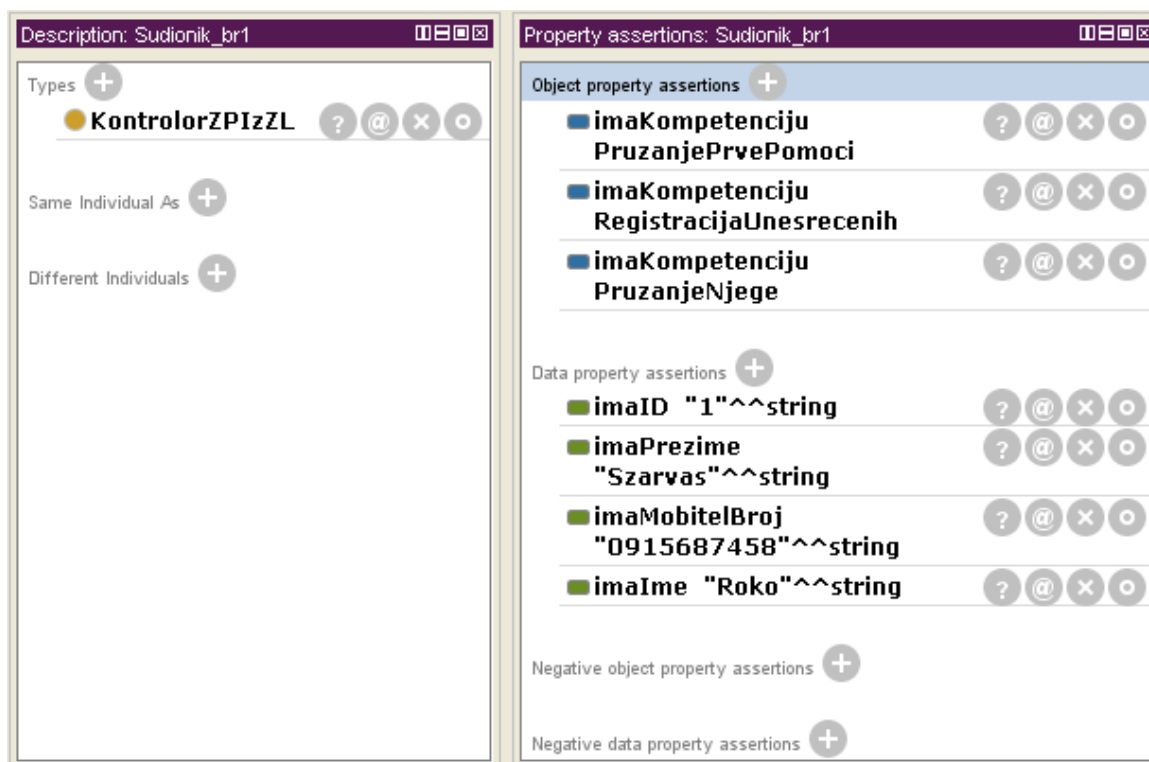
Atributi ili podatkovna svojstva upisuju se kao podklase *owl:topDataProperty* i grade svoju hijerarhiju (Slika 4-28). Ona povezuju individuu s vrijednostima svojstva, npr. imenom, brojem mobitela i sl. Tanjim slovima ispisana su podatkovna svojstva koja su učitana iz OWL datoteka domenskih ontologija, a masnim slovima ona koja su ručno upisana.

Postoje još i anotacijska svojstva (engl. *annotation properties*) za opis klasa, svojstva i individua, npr. *rdfs:comment* ili *rdfs:label*. Anotacijska svojstva ne sudjeluju u rasuđivanju i zato su izostavljena iz prototipa.



Slika 4-28: Hijerarhija podatkovnih svojstva i lista individua u Z-ONTO prototipu

Na kraju su u prototip upisane individue (ABox dio baze znanja). Dio individua prikazan je na Slici 4-28. Podaci o individui *Sudionik_br1* prikazani su na Slici 4-29. Individua pripada klasi *KontrolZPIzZl*. Objektno svojstvo *imaKompetenciju* povezuje je s drugim individuama: *PruzanjePrvePomoci*, *RegistracijaUnesrecenih* i *PruzanjeNjege*. Podatkovna svojstva *imaID*, *imaIme*, *imaPrezime* i *imaMobitelBroj* povezuju individuu prema podacima, tj. njezinim atributima (1, Roko itd).



Slika 4-29: Individua *Sudionik_br1* s pripadnom klasom, objektnim i podatkovnim svojstvima

Logička konzistentnost Z-ONTO prototipa ispitana je i potvrđena algoritmom rasuđivanja Pellet, tj. u prototipu ne postoje individue koje pripadaju disjunktним klasama i sl. Ipak, ovim prototip nije dovršen. On treba odgovarati na zadana pitanja iz domene upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Zato je dalje dorađen tijekom ispitivanja, što je opisano u sljedećem poglavlju.

5 ISPITIVANJE PRETRAŽIVANJA GEOPODATAKA U PROTOTIPU Z-ONTO

Da bi hipoteza ovog istraživanja bila potvrđena ili odbačena, ispitan je prototip geoprostorne semantičke baze Z-ONTO. Geoprostorna semantička mreža je u razvoju i zasad ne postoji standard za ispitivanje valjanosti geoprostornih semantičkih shema i baza podataka. U ovom ispitivanju polazi se od tvrdnje da ontologije treba ocjenjivati prema njihovoj uporabnoj vrijednosti, tj. mogućnosti postizanja ciljeva u zadanom kontekstu (Fernandez, 2006). Zadovoljava li ontološka shema svoju namjenu i koja su pitanja na koja treba dati odgovor (Allemang i Hendler, 2011)? Standardni način ispitivanja novorazvijenog informacijskog sustava je demonstracija njegove funkcionalnosti na odabranim primjerima korištenja. Stoga je odabran sljedeći način ispitivanja i analize pretraživanja geopodataka u prototipu Z-ONTO. Odabrana su tri slučaja korištenja i za svaki je napravljen scenarij pretraživanja geopodataka na mreži. Po tim scenarijima ispitane su mogućnosti semantičkog geoprostornog pretraživanja u Z-ONTO bazi podataka. U softveru Protégé izrađeni su SPARQL upiti, konstruirane nove klase u prethodno izrađenoj geoprostornoj ontološkoj shemi i izvedeni novi podaci korištenjem algoritma rasuđivanja.

Odabrani slučajevi pretraživanja geopodataka iz domene upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama su iz faze odgovora na izvanrednu situaciju. To je najzahtjevnija faza koja traži pristup postojećim geopodacima (geostatički podaci) i podacima koji dolaze s terena (geodinamički podaci). Zapovijedanje i koordinacija spašavanja traži razmjenu informacija (između unaprijed definiranih sudionika, ali i *ad hoc* osoba koje šalju korisne geopodatke s terena) te mogućnost objedinjavanja geopodataka u zajedničku operativnu sliku. Analiza korisničkih zahtjeva pokazala je važnost geopodataka u postupcima spašavanja. Za potrebe ispitivanja izdvojena su tri slučaja od kritične važnosti za uspješnost akcije spašavanja. To su:

- Dostupnost podataka o lokaciji izvanredne situacije, a koji dolaze iz više izvora uključujući i *ad hoc* sudionike
- Poznavanje i pretraživanje (traženje najbližih) lokacija spasilaca, opreme i materijala
- Poznavanje i pretraživanje (traženje prohodnih) ruta za spasilačka vozila

Ovo poglavlje detaljno opisuje provedena ispitivanja na odabranim slučajevima. Zadnji odjeljak je posvećen rezultatima ispitivanja i diskusiji.

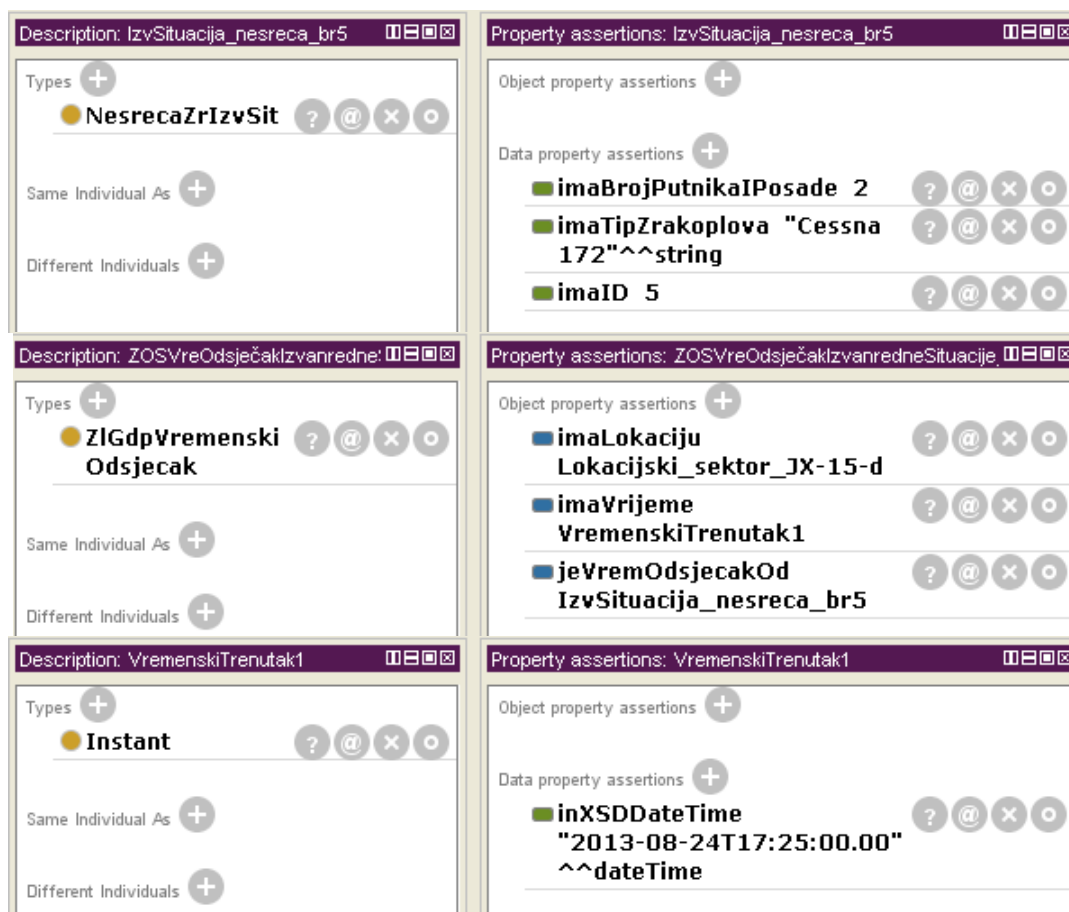
5.1 Prvi slučaj: objedinjavanje geopodataka o lokaciji izvanredne situacije

Zajednička operativna slika sadrži operativne podatke koji dolaze iz više izvora: sudionika koji rade u službama zračne luke, vanjskih hitnih službi ili *ad hoc* sudionika, npr. očevidaca nesreće (Slika 4-8, pog. 4). Ti podaci objedinjavaju se u zajedničku operativnu sliku. Brzina dojava te točnost lokacije i opisa izvanredne lokacije ključni su za uspješnost akcije spašavanja. Primjer koji slijedi opisuje objedinjavanje geopodataka o lokaciji nesreće dojavljene iz tri izvora: službenice kontrole zračne plovidbe, policajca i očevica nesreće.

Službenica kontrole zračne plovidbe ispunila je obrazac na mreži za dojavu nesreće sa sljedećim podacima:

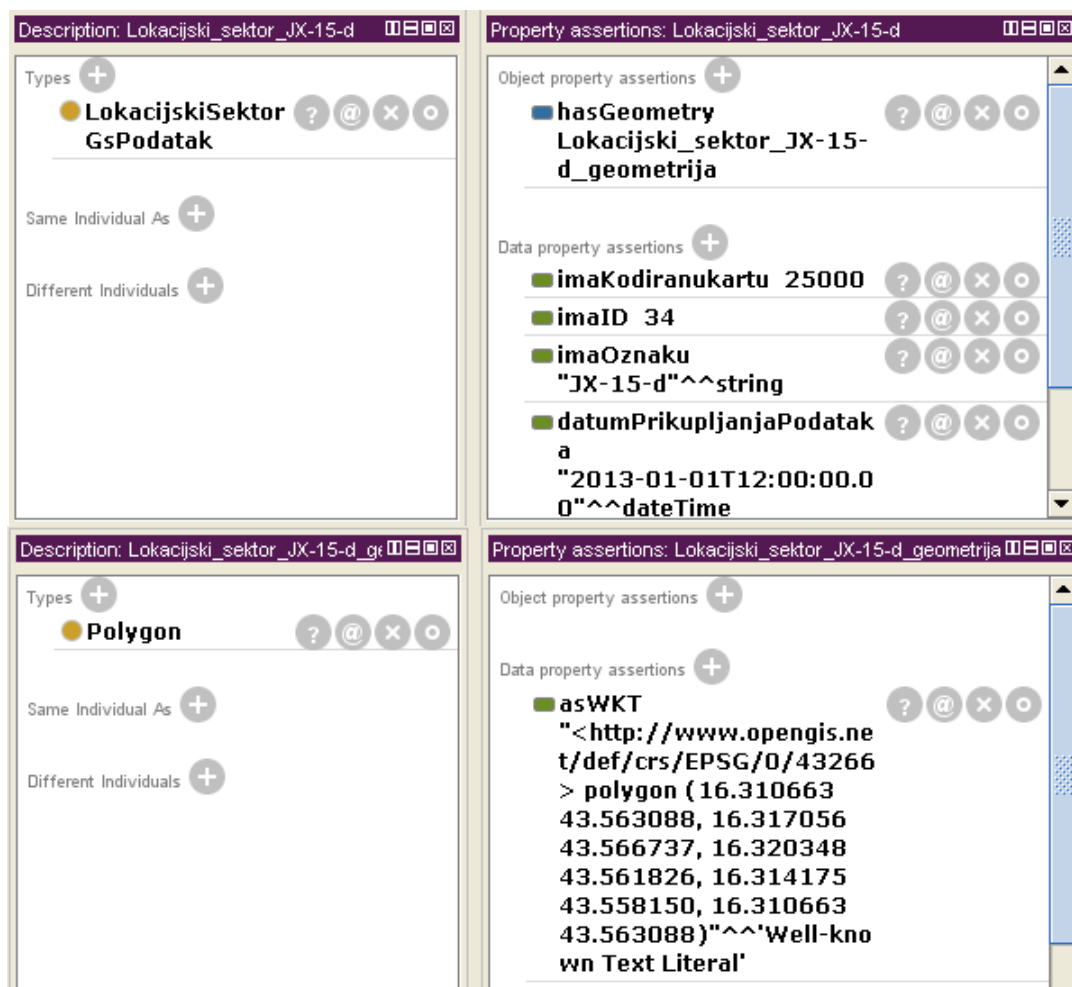
- Nadnevak: 6.8.2013. 17:25
- Vrsta izvanrednog događaja: nesreća zrakoplova u neposrednoj blizini zračne luke
- Tip zrakoplova: Cessna 172
- Mjesto događaja prema kodiranoj karti: lokacijski sektor JX-15-d na karti 1:25.000
- Broj putnika i posade: 2
- Količina goriva: nepoznato
- Opasni teret: nepoznato

Kako izvanredne situacije tijekom vremena mogu mijenjati svoj prostorni obuhvat (npr. nastanak požara i širenje opasnih plinova), tako su klasificirane u geodinamičke podatke i imaju svoje vremenske odsječke. Dojavljeni podaci su u Z-ONTO bazi podataka predstavljeni s tri individue i njihovim svojstvima. Individua *IzvSituacija_nesreca_br_5* je član klase *NesrećaZrIzvSit* i ima upisana statička svojstva. Individua *ZOSVreOdsječakIzvanredneSituacije_KontrolaPlovidbe* predstavlja vremenski odsječak dojavljene izvanredne situacije i ima upisana dinamička svojstva: vrijeme i lokaciju. Vrijeme je upisano u individuu *VremenskiTrenutak1* koja je član klase *Instant* iz W3C standarda za ontološku shemu vremena (Slika 5-1).



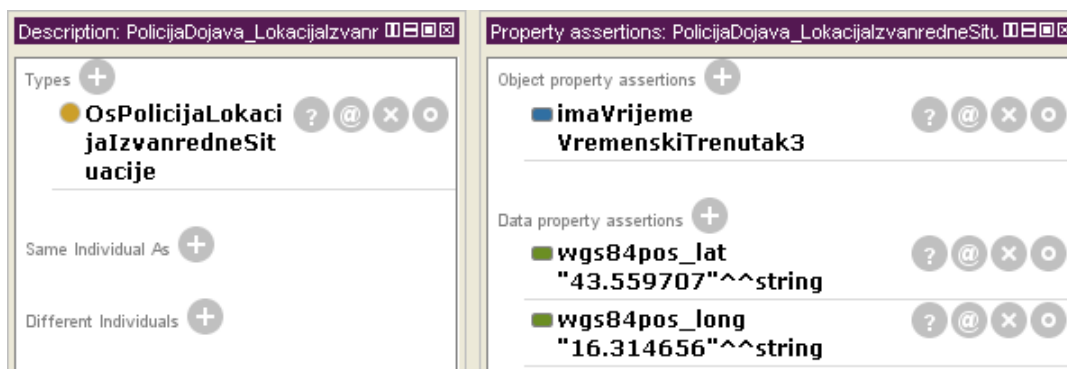
Slika 5-1: Zapis dojave službenice kontrole zračne plovidbe o nesreći u Z-ONTO bazi podataka

Sama lokacija nesreće dana je oznakom lokacijskog sektora čija geometrija je već otprije upisana u Z-ONTO bazu podataka. Lokacijski sektor je podklasa geostatičkih podataka i dio je Plana postupanja (AEP-a). *Lokacijski_sektor_JX-15-d* predstavlja individuu i član je klase *LokacijskiSektorGsPodatak*. GeoSPARQL svojstvo *hasGeometry* povezuje individuu s njezinim geopodatkom *Lokacijski_sektor_JX-15-d_geometrija*. Geometrija je zapisana u WKT zapisu i član je klase *Polygon* iz geoprостorne ontološke sheme GeoSPARQL standarda (Slika 5-2).



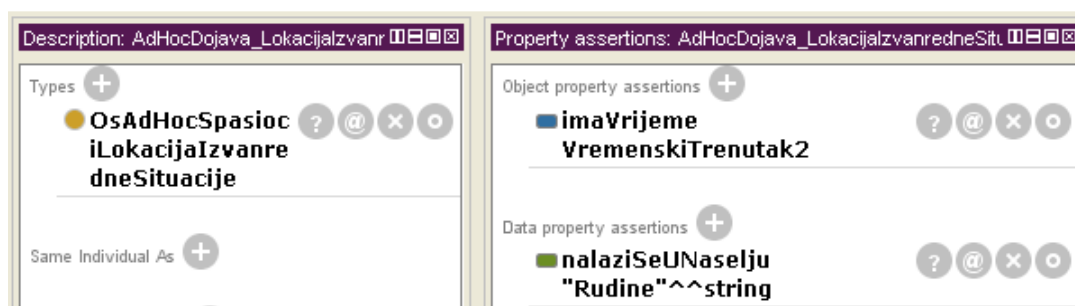
Slika 5-2: Zapis lokacije dojavljene nesreće u Z-ONTO bazi podataka

Druga dojava o nesreći stigla je od vanjskog sudionika (policajca) koji je prvi stigao na mjesto nesreće. On je dojavio da je lokacija nesreće: 16^o,314656 geografske duljine i 43^o,559707 geografske širine u WGS84 koordinatnom sustavu. Dojava je bila 6.8.2013. u 18:05. Podaci su stigli u poruci mobilnog telefona, a koordinate su dobivene iz GNSS uređaja koji za zapis koristi W3C Basic Geo Vocabulary standard. Tekst poruke je preveden u RDF zapis i u Z-ONTO bazi podataka upisana je nova individua *PolicijaDojava_Lokacija IzvanredneSituacije_br1* sa svojstvima koji opisuju vrijeme i lokaciju (Slika 5-3).



Slika 5-3: Zapis dojava policajca o nesreći u Z-ONTO bazi podataka u Protégé softveru

Treća dojava je zaprimljena od očevica koji je vidio pad manjeg aviona u mjestu Rudine. Očevica je dojavio o nesreći 6.8.2013. u 17:35. Podatke su objavili novinari na svojim mrežnim stranicama. Zatim su podaci preuzeti u Z-ONTO bazu podataka i upisana je nova individua *AdHocDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1* sa svojstvima koji opisuju vrijeme i lokaciju (Slika 5-4). Lokacija je dana imenom naselja.



Slika 5-4: Zapis dojava očevica o nesreći u Z-ONTO bazi podataka

Sada su svi dojavljeni podaci o lokaciji nesreće u Z-ONTO bazi podataka koja sadrži i njihovu shemu te se podaci mogu semantički homogenizirati. SPARQL CONSTRUCT upitima podaci vanjskih sudionika (policajca i očevica) prevest će se u semantiku zajedničke operativne slike.

Za podatke dojavljene od policajca izrađen je SPARQL CONSTRUCT upit koji prevodi zapis lokacije iz semantike W3C Basic Geo Vocabulary standarda u semantiku zajedničke operativne slike zasnovane na GeoSPARQL standardu:

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

```

PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>

CONSTRUCT
{zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija rdf:typeOf geo:Point.
zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija geo:asWKT ?wkt.
zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1 rdf:typeOf geo:IsoLokacijaGsPodatak.
zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1 geo:hasGeometry
zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija.}

WHERE
{zl3:PolicijaDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:wgs84pos_long ?long.
zl3:PolicijaDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:wgs84pos_lat ?lat.
BIND (STRDT(CONCAT("<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (",
?long, " ", ?lat,")"), zl3:WellKnownText) as ?wkt).}

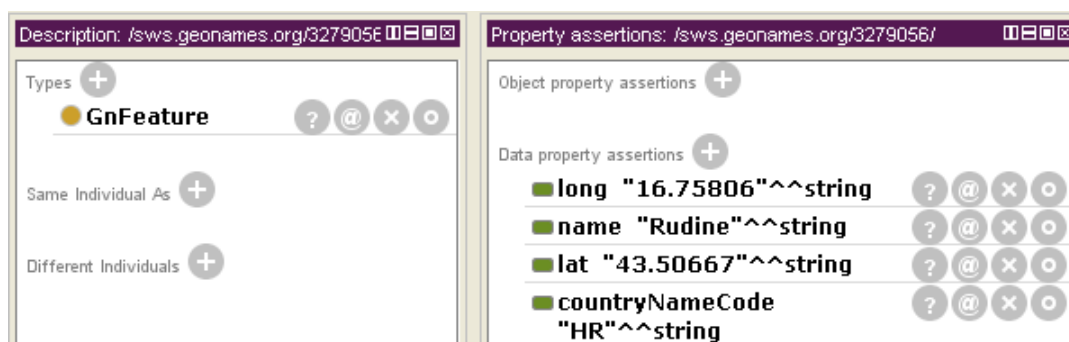
```

Ovaj upit rezultira s četiri nove RDF trojke u Z-ONTO bazi podataka (Slika 5-5). Konstruirane su dvije individue. *Policija_ISOgeopodatak_br1* je član klase *IsoLokacijaGsPodatak* i ima geometriju *Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija*. Geometrija je zapisana u WKT zapisu i član je klase *Point* iz geoprостorne ontološke sheme GeoSPARQL standarda. Upit se može preoblikovati na način da se izvršava na svim članovima klase *OsPolicijaLokacijaIzvanredneSituacije*, tj. na svim dojavama o nesreći koje imaju semantiku operativne slike policije (zamjenom *PolicijaDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1* s varijablom koja je član klase *OsPolicijaLokacijaIzvanredneSituacije*).

SPARQL query:		
<pre> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#> PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#> CONSTRUCT {zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija rdf:typeOf geo:Point. zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija geo:asWKT ?wkt. zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1 rdf:typeOf geo:IsoLokacijaGsPodatak. zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1 geo:hasGeometry zl3:Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija. } WHERE { zl3:PolicijaDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:wgs84pos_long ?long. zl3:PolicijaDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:wgs84pos_lat ?lat. BIND (STRDT(CONCAT("<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (", ?long, " ", ?lat,")"), zl3:WellKnownText) as ?wkt). } </pre>		
Subject	Predicate	Object
Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija	typeOf	Point
Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija	asWKT	"<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (16.314656 43.559707)"
Policija_ISOgeopodatak_br1	typeOf	IsoLokacijaGsPodatak
Policija_ISOgeopodatak_br1	hasGeometry	Policija_ISOgeopodatak_br1_geometrija

Slika 5-5: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i novokonstruiranim RDF trojkama o lokaciji nesreće dojavljene od policajca

Očevdac je dojavio lokaciju nesreće navodeći ime naselja. Da bi se ti podaci objedinili u zajedničku operativnu sliku, potrebno je imati zapisane koordinate naselja. Slobodna baza podataka GeoNames (Unxos, 2014) sadrži nazive mjesta i njihove geografske koordinate i dostupna je u RDF zapisu. Dio te baze učitani je u Z-ONTO bazu podataka. Individua [/sws.geonames.org/3279056/](http://sws.geonames.org/3279056/) predstavlja naselje Rudine (Slika 5-6).



Slika 5-6: Zapis GeoNames individue [/sws.geonames.org/3279056/](http://sws.geonames.org/3279056/) učitane u Z-ONTO bazu podataka

Dakle, izrađeni SPARQL CONSTRUCT upit spaja podatke očevica s podacima baze GeoNames te prema nazivu naselja izvodi geografske koordinate nesreće. Tako dobivenu lokaciju nesreće prevodi u semantiku zajedničke operativne slike zasnovane na GeoSPARQL standardu:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>
CONSTRUCT
{zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija rdf:typeOf geo:Point.
zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija geo:asWKT ?wkt.
zl3:AdHoc_Adresa_br1 rdf:typeOf geo:AdresaGsPodatak.
zl3:AdHoc_Adresa_br1 geo:hasGeometry zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija.
zl3:AdHoc_Adresa_br1 zl3:imaNaselje ?naselje}
WHERE
{zl3:AdHocDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:nalaziSeUNaselju ?naselje.
?gnoobject zl3:name ?naselje.
?gnoobject zl3:lat ?lat.
```

?gobject zl3:lat ?long.

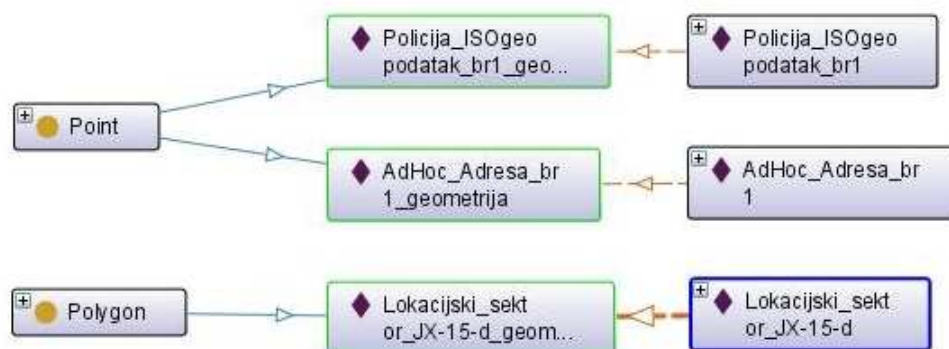
BIND (STRDT(CONCAT("<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point ("
?long, " ", ?lat,")"), zl3:WellKnownText) as ?wkt).}

Ovaj upit rezultira s pet novih RDF trojki u Z-ONTO bazi podataka (Slika 5-7). Konstruirane su dvije individue. *AdHoc_Adresa_br1* je član klase *AdresaGsPodatak* i ima geometriju *AdHoc_Adresa_br1_geometrija*. Geometrija je zapisana u WKT zapisu i član je klase *Point* iz geoprостorne ontološke sheme GeoSPARQL standarda. Upit se može preoblikovati na način da se izvršava na svim članovima klase *OsAdHocSpasiociLokacijaIzvanredneSituacije*, tj. na svim dojavama o nesreći koje imaju semantiku operativne slike *ad hoc* sudionika (zamjenom *AdHocDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1* s varijablom koja je član klase *OsAdHocSpasiociLokacijaIzvanredneSituacije*).

SPARQL query:		
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#> PREFIX zl3: <http://www.mib.net/ont/zracnaluka3.owl#> CONSTRUCT {zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija rdf:typeOf geo:Point. zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija geo:asWKT ?wkt. zl3:AdHoc_Adresa_br1 rdf:typeOf geo:AdresaGsPodatak. zl3:AdHoc_Adresa_br1 geo:hasGeometry zl3:AdHoc_Adresa_br1_geometrija. zl3:AdHoc_Adresa_br1 zl3:imaNaselje ?naselje} WHERE {zl3:AdHocDojava_LokacijaIzvanredneSituacije_br1 zl3:nalaziSeUNaselju ?naselje. ?gobject zl3:name ?naselje. ?gobject zl3:lat ?lat. ?gobject zl3:lat ?long. BIND (STRDT(CONCAT("<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (" , ?long, " ", ?lat,")"), zl3:WellKnownText) as ?wkt). }		
Subject	Predicate	Object
AdHoc_Adresa_br1_geometrija	typeOf	Point
AdHoc_Adresa_br1_geometrija	asWKT	"<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (43.50667 43.50667)"
AdHoc_Adresa_br1	typeOf	AdresaGsPodatak
AdHoc_Adresa_br1	hasGeometry	AdHoc_Adresa_br1_geometrija
AdHoc_Adresa_br1	imaNaselje	"Rudine"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>

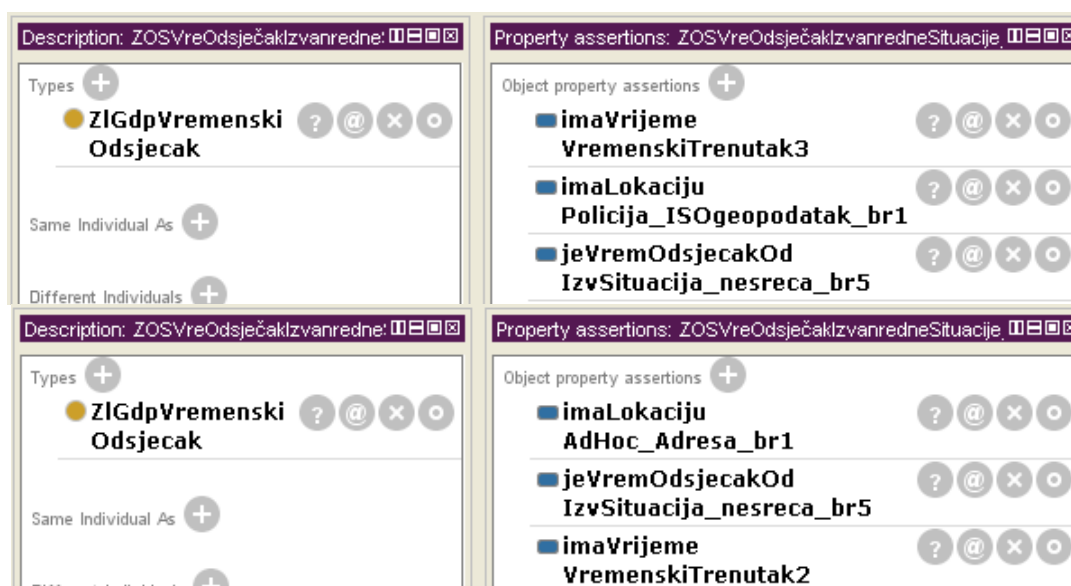
Slika 5-7: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i novokonstruiranim RDF trojkama o lokaciji nesreće dojavljene od očevica

Slika 5-8 prikazuje usmjereni graf s novokonstruiranim individuama: lokacijama nesreće i pripadnim geometrijama koje su podklase geometrijskih tipova GeoSPARQL standarda *Point* i *Polygon*.



Slika 5-8: Usmjereni graf geopodataka s lokacijom nesreće

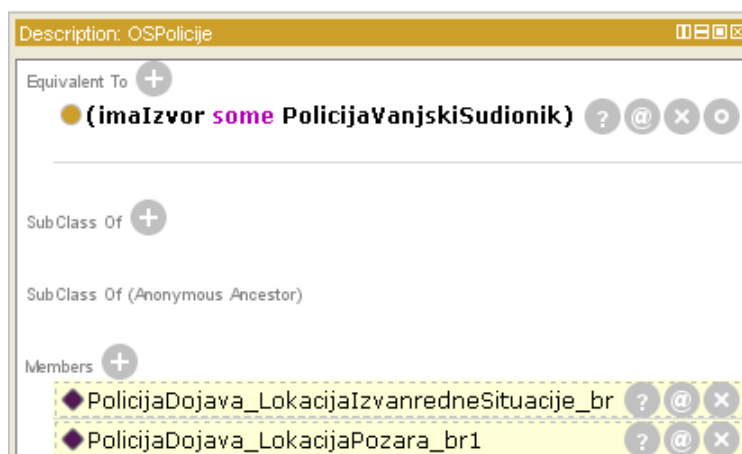
Preostaje konstruirati dva vremenska odsječka izvanredne situacije s pridruženim lokacijama i vremenima dojavljenim od policajca i očevica (proširenjem prethodnih SPARQL CONSTRUCT upita). Slika 5-9 prikazuje vremenske odsječke i njihova svojstva.



Slika 5-9: Zapis vremenskih odsječaka u Z-ONTO bazi podataka

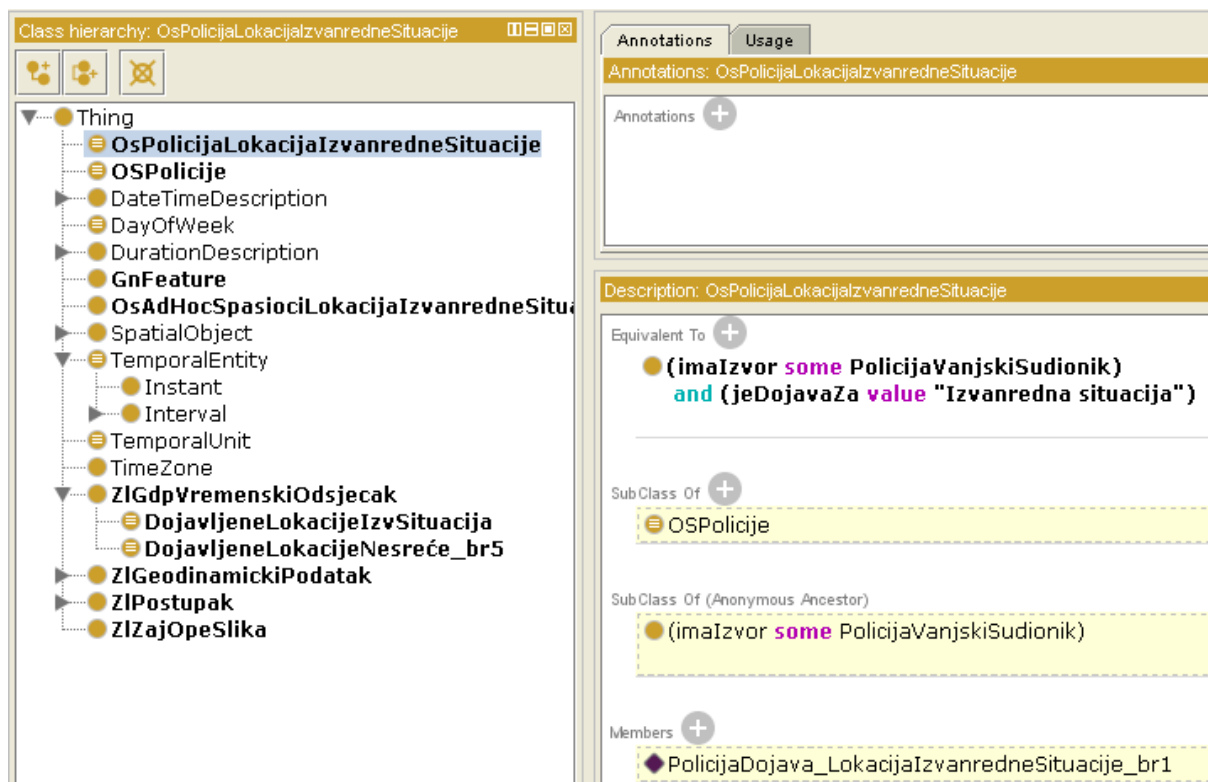
Tako objedinjeni geopodaci mogu se dalje pretraživati rasuđivanjem. Snaga semantičke mreže je u automatskom klasificiranju podataka putem restrikcija. Npr. da bi se pregledale sve dojave dobivene od vanjskog izvora koji je pripadnik policije, konstruirana je nova klasa *OSPolicije*. Egzistencijalni OWL konstruktor *some* definirao je uvjet za članstvo u klasi: to su sve individue koje imaju izvor podatka (svojstvo *imaIzvor*) iz klase *PolicijaVanjskiSudionik*. Kada se pokrene rasuđivanje, sve individue koje zadovoljavaju ovaj uvjet postaju članice ove klase (Slika 5-10). To znači da članstvo u klasi nije eksplicitno zapisano u podacima, već se

izvodi iz svojstva individue. U primjeru na Slici 5-10, dvije individue su članice klase *OSPolicije*: dojava o izvanrednoj situaciji zrakoplova i dojava o požaru.



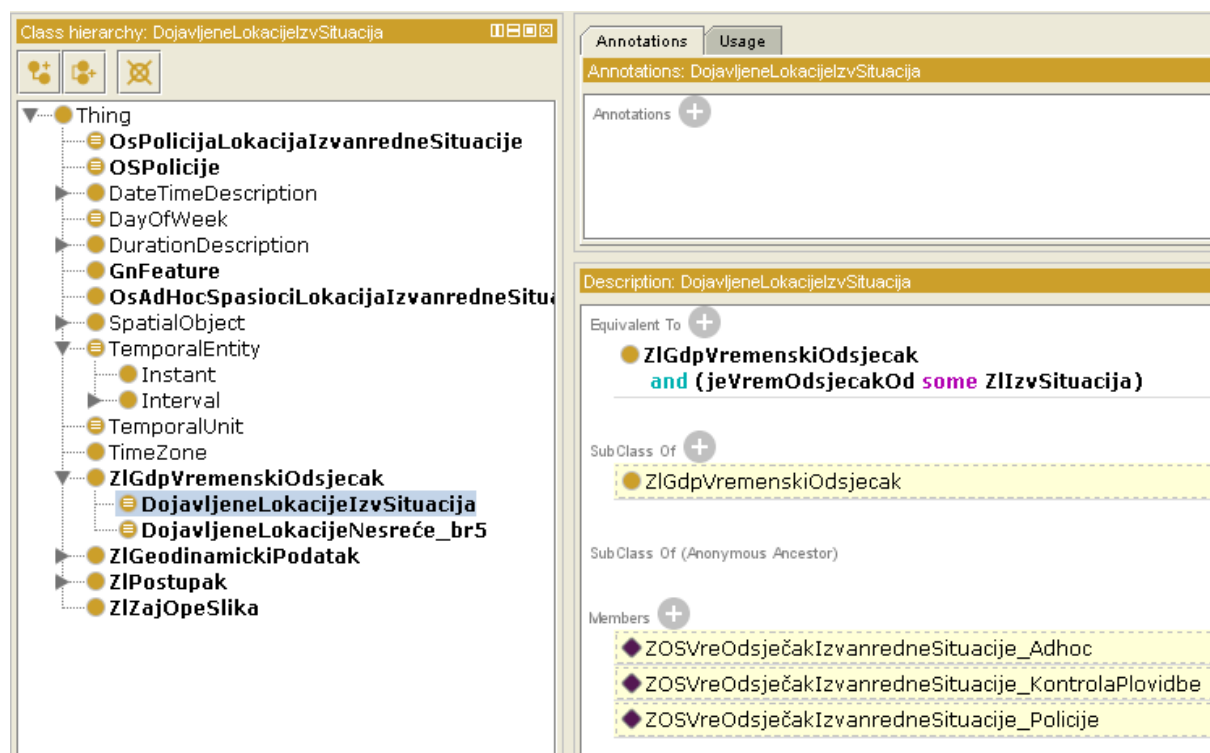
Slika 5-10: Definicija i članice klase *OSPolicije*

Ako su potrebne samo policijske dojave o izvanrednim situacijama zrakoplova, tada se kombiniraju dva uvjeta: da je izvor podatka policija i da je to dojava za izvanrednu situaciju zrakoplova (Slika 5-11).

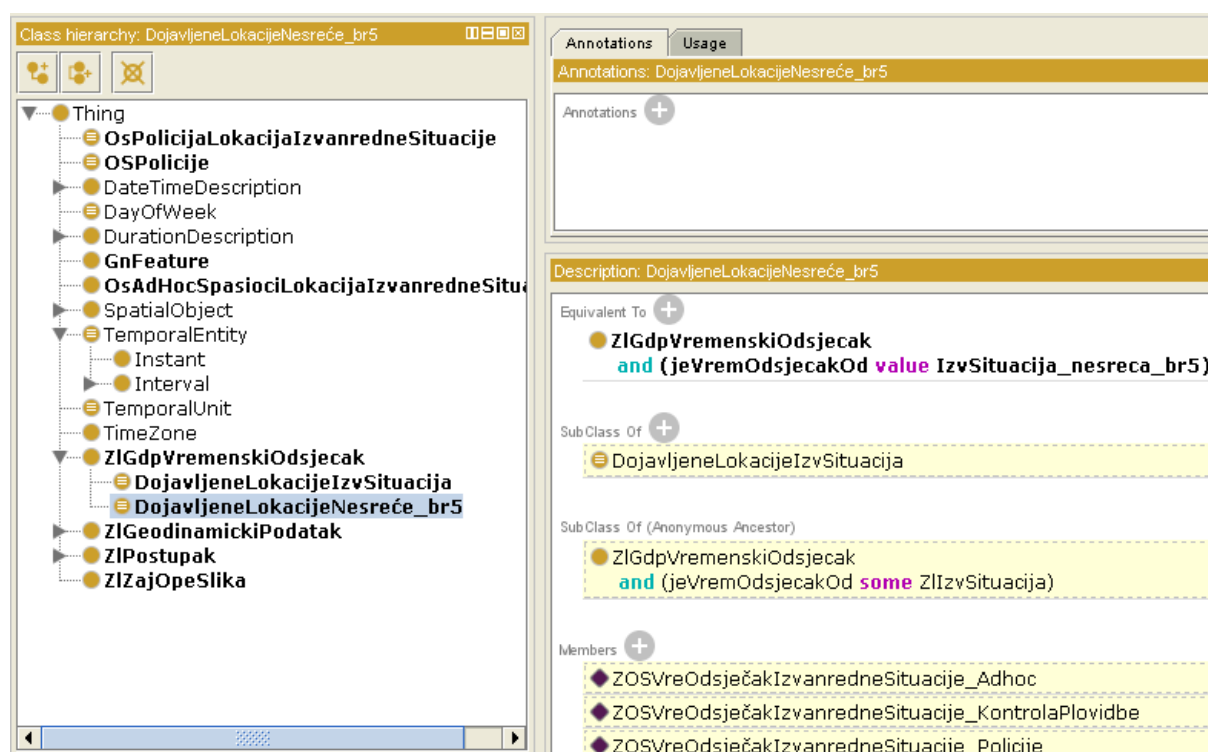


Slika 5-11: Definicija i članice klase *OSPolicijaLokacijaIzvanredneSituacije*

Za pretraživanje geopodataka o izvanrednim situacijama (bez obzira iz kojeg izvora su podaci došli) može se konstruirati nova klasa *DojavljeneLokacijeIzvSituacija* (Slika 5-12). Za lociranje odabrane situacije *IzvSituacija_nesreca_br5* može se konstruirati nova klasa *DojavljeneLokacijeNesreće_br5* (Slika 5-13). Rasuđivanje će izvesti koje individue su članice ovih klasa i dopuniti hijerarhiju klasa, tj. pridružiti klase nadklasama. Podaci izvedeni rasuđivanjem prikazani su tanjim slovima na Slici 5-12 i Slici 5-13 u dijelu prozora s opisom klase (engl. *description*).



Slika 5-12: Definicija i članice klase *DojavljeneLokacijeIzvSituacije*



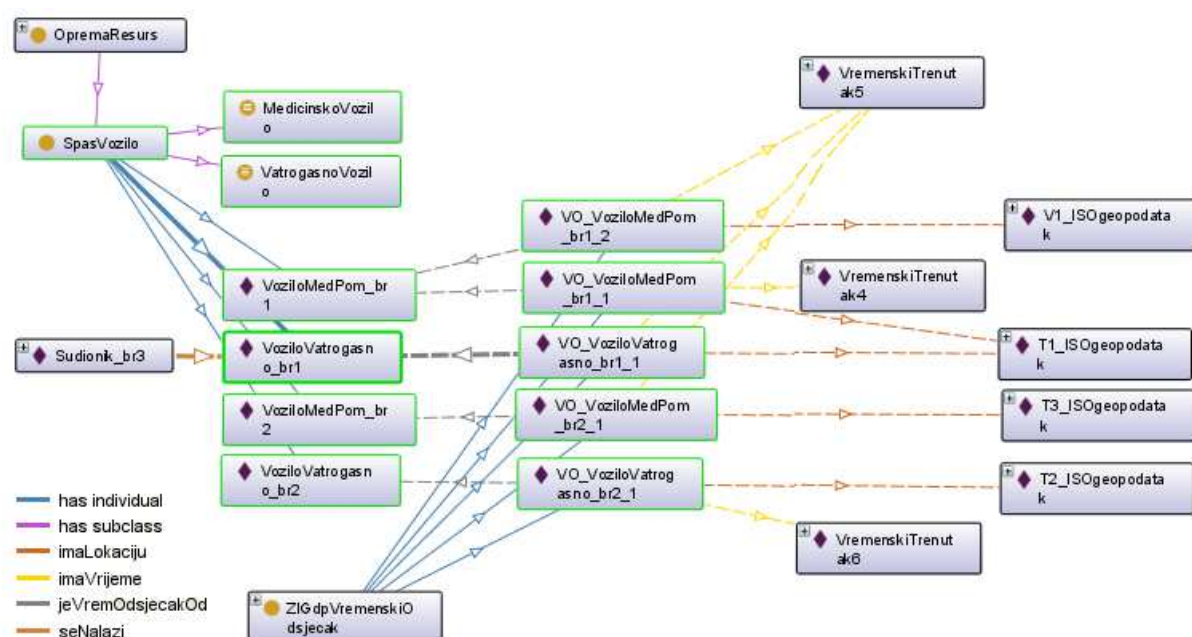
Slika 5-13: Definicija i članice klase *DojavljeneLokacijeNesrece_br5*

Kako geodinamički podaci pristižu od sudionika, automatski se objedinjavaju i klasificiraju u semantiku zajedničke operativne slike u Z-ONTO bazi podataka. To je omogućila primjena geoprostorne semantičke mreže koja zajedno pohranjuje semantički opis podataka (TBox) i podatke (ABox). Temeljem toga SPARQL CONSTRUCT upiti mogu objединити geopodatke, a OWL konstruktori i algoritam rasuđivanja mogu klasificirati geopodatke.

5.2 Drugi slučaj: traženje najbližih spasilaca, opreme i materijala

Zajednička operativna slika sadrži geodinamičke podatke koji dolaze iz više izvora i koji imaju zapisanu lokaciju i vrijeme. Kako je pokazano u prethodnom primjeru, lokacija može biti dana adresom, lokacijskim sektorom ili koordinatama koje stižu iz GNSS uređaja. Ali, samo manji dio potrebnih podataka ima zapis o svojoj lokaciji u nekom trenutku. Gdje se nalazi potrebna oprema i materijal? Gdje je najbliži potrební alat? Iako nema svoju lokaciju, oprema se nalazi u vozilu ili kod sudionika s GNSS uređajem koji šalje lokaciju na poslužitelj u Z-ONTO bazu podataka. Primjer koji slijedi opisuje pretraživanje geodinamičkih podataka putem rasuđivanja u Z-ONTO bazi podataka i pronalaženje najbliže opreme u zadanom trenutku.

Po dojavu o nesreći na teren su upućena dva medicinska i dva vatrogasna vozila opremljena s GNSS uređajima. Podaci o njihovoj dinamičkoj lokaciji spremaju se u Z-ONTO bazu podataka. Slika 5-14 prikazuje klase podataka kojima vozila pripadaju, vremenske odsječke vozila (dva vremenska odsječka za *VoziloMedPom_br1*: individue *VO_VoziloMedPom_br1_1* i *VO_VoziloMedPom_br1_2*; po jedan vremenski odsječak za ostala tri vozila: individue *VO_VoziloMedPom_br2_1*, *VO_VoziloVatrogasno_br1_1* i *VO_VoziloVatrogasno_br2_1*), pripadne podatke o vremenu (individue *VremeskiTrenutak4*, 5 i 6) i lokaciji (individue *V1*, *T1*, *T2* i *T3_ISOgeopodatak*). U Z-ONTO bazi podataka pohranjen je i podatak koji govori da se *Sudionik_br3* nalazi u vozilu *VoziloVatrogasno_br1* (svojstvo *seNalazi* na Slici 5-14).



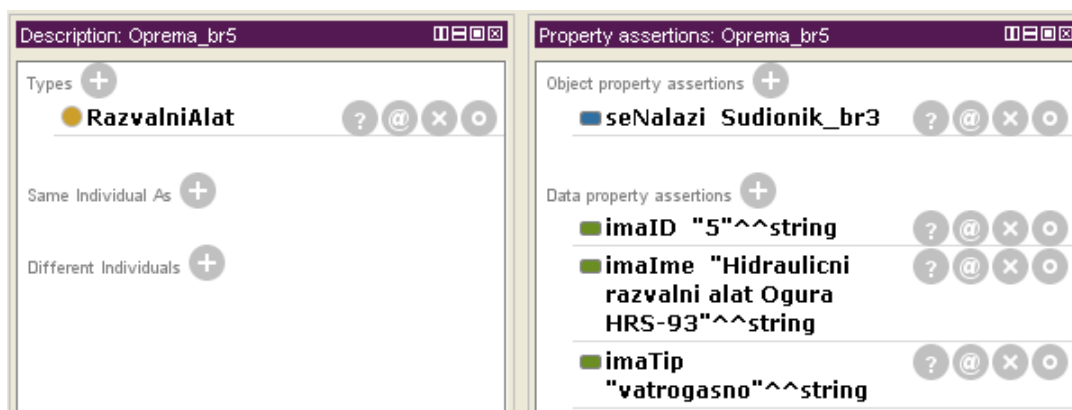
Slika 5-14: Usmjereni graf geodinamičkih podataka o spasilačkim vozilima prikupljenih GNSS uređajima

Dvije klase su definirane restrikcijama. Prema podatku iz svojstva *imaTip*, vozila se rasuđivanjem klasificiraju u medicinska vozila (Slika 5-15) i vatrogasna vozila.



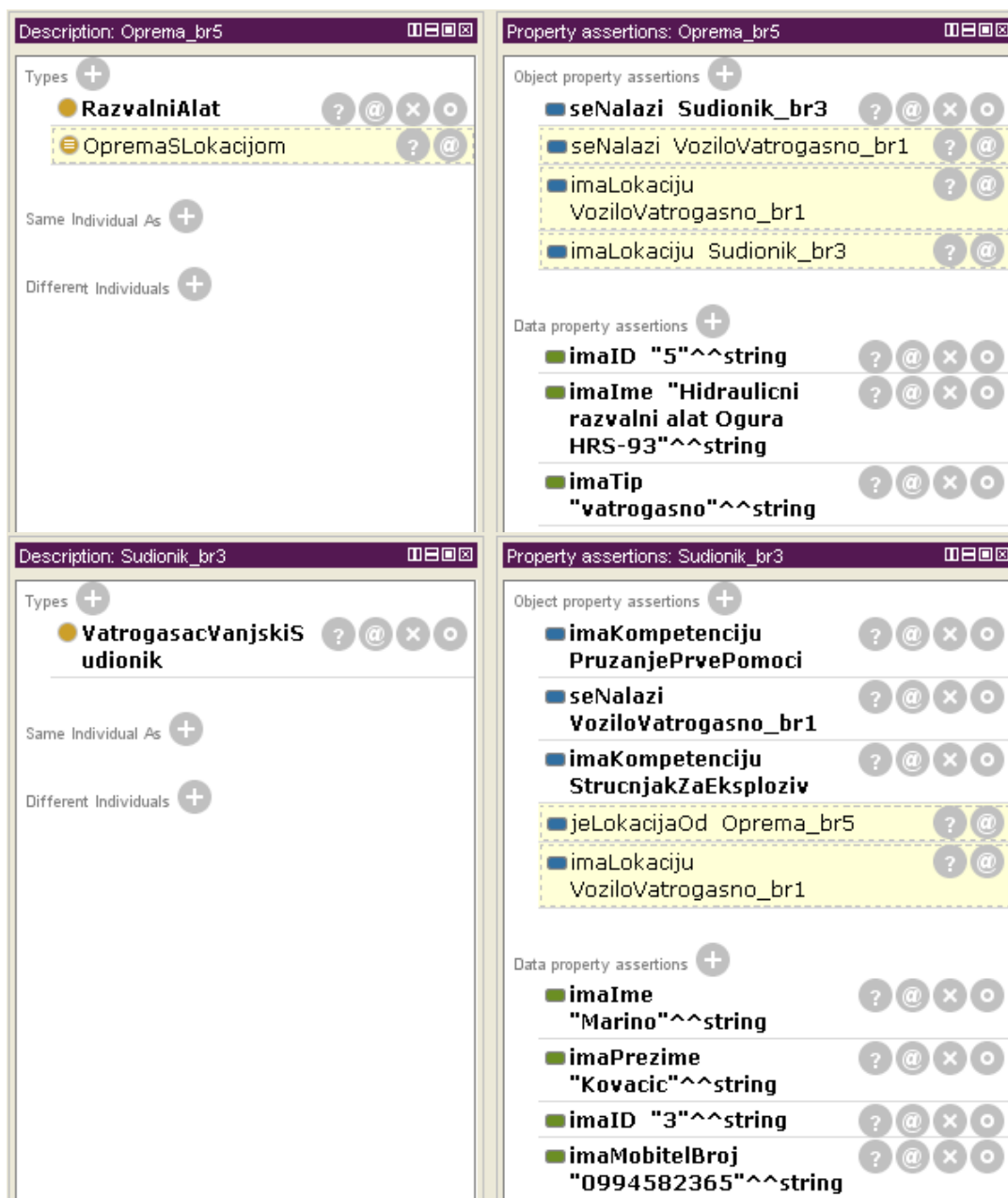
Slika 5-15: Definicija klase *MedicinskoVozilo* putem restrikcije

Oprema koja je žurno potrebna je razvalni alat. U Z-ONTO bazi podataka upisana je individua *Oprema_br5* koja je članica klase *RazvalniAlat* i nalazi kod *Sudionika_br3* (Slika 5-16).



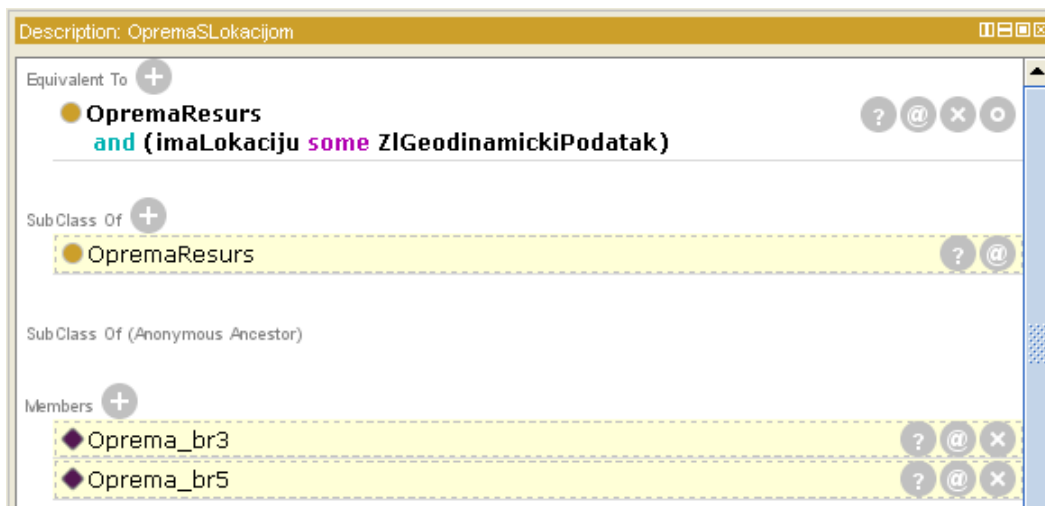
Slika 5-16: Podaci o individui *Oprema_br5* u Z-ONTO bazi podataka

Kako je u TBoxu definirano da je svojstvo *seNalazi* tranzitivno i u ABoxu stoji upisano da se *Sudionik_b3* nalazi u vozilu *VoziloVatrogasno_br1*, tako nakon rasuđivanja stoji upisano da se *Oprema_br* nalazi u *VoziloVatrogasno_br1*. Ako se definira da je svojstvo *seNalazi* podsjojstvo od svojstva *imaLokaciju*, onda će rasuđivanje izvesti da *Oprema_br5* ima lokaciju vatrogasnog vozila i lokaciju sudionika. Podaci izvedeni rasuđivanjem prikazani su tanjim slovima na Slici 5-17. *Sudionik_br3 jeLokacijaOd Oprema_br5* jer je svojstvo *jeLokacijaOd* inverzno svojstvo od svojstva *imaLokaciju*.



Slika 5-17: Podaci o individuama *Oprema_br5* i *Sudioniku_br3* u Z-ONTO bazi podataka nakon rasuđivanja

Rasuđivanje je izvelo da *Oprema_br5* pripada klasi *OpremaSLokacijom* (Slika 5-17). To je klasa koja je definirana restrikcijom i čije članice su individue koje pripadaju opremi i imaju podatak o lokaciji. Zato se nakon pokretanja rasuđivanja može vidjeti da u Z-ONTO bazi podataka dva komada opreme imaju lokaciju: *Oprema_br3* i *Oprema_br5* (Slika 5-18).



Slika 5-18: Klasificiranje sve opreme koja ima lokaciju u novu klasu *OpremaSLokacijom*

U geosemantičkoj mreži zasnovanoj na GeoSPARQL standardu podaci se mogu pretraživati pomoću prostornih relacija. Sljedećim SPARQL upitom pronalaze se sva vozila koja se nalaze u lokacijskom sektoru uz pomoć prostornog svojstva *geo:ehContains*:

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>

PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>

SELECT ?vozilaUSektoruNesrece

WHERE

{ ?vozilaUSektoruNesrece rdf:type zl3:SpasVozilo.

?vozilaUSektoruNesrece zl3:imaVremOdsjecak ?z.

?z zl3:imaLokaciju ?g.

zl3:Lokacijski_sektor_JX-15-d geo:ehContains ?g.}

Topološko svojstvo *geo:ehContains* pripada Egenhoferovom modelu devet presjeka (DE-9IM) i govori da jedan dvodimenzionalni prostorni objekt sadržava drugi. To je kvalitativna prostorna relacija koja se može poznavati i bez poznavanja geometrije, a može biti upisana u bazu podataka. U Z-ONTO bazi podataka upisano je da *Lokacijski_sektor_JX-15-d* sadrži

točke lokacija vremenskih odsječaka vozila (onih koje se nalaze u tom sektoru). Kvalitativne prostorne relacije mogu se izvesti iz kvantitativnih, tj. iz geometrije objekata. GeoSPARQL standard definira funkciju i pravilo za svako topološko svojstvo. Za svojstvo *geo:efContains* definirano je pravilo *geor:egContains* koje pokreće funkciju *geof:egContains*. Funkcija računa prostorni odnos iz geometrije objekata, a rezultat ove funkcije je Booleova varijabla. Ako je rezultat istinit, onda ovo pravilo izvodi i upisuje novu trojku u RDF bazu koja govori da jedan objekt sadrži drugi (uspostavlja odnos *geo:efContains* između dva objekta). Softver za geoprostorno rasuđivanje koji bi izvodio kvalitativna svojstva iz geometrije pomoću pravila i funkcija, još nije razvijen. U sklopu znanstvenih projekata na sveučilištima trenutno se razvija nekoliko sustava (vidi pregled u poglavlju 3.2.4).

Pretraživanje se može proširiti i na geodinamičke podatke. Sljedećim SPARQL upitom pronalaze se sva vozila koja su se nalazila u lokacijskom sektoru u intervalu od prije pet minuta do sada (trenutak upita je bio 19:25):

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>
SELECT ?vozilaUSektoruNesrece
WHERE
{
  ?vozilaUSektoruNesrece rdf:type zl3:SpasVozilo.
  ?vozilaUSektoruNesrece zl3:imaVremOdsjecak ?z.
  ?z zl3:imaLokaciju ?g.
  zl3:Lokacijski_sektor_JX-15-d geo:ehContains ?g.
  ?z zl3:imaVrijeme ?t.
  ?t time:inXSDDateTime ?Utrenutku.
  zl3:Lokacijski_sektor_JX-15-d geo:ehContains ?g.
  FILTER (?Utrenutku > "2013-08-24T19:20:00.00"^^xsd:dateTime)}
```

Kombinacijom i proširenjem prethodnih SPARQL upita može se konstruirati novi SPARQL upit za pronalaženje najbliže potrebne opreme: razvalnog alata. Oprema se treba nalaziti u lokacijskom sektoru nesreće ne prije od pet minuta od trenutka upita. Upitom je dobiveno ime opreme, ime lokacije, trenutak i koordinate lokacije (Slika 5-19). Zapis upita izgleda ovako:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#> ime opreme
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>
SELECT ?imeOpreme ?imeLokacije ?Utrenutku ?wkt
WHERE
{
  ?s rdf:type zl3:RazvalniAlat.
  ?s zl3:imaIme ?imeOpreme.
  ?s zl3:imaLokaciju ?y.
  ?y zl3:imaVremOdsjecak ?z.
  ?y zl3:imaIme ?imeLokacije.
  ?z zl3:imaLokaciju ?g.
  ?z zl3:imaVrijeme ?t.
  ?g geo:hasGeometry ?gg.
  ?gg geo:asWKT ?wkt.
  ?t time:inXSDDateTime ?Utrenutku.
  zl3:Lokacijski_sektor_JX-15-d geo:ehContains ?g.
  FILTER (?Utrenutku > "2013-08-24T19:20:00.00"^^xsd:dateTime)}
```

SPARQL query:			
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#> PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#> PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#> SELECT ?imeOpreme ?imeLokacije ?Utrenutku ?wkt WHERE { ?s rdf:type zl3:RazvalniAlat. ?s zl3:imaIme ?imeOpreme. ?s zl3:imaLokaciju ?y. ?y zl3:imaVremOdsjecak ?z. ?y zl3:imaIme ?imeLokacije. ?z zl3:imaLokaciju ?g. ?z zl3:imaVrijeme ?t. ?g geo:hasGeometry ?gg. ?gg geo:asWKT ?wkt. }			
imeOpreme	imeLokacije	Utrenutku	wkt
"Hidraulicni razvalni alat Ogura HRS-93" "Mercedes Unimog" "2013-08-24T19:25:00.00" "<http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/43266> point (16.313262 43.560016)"			

Slika 5-19: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i dobivenim rezultatom upita:
ime opreme, ime lokacije, trenutak i koordinate lokacije

Prethodni upit proširit će se pronalaženjem sudionika kod kojeg se nalazi oprema. Ako tražena oprema ima sudionika, ovaj SPARQL upit će ispisati njegovo ime, prezime i broj mobitela. Zapis upita izgleda ovako:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>

SELECT ?imeOpreme ?imeLokacije ?Utrenutku ?wkt ?imeSudionika ?prezimeSudionika
?mobitelSudionika

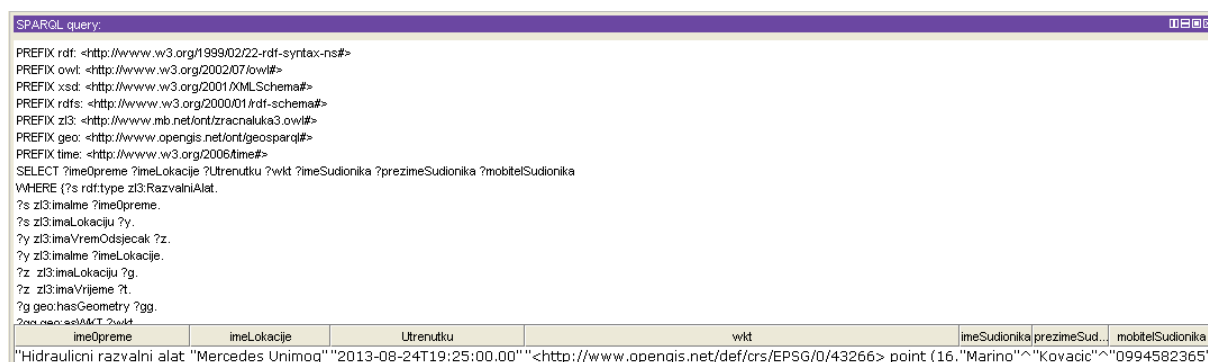
WHERE
{
  ?s rdf:type zl3:RazvalniAlat.
  ?s zl3:imaIme ?imeOpreme.
  ?s zl3:imaLokaciju ?y.
  ?y zl3:imaVremOdsjecak ?z.
  ?y zl3:imaIme ?imeLokacije.
  ?z zl3:imaLokaciju ?g.
  ?z zl3:imaVrijeme ?t.
  ?g geo:hasGeometry ?gg.
  ?gg geo:asWKT ?wkt.
  ?t time:inXSDDateTime ?Utrenutku.

```

```

zl3:Lokacijski_sektor_JX-15-d geo:ehContains ?g.
?s zl3:seNalazi ?su.
?su rdf:type zl3:ZlSudionik.
?su zl3:imaIme ?imeSudionika.
?su zl3:imaPrezime ?prezimeSudionika.
?su zl3:imaMobitelBroj ?mobitelSudionika.
FILTER (?Utrenutku > "2013-08-24T19:20:00.00"^^xsd:dateTime)}

```



Slika 5-20: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i proširenim rezultatom upita: imenom, prezimenom i brojem mobitela sudionika kod kojega se nalazi oprema

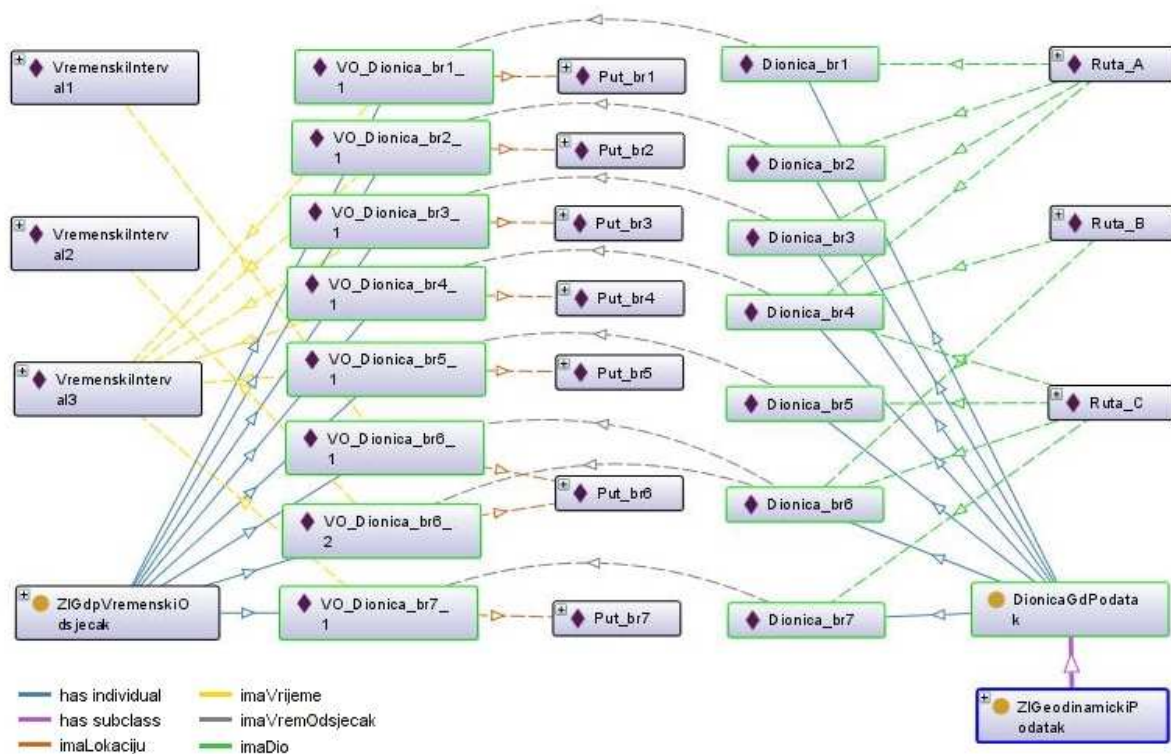
Rezultati prethodno opisanih upita nad Z-ONTO bazom podataka mogu se proslijediti mrežnom GIS softveru koji će na karti iscrtati najbližu potrebnu opremu, sudionike, vozila i druge geodinamičke podatke. Tako se dolazi do dinamičke karte zajedničke operativne slike.

5.3 Treći slučaj: traženje prohodnih ruta za spasilačka vozila

Po primljenoj dojadi o nesreći zrakoplova, prvi postupci akcije spašavanja uključuju dolazak zapovjednika i spasilaca na mjesto nesreće i uspostavu ruta za spasilačka vozila. Zapovjednici određuju rute pomoću prikaza putne mreže na kodiranim kartama iz Plana postupanja i operativnih podataka koji dolaze s terena, npr. zastoj vozila na dionici ceste i sl. Primjer koji slijedi opisuje izradu geodinamičkih ruta za vozila i njihovo pretraživanje u Z-ONTO bazi podataka.

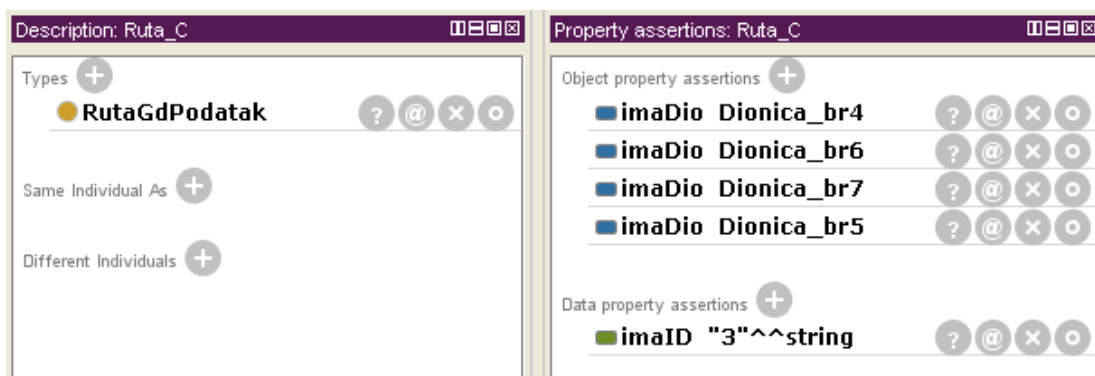
Geopodaci o putnoj mreži čine osnovu za uspostavu prilaznih i odlaznih ruta spasilačkih vozila do mjesta nesreće. Ceste i putovi klasificirani su prema širini vozila za koja su

prohodni. Podaci o putnoj mreži stalno se prikupljaju i održavaju te čine dio Plana postupanja u izvanrednim situacijama u zračnoj luci (aktivnost faze pripravnosti u upravljanju kriznim situacijama). U Z-ONTO bazi podataka pohranjeni su u klasu *PutnaMrezaGsPodatak* koja je podklasa geostatičkih podataka i GeoSPARQL klase geopodataka *SpatialObject*. Slika 5-21 prikazuje dio geoprostorne semantičke sheme s rutama i njihovim dionicama kao geodinamičkim podacima. Rute se konstruiraju iz geostatičkih podataka o putnoj mreži. Odabrani putovi postaju lokacije dionica i upisani su u vremenske odsječke dionica. Dionice predstavljaju sastavne dijelove ruta.



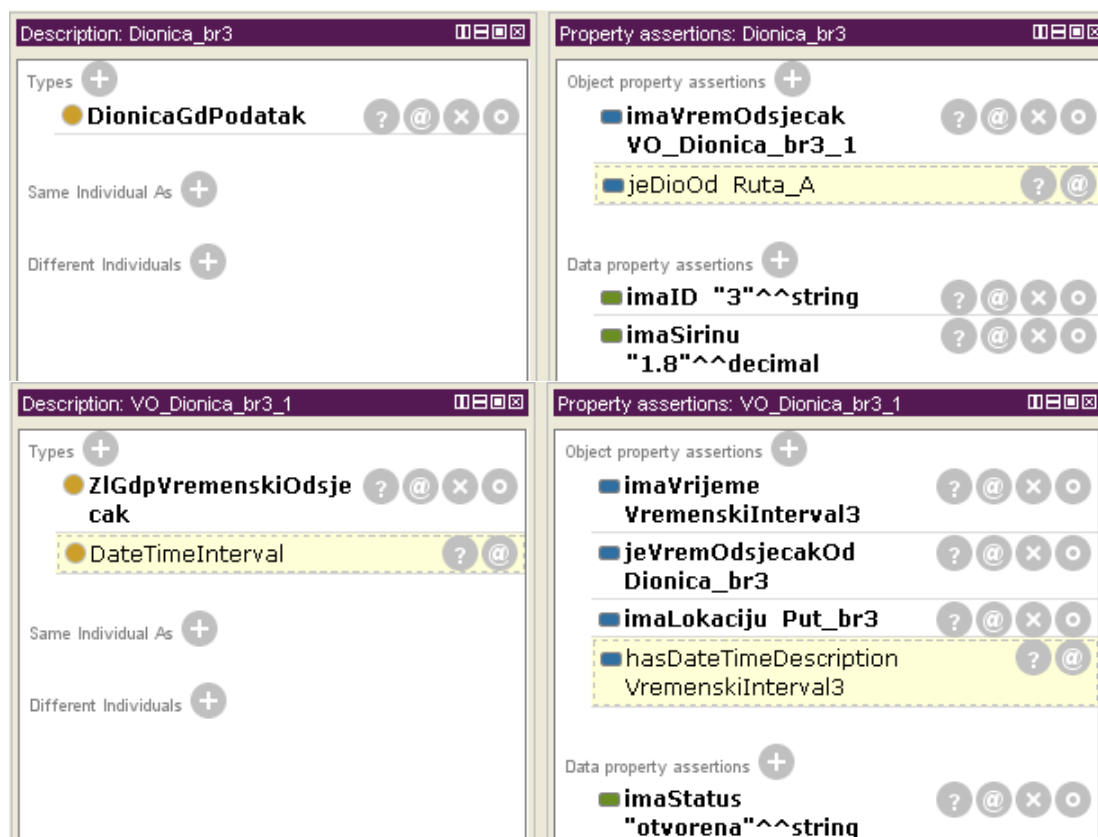
Slika 5-21: Dio usmjerenog grafa geodinamičkih podataka o rutama za spasilačka vozila

Rute za vozila članovi su klase *RutaGdPodatak* i sastoje se od više dionica pomoću svojstva *imaDio* (Slika 5-21 i Slika 5-22).



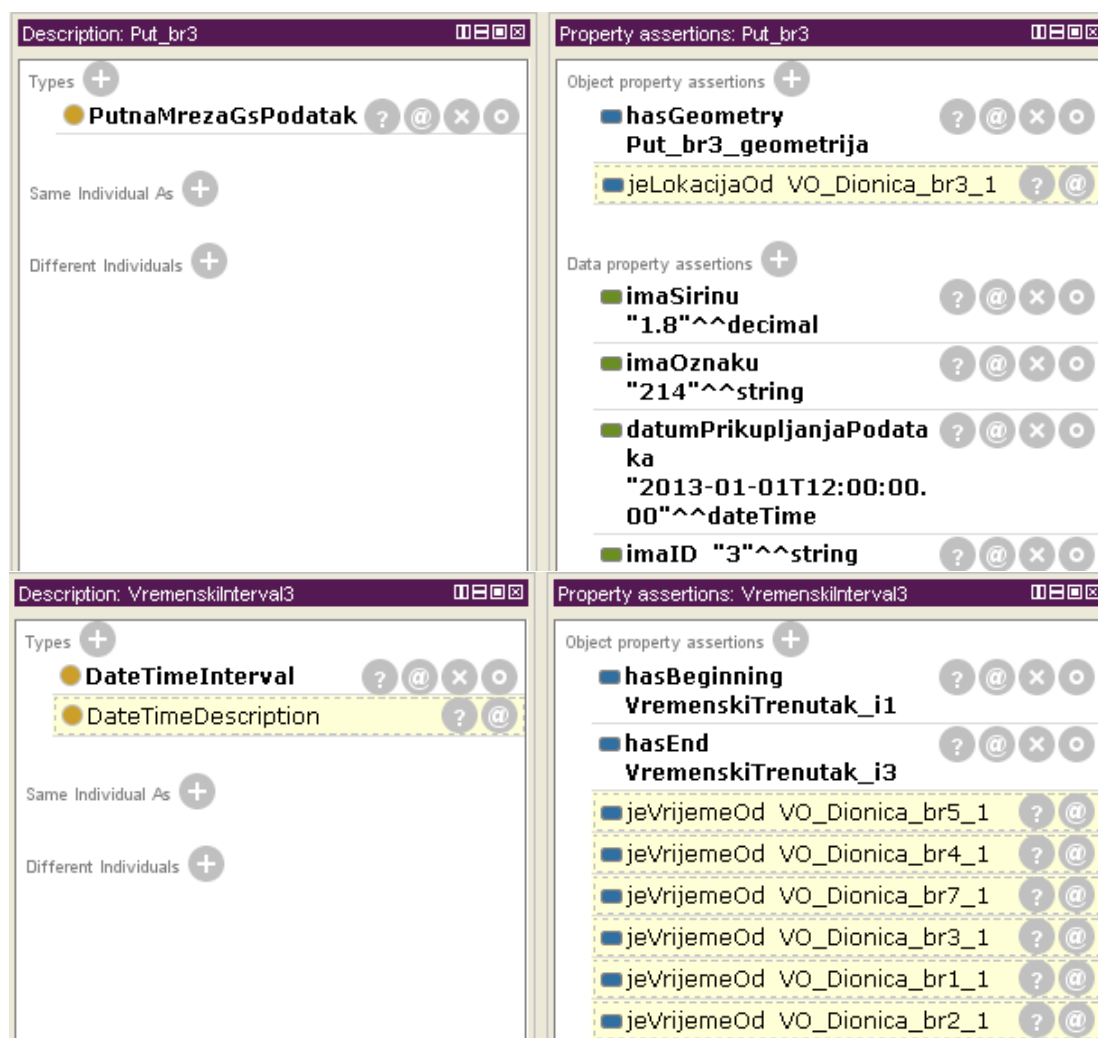
Slika 5-22: Zapis individue *Ruta_C* u Z-ONTO bazi podataka

Dionice rute su geodinamički podaci klase *DionicaGdPodatak* i imaju vremenske odsječke (Slika 5-21). U vremenske odsječke se pohranjuju dinamički podaci o dionicama i to: lokacija (geometrija dionice puta), vrijeme (u kojem podaci vremenskog odsječka vrijede) i status dionice. Status dionice je operativni podatak koji stiže s terena i govori je li dionica otvorena ili zatvorena. Npr. *Dionica_br3* ima vremenski odsječak *VO_Dionica_br_3_1* u kojem je upisan status da je dionica otvorena (Slika 5-23).



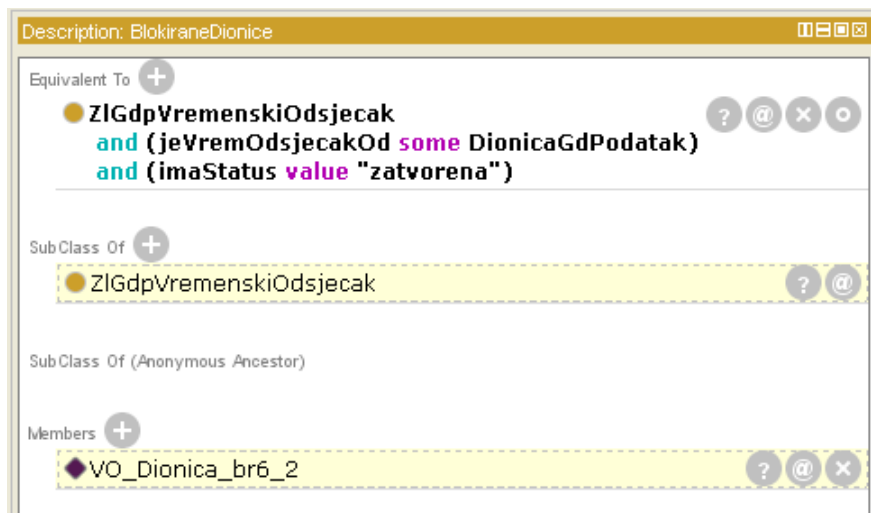
Slika 5-23: Zapis individue *Dionica_br3* i njenog vremenskog odsječka *VO_dionica_br3_1* u Z-ONTO bazi podataka

Vremenski odječak *VO Dionica_br_3_1* ima upisanu lokaciju *Put_br3* i vremenski interval u kojem postoji *VremenskiInterval3*. *Put_br3* je geostatički podatak iz Plana postupanja i ima svoju geometriju i druge podatke. *VremenskiInterval3* je član klase *DateTimeInterval* iz W3C Time standarda za ontološku shemu vremena i ima svoj vremenski početak i kraj (Slika 5-24).



Slika 5-24: Zapis lokacije dionice *Put_br3* i vremena *VremenskiInterval3* u Z-ONTO bazi podataka

Da bi zajednička operativna slika mogla dinamički prikazivati zatvorene dionice ruta, konstruirana je nova klasa *BlokiraneDionice* pomoću restrikcije. Rasuđivanje je izvelo da *VO_Dionica_br6_2* pripada klasi *BlokiraneDionice* (Slika 5-25). Članice ove klase moraju zadovoljiti tri uvjeta: da su članice vremenskih odsječaka *ZIGdpVremenskiOdječak*, da predstavljaju vremenski odsječak dionice i da za status imaju upisanu vrijednost: zatvorena.



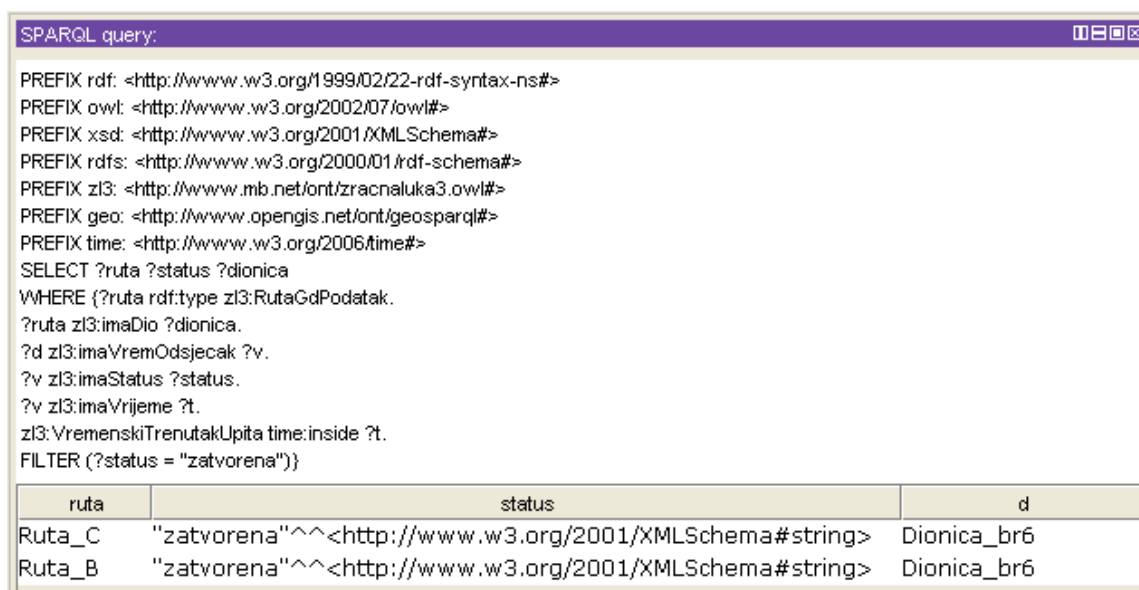
Slika 5-25: Definicija i članice klase *BlokiraneDionice*

Zapovjednika spašavanja zanima koje su rute u ovom trenutku zatvorene. Ako se sadašnji trenutak pohrani u individuu *VremenskiTrenutakUpita*, onda sljedeći SPARQL upit daje odgovor na ovo pitanje:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>

SELECT ?ruta ?status ?dionica
WHERE
{
  ?ruta rdf:type zl3:RutaGdPodatak.
  ?ruta zl3:imaDio ?dionica.
  ?d zl3:imaVremOdsjecak ?v.
  ?v zl3:imaStatus ?status.
  ?v zl3:imaVrijeme ?t.
  zl3:VremenskiTrenutakUpita time:inside ?t.
  FILTER (?status = "zatvorena")}
```

Slika 5-26 pokazuje da su zatvorene *Ruta_B* i *Ruta_C* zbog statusa zatvoreno na *Dionici_br6*.



SPARQL query:

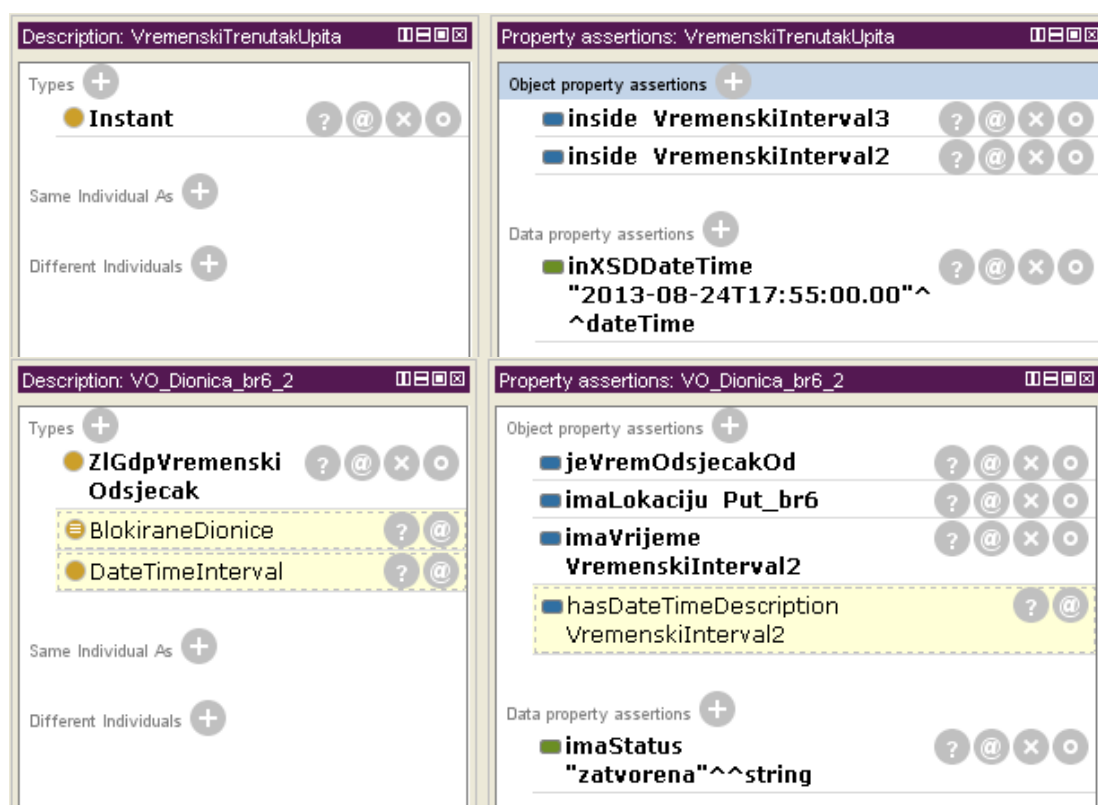
```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX zl3: <http://www.mb.net/ont/zracnaluka3.owl#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX time: <http://www.w3.org/2006/time#>
SELECT ?ruta ?status ?dionica
WHERE {?ruta rdf:type zl3:RutaGdPodatak.
?ruta zl3:imaDio ?dionica.
?d zl3:imaVremOdsjecak ?v.
?v zl3:imaStatus ?status.
?v zl3:imaVrijeme ?t.
zl3:VremenskiTrenutakUpita time:inside ?t.
FILTER (?status = "zatvorena")}
```

ruta	status	d
Ruta_C	"zatvorena"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>	Dionica_br6
Ruta_B	"zatvorena"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>	Dionica_br6

Slika 5-26: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i dobivenim rezultatom upita: ime rute, status i ime zatvorene dionice

SPARQL upit je koristio kvalitativnu vremensku relaciju *time:inside* W3C standarda za ontologiju vremena. Slika 5-27 prikazuje da je *VremenskiTrenutakUpita* unutar vremena *VremenskiInterval2* i *VremenskiInterval3*. Od svih vremenskih odsječaka dionica, jedino vremenski odsječak Dionice_br 6, tj. *VO_Dionica_br_6_2* ima vremenski interval u kojem se nalazi trenutak upita i status zatvorena. Zato su sve rute koje imaju Dionicu_br6 izabrane ovim upitom.

Rute za spasilačka vozila mogu se mijenjati tijekom akcije spašavanja, dionice mogu biti zatvorene i time uzrokovati zatvaranje rute i sl. Ovaj primjer pokazuje kako se geodinamičke rute i njihov status mogu konstruirati kombinacijom geostatičkih podataka o putevima i operativnih podataka koji stižu s terena. Tako se dobivaju geodinamički podaci o događajima. Ti podaci dalje se mogu proslijediti mrežnom GIS softveru koji će na karti iscrtati trenutačno stanje otvorenih i zatvorenih dionica te ruta, tj. koji će prikazivati događaje.



Slika 5-27: Zapis individue *VremenskiTrenutakUpita* i vremenskog odsjeka zatvorene dionice *VO_dionica_br6_6* u Z-ONTO bazi podataka

5.4 Rezultati i diskusija

Ovo ispitivanje nije obuhvatilo sve moguće slučajeve pretraživanja geopodataka u domeni upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama, niti se može zaključiti da prototip Z-ONTO predstavlja kompletno i univerzalno upotrebljivo rješenje. Isto tako, ovaj prototip se nije uspoređivao s drugim mogućim rješenjima. Ipak, ispitivanje pokazuje da razvojem geoprostorne semantičke mreže dobivamo praktična rješenja koja donose neposrednu korist i poboljšanja u tri slučaja od kritične važnosti za uspješnost akcija spašavanja, što potvrđuje hipotezu ovog istraživanja.

S trenutno raspoloživim softverom i obuhvatom podataka, ova su tri slučaja pokazala sljedeća poboljšanja koja donosi geoprostorna semantička mreža:

- Korištenjem geoprostorne semantičke sheme omogućeno je objedinjavanje geopodataka iz više izvora bez korištenja dodatnog softvera. To je važno za geodinamičke podatke, tj. operativne podatke koji dolaze s terena (prvi ispitani slučaj).

Za uključivanje novih geopodataka iz mrežnih izvora potrebno je učitati i njihov geosemantički opis ili shemu. Novopristigli geopodaci povezuju se u geoprostornu semantičku shemu Z-ONTO baze pomoću SPARQL CONSTRUCT upita i rasuđivanjem. Pri tome se podaci mogu obogatiti podacima iz javno dostupnih semantičkih baza, npr. podacima o lokacijama adresa. Na razini korisničkog softvera ne treba više pisati dodatni kod za uključivanje novih geopodataka. Npr. mrežni GIS ne treba izmjene da bi prikazao lokaciju nesreće zrakoplova koja dolazi iz novog izvora. Novi geopodaci su u geoprostornoj semantičkoj bazi postali članovi postojećih klasa s kojima mrežni GIS softver radi. Z-ONTO shema geopodataka koristi standardne ontologije, npr. GeoSPARQL standard. To omogućuje objedinjavanje s drugim semantičkim bazama i korištenje Z-ONTO baze od strane drugih mrežnih softvera.

- Korištenjem rasuđivanja izvode se nove geoprostorne i vremenske relacije između individua. To omogućava pronalaženje geodinamičkih lokacija za opremu i sudionike i kada ne postoji zapis o njihovim lokacijama u bazi (drugi ispitani slučaj).

Semantičko modeliranje svojstava, npr. da je svojstvo *seNalazi* tranzitivno ili da je podklasa od svojstva *imaLokaciju*, dovoljno je da rasuđivanje izvede sve lokacije za individue koje se nalaze u objektima s lokacijom (npr. u vozilima opremljenim s GNSS uređajima). Dosad je to zaključivanje izvodio zapovjednik, gledajući u kartu s prikazom lokacija vozila i povezujući lokacije na karti s operativnim podacima pristiglim radio-vezom, telefonom i sl. Kako se lokacije vozila i operativni podaci mijenjaju u vremenu, tako je zadatak zapovjednika još složeniji. Primjena geoprostorne semantičke mreže omogućuje da se zaključivanje obavi na razini semantičke baze, a zapovjedniku na karti iscrtaju potrebni geodinamički podaci: Gdje je sada potrebna oprema?

- Korištenjem OWL konstruktora geopodaci se klasificiraju i filtriraju temeljem upisanih svojstava, uključujući geoprostorna i vremenska kvalitativna svojstva. To omogućava stvaranje zajedničke operativne slike s dinamički klasificiranim podacima o objektima i događajima (prvi, drugi i treći ispitani slučaj).

Osnovni princip semantičke mreže govori da se individue ne klasificiraju eksplicitno, navođenjem da su članice neke klase. Individue se klasificiraju prema sudjelovanju u svojstvima. To je važno za geodinamičke podatke koji se stvaraju tijekom akcije spašavanja i koji u vremenu mijenjaju svoja svojstva, a time i pripadnost klasi. Koje su rute spasilačkih vozila blokirane? Koja se vozila nalaze u sektoru nesreće? Ako se konstruira novu klasu *BlokiraneRute*, njezine članice bit će izvedene rasuđivanjem ovisno o svojstvima koja imaju u tom trenutku vremena: da su članice klase *RutaGdPodatak* i da za sastavni dio imaju bar jednu dionicu iz klase *BlokiraneDionice*. Složenije klasificiranje izvodi se filtriranjem prostornim i vremenskim kvalitativnim svojstvima. Npr. za određivanje je li ruta bila zatvorena u određenom vremenskom intervalu, može se koristiti vremensko svojstvo *inside*. Ono govori koje sve individue vremenom ulaze u zadani vremenski interval. Za određivanje vozila u sektoru nesreće može se koristiti prostorno svojstvo *egContains*. Ono govori koje sve individue imaju lokaciju sadržanu unutar sektora nesreće. Geoprostorna semantička mreža omogućuje dinamičko klasificiranje individua kombinacijom statičkih i dinamičkih podataka koji stižu s terena. Tako zajednička operativna slika može prikazivati i događaje, tj. individue koje se sastoje od više drugih individua koje zadovoljavaju zadane uvjete, npr. blokirane rute.

Daljnji razvoj Z-ONTO prototipa može uključiti sljedeće:

- Proširenje geoprostorne semantičke sheme (TBoxa) s novim i složenijim konstruktorima koristeći geoprostorna i vremenska kvalitativna svojstva, npr. za modeliranje tijeka postupka spašavanja (engl. *workflow*)
- Proširenje obuhvata podataka (ABoxa) koristeći softver za upravljanje RDF bazom podataka koji podržava geopodatke i geoprostorne funkcije (za sada tek u razvoju)
- Izrada sučelja za prosljeđivanje podataka iz Z-ONTO baze mrežnom GIS softveru

6 ZAKLJUČCI ISTRAŽIVANJA

Za svoj predmet proučavanja ova disertacija uzela je razvoj mrežnih GIS servisa koji mogu osigurati objedinjavanje i pretraživanje geopodataka iz različitih izvora u realnom vremenu. Mreža kakvom se danas služimo sadrži mnogobrojne geopodatke, ali je njihovo pretraživanje ograničeno – jednim dijelom zbog semantičke heterogenosti podataka (npr. ulica se može nazivati i putem i cestom; ili, iza pojma „polje“ može stajati značenje iz topografije, matematike i sl). Kako bi se razriješila semantička heterogenost geopodataka, razvija se geoprostorna semantička mreža. Ideja je podacima dodati takav semantički opis koji računala mogu koristiti. Tako će se omogućiti bolje pretraživanje i povezivanje geopodataka na mreži.

Ideja geoprostorne semantičke mreže ispitana je na primjeru u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Tu su visoki zahtjevi nad pristupom i pretraživanjem geopodataka u realnom vremenu. Geopodaci dolaze s karata i s terena i razmjenjuju se među sudionicima. Je li rješenje u izgradnji jednog velikog i sveobuhvatnog geoinformacijskog sustava (koji će objединiti sve potrebne sudionike i podatke) ili, što je hipoteza ovog istraživanja, napraviti geoprostornu semantičku mrežu koja će zadovoljiti zahtjeve ove domene?

Tijekom rada na ovom istraživanju razvijeno je nekoliko novih prijedloga i modela. Navedeni su prema područjima:

- Modeliranje procesa i geoprostornih baza, uključujući i geodinamičke podatke (razvoj konceptijskog modela aktivnosti, sudionika i geopodataka u upravljanju izvanrednim situacijama u zračnim lukama)

Tijekom proučavanja domene upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama utvrđeno je da ne postoji model za tu domenu koji bi dao opis korisnika, funkcija i informacijskih potreba. Zato je izgrađen UML model Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS). Identificirani su i opisani svi sudionici, zadaci koje obavljaju i potrebni podaci. Modelirani su detaljno geopodaci koji se dijele u geostatičke i geodinamičke, te koji sastavljaju zajedničku operativnu sliku. Predloženi model geopodataka zasniva se na standardu ISO 19125 za 2D geopodatke. Geodinamički podaci modelirani su prema konceptu 4D Fluents modela za dinamičke podatke. Identificirano je

19 klasa geostatičkih i 13 klasa geodinamičkih podataka. Ovaj model sadrži konceptijski model geopodataka potreban za izgradnju mrežnog GIS servisa.

- Razvoj infrastrukture geopodataka (izrada zahtjeva o geopodacima za potrebe upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama)

Pregledom standarda i propisa iz upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama, utvrđeno je da ne postoje specifikacije za digitalne geopodatke i GIS. Analizom korisničkih zahtjeva izvedeni su potrebni geopodaci te su detaljno opisani.

- Geoprostorna semantička mreža (razvoj geoprostorne ontološke sheme u domeni upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama)

Izrađena je geoprostorna ontološka shema za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama i prototip geoprostorne semantičke baze Z-ONTO. Kako ne postoje domenske ontologije iz područja upravljanja kriznim situacijama, tako je ova shema izvedena u cijelosti iz UML modela SUIS-a te korištenjem novog GeoSPARQL standarda. Shema uključuje i vremenski aspekt, tj. geodinamičke podatke.

Sljedeći zaključci proizlaze iz sveukupnog rada na istraživanju:

Područje upravljanja kriznim situacijama traži dinamičke geopodatke iz svih raspoloživih izvora. Današnja mreža sa svojim AAA sloganom predstavlja informacijsku i komunikacijsku infrastrukturu koja može dati dinamičku zajedničku operativnu sliku za vođenje spasilačkih operacija.

Današnje stanje geopodataka na mreži karakterizira mnoštvo podataka, ali sintaktički i semantički nehomogenih, što otežava razvoj GIS servisa. U upravljanju izvanrednim situacijama danas ne postoje standardi za geopodatke, a kamoli za semantičko ujednačavanje operativnih slika pojedinih postrojbi što je neophodno za objedinjavanje geopodataka. Stoga je potrebno izraditi konceptijske i formalne modele da bi se dobila osnova za zajedničko tumačenje geopodataka. Modeli moraju zadovoljiti zahtjeve korisnika, propise i standarde te pružiti osnovu za izradu mrežnih GIS servisa. Izrađeni UML model SUIS-a može zadovoljiti ove namjene i tako doprinijeti razvoju mrežnih GIS servisa u ovoj domeni.

Praktična primjena GIS aplikacije u Zračnoj luci Split, iako uključuje samo geostatičke podatke, pokazala je da GIS značajno unapređuje upravljanje izvanrednim situacijama. Korisnici imaju interaktivnu kartu, GIS funkcije pomažu spasilačkim operacijama (npr. pronalaženje najkraćeg puta), podaci Plana upravljanja centralno se održavaju i svi pristupaju aktualnim podacima. Daljnji razvoj korisnici vide u uključivanju operativnih podataka s terena i u uključivanju sudionika iz svih sektora (policija, vatrogasci, medicinske službe i dr.) te *ad hoc* sudionika. To značajno proširuje zahtjeve nad GIS-om, ali i na opremanju vozila i sudionika s GNSS i komunikacijskim uređajima, institucionalnim dogovorima o razmjeni podataka i dr.

Kako ostvariti potrebnu zajedničku operativnu sliku putem mrežne GIS aplikacije?

Istraživanje je pokazalo kako se geopodaci mogu objediniti u zajedničku operativnu sliku uz pomoć geoprostorne ontološke sheme. Ispitivanje pretraživanja geopodataka u prototipu Z-ONTO dokazuje da geoprostorna semantička mreža poboljšava pretraživanje i povezivanje geopodataka na sljedeće načine:

- Geopodaci iz više izvora objedinjavaju se bez potrebe za novim softverom.

Objedinjavanje podataka obavlja se na razini geoprostorne semantičke baze, pa se korisnički softver ne treba nadograđivati svaki put kada želimo uključiti nove geopodatke. Svi geopodaci u geoprostornoj semantičkoj bazi postaju članovi postojećih klasa s kojima mrežni GIS softver radi. To omogućava korištenje geopodataka koji dolaze s terena od *ad hoc* sudionika ili s bilo kojeg drugog resursa na mreži (npr. neke nove slobodne geoprostorne baze).

- Rasuđivanjem se izводе nove geoprostorne i vremenske relacije između individua.

Semantički opis geoprostornih i vremenskih relacija omogućuje izvođenje novih relacija iz onih upisanih. Npr. lokacija opreme se može izvesti iz lokacije vozila u kojem se nalazi. To omogućava pronalaženje geodinamičkih lokacija za opremu i sudionike i kada ne postoji zapis o njihovim lokacijama u bazi.

- Geopodaci se klasificiraju i filtriraju temeljem upisanih svojstava, uključujući geoprostorna i vremenska kvalitativna svojstva.

Za geopodatke koji dolaze s mreže najčešće ne znamo klasifikaciju ili nas ona ne zadovoljava. Sada ih možemo automatski klasificirati prema potrebi, a temeljem njihovog sudjelovanja u svojstvima (npr. sve rute za vozila kojima su jedna ili više dionica zatvorene klasificirane su u klasu *BlokiraneRute*). To omogućava stvaranje zajedničke operativne slike s dinamički klasificiranim podacima o objektima i događajima.

Nekoliko je mogućih smjerova za nastavak ovog istraživanja. Predloženi UML model SUIIS-a detaljno je razradio potrebne geopodatke, no potrebno je izraditi detaljne dijagrame klasa za druge podatke. Zahtjevi nad geopodacima mogu se proširiti opisom metapodatka prema ISO standardu (serija 19100). Postojeći standardi i preporuke za aeronautičke podatke za sada ne sadrže specifikacije potrebnih geopodataka i GIS funkcija za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama, pa ih se može prošiti saznanjima iz ove studije. Daljnji razvoj Z-ONTO prototipa može proširiti TBox složenijim logičkim pravilima, npr. modeliranjem tijeka postupaka spašavanja. Prototip Z-ONTO se može preseliti u komercijalni sustav za upravljanje RDF bazom, što će omogućiti proširenje ABoxa (unosom veće količine podataka ili povezivanjem na relacijsku bazu s već učitanim podacima).

Da bi se geoprostorna semantička mreža ostvarila, potrebno je još mnogo napora. Ona je tek u nastajanju i zato su mnoga pitanja otvorena: razvoj domenskih ontologija, RDF baza koja podržava geopodatke i prostorne upite, algoritmi geoprostorno-vremenskog rasuđivanja, softver za izvođenje kvalitativnih prostornih relacija iz geometrije objekata prema GeoSPARQL RIF pravilima, proširenje standarda na 3D objekte i rasterski prikaz geopodataka. Ipak, od trenutka početka ovog istraživanja do danas geoprostorna semantička mreža značajno je napredovala. Izrađen je GeoSPARQL standard koji pruža konceptijsku osnovu razvoja semantičkih geoprostornih baza i softvera te je na mreži sve više javno dostupnih geoprostornih baza podataka u RDF modelu.

LITERATURA

A

- Abdalla, R. (2004). *Utilizing 3D web-based GIS for infrastructure protection and emergency preparedness*. Proceedings of the XXth ISPRS Congress, Commission VII papers, Istanbul, Turkey, July 12-23, 2004, str. 653-657
- Ahmad, S., Saxena, V. (2008). *Design of formal air traffic control system through UML*. Ubiquitous Computing and Communication Journal 3(6):11-20
- Allemang, D., Hendler, J. (2011). *Semantic web for the working ontologist: effective modelling in RDFS and OWL*. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier
- Allen, J.F. (1983). *Maintaining knowledge about temporal intervals*. Communications of the ACM 26(11):832-843
- Artificial Intelligence Center (2012). *SNARK-SRI's new automated reasoning kit*. <http://www.ai.sri.com/~stickel/snark.html> , (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Athanasis, N., Kalabokidis, K., Vaitis, M. *et al.* (2009). *Towards a semantic-based approach in the development of geographic portals*. Computers & Geosciences 35(2):301-308

B

- Baader, F., Nutt, W. (2003). *Basic description logics*. Baader, F., McGuinness, D.L., Nardi, D. *et al.* (ur.), The description logic handbook: theory, implementation, and applications; New York: Cambridge University Press, str. 47-100
- Bai, Y., Di, L., Wei, Y. (2009). *A taxonomy of geospatial services for global service discovery and interoperability*. Computers & Geosciences 35(4):783-790
- Balbani, P., Condotta, J.-F., del Cerro, L. F. (1998). *A model for reasoning about bitemporal temporal relations*. Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'98), Cohn, A. G., Schubert, L. K., Shapiro, S. C. (ur.), Trento, Italy, June 2-5, 1998, str. 124-130
- Balbani, P., Condotta, J.-F., del Cerro, L. F. (1999). *A tractable subclass of the block algebra: constraint propagation and preconvex relations*. Proceedings of the 9th Portuguese Conference on Artificial Intelligence: Progress in Artificial Intelligence

- (EPIA '99), Barahona, P., Alferes, J.J. (ur.), Evora, Portugal, September 21–24, 1999, str. 75–89
- Batcheller, J.K., Reitsma, F. (2010). Implementing feature level semantics for spatial data discovery: supporting the reuse of legacy data using open source components. *Computers & Geosciences* 34(4):333-344
- Batsakis, S., Stravoskoufos, K., Petrakis, E.G.M. (2011). *Temporal reasoning for supporting temporal queries in OWL 2.0*. Proceedings of the 15th International Conference on Knowledge-based and Intelligent Information and Engineering Systems - Part I, König, A., Dengel, A., Hinkelmann, K. *et al.* (ur.), Kaiserslautern, Germany, September 12-14, 2011, str. 558-567
- Battle, R., Kolas, D. (2012). *Enabling the geospatial semantic web with Parliament and GeoSPARQL*. *Semantic Web - On linked spatiotemporal data and geo-ontologies* 3(4):355-370
- Baučić, M., Medak, D. (2015). *Web GIS for airport emergency response - UML model*. PROMET-Traffic&Transportation, (u postupku objave)
- Baučić, M., Medak, D., Roguljić, S. (2011). *WEBGIS for emergency at airports*. Proceedings of the 7th International Conference on Geoinformation for Disaster Management (Gi4DM), Antalya, Turkey, May 3-8, 2011, 4 str.
- Berners-Lee, T. (2002). *The semantic web*. Prezentacija, W3C Consortium, <http://www.w3.org/2002/Talks/04-sweb/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- van Borkulo, E., Barbosa, V., Dilo, A. *et al.* (2006). *Services for an emergency response system in the Netherlands*. Proceedings of the Second Symposium on Gi4DM, Goa, India, September 25-26, 2006, 6 str.
- Buccella, A., Cechich, A., Fillottrani, P. (2009). *Ontology-driven geographic information integration: a survey of current approaches*. *Computers & Geosciences* 35(4):710-723

C

- Center of Excellence for Geospatial Information Science (CEGIS), USGS (2014). *Geospatial semantics and ontology*. <http://cegis.usgs.gov/ontology.html>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

- Chen, H., Fellah S., Bishr, Y. (2005). *Rules for geospatial semantic web applications*. W3C Workshop on Rule Languages for Interoperability, Washington, USA, April 27-28, 2005, <http://www.w3.org/2004/12/rules-ws/paper/31/> (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Chen, J., Cohn, A.G., Liu, D. *et al.* (2013). *A survey of qualitative spatial representations*. The Knowledge Engineering Review, October, str. 1-31, <http://dx.doi.org/10.1017/S0269888913000350> (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Christodoulou, G., Petrakis, E.G.M., Batsakis, S. (2012). *Qualitative spatial reasoning using topological and directional information in OWL*. Proceedings of the 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), Athens, Greece, November 7-9, 2012, str. 596-602
- Clark & Parsia (2014). *PelletSpatial*. <http://clarkparsia.com/pellet/spatial/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Clementini, E., Di Felice, P. (1997). *A global framework for qualitative shape description*. Geoinformatica 1(1):11-27
- Cui, Z., Cohn, A.G., Randell, D.A. (1993). *Qualitative and topological relationships in spatial databases*. Abel, D., Ooi, B.C. (ur.), Advances in Spatial Databases, Vol. 692 of Lecture Notes in Computer Science, Berlin: Springer-Verlag, str. 293-315

D

- Dbpedia (2014). *DBpedia Data Set*. <http://wiki.dbpedia.org/Dataset>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Delahaye, D., Étienne, J.F., Donzeau-Gouge, V. (2008). *Formal modeling of airport security regulations using the Focal environment*. Proceedings of First International Workshop on Requirements Engineering and Law, RELAW, Barcelona, Spain, September 9, 2008, str. 16-20
- Diehl, S., Neuvel, J., Zlatanova, S., *et al.* (2006). *Investigation of user requirements in the emergency response sector: the Dutch case*. Proceedings of the Second Symposium on Gi4DM, Goa, India, September 25-26, 2006, 6 str.
- Dilo, A., Zlatanova, S. (2008). *Spatiotemporal modelling for disaster management in the Netherlands*. Proceedings of the Joint ISCRAM-CHINA Gi4DM Conference -

Information Systems for Crisis Response and Management, Harbin, China, August 4-6, 2008, str. 517-528

Dilo, A., Zlatanova, S. (2010). *Data modelling for emergency response*. GIST Report No. 54, Delft: TU Delft

Durbha, S.S., King, R.L., Shah, V.P., *et al.* (2009). *A framework for semantic reconciliation of disparate Earth observation thematic data*. Computers & Geosciences 3(4):761-773

E

Egenhofer, M.J. (2002). *Toward the semantic geospatial web*. Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (GIS'02), McLean, USA, November 8-9, 2012, str. 1-4

Egenhofer, M.J. (2005). *Spherical topological relations*. Journal on Data Semantics III, 3534:25-49

Egenhofer, M.J., Herring, J.R. (1991). Categorizing binary topological relations between regions, lines and points in geographic databases. Technical Report, Orono: University of Maine

Egenhofer, M.J., Sharma, J. (1993). Assessing the consistency of complete and incomplete topological information. Geographical Systems 1(1):47-68

F

Fan, Z., Zlatanova, S. (2010). *Exploring ontology potential in emergency management*. Proceedings of the International Symposium on Geoinformation for Disaster Management, Gi4DM, Torino, Italy, February 2-4, 2010, 6 str.

Federal Aviation Administration (FAA) (2009). *Airport emergency plan, Advisory circular no. 150/5200-31C*. Washington

Fernandez, M., Cantador, I., Castells, P. (2006). *CORE: A tool for collaborative ontology reuse and evaluation*. Proceedings of 4th International Workshop on Evaluation of Ontologies for the Web at the 15th International World Wide Web Conference, Edinburg, UK, May 23-26, 2006, <http://ir.ii.uam.es/pubs/eon06.pdf>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Fertalj, K. (2014). *Razvoj informacijskih sustava*. Materijali za predavanja, Sveučilište u Zagrebu, <http://www.unidu.hr/unidu/pis/PIS-predavanja01.pdf>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Frančula, N., Lapaine, M. (2008). *Geodetsko - geoinformatički rječnik*. Zagreb: Republika Hrvatska, Državna geodetska uprava.

Frank, A.U. (1992). Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space. *Journal of Visual Languages and Computing* 3(4):343-371

G

GADM project (2014). *An RDF spatial representation of all the administrative regions in the world*. <http://gadm.geovocab.org/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Garbis, G., Kyzirakos, K., Koubarakis, M. (2013). *Geographica: A benchmark for geospatial RDF stores*. Proceedings of the 12th International Semantic Web Conference (ISWC 2013), Sydney, Australia, October 21-25, 2013, str. 343-359

Gruber, T.R. (1993). *A translation approach to portable ontologies*. *Knowledge Acquisition* 5(2):199-220

Grünwald, A. (2014). Evaluation of UML to OWL approaches and implementation of a transformation tool for visual paradigm and MS Visio. Prvostupnički rad, Technical University Vienna, Vienna

Guarino, N. (1997). *Semantic matching: formal ontological distinctions for information organization, extraction and integration*. Pazienza M.T. (ur.), *Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology*, Berlin: Springer-Verlag, str. 139-170

Gulli, A., Signorini, A. (2005). *The indexable web is more than 11.5 billion pages*. Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web, Chiba, Japan, May, 10-14, 2005, str. 902-903

H

Harmelen, F., Lifschitz, V., Porter, B. (ur.) (2007). *Handbook of knowledge representation*. San Diego: Elsevier

Horridge, M. (2011). *A practical guide to building OWL ontologies using Protégé 4 and COODE tools – edition 1.3*. The University of Manchester, http://130.88.198.11/tutorials/protegeowltutorial/resources/ProtegeOWLTutorialP4_v1_3.pdf, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Huber, R., Klump, J. (2009). Charting taxonomic knowledge through ontologies and ranking algorithms. *Computers & Geosciences* 35(4):862-868

I

International Association of Oil & Gas Producers (2014). *EPSG geodetic parameter registry*. <http://www.epsg-registry.org/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

International Civil Aviation Organization (ICAO) (1991). *Airport emergency planning, Airport service manual (doc. 9137), part 7*. Montreal

International Civil Aviation Organization (ICAO) (2009). *Annex 14 – Aerodromes, Volume I – Aerodrome design and operation*. Montreal

International Organization for Standardization (ISO) (2009). *Report from stage 0 Project 19150 Geographic information - ontology, ISO/TC 211, N2705*. http://metadata-standards.org/Document-library/Documents-by-number/WG2-N1251-N1300/WG2_N1292_TC211n2705_Report_19150.pdf, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

International Organization for Standardization (ISO) (2014). *Home page*. <http://www.iso.org/iso/home.html>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

International Telecommunication Union (2013). *The World in 2013: ICT facts and figures*. Geneva, <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-e.pdf>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

J

Johnson, P. (2002). *Epistemology and ontology: helping the folks at the web ontology working group*. XML com, http://www.xml.com/cs/user/view/cs_msg/635, (stranica posjećena: 25. ožujka 2011.)

K

Kun, Y., Wang, J., Shuang-Yun, P. (2005). *The research and practice of geo-ontology construction*. Proceedings of the International Symposium on Spatio-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion, Beijing, China, August 27-29, 2005, 5 str.

L

Ledru, Y., Laleau, R., Lemoine, M. *et al.* (2006). *An attempt to combine UML and formal methods to model airport security*. Forum Proceedings of the 18th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE '06), Theme: Trusted Information Systems, Luxemburg, June 5-9, 2006, 4 str.

Lindell, M., Prater, C., Perry, R. (2006). *Fundamentals of emergency management*. U.S. Federal Emergency Management Agency, Emergency Management Institute, <http://training.fema.gov/EMIWeb/edu/fem.asp>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

Linked Data community (2014). *Linked Data - Connect Distributed Data across the Web*. <http://linkeddata.org/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

LinkedGeoData (2014). *Home page*. <http://linkedgeodata.org/About>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Lumb, L.I., Freemantle, J.R., Lederman, J.I. *et al.* (2009). *Annotation modeling with formal ontologies: implications for informal ontologies*. Computers & Geosciences 35(4):855-861

Lutz, M., Sprado, J., Klien, E. *et al.* (2009). *Overcoming semantic heterogeneity in spatial data infrastructures*. Computers & Geosciences 35(4):739-752

M

Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A. *et al.* (2003). *WonderWeb deliverable D18: ontology library (final)*. Report, Trento: Laboratory For Applied Ontology

Max-Planck Institute for Informatics (2014). *YAGO2s: A high-quality knowledge base*. <https://www.mpi-inf.mpg.de/departments/databases-and-information-systems/research/yago-naga/yago/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

- Meathrel, R.C., Galton, A.P. (2001). *A hierarchy of boundary-based shape descriptors*. Proceedings of the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-01), Washington, USA, August 4-10, 2001, str. 1359–1364
- Medak, D. (1999). *Lifesyels – a paradigm for the description of spatiotemporal databases*. Doktorski rad, Technical University Vienna, Austria
- McCreary, D. (2006). *Patterns of semantic integration*. Vlastita naklada, http://www.danmccreary.com/presentations/sem_int/sem_int.ppt, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Mitra, D. (2002). *Qualitative reasoning with arbitrary angular directions*. Technical Report WS-02-17 from the AAAI Workshop on Spatial and Temporal Reasoning, Edmonton, Canada, July 28-29, 2002, str. 5-10, <http://aaai.org/Papers/Workshops/2002/WS-02-17/WS02-17-002.pdf>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Munn, K., Smith, B. (2008). *Applied ontology: an introduction*. Heusenstamm: Ontos Verlag

O

- Obitko, M. (2007). *OWL-DL semantics, introduction to ontologies and semantic web*. Vlastita naklada, <http://www.obitko.com/tutorials/ontologies-semantic-web/owl-dl-semantics.html>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Object Management Group (2014). *Unified Modeling Language (UML), resource page*. <http://www.uml.org/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Ontology Engineering Group (2013). *GeoLinked Data (.es)*. <http://geo.linkeddata.es/> (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Open Geospatial Consortium (OGC) (2010). Implementation standard for geographic information - simple feature access - part 2: SQL option, OGC 06-104r4.
- Open Geospatial Consortium (OGC) (2011). Implementation standard for geographic information - simple feature access - part 1: Common architecture, OGC 06-103r4.
- Open Geospatial Consortium (OGC) (2012). *GeoSPARQL – A geographic query language for RDF data*. <http://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Open Geospatial Consortium (OGC) (2014). *OGC home page*. <http://www.opengeospatial.org>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

Oracle (2014). *Oracle spatial and graph, RDF semantic graph*. <http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatialandgraph/overview/rdfsemantic-graph-1902016.html>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

Ordnance Survey (2014). *Linked data platform*. <http://data.ordnancesurvey.co.uk/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

P

Planet Data EU Network of Excellence (2011). *EU NUTS classification as linked data*. <http://nuts.geovocab.org/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

Prcela, M. (2008). *Predstavljanje ontologija na Web-u*. Kvalifikacijski doktorski ispit, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

R

Randell, D.A., Cui, Z., Cohn, A.G. (1992). *A spatial logic based on regions and connection*. Proceedings of the 3rd International Conference on Knowledge Representation and Reasoning, Cambridge, USA, October 25-29, 1992, str. 165–176

Reitsma, F., Laxton, J., Ballard, S. *et al.* (2009). *Semantics, ontologies and e-Science for the geosciences*. Computers & Geosciences 35(4):706-709

Renz, J., Nebel, B. (2007). *Qualitative spatial reasoning using constraint calculi*. Aiello, M., Pratt-Hartmann, I., van Benthem, J. (ur.), Handbook of Spatial Logics, Dordrecht: Springer, str. 161-215

Republika Hrvatska (2014). *Pravilnik o aerodromima*. Narodne novine, br. 58, 12.05.2014, Zagreb

S

Scarponcini, P., Camateros, S., Custers, O. *et al.* (2008). *Introduction*. van Oosterom, P., Zlatanova, S. (ur.), Creating spatial information infrastructures: towards the spatial semantic web, Boca Raton: CRC Press, str. xiii-xxiii

Scharl, A., Tochtermann, K. (ur.) (2007). *The geospatial web - how geobrowsers, social software and the web 2.0 are shaping the network society*. London: Springer

- Scherp, A., Franz T., Saathoff C. *et al.* (2009). *F - a model of events based on the foundational ontology DOLCE+DnS ultralight*. Proceedings of the 5th International Conference on Knowledge Capturing (K-CAP), Redondo Beach, USA, September 1-4, 2009, str. 137-144
- Scholten, H.J., Fruijter, S., Dilo, A. *et al.* (2008). *Spatial data infrastructure for emergency response in Netherlands*. Nayak, S., Zlatanova, S. (ur.), Remote sensing and GIS technologies for monitoring and prediction of disasters, Berlin: Springer, str. 179-197
- Semantic Universe (2010). *Semantic Technology Conference 2010*. <http://semtech2010.semanticuniverse.com/Index.cfm>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Snoeren, G., Zlatanova, S., Cromptvoets, J. *et al.* (2007). *Spatial data infrastructure for emergency management: the view of the users*. Proceedings of the 3rd International Symposium on Gi4DM, Toronto, Canada, May 22-25, 2007, 12 str.
- Stanford University (2014). *Protégé*. <http://protege.stanford.edu/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Suárez de Figueroa Baonza, M.C. (2010). *NeOn methodology for building ontology networks: specification, scheduling and reuse*. Doktorski rad, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid

T

- TELEIOS project, Virtual Observatory Infrastructure for Earth Observation Data (2013). *Home page*. <http://www.earthobservatory.eu/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Transportation research board (2013). *Guidebook on integrating GIS in emergency management at airports*. Washington

U

- Unicode (2014). *The Unicode standard*. <http://www.unicode.org/standard/standard.html> (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- U.K. Government (2014). *Opening up government*. <http://data.gov.uk/> (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Université d'Artois (2006). *QAT project*. <http://www.cril.univ-artois.fr/saade/QAT/> (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)

- University of Bremen (2013). *SparQ - spatial reasoning done qualitatively, R3-[Q-Shape] project of the SFB/TR8 Spatial Cognition*. <http://www.sfbtr8.uni-bremen.de/project/r3/sparq/> (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- University of Freiburg (2014). *GQR: A generic qualitative reasoner, SFB/TR8 Spatial Cognition*. <http://sfbtr8.informatik.uni-freiburg.de/R4LogoSpace/Tools/gqr.html>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Unxos (2012). *GeoNames Ontology*. <http://www.geonames.org/ontology/documentation.html>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Unxos (2014). *GeoNames*. <http://www.geonames.org/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- Uschold, M., Gruninger, M. (2004). *Ontologies and semantics for seamless connectivity*. ACM SIGMOD Record 33(4):58-64
- U.S. Government's open data (2014). *Home page*. <http://www.data.gov/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

W

- Welty, C., Fikes, R. (2006). *A reusable ontology for fluents in OWL*. Proceedings of the 2006 Conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Bennett, B., Fellbaum, C. (ur.), Baltimore, USA, November 9-11, 2006, str. 226-236
- Wikipedia (2014a). *GIS file formats*. http://en.wikipedia.org/wiki/GIS_file_formats, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- Wikipedia (2014b). *List of triplestore implementations*. http://en.wikipedia.org/wiki/Triplestore#List_of_implementations, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2004a). *RDF vocabulary description language 1.0: RDF schema, W3C Recommendation 10 February 2004*. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-schema-20040210/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2004b). *RDF/XML syntax specification (revised), W3C Recommendation 10 February 2004*. <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

- World Wide Web Consortium (W3C) (2006a). *Defining n-ary relations on the semantic web*. W3C Working Group Note 12 April 2006, <http://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2006b). *Time ontology in OWL, W3C Working draft 27 September 2006*. <http://www.w3.org/TR/2006/WD-owl-time-20060927/>, (stranica posjećena: 8. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2008). *SPARQL query language for RDF, W3C Recommendation 15 January 2008*. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2009a). *Emergency information interoperability frameworks, W3C Incubator Group Report 6 August 2009*. <http://www.w3.org/2005/Incubator/eiif/XGR-framework-20090806/>, (stranica posjećena: 3. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2009b). *OWL 2 web ontology language, quick reference guide, W3C Working draft 21 April 2009*. <http://www.w3.org/TR/2009/WD-owl2-quick-reference-20090421/>, (stranica posjećena: 3. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2012a). *OWL 2 web ontology language, document overview (second edition), W3C Recommendation 11 December 2012*. <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>, (stranica posjećena: 3. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2012b). *OWL 2 web ontology language, profiles (second edition)*. <http://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-profiles-20121211/>, (stranica posjećena: 3. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2012c). *OWL 2 web ontology language, structural specification and functional-style syntax (second edition), W3C Recommendation 11 December 2012*. <http://www.w3.org/TR/owl2-syntax/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2014a). *Extensible Markup Language (XML)*. <http://www.w3.org/XML/>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)
- World Wide Web Consortium (W3C) (2014b). *Home page*. <http://www.w3c.org>, (stranica posjećena: 5. rujna 2014.)

Z

- Zhang, C., Zhao, T., Li, W. (2010). *Automatic search of geospatial features for disaster and emergency management*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12(6):409-418
- Zhao, P., Di, L., Yu, G. et al. (2009). *Semantic web-based geospatial knowledge transformation*. Computers & Geosciences 35(4):798-808
- Zlatanova, S. (2008). *Geoinformation for crisis management*. GISr Report No. 51, Delft: TU Delft
- Zlatanova, S. (2010). *Formal modelling of processes and tasks to support use and search of geo-information in emergency response*. Proceedings of the 13th International Conference and Exhibition on Geospatial Information Technology and Applications, Map India 2010, Gurgaon, India, January 19-21, 2010, 8 str.
- Zlatanova, S., Dilo, A. (2010). *A data model for operational and situational information in emergency response: the Dutch case*. Proceedings of the International Symposium on Geo-information for Disaster Management, Gi4DM, Torino, Italy, February 2–4, 2010, 4 str.
- Zlatanova, S., Fabbri, A.G. (2009). *Geo-ICT for risk and disaster management*. Scholten, H.J., Velde, R., van Manen, N. (ur.), Geospatial Technology and the Role of Location in Science, The GeoJournal Library 96, London: Springer, str. 239-266
- Zlatanova, S., de Vries, M., van Oosterom, P.J.M. (2010). *Ontology-based query of two Dutch topographic data sets: an emergency response case*. Proceedings of the ISPRS Haifa 2010 Workshop 'Core Spatial Databases: Updating, Maintenance and Services; From Theory to Practice', Haifa, Israel, March 15-17, 2010, str. 193-198
- Zračna luka Dubrovnik (2012). *Airport emergency plan*. Dubrovnik
- Zračna luka Split (2012). *Airport emergency plan*. Split

POPIS SLIKA

Slika 2-1: Faze upravljanja kriznim situacijama	10
Slika 3-1: Stog semantičke mreže prema Berners-Leeju (2002).....	14
Slika 3-2: Vrste ontologija	18
Slika 3-3: Odnos složenosti ontologije prema vremenu i trošku izgradnje.....	18
Slika 3-4: Razine ontologija	19
Slika 3-5: Dio taksonomije glavnih DOLCE koncepata	20
Slika 3-6: Arhitektura baze znanja zasnovane na deskriptivnoj logici	25
Slika 3-7: Usmjereni graf za trojku: (<i>Djelo1</i> , <i>imaNaslov</i> , <i>CrnaMaslina</i>).....	28
Slika 3-8: Ujedinjeni usmjereni graf za trojke: (<i>Djelo1</i> , <i>imaNaslov</i> , <i>CrnaMaslina</i>) i (<i>Djelo1</i> , <i>imaAutora</i> , <i>Parun</i>)	28
Slika 3-9: Arhitektura semantičke mreže	31
Slika 3-10: Dio oblaka povezanih geografskih podataka	43
Slika 3-11: Simple Feature Access ili ISO 19125 model geopodataka.....	46
Slika 3-12: Simple Feature Access ili ISO 19125 operacije nad geopodacima	47
Slika 3-13: Logička shema geopodataka po Simple Feature Access ili ISO 19125 standardu	48
Slika 3-14: Usmjereni graf GeoSPARQL ontološke sheme geopodataka	51
Slika 3-15: Svijet i njegov kvantitativni prikaz (geometrijski vjeran) i kvalitativni prikaz (topološki vjeran)	54
Slika 3-16: Matrica Egenhoferovog modela devet presjeka	57
Slika 3-17: Osam binarnih topoloških relacija između dviju zatvorenih regija bez šupljina u dvodimenzionalnom prostoru i pripadne matrice presjeka Egenhoferovog modela.....	58
Slika 3-18: Osam binarnih topoloških relacija između dvaju objekata u RCC8 modelu.....	59
Slika 3-19: Rasuđivanje ulančavanjem unaprijed ili unatrag.....	61
Slika 4-1: Preslikavanje elemenata UML dijagrama u OWL konstruktore	69

Slika 4-2: Proces izgradnje ontologije	69
Slika 4-3: Sudionici akcije spašavanja u izvanrednoj situaciji u zračnoj luci.....	71
Slika 4-4: Dio kodirane karte Zračne luke Split.....	76
Slika 4-5: Dio kodirane karte okolice Zračne luke Split.....	76
Slika 4-6: Sučelje GIS aplikacije Plana upravljanja Zračne luke Split s prikazom najkraćeg puta.....	77
Slika 4-7: Vježba postupanja u slučaju izvanrednog događaja u Zračnoj luci Split 2012. godine	78
Slika 4-8: UML paket dijagram Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS).....	79
Slika 4-9: UML dijagram slučaja korištenja iz paketa <i>Aktivnosti spašavanja</i>	81
Slika 4-10: UML dijagram aktivnosti pružanja medicinske pomoći (dio).....	82
Slika 4-11: Osnovni UML dijagram klasa Sustava za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci (SUIS).....	83
Slika 4-12: UML dijagram klasa za <i>Medicinsku pomoć i njegu</i> (dio)	84
Slika 4-13: Osnovni UML dijagram klasa geoprostornih podataka.....	86
Slika 4-14: UML dijagram klasa geostatičkih i geodinamičkih podataka	87
Slika 4-15: Reifikacija, N-dimenzionalne relacije i 4D Fluents mode.....	89
Slika 4-16: UML dijagram podklasa geostatičkih podataka	91
Slika 4-17: UML dijagram podklasa geodinamičkih podataka.....	92
Slika 4-18: Osnovna geoprostorna ontološka shema SUIS-a.....	94
Slika 4-19: Geoprostorna ontološka shema s GeoSPARQL i W3C Time klasama	95
Slika 4-20: Geoprostorna ontološka shema geostatičkih podataka SUIS-a	96
Slika 4-21: Geoprostorna ontološka shema geodinamičkih podataka SUIS-a	97
Slika 4-22: Opis geoprostorne ontološke sheme Z-ONTO	99
Slika 4-23: Kratice za URI identifikatore resursa na mreži u Z-ONTO prototipu.....	99
Slika 4-24: Hijerarhija klasa u Z-ONTO prototipu	100

Slika 4-25: Usmjereni graf dijela geodinamičkih podataka u Z-ONTO prototipu (izrađen OWL Viz dodatkom u Protégé softveru)	101
Slika 4-26: Definicija enumerirane klase <i>Uloga</i> i njezine članice	102
Slika 4-27: Hijerarhija objektnih svojstva i njihove definicije u Z-ONTO prototipu.....	103
Slika 4-28: Hijerarhija podatkovnih svojstva i lista individua u Z-ONTO prototipu	104
Slika 4-29: Individua <i>Sudionik_br1</i> s pripadnom klasom, objektnim i podatkovnim svojstvima.....	105
Slika 5-1: Zapis dojave službenice kontrole zračne plovidbe o nesreći u Z-ONTO bazi podataka	108
Slika 5-2: Zapis lokacije dojavljene nesreće u Z-ONTO bazi podataka	109
Slika 5-3: Zapis dojave policajca o nesreći u Z-ONTO bazi podataka u Protégé softveru....	110
Slika 5-4: Zapis dojave očevica o nesreći u Z-ONTO bazi podataka	110
Slika 5-5: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i novokonstruiranim RDF trojkama o lokaciji nesreće dojavljene od policajca.....	111
Slika 5-6: Zapis GeoNames individue <i>/sws.geonames.org/3279056/</i> učitane u Z-ONTO bazu podataka	112
Slika 5-7: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i novokonstruiranim RDF trojkama o lokaciji nesreće dojavljene od očevica.....	113
Slika 5-8: Usmjereni graf geopodataka s lokacijom nesreće	114
Slika 5-9: Zapis vremenskih odsječaka u Z-ONTO bazi podataka.....	114
Slika 5-10: Definicija i članice klase <i>OSPolicije</i>	115
Slika 5-11: Definicija i članice klase <i>OSPolicijaLokacijaIzvanredneSituacije</i>	115
Slika 5-12: Definicija i članice klase <i>DojavljeneLokacijeIzvSituacije</i>	116
Slika 5-13: Definicija i članice klase <i>DojavljeneLokacijeNesreće_br5</i>	117
Slika 5-14: Usmjereni graf geodinamičkih podataka o spasilačkim vozilima prikupljenih GNSS uređajima.....	118
Slika 5-15: Definicija klase <i>MedicinskoVozilo</i> putem restrikcije	119
Slika 5-16: Podaci o individui <i>Oprema_br5</i> u Z-ONTO bazi podataka	119

Slika 5-17: Podaci o individuama <i>Oprema_br5</i> i <i>Sudioniku_br3</i> u Z-ONTO bazi podataka nakon rasuđivanja.....	120
Slika 5-18: Klasificiranje sve opreme koja ima lokaciju u novu klasu <i>OpremaSLokacijom</i> .	121
Slika 5-19: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i dobivenim rezultatom upita: ime opreme, ime lokacije, trenutak i koordinate lokacije	124
Slika 5-20: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i proširenim rezultatom upita: imenom, prezimenom i brojem mobitela sudionika kod kojega se nalazi oprema	125
Slika 5-21: Dio usmjerenog grafa geodinamičkih podataka o rutama za spasilačka vozila ..	126
Slika 5-22: Zapis individue <i>Ruta_C</i> u Z-ONTO bazi podataka	127
Slika 5-23: Zapis individue <i>Dionica_br3</i> i njenog vremenskog odsječka <i>VO_dionica_br3_1</i> u Z-ONTO bazi podataka	127
Slika 5-24: Zapis lokacije dionice <i>Put_br3</i> i vremena <i>VremenskiInterval3</i> u Z-ONTO bazi podataka	128
Slika 5-25: Definicija i članice klase <i>BlokiraneDionice</i>	129
Slika 5-26: Izgled sučelja softvera Protégé sa SPARQL upitom i dobivenim rezultatom upita: ime rute, status i ime zatvorene dionice	130
Slika 5-27: Zapis individue <i>VremenskiTrenutakUpita</i> i vremenskog odsječka zatvorene dionice <i>VO_dionica_br6_6</i> u Z-ONTO bazi podataka	131

POPIS TABLICA

Tablica 3-1: Sintaksa i semantika $\mathcal{AL}$ jezika	22
Tablica 3-2: Primjeri proširenja $\mathcal{AL}$ jezika	23
Tablica 3-3: Podaci o književnim djelima.....	27
Tablica 3-4: Osnovne RDFS klase	35
Tablica 3-5: Osnovna RDFS svojstva	35
Tablica 3-6: Odabrani osnovni OWL konstruktori	38
Tablica 3-7: RDFS/OWL konstruktori za glavne klase i svojstva geoprostornih objekata prema GeoSPARQL standardu	52
Tablica 3-8: RDFS/OWL konstruktori za prostorna svojstva prema GeoSPARQL standardu	55
Tablica 3-9: Kompozicijska matrica za RCC8 model.....	63
Tablica 3-10: Kompozicijska matrica za relacije između dviju zatvorenih regija Egenhoferovog modela devet presjeka	64

POPIS KRATICA

AAA	engl. <i>Anyone can say Anything about Any topic</i> ; slogan mreže: svatko može napisati bilo što o bilo čemu
ABox	engl. <i>Assertion Box</i> ; konačni skup individua u bazi znanja
AIXM	engl. <i>Aeronautical Information eXchange Model</i> ; GML aplikacijska shema za područje aeronautike
$\mathcal{AL}$	engl. <i>Attributive Language</i> ; svojstveni jezik deskriptivne logike
$\mathcal{AL}\mathcal{U}$	svojstveni jezik deskriptivne logike proširen s unijom
BFO	engl. <i>Basic Formal Ontology</i> ; gornja ontologija za biomedicinu
CAD	engl. <i>Computer-aded Design</i> ; računalom potpomognuto projektiranje
CSP	engl. <i>Constraint Satisfaction Problem</i> ; problem zadovoljenja uvjeta
DE-9IM	engl. <i>Dimensionally Extended nine-Intersection Model</i> ; Egenhoferov model devet presjeka
DOLCE	engl. <i>Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering</i> ; gornja ontologija za opisivanje ljudskog sporazumijevanja i rasuđivanja
DWG	engl. <i>Drawing Database</i> ; format zapisa vektorskog crteža
DXF	engl. <i>Drawing Exchange File</i> ; format zapisa vektorskog crteža prikladan za razmjenu
EPSG	engl. <i>European Petroleum Survey Group</i> ; Europska organizacija za istraživanje nafte
ESRI	engl. <i>Environmental Systems Research Institute</i> ; tvrtka iz SAD-a koja proizvodi GIS softver
FAA	engl. <i>Federal Aviation Administration</i> ; Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo SAD-a
GDAL	engl. <i>Geospatial Data Abstraction Library</i> ; slobodna biblioteka softvera za čitanje i pisanje različitih rasterskih i vektorskih formata
GeoJSON	engl. <i>Geospatial Java Script Object Notation</i> ; jezik za zapis geopodataka
GeoSPARQL	engl. <i>Geospatial SPARQL Protocol and RDF Query Language</i> ; OGC standard za geopodatke u RDF modelu
GIF	engl. <i>Graphics Interchange Format</i> ; format zapisa rasterskih slika
GIS	engl. <i>Geographical Information System</i> ; geografski informacijski sustav

GML	engl. <i>Geography Markup Language</i> ; proširenje XML jezika na vektorske geopodatke
GMLJG2	standard koji koristi GML shemu za pohranu geopodataka u JPG2000 formatu te time JPG2000 format sadrži i podatke o geopoložaju slike
GNSS	engl. <i>Global Navigation Satellite System</i> ; globalni sustav satelitske navigacije
GQR	engl. <i>Generic Qualitative Reasoner</i> ; sustav za geoprostorno rasuđivanje zasnovano na kvalitativnim prostornim relacijama Sveučilišta u Freiburgu
GRID	ESRI format zapisa rasterskih slika
HTML	engl. <i>Hypertext Markup Language</i> ; jezik za izradu mrežnih stranica
ICAO	engl. <i>International Civil Aviation Organization</i> ; Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
IFOMIS	Institute for Formal Ontology and Medical Information Science; Institut za formalne ontologije i medicinske informacijske znanosti, Njemačka
IMG	Imagine format zapisa rasterskih slika
INSPIRE	engl. <i>Infrastructure for Spatial Information in the European Community</i> ; direktiva Europske unije za uspostavu infrastrukture geopodataka
ISO	engl. <i>International Organization for Standardization</i> ; Međunarodna organizacija za standardizaciju
ISO/TC 211	engl. <i>International Organization for Standardization /Technical Committee 211</i> ; Tehnička komisija 211 ISO organizacije
ITU	engl. <i>International Telecommunication Union</i> ; Međunarodna unija za telekomunikacije
JEPD	engl. <i>Jointly Exhaustive and Pairwise Disjoint</i> ; konačni skup osnovnih binarnih relacija koje imaju svojstvo da zajedno čine puni skup i da su međusobno isključive
JPEG	engl. <i>Joint Photographic Experts Group</i> ; standard JPEG organizacije iz 1992. godine za komprimirani zapis rasterskih slika s gubicima
JPG2000 (JP2)	engl. <i>Joint Photographic Experts Group 2000</i> ; standard JPEG organizacije iz 2000. godine za komprimirani zapis rasterskih slika s gubicima
KML	engl. <i>Keyhole Markup Language</i> ; jezik za prikaz geopodataka u mrežnim preglednicima kao što je, npr., Google Earth

NUTS	engl. <i>Nomenclature of Territorial Units for Statistics</i> ; nomenklatura prostornih jedinica zemalja Europske unije za potrebe statistike
OBO	engl. <i>Open Biological and Biomedical Ontologies</i> ; skup ontologija s velikom količinom znanja i podataka iz biomedicine i biologije
OGC	engl. <i>Open Geospatial Consortium</i> ; neprofitna međunarodna dobrovoljna organizacija za izradu normi u području geoinformatike (Frančula i Lapaine, 2008).
OSGeo	engl. <i>Open Source Geospatial Foundation</i> ; neprofitna organizacija za kolaborativni razvoj slobodnih geoprostornih softvera i promicanje njegove široke primjene
OWL	engl. <i>Ontology Web Language</i> ; jezik za izradu ontologija semantičke mreže zasnovan na deskriptivnoj logici
OWL-DL	verzija OWL jezika koja ima semantičku izražajnost jezika <i>SHOIN</i>
QAT	engl. <i>Qualitative Algebra Toolkit</i> ; sustav za geoprostorno rasuđivanje zasnovano na kvalitativnim prostornim relacijama Sveučilišta u Aroisu
RCC8	engl. <i>Region Connection Calculus</i> ; formalni model za kvalitativne prostorne relacije
RDF	engl. <i>Resource Description Framework</i> ; model podataka za semantičku mrežu
RDFS	engl. <i>RDF Schema</i> ; RDF shema podataka za RDF model
RIF	engl. <i>Rule Interchange Format</i> ; jezik za pisanje pravila u RDF modelu
SKOS	engl. <i>Simple Knowledge Organization System</i> ; projekt W3C grupe koji omogućava predstavljanje znanja uz pomoć rječnika, sinonima, taksonomija i dr., ali na distribuirani način
SPARQ	engl. <i>Spatial Reasoning done Qualitatively</i> ; sustav za geoprostorno rasuđivanje zasnovano na kvalitativnim prostornim relacijama Sveučilišta u Bremenu
SPARQL	engl. <i>SPARQL Protocol and RDF Query Language</i> ; jezik za pisanje upita u RDF modelu
SQL	engl. <i>Structured Query Language</i> ; jezik za pisanje upita u relacijskom modelu
SRID	engl. <i>Spatial Reference System Identifier</i> ; identifikator koordinatnog referentnog sustava

SUIS	Sustav za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnoj luci
SUMO	engl. <i>Suggested Upper Merged Ontology</i> ; gornja ontologija razvijena na način da su spojene slobodne nekomercijalne ontologije zajedno s domenskim ontologijama.
SWRL	engl. <i>Semantic Web Rule Language</i> ; jezik za pisanje pravila u RDF modelu
TBox	engl. <i>Terminology Box</i> ; konačni skup izraza s terminologijom (definicija koncepata i svojstava) u bazi znanja
TIF	engl. <i>Tagged Image File Format</i> ; format zapisa rasterskih slika
UML	engl. <i>Unified Modeling Language</i> ; jezik za modeliranje informacijskog sustava (identifikacija korisnika, slučajevi korištenja, tijek procesa, komponente sustava, klase, objekti)
Unicode	standard za kodiranje znakova koji sadrži slova svih svjetskih jezika, uključujući i povijesne jezike i znakove tehničkih disciplina
URI	engl. <i>Uniform Resource Identifier</i> ; globalni identifikator resursa na mreži
URL	engl. <i>Uniform Resource Locator</i> ; podskup URI-a koji predstavljaju identifikatore mrežnih stranica, tj. njihove mrežne adrese
UTF-8	engl. <i>Unicode Transformation Format 8</i> ; jedan od najkorištenijih Unicode kodova
W3C	engl. <i>World Wide Web Consortium</i> ; organizacija koja se bavi standardizacijom internet tehnologija
WCPS	engl. <i>Web Coverage Processing Service</i> ; jezik za upite nad rasterskim podacima uključujući ad-hoc procesiranje i filtriranje
WCS	engl. <i>Web Coverage Service</i> ; standard mrežnog servisa za izradu zahtjeva za rasterskim podacima određenog područja
WFS	engl. <i>Web Feature Service</i> ; standardni protokol za upite i transakcije nad geopodacima i to na razini pojedinog geoprostornog objekta
WKB	engl. <i>Well Known Binary</i> ; inačica WKT standarda s binarnim zapisom koji se koristi za prijenos i pohranu podataka u relacijskim bazama
WKT	engl. <i>Well Known Text</i> ; OGC-ov i ISO-ov standard za zapisivanje vektorskih geopodataka te za zapis parametara koordinatnih referentnih sustava i parametara transformacija među njima
WMS	engl. <i>Web Map Service</i> ; standard mrežnog servisa za izradu zahtjeva za mapu

WPS	engl. <i>Web Processing Service</i> ; standard mrežnog servisa koji definira načine na koje korisnik može tražiti izvršavanje procesa i načine upotrebe rezultata procesa
XML	engl. <i>Extensible Markup Language</i> ; jezik za podatke prikladan za razmjenu podataka jer uključuje opis podataka
XSD	engl. <i>XML Schema Definition</i> ; shema za XML podatke, opisuje strukturu XML dokumenta
Z-ONTO	prototip geoprostorne semantičke baze za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama

PRILOZI

Prilog 1 Tablica potrebnih geopodataka za slučajeve korištenja

Prilog 2 Tablica s izvorima i opisom geopodataka

PRILOG 1: POTREBNI GEOPODACI

(K označava da slučaj korištenja koristi klasu geopodataka)

Slučajevi korištenja	Spašavanje i gašenje		Medicinska pomoć i njega										Sigurnost i provedba zakona						Informiranje javnosti		Zapovijedanje i koordinacija
	Gašenje požara	Spašavanje objekata i stvari	Stabilizacija ozlijeđenih	Evakuacija preživjelih u zonu trijaže	Trijaža	Med. pomoć ozlijeđenim	Transport ozlijeđenih	Briga o poginulima	Psihološka pomoć	Registracija i briga o nezlijeđenima	Kontakt i briga za obitej i prijatelje	Utjeha i vjerski obredi	Osiguranje mjesta nesreće	Zaštita ostataka	Preusmjeravanje prometa	Uspostava dolaznih i odlaznih ruta	Kontrola gomile	Upućivanje pomoćnih spasioaca	Pratnja medija do mjesta nesreće	Obavješćavanje javnosti	Zapovijedanje i koordinacija (ZOS)
Geostatički podaci																					
Topografske karte	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Ortofoto karta	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Medicinske ustanove	–	–	K	K	K	K	K	K	K	–	–	–	–	–	K	K	–	K	–	K	K
Vatrogasne i spasilačke službe	K	K	K	K	K	K	K	–	–	–	–	–	–	–	K	K	–	K	–	K	K
Putna mreža	K	K	K	K	K	K	K	–	–	K	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Prometni objekti	K	K	–	–	–	–	K	–	–	K	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K
Naselja	K	K	–	–	–	–	K	–	–	K	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K
Značajni objekti	K	K	–	–	–	–	K	–	–	K	–	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K
Vodovodna i hidrantska mreža	K	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	–	–	K	K
Vode	K	K	–	–	–	–	K	–	–	–	–	–	–	K	K	K	–	K	K	K	K
Lokacijski sektori	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Područja zračne luke	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	K	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Slučajevi korištenja	Spašavanje i gašenje		Medicinska pomoć i njega										Sigurnost i provedba zakona						Informiranje javnosti		Zapovijedanje i koordinacija
	Gašenje požara	Spašavanje objekata i stvari	Stabilizacija ozlijeđenih	Evakuacija preživjelih u zonu trijaže	Trijaža	Med. pomoć ozlijeđenim	Transport ozlijeđenih	Briga o poginulima	Psihološka pomoć	Registracija i briga o neozlijeđenima	Kontakt i briga za obitelji i prijatelje	Utjeha i vjerski obredi	Osiguranje mjesta nesreće	Zaštita ostataka	Preusmjeravanje prometa	Uspostava dolaznih i odlaznih ruta	Kontrola gomile	Upućivanje pomoćnih spasioaca	Pratnja medija do mjesta nesreće	Obavješćavanje javnosti	Zapovijedanje i koordinacija (ZOS)
Objekti zračne luke	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	K	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Ograda zračne luke	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	K	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Ulazi i rampe zračne luke	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	K	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Službe u zračnoj luci	K	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	K	–	K	K
Spremnici goriva u zračnoj luci	K	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	K	–	K	K
Mjesta aktivnosti spašavanja	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	–	–	K	K	K	K	K	K	K
Pokazivač vjetrova	K	K	–	–	–	–	K	–	–	K	–	–	–	K	K	K	–	–	–	K	K
Geodinamički podaci																					
Lokacija izvanredne situacije	K	K	K	K	K	K	K	K	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Kritično područje izvanredne situacije	K	K	K	K	K	K	K	K	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Dolazne i odlazne rute za vozila	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Lokacije spasilačkih aktivnosti																					
Lokacija operat. zapovjedništva (mobilno zapovjedno mjesto)	K	K	K	K	K	K	K	K	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Ulazi u zračnu luku za korištenje u spašavanju	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Mjesta okupljanja spasilaca i opreme	K	K	K	K	K	K	K	K	K	–	K	–	K	K	K	K	K	K	–	K	K

Slučajevi korištenja	Spašavanje i gašenje		Medicinska pomoć i njega										Sigurnost i provedba zakona					Informiranje javnosti		Zapovijedanje i koordinacija	
	Gašenje požara	Spašavanje objekata i stvari	Stabilizacija ozlijeđenih	Evakuacija preživjelih u zonu trijaže	Trijaža	Med. pomoć ozlijeđenim	Transport ozlijeđenih	Briga o poginulima	Psihološka pomoć	Registracija i briga o neozlijeđenima	Kontakt i briga za obitelj i prijatelje	Utjeha i vjerski obredi	Osiguranje mjesta nesreće	Zaštita ostataka	Preusmjeravanje prometa	Uspostava dolaznih i odlaznih ruta	Kontrola gomile	Upućivanje pomoćnih spasioca	Pratnja medija do mjesta nesreće	Obavješćavanje javnosti	Zapovijedanje i koordinacija (ZOS)
Mjesta sigurnosne provjere	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Područja med. pomoći za unesrećene																					
Područje okupljanja unesrećenih	K	–	K	K	K	–	–	K	–	–	–	–	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje trijaže	–	–	K	K	K	–	–	K	–	–	–	–	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje pružanja med. pomoći	–	–	–	–	K	K	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje za transport ozlijeđenih	–	–	–	–	K	K	K	–	–	–	–	–	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje za pružanje pomoći i zbrinjavanje ne/lakše ozlijeđenih	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	K	K	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje za poginule	–	–	–	–	–	–	–	K	–	–	–	K	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Područje za neozlijeđene i obitelj	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	K	K	–	–	–	K	–	–	–	K	K
Lokacije spasilaca i spasilačkih timova	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K
Lokacije spasilačke opreme i materijala	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K
Lokacije smještaja za neozlijeđene	–	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K	–	–	–	–	–	–	–	–	K	K
Lokacije najbližih medicinskih ustanova	–	–	–	–	–	–	K	–	–	–	–	–	–	–	–	K	–	K	–	K	K
Meteorološki podaci	K	K	–	–	–	–	K	–	–	K	–	–	–	K	K	K	–	–	–	K	K

PRILOG 2: IZVORI I OPIS GEOPODATAKA

	Izvor	Obuhvat/mjerilo	Opis i atributi
Geostatički podaci			
Topografske karte	Zračna luka, Plan postupanja Državna geodetska uprava	A Obuhvat/mjerilo: šira okolica zračne luke (cca 8 ili više km od referentne točke zračne luke) 1:50.000 B Obuhvat/mjerilo: šire područje zračne luke (6x9km) 1:10-25.000 C Obuhvati/mjerilo: kritično područje zračne luke: ograničeno ogradom zračne luke prošireno na područja prilaza do udaljenosti od 1,5 km od pragova uzletno-sletne staze) 1:5.000	Georeferencirani raster Datum prikupljanja podataka
Ortofoto karta	Zračna luka, Plan postupanja Državna geodetska uprava	C	Georeferencirani raster Datum prikupljanja podataka
Medicinske ustanove	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Točke Naziv Vrsta (bolnica, ustanova hitne medicinske pomoći) Broj kreveta i med. zahvati, osoblje Adresa Telefon Datum prikupljanja podataka
Vatrogasne i spasilačke službe	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Točke Naziv Vrsta (profesionalna vatrogasna postrojba, javna vatrogasna postrojba, dobrovoljno vatrogasno društvo, državna intervencijska postrojba, državna uprava za zaštitu i spašavanje, lučka kapetanija) Kapacitet (osoblje, vozila) Adresa Telefon Datum prikupljanja podataka

	Izvor	Obuhvat/mjerilo	Opis i atributi
Putna mreža	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata Lokalna samouprava	A, B i C	A i B Linije, topološka mreža Kategorija širine (<3m, 3-5m, > 5m, autocesta) Duljina Datum prikupljanja podataka C Linije, topološka mreža Identifikacijsko broj Kategorija širine (prema prohodnosti za vozila, npr.do 1,9 m, 1,9 - 2 m prohodno za Jeep, 2 - 2,6 m za Toyota land cruiser, 2,6 - 3 m za Man i Mercedes 3358 i 2632, šire od 3 m) Duljina Datum prikupljanja podataka
Prometni objekti	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Točke / Linije / Površine Vrsta (tunel, željeznička pruga, benzinska pumpa, parkiralište) Datum prikupljanja podataka
Naselja	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Površine Datum prikupljanja podataka
Značajni objekti	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Površine Naziv Datum prikupljanja podataka
Vodovodna i hidrantska mreža	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata Lokalne komunalne tvrtke Lokalna samouprava	B i C	Točke / Linije Oznaka Vrsta (nadzemni hidrant, podzemni hidrant, vodosprema, vodovodne cijevi) Datum prikupljanja podataka
Vode	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke / Linije / Površine Vrsta (izvori, stalni vodotok, povremeni vodotok, bara, jezero, more) Naziv Datum prikupljanja podataka
Lokacijski sektori	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Dvije ili više podjela na sektore. Npr: 1. podjela: 1 x 1 km (J 42) A, B, C 2. podjela: 500 x 500 m (a, b, c i d) B, C 3. podjela: 250 x 250 m (a1, a2, a3 i a4) C Površine Oznaka: npr. J-42-a3 Datum prikupljanja podataka

	Izvor	Obuhvat/mjerilo	Opis i atributi
Područja zračne luke	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	A, B i C	Područja koja određuju nadležnosti kod različitih izvanrednih situacija: - Područje zračne luke (ograničeno ogradom zračne luke) A, B, C - Kritično područje zračne luke (područje nesreće, ograničeno ogradom zračne luke prošireno na područja prilaza do udaljenosti od 1,5 km od pragova USS-a) B i C - Šire područje zračne luke (6 x 9 km) B i C - Šira okolica zračne luke (cca 8 ili više km od referentne točke zračne luke) A - Prometne površine: uzletno-sletna staza, spojnice i stajanka zrakoplova, izolirane pozicije zrakoplova B i C Površina Vrsta (područje zračne luke, kritično područje, šire područje, šira okolica, prometne površine) Oznaka Datum prikupljanja podataka
Objekti zračne luke	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Površine Naziv Datum prikupljanja podataka
Ograda zračne luke	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Linije Datum prikupljanja podataka
Ulazi i rampe zračne luke	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke Vrsta (rampa, kapija) Broj ili oznaka ulaza/rampe Datum prikupljanja podataka
Službe u zračnoj luci	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke Naziv Vrsta (vatrogasna postrojba, kontrola zračne plovidbe i dr.) Datum prikupljanja podataka
Spremnici goriva u zračnoj luci	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke Oznaka Vrsta goriva Količina Datum prikupljanja podataka
Mjesta aktivnosti spašavanja	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke Vrsta (mjesto za ozlijeđene, lokalno povjerenstvo, zborna mjesto za spasilačke ekipe i dr.) Oznaka Datum prikupljanja podataka
Pokazivač vjetra	Zračna luka, Plan postupanja Izrađivač kodiranih karata	B i C	Točke Oznaka Datum prikupljanja podataka

Geodinamički podaci			
Lokacija izvanredne situacije	Kontrola zračne plovidbe Očevici prema policiji, vatrogascima, medicinskoj službi ili 112 Policija Zračna luka	A, B i C	Točke / Površina (oznaka lokacijskog sektora , koordinate, adresa) Tip situacije Zrakoplov Broj putnika i posade Količina goriva Ukrcana opasna roba Predviđeno vrijeme slijetanja Pravac slijetanja Zrakoplovna tvrtka
Kritično područje izvanredne situacije	Operativno zapovjedništvo Vatrogasna postrojba Policija	A, B i C	Površina oko mjesta izvanrednog događaja (min 100 m li 250 m od lokacije događaja, ovisno o vrsti događaja). Oznaka
Dolazne i odlazne rute za vozila	Operativno zapovjedništvo Policija	A, B i C	Linije Oznaka rute Vrsta rute (dolazna, odlazna, za medicinska vozila) Najmanja širina Duljina Vrijeme vožnje
Lokacije spasilačkih aktivnosti			Točka Tip (operativno zapovjedništvo, ulazi, mjesta okupljanja, mjesta provjere)
Lokacija operativnog zapovjedništva (mobilno zapovjedno mjesto)	Operativno zapovjedništvo Vatrogasna postrojba Zračna luka	A, B i C	Naziv
Ulazi u zračnu luku za korištenje u spašavanju	Operativno zapovjedništvo Zračna luka	A, B i C	Oznaka/broj
Mjesta okupljanja spasilaca i opreme	Kontrola zračne plovidbe Zračna luka	A, B i C	Vrsta (lokalno povjerenstvo, zborna mjesto za vanjske vatrogasce, zborna mjesto za vanjske med. službe, zborna mjesto za vanjsku policiju i dr.) Oznaka/broj
Mjesta sigurnosne provjere	Operativno zapovjedništvo Policija	A, B i C	Oznaka/broj
Područja med. pomoći za unesrećene			Površina / Točka Tip (operat. zapovjedništvo, ulazi, mjesta okupljanja, mjesta provjere)
Područje okupljanja unesrećenih	Operativno zapovjedništvo Vatrogasci	A, B i C	Oznaka
Područje trijaže	Operativno zapovjedništvo Medicinska služba	A, B i C	Oznaka Vrsta (I, II, III prioritet)
Područje pružanja med. pomoći	Operativno zapovjedništvo Medicinska služba	A, B i C	Oznaka
Područje za transport ozlijeđenih	Operativno zapovjedništvo Medicinska služba	A, B i C	Oznaka
Područje za pružanje pomoći i zbrinjavanje ne/lakše ozlijeđenih	Operativno zapovjedništvo Zrakoplovna tvrtka	A, B i C	Oznaka

Područje za poginule	Operativno zapovjedništvo Policija Medicinska služba	A, B i C	Oznaka
Područje za neozlijeđene i obitelj	Operativno zapovjedništvo Zrakoplovna tvrtka	A, B i C	Površina / Točka Oznaka
Lokacije spasilaca i spasilačkih timova	Spasilačke postrojbe Vatrogasne postrojbe Medicinska služba Zračna luka Ostali <i>Ad hoc</i> sudionici	A, B i C	Točke Ime i prezime / Naziv Kompetencije / Vještine Mobitel Uloga Pod komandom
Lokacije spasilačke opreme i materijala	Spasilačke postrojbe Vatrogasne postrojbe Medicinska služba Zračna luka Ostali <i>Ad hoc</i> sudionici	A, B i C	Točke Tip (medicinska, vatrogasna i dr.) Vrsta (pumpa, pila, agregat, komplet za reanimaciju i dr.) Naziv Količina Za vozila: Širina Vlasnik Reg. broj Radioveza Oprema
Lokacije smještaja za neozlijeđene	Operativno zapovjedništvo Zrakoplovna tvrtka	A, B i C	Točke Naziv Adresa Telefon
Lokacije najbližih medicinskih ustanova	Operativno zapovjedništvo Medicinska služba	A, B i C	Točke Naziv Adresa Telefon Udaljenost
Meteorološki podaci	Meteorološki odjel	A, B i C	Točke / Linije / Površine Tip (vjetar, temperatura, vlaga) Vrijednost

ŽIVOTOPIS

Martina Baučić rođena je 11. siječnja 1967. godine u Zagrebu, školovala se u Zagrebu gdje 1985. godine završava Matematičko-informatički obrazovni centar (MIOC), a 1992. godine diplomira na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i stječe akademski stupanj dipl. ing. geodezije. Godine 1995. završava poslijediplomski magistarski studij u Nizozemskoj na istraživačkom institutu ITC gdje stječe akademski stupanj magistra znanosti iz područja geoinformatike. Tijekom radnog vijeka usavršava svoja znanja i vještine pohađanjem tečajeva iz novih tehnologija i upravljačkih vještina te prati razvoj struke sudjelovanjem na konferencijama i simpozijima. Godine 2010. upisuje poslijediplomski doktorski studij geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Pripravnički staž na poslovima iz geografskih informacijskih sustava obavila je u Geodetskom zavodu u Splitu (1992.-1993.), a od 1995. do danas radi u tvrtki GEOdata d.o.o. kao voditelj GIS odjela (od 2010. u dijelu radnog vremena). Godine 2010. zapošljava se na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu na novoosnovanom studiju geodezije i geoinformatike gdje danas radi kao asistent.

Vođenjem više desetaka GIS projekata i izvršavanjem zadataka stekla je iskustvo na različitim poslovima projektiranja i uvođenja GIS sustava u razna područja primjene. Ovlašten je inženjer geodezije i konzultant projekta reforme lokalne samouprave. Do danas je objavila 24 rada iz geoinformatike i istraživač je na znanstvenom projektu FP7 (popis radova se nalazi na mrežnoj stranici Hrvatske znanstvene bibliografije: <https://bib.irb.hr/lista-radova?autor=284812>).