

Računalne metode u upravljanju prostornim podacima

Bajrić, Ida

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:592539>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

IDA BAJRIĆ

RAČUNALNE METODE U UPRAVLJANJU PROSTORNIM PODATCIMA

Diplomski rad

Pula, srpanj 2018. godine.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

IDA BAJRIĆ

RAČUNALNE METODE U UPRAVLJANJU PROSTORNIM PODATCIMA

Diplomski rad

JMBAG: 0145032837, redoviti student

Studijski smjer: Informatika

Predmet: Geoinformacijski sustavi

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti

Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Pogarčić

Pula, srpanj 2018. godine



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Ida Bajrić, kandidatkinja za magistru informatike ovime izjavljujem da je ovaj diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio seminarskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

U Puli, 16. srpnja 2018. godine

Student



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Ida Bajrić, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom „Računalne metode u upravljanju prostornim podacima“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 16. srpnja 2018. godine

Potpis

Sadržaj

1. Uvod	1
2. GIS – Geoinformacijski sustavi	2
2.1 Pojam i definicija GIS-a	2
2.2. Povijesni razvoj GIS-a	4
2.3. Komponente GI sustava	7
2.4. Arhitektura GI softvera.....	9
2.5. Tipovi GIS-a	13
2.6. Primjene GIS-a.....	18
3. Prostorni podatci	20
3.2. Modeli prostornih podataka	21
3.2.1. Rasterski model	24
3.2.2. Vektorski model.....	25
3.2.3. Objektni model	27
3.3. Kvaliteta prostornih podataka	31
4. Operacije nad prostornim podacima	33
4.1. Razvoj računalnih metoda za upravljanje prostornim podacima.....	33
4.2. Prikupljanje i unos	34
4.3. Pohrana.....	37
4.4. Dohvaćanje	38
4.5. Analiza.....	39
4.6. Vizualizacija i izlazni oblici (outputs).....	41
5. Baze prostornih podataka	42
5.1. Modeli baza prostornih podataka	43
5.1.1. Hijerarhijski model.....	43
5.1.2. Mrežni model.....	44
5.1.3. Relacijski model	45

5.1.4. Objektni model	47
5.1.5. Objektno-relacijski model	49
6. Sustavi za upravljanje bazama podataka	50
6.1. Građa sustava za upravljanje bazama podataka.....	50
6.2. Funkcije sustava za upravljanje bazama podataka	52
6.3. Osobine i razvoj sustava za upravljanje bazama prostornih podataka	53
7. Zaključak	63
Popis literature.....	64
Popis slika	67
Sažetak.....	69
Summary	69

1. Uvod

Ovaj rad obuhvatit će istraživanje pojma Geoinformacijski sustavi (u daljnjem tekstu skraćeno GIS) a osobito računalne potpore istome u vidu softvera i metoda. Na samom početku dat će se definicija pojma GIS kroz njegov povijesni razvoj, komponente koje tvore jedan GI sustav te arhitekturu GI softvera, a upoznavanje s raznim tipovima GIS-a približit će široku lepezu njegovih primjena.

Kako GIS ne postoji bez prostornih podataka, u nastavku rada bit će riječ o tome što sve mogu biti prostorni podatci, gdje ih sve susrećemo i u kakvim oblicima te na koji ih način možemo koristiti. U tome je vrlo važno poznavati razne modele prostornih podataka s obzirom na njihov izvor i namjenu, pa će se tako pobliže opisati rasterski, vektorski i objektni model podataka. Budući da GIS koristimo za donošenje odluka i učenje o fenomenima koji nas okružuju, neophodno je definirati i pojam kvalitete prostornih podataka jer ona izravno utječe na kvalitetu informacija na temelju kojih donosimo odluke i formiramo stavove o svome okolišu.

Razvojem tehnologije razvijale su se i razne vrste operacija nad prostornim podacima pa će se tako u poglavlju koje slijedi dati pregled razvoja računalnih metoda za upravljanje prostornim podacima koje obuhvaćaju njihovo prikupljanje i unos, pohranu, dohvaćanje, analizu te u konačnici vizualizaciju i izlazne oblike.

Prostorni su podatci vrlo širokog opsega pa ih je potrebno učinkovito skladištiti. Poglavlje o bazama prostornih podataka približit će taj aspekt upravljanja prostornim podacima kroz opisivanje modela baza prostornih podataka kao što su već zastarjeli hijerarhijski model pa sve do objektnog i objektno-relacijskog modela koji kroz svoje specifičnosti nude novi pogled na GIS i njegove mogućnosti.

U konačnici, bit će riječi o sustavima za upravljanje bazama podataka kao računalne podrške za izgradnju, održavanje i učinkovito korištenje baze prostornih podataka kroz opis građe takvih sustava, njihovih funkcija te razvoja u vidu prostornih proširenja za njih.

2. GIS – Geoinformacijski sustavi

2.1 Pojam i definicija GIS¹-a

Zahvaljujući brojnim primjenama u raznim djelatnostima prostornog istraživanja, upravljanja i planiranja, u literaturi nalazimo brojne definicije GIS-a. Prema nekima je GIS definiran kao skup programskih alata, znanost, čak i kao način donošenja odluka o podacima sakupljenim u središnjoj bazi podataka.

U nastavku su neke od definicija GIS-a:

- Računalni sustav koji se sastoji od hardvera, softvera i podataka te načina njihove primjene; pomoću GIS-a se mogu digitalni podatci obraditi i urediti, pohranjivati i reorganizirati, modelirati i analizirati kao i prikazati u tekstualnom i grafičkom obliku (više izvora, prema Bill, 1999).
- Računalni sustav za prikupljanje, povezivanje, analiziranje i prikazivanje podataka te rukovanje i upravljanje podacima koji su prostorno referencirani na Zemlju. (DGU, 2018.)
- Automatizirani sustav koji služi prikupljanju, čuvanju, pretraživanju, analizi i prikazu prostornih podataka. (Clarke, 2001.)
- Posebna vrsta informacijskog sustava koja ne samo da bilježi događaje, djelatnosti i objekte već i gdje se oni odvijaju ili postoje. (Longley, 2005.)
- Spremnik karata u digitalnom obliku / kompjuterizirani alat za obradu geografskih podataka / sustav prostorne potpore kod donošenja odluka / mehanizirani inventarij geografski raspodijeljenih značajki i postrojenja / alat za otkrivanje nevidljivih pojmova u geografskim informacijama / alat za izvršavanje operacija na geografskim podacima koje su preskupe ili previše netočne ako bi se obavljale ručno. (Longley, 2005.)

¹ engl. Geographic Information System - u hrvatskom jeziku geografski informacijski ili geoinformacijski sustav

Općenito, sve definicije GIS-a obuhvaćaju tri glavne komponente; GIS kao računalni sustav koji uključuje razne procedure i prostorno referirane ili zemljopisne podatke.

Kratica GIS² označava znanost u pozadini računalnog sustava. GIS se kao znanost oslanja na koncepte i ideje iz raznih disciplina kao što su kartografija, kognitivna znanost, računarstvo, inženjerstvo, ekologija, geodezija, krajobrazna arhitektura, pravo, fotogrametrija, javna politika, daljinska istraživanja, statistika itd.

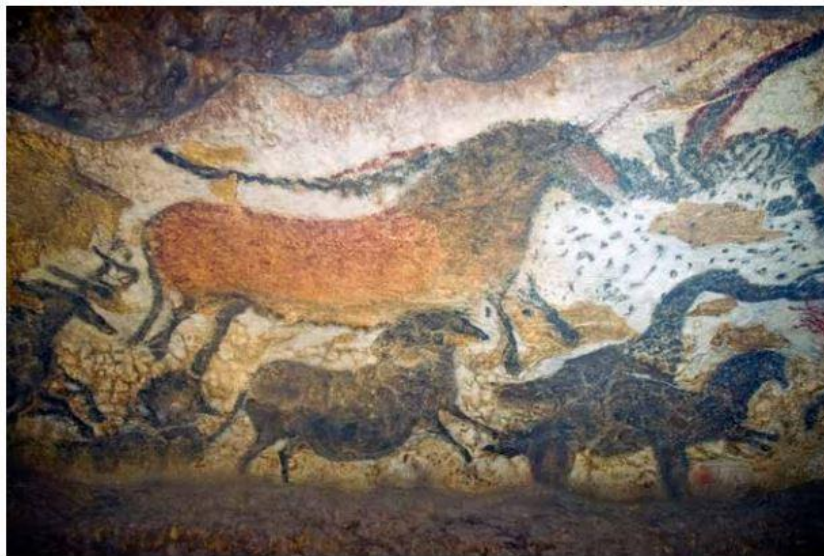
GIS je jedna od najperspektivnijih informacijskih tehnologija današnjice i predstavlja nužan alat za automatiziranu izradu podloga potrebnih za projektiranje u rudarstvu, graditeljstvu, hidrotehnici i geotehnici. GIS sadrži bazu topoloških i atributnih podataka o prostoru, a isti prostor može biti zanimljiv rudarima, geolozima, geotehničarima, geografima, šumarima, komunalnim organizacijama, državnim institucijama te znanstvenim istraživačima koji istražuju taj prostor s različitih aspekata, pri čemu im je zajedničko korištenje prostornih podataka o specifičnom i točno određenom području na Zemljinoj površini. Različiti prostorni podatci mogu se prikazati u novom zajedničkom sloju informacija, najčešće u kartografskom obliku, što može značajno olakšati planiranje i donošenje potrebnih odluka. ((Petrović, 2010.) prema Biondić, 2008.)

Geografska informacijska znanost uključuje proučavanje temeljnih pitanja koja proizlaze iz stvaranja, rukovanja, skladištenja i korištenja geografskih informacija (Longley, 2015.), ali također ispituje utjecaje GIS-a na pojedince i društvo i utjecaj društva na GIS ((Longley, 2005.) prema Goodchild, 1997).

² engl. Geographic Information Science - geografska informacijska znanost

2.2. Povijesni razvoj GIS-a

Prvi je GIS u svom najširem smislu nastao kad i prva karta. Primjer tome može biti crtež star 35 000 godina nacrtan u špilji Lascaux na jugozapadu Francuske. Na njemu su prikazane razne vrste životinja sa pripadajućim migracijskim rutama, što se može smatrati pretečom GIS-a jer sadrži dva osnovna elementa suvremenih GIS: grafički prikaz povezan s atributnim podacima. (ESRI Press, 2018.)



Slika 1 - Crtež iz špilje Lascaux - "Velika dvorana bikova"

(izvor: <https://esripress.esri.com/storage/esripress/images/278/abstractmachine-samplechapter.pdf>)

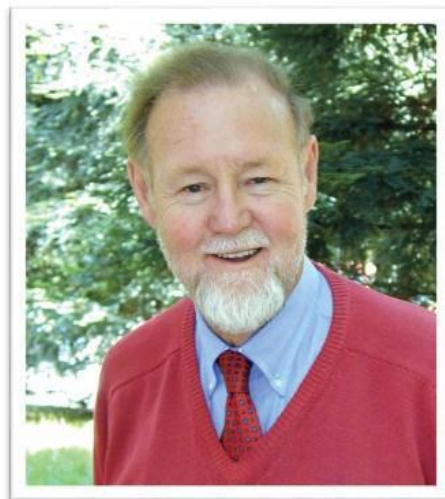
Tehnologija za GIS se razvila iz dva neovisna područja: digitalne kartografije i CAD³-a i sustava za upravljanje bazama podataka (DBMS⁴). Taj razvoj je blisko povezan s naglim rastom snage i padom cijena računalne tehnologije nakon kasnih 60-tih. Kako navodi Longley (2005.), paralelno se GIS razvijao u Sjevernoj Americi, Europi i Australiji ali velik dio zabilježene povijesti usredotočen je na doprinose i postignuća od strane SAD-a. Iz tog razloga nemamo potpunu, "zaokruženu" sliku povijesnog razvoja GIS-a. Očito je, međutim, da je do razvoja prvog stvarnog GIS-a došlo sredinom šezdesetih godina prošlog stoljeća u Kanadi, razvojem kanadskog geografskog informacijskog sustava ili CGIS⁵-a.

³ Computer Aided Design

⁴ Database Management System

⁵ Canada Geographic Information System

CGIS je razvijen od strane dr. Rogera Tomlinsona (1933. -2014.), zaslužno nazvanog "ocem GIS-a". CGIS je koristio podatke prikupljene za kanadski sustav zemljišnih knjiga i razvio se za potrebe kanadskog Zakona za poljoprivredu i razvoj. Bio je namijenjen za izradu karata sa podacima o tome koje su površine zemlje bile pogodne za proizvodnju kojih kultura te mapiranje zemljišta pogodnog za šumarstvo (temeljeno na vrsti tla, klimi, odvodnji i fizičkim karakteristikama zemljišta). Zbog velike količine podataka, ogromne površine koju je trebalo pokriti, potrebe za dosljednim prostornim referentnim sustavom i nekim načinom povezivanja karata trebalo je naći prikladno tehnološko rješenje. Svi ovi izazovi posljedično su vodili razvoju CGIS-a, prvog sustava ikad nazvanog GIS. Datum koji se obično navodi za početke CGIS-a je 1964. godina, ali sustav nije bio u potpunosti operativan do 1971. godine.



Slika 2 - Dr. Roger Tomlinson (1933-2014), "otac GIS-a"

(Izvor: <http://grindgis.com/what-is-gis/what-is-gis-definition>)

Mnogi aktualni GIS koncepti, terminologije i algoritmi izvorno su iz CGIS-a. Bio je to prvi GIS opće namjene; prvi sustav za korištenje rasterskog skeniranja za učinkovit unos velikog broja karata, te prvi GIS koji je koristio strukturu podataka linija segmenata ili lukova koji su međusobno povezani i tvore poligon (koji je sada postao standard).

1963. Godine u SAD-u uspostavljena je URISA⁶ - neprofitabilna organizacija za informatičko rješavanje problema u planiranju, javnim radovima, okolišu, itd.

Drugi veliki skok u razvoju GIS-a dogodio se kasnih šezdesetih godina u američkom uredu za popis stanovništva u planiranju provođenja popisa stanovništva 1970. godine.

⁶ Urban and Regional Information Systems Association

DIME⁷ program stvorio je digitalne zapise svih ulica SAD-a, kako bi se podržalo automatsko referiranje i agregacija popisnih podataka. Sličnost ove tehnologije s CGIS-om odmah je prepoznata, te je u laboratoriju računalne grafike i prostorne analize Sveučilišta Harvard pokrenut projekt razvijanja GIS-a opće namjene koji bi se mogao nositi s potrebama obje aplikacije - projekt koji je na kraju vodio do razvoja ODYSSEY GIS-a kao prvog vektorskog GIS-a 1979. Godine. Godinu dana kasnije, Charles Dana Tomlin razvio je MAP⁸, popularni rasterski GIS.

1969. godine osnivaju se prve tvrtke koje se bave dizajnom GIS softvera. Tako te godine Jack Dangermond, harvardski student, sa svojom suprugom osniva ESRI⁹, konzalting tvrtku za korištenje zemljišta. 1981. godine, ESRI je proizveo ARC/INFO programski paket i on se smatra prvim komercijalnim GIS softverom. Njihov najpoznatiji proizvod je popularni ArcGIS. (Longley, 2005.)

Općenito gledajući, razvoj GIS-a započeo je u šezdesetim godinama. Za razvoj GIS-a bio je krucijalan razvoj digitalne kartografije i CAD-a te sustava za upravljanje bazama podataka.

Era inovacija na tom području nastavila se kroz sedamdesete, postupno uključujući sve više novih tehnologija i metoda, dok je svoj komercijalni aspekt GIS dobio sedamdesetih i osamdesetih godina razvojem daljinskih istraživanja (daljinsko očitavanje), GPS-a, sustava za obradu slika te dostupnosti prostorno geokodiranih podataka u digitalnom formatu. Sredinom 90-ih nastaje tržište geopodataka, javlja se desktop-GIS, dok se sa porastom popularnosti korištenja internet karti (od 1993. nadalje) razvija Internet-GIS. (Longley, 2005.)

Smanjenje cijena računala, paralelno s povećanjem njihova kapaciteta pri pohrani, brzini obrade i prikazu dovelo je do razvoja i integracije, GIS-a, daljinskih istraživanja, prostornih i slikovnih analiza, digitalne kartografije, izmjere i geodezije. Današnje multimedijalne mogućnosti poput raznih Internet GIS-ova (primjerice Geoportala) i mobilnih GIS-ova rezultirale su povećanjem broja korisnika. (Gajski, 2017.)

⁷ Dual Independent Map Encoding

⁸ Map Analysis Package

⁹ Environmental Systems Research Institute

2.3. Komponente GI sustava

Gotovo je jednako mnogo rasprava o komponentama GIS-a kao sustava, kao što je riječ o njegovoj definiciji. Na najjednostavnijoj razini, GIS se može promatrati kao softverski paket, a njegove komponente su razni alati za unos, manipulaciju, analizu i prikaz podataka.

S tog gledišta, komponente GIS-a uključuju: računalni sustav (hardver i operativni sustav), softver, prostorne podatke, postupke upravljanja i analize podataka te ljude koji upravljaju GIS-om.

Osim toga, GIS ne može raditi izolirano od područja primjene, koje ima svoju vlastitu tradiciju ideja i postupaka. (Heywood, 2006.)

Prema Longleyu (2015.), komponente GIS-a su:

- Hardver - uređaj koji fizički izvršava određene GIS-operacije. Hardver možemo podijeliti na računala i ostale uređaje. Računala se nadalje mogu podijeliti na ručna, terenska, prijenosna, osobna računala, radne stanice i velika računala (*mainframe*). Ostali uređaji su skeneri i digitalizatori, ploteri i pisači, mrežni uređaji itd. Postoje razni uređaji koji služe za unos, prikupljanje, analizu te prikazivanje podataka.
- Softver - skup naredbi računalu radi izvršavanja GIS-operacija; korisniku se moraju omogućiti pohrana, pretraga, dohvaćanje, povezivanje, upiti, analiza i prikaz prostornih podataka. Softver se u GIS-u može podijeliti u dvije kategorije: softver sustava (operacijski sustav, primjerice *Windows*) i aplikacijski softver (namjenski programi, primjerice CAD programi poput *Autodesk-a*)
- Podatci - ključna komponenta za prostorni smještaj podataka unutar nekog sustava; sadrže eksplicitne prostorne reference (koordinate) ili implicitne prostorne reference (adresa, grad, poštanski broj, ulica)

- Ljudi¹⁰ koji se bave dizajnom, programiranjem, održavanjem, posluživanjem, upravljanjem GIS-om te interpretacijom rezultata - GIS bez ljudske komponente je praktički beskoristan. Ljudi uključeni u GIS trebaju biti osposobljeni kako bi mogli donositi odluke o tome na koji će način i koji sustav upotrebljavati. Svi ljudi koji su u interakciji s GIS-om moraju imati određeni stupanj znanja/edukacije ovisno o tome koja je njihova uloga. Najčešće ih dijelimo na: promatrače, opće korisnike i GIS stručnjake. Promatrači čine najveći dio korisnika GIS-a a njihova osnovna aktivnost je pregledavanje geografskih podataka za osobne potrebe. Opći korisnici su oni koji se GIS-om služe za poslovne svrhe, stručne usluge i donošenje odluka. Među njima su menadžeri, znanstvenici, inženjeri, odvjetnici, poduzetnici i sl. GIS stručnjaci su ljudi koji stvaraju i održavaju GIS. Oni uključuju GIS menadžere, administratore baza podataka, stručnjake za aplikacije, analitičare sustava i programere. Oni su odgovorni za održavanje geografskih baza podataka i pružanje tehničke podrške drugim dvjema klasama korisnika. (Lo, 2006.)
- Procedure koje su vezane uz upravljački aspekt GIS-a. One su neophodne radi osiguravanja kvalitete GIS-a. Procedure određuju načine na koji će se prostorni podatci prikupljati, pohranjivati, kako će se njima upravljati te na koji će se način i s kojom svrhom nad njima vršiti analize.
- Komunikacijska mreža koja omogućava brzu komunikaciju i razmjenu digitalnih informacija

¹⁰ U literaturi često nazivani *lifeware*



Slika 3 - Komponente GIS-a

(izvor: Longley, Goodchild, Maguire, Rhind - Geographic Information Systems and Science (2005))

2.4. Arhitektura GI softvera

Iz perspektive informacijskih sustava postoje tri ključna dijela GIS-a:

- Korisničko sučelje
- Alati
- Sustav za upravljanje podacima

Interakcija korisnika s sustavom odvija se putem grafičkog korisničkog sučelja (GUI¹¹), integriranog skupa izbornika, alatnih traka i drugih kontrola. Korisničko sučelje omogućuje pristup GIS alatima koji definiraju mogućnosti ili funkcije kojima određeni GI softver raspolaže za obradu prostornih podataka.

Podatci se pohranjuju u datoteke ili baze podataka koje organizira softver/sustav za upravljanje podacima. Gore opisano bi se u standardnoj terminologiji informacijskog sustava nazvalo trostupanjska arhitektura s tri razine.

¹¹ Graphical user interface

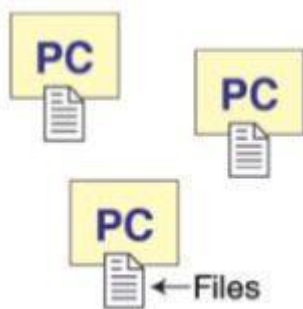
One su:

- Presentacija/korisničko sučelje (*presentation/user interface*)
- Poslovna logika (*business logic*)
- Podatkovni poslužitelj (*data server*)

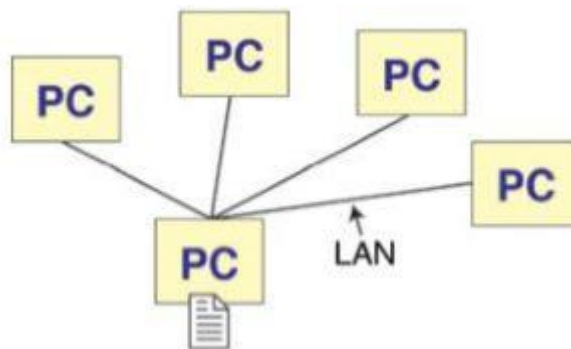
Svaka od ovih softverskih razina služi za obavljanje različitih vrsta neovisnih zadataka. Presentacijska razina mora biti omogućiti prikupljanje korisničkih inputa, prikazivanje podataka i interakciju s grafičkim objektima. Razina poslovne logike je odgovorna za obavljanje računalno zahtjevnih operacija kao što su obrada višeslojnih podataka i analiza rastera. *Data server* mora uvoziti i izvoziti podatke i odgovarati na zahtjeve za podskupovima podataka iz baze podataka (upite). (Longley, 2015.)

U fizičkom svijetu, funkcionalni GI sustavi koriste tri osnovna tipa izgradnje:

Stolno računalo (desktop), klijent-poslužitelj (client-server) i oblak (cloud). Kod najosnovnije konfiguracije, one za potrebe jednog korisnika, sve tri softverske razine instalirane su na jednom komadu hardvera (najčešće stolnom osobnom računalu) u formi stolnog GI sustava i njegovi su korisnici najčešće nesvjesni njihove podjele i odvojenih "identiteta" (Slika 4). Postoji i varijacija na ovu temu; podatci su pohranjeni na centraliziranom računalu koje ima ulogu servera (iako to nije) a korisnici do njih dolaze putem LAN¹² mreže (Slika 5).



Slika 5 - Desktop tip izgradnje (arhitekture GI sustava)



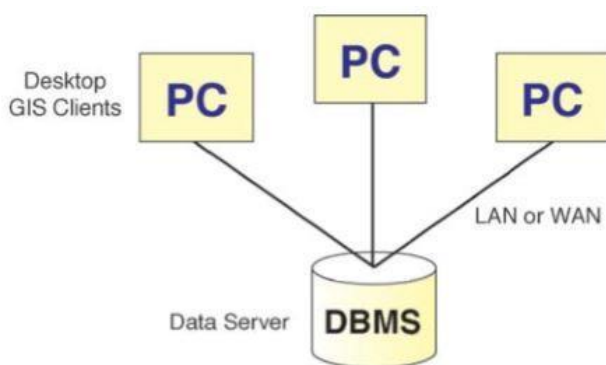
Slika 4 - Varijacija desktop tipa

(izvor: Longley, Goodchild, Maguire, Rhind - Geographic Information Systems and Science (2015))

¹² Local area network

U većim i naprednijim skupinama korisnika spomenute tri razine mogu biti instalirane na više računala kako bi se poboljšala fleksibilnost i performanse. U ovom tipu konfiguracije korisnici pristupaju korisničkom sučelju preko osobnih računala koja također sadrže i razinu poslovne logike, no softver za upravljanje bazom podataka i sami podatci mogu biti na drugom računalu kojem se pristupa putem mreže. Ovaj se tip izgradnje GI sustava naziva klijent-poslužitelj¹³ (Slika 6) .

Oba gore navedena tipa izgradnje imaju značajne količine funkcionalnosti na radnoj površini¹⁴, koja se iz tog razloga naziva “debelim (teškim, gustim) klijentom”¹⁵.



Slika 6 - Klijent-poslužitelj tip izgradnje GI sustava

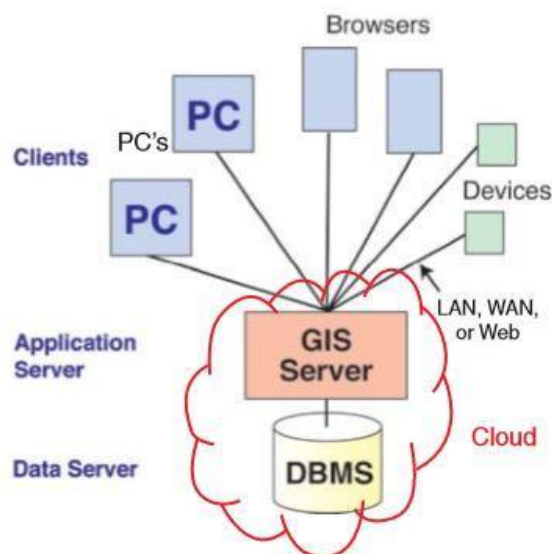
(izvor: Longley, Goodchild, Maguire, Rhind - Geographic Information Systems and Science (2015))

Posljednjih godina GI sustavi u oblaku su postali vrlo popularni uglavnom zbog jednostavnosti korištenja i troškovno učinkovite prirode ove arhitekture. Ključna značajka implementacije oblaka je da se gotovo sve pokreće na poslužiteljima koji se nalaze na udaljenim podatkovnim centrima koji su dostupni preko interneta (Slika 7).

¹³ Client-server

¹⁴ Desktop

¹⁵ Eng. thick client



Slika 7 - Centralizirani GI sustav (oblak)

(izvor: Longley, Goodchild, Maguire, Rhind - Geographic Information Systems and Science (2015))

U ovom tipu izgradnje svi računalni i prostorni podatci i resursi za obradu izvode se na hardveru i softveru treće strane. Takvi računalni resursi obično se kupuju u skladu s npr. mjesečnom upotrebom i mogu se brzo povećati ili smanjiti ovisno o zahtjevima korištenja. U ovom tipu izgradnje korisnici pristupaju poslovnoj logici i podatkovnim uslugama s uređaja (npr. pametnih telefona ili tableta), koji pokreću “lakše (tanke) klijente”¹⁶ ili neke od “težih” klijenata, uključujući ranije navedene GI sustave s radnom površinom. U slučaju pristupa preko “tankih klijenata”, prezentacijska razina (korisničko sučelje) također se pokreće u oblaku na poslužitelju (iako se tehnički prikazuje na radnoj površini).

U današnje vrijeme trend je dodavanje mogućnosti lokalnog procesuiranja “tankim klijentima” podržavanjem skriptiranja na strani klijenta¹⁷ i predmemoriranjem podataka¹⁸. Obično se koristi još jedan poslužitelj na kojem se pokreće softver za upravljanje podacima (DBMS).

Ova vrsta implementacije je standardna za *web-based* GI sustave i uobičajena je u poslovnim GI sustavima. Veliki, korporativni GI sustavi mogu uključivati više od 10

¹⁶ Eng. thin clients

¹⁷ Client-side scripting

¹⁸ Data caching

poslužitelja i velik broj klijenata koji su zemljopisno široko rasprostranjeni i u današnje vrijeme mogu biti povezani putem weba. (Longley, 2015.)

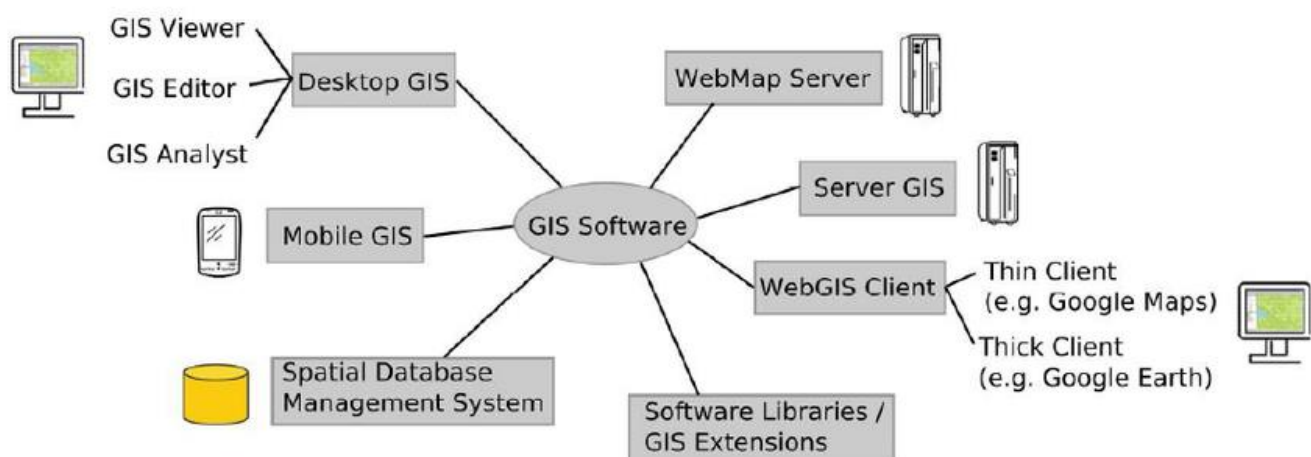
2.5. Tipovi GIS-a

Postoje različite vrste GIS softvera s različitim funkcionalnostima ovisno o tome koje su potrebe korisnika. Primjerice, asistent u odjelu gradske javne službe može samo pružati informacije o vlasnicima kuća građevinskim tvrtkama i ne mora uređivati skup podataka vezan za katastar. Stotine komercijalnih softverskih proizvoda danas imaju neku mogućnost mapiranja i neke od mogućnosti GI sustava. Prema Longleyu (2015.) glavne kategorije GIS softvera koji dominiraju u novije vrijeme su:

- *desktop* GIS
- *Web-mapping* GIS
- *server* GIS
- virtualni globus
- razvojni¹⁹ GIS
- mobilni GIS, te
- ostali tipovi softvera koji posjeduju GI mogućnosti

U nastavku će se dati više informacija o svakoj od navedenih kategorija, a bit će navedene i kompanije koje se bave određenim kategorijama GIS softvera kao i neki od njihovih proizvoda.

¹⁹ Eng. Developer GIS



Slika 8 - Različiti tipovi GIS softvera

(Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Different-types-of-GIS-software_fig1_236330326)

Desktop GIS su najrašireniji oblik operativne implementacije GIS-a od sredine 1990-ih. Desktop softveri su se razvili na temelju osobnih računala kao i operacijskih sustava *Microsoft Windows*. Desktop softver pruža osobne alate za produktivnost i to za široku paletu korisnika u raznim industrijama. Računala su široko dostupna, relativno su jeftina i nude veliku zbirku korisnički orijentiranih alata, uključujući baze podataka, obradu teksta i proračunske tablice. Kategorija desktop softvera obuhvaća niz opcija jednostavnih preglednika kao što su *Esri ArcGIS ArcReader*, *Intergraph GeoMedia Viewer*, *Pitney Bowes MapInfo ProViewer*, kao i sve veći broj open-source proizvoda, sve do desktop alata za mapiranje i GI softver kao što su *Autodesk AutoCAD Map 3D*, *Clark Labs Idrisi*, *Esri ArcGIS*, open-source *GRASS*, *Intergraph GeoMedia*, *the Manifold System*, *Pitney Bowes MapInfo Professional*, *Smallworld Spatial Intelligence* i open source *Quantum GIS*.

Web Mapping GIS - GI sustavi na webu imaju relativno dugu povijest koja seže do 1993. godine kada su istraživači u *Xerox PARC*²⁰-u stvorili prvi poslužitelj karata kojemu se moglo pristupiti putem Interneta. Ovdje pojam "mapiranje weba" podrazumijeva integrirani softver dostupan putem weba, 2-D bazu podataka koja se sastoji od jedne ili više osnovnih karata te pripadajuću zbirku usluga. U osnovi, dijelovi slike (fragmenti karte) vraćaju se kao odgovor na korisnički zahtjev za kartom

²⁰ Palo Alto Research Center - kalifornijska tvrtka za istraživanje i razvoj računalnih sustava

određenog područja. Korisnički zahtjevi, odgovori i vizualizacija obrađuju se i prikazuju se u standardnim web preglednicima i web-dostupnim uređajima (npr. pametnim telefonima i tabletima), a web-mapping stranice su i vrlo popularne među korisnicima (među prvih 10 prema prometu). Pored pružanja karata, obično je dostupan i niz drugih korisnih usluga, primjerice pronalaženje zanimljivih mjesta ili objekata, upute za vožnju, izbor između slikovnih i prometnih karata te mogućnost "prevlačenja"²¹ ili pridodavanja mnogih drugih skupova podataka. Korištenje *Web API*²²-ja omogućilo je veliki broj dodataka²³ i mogućnost da se web-karte integriraju s mnogim drugim web uslugama. Najpoznatiji primjeri su *Google Maps*, *OpenStreetMap*, Nokijini *Ovi Maps* te *Mapbox*.

Server GIS je, jednostavno rečeno, poslužiteljski GI sustav koji radi na računalnom poslužitelju i može istodobno obrađivati zahtjeve za obradu većeg broja umreženih klijenata. Njihova važnost rapidno raste kako im se povećavaju sposobnosti i organizacije se prebacuju s *desktop* na *network* implementaciju. Server GI sustavi nude širi raspon funkcija od sustava za web mapiranje, (koji se usredotočuju samo na mapiranje i usko povezane usluge) i mogu raditi s bilo kojim osnovnom zemljovidom. Serverski GI sustavi imaju potencijal za najveću korisničku bazu i najniži trošak po korisniku od svih vrsta softverskih sustava. Potaknuti napretkom u hardveru i mrežama, širokoj dostupnosti Interneta i potražnji za većim pristupom geografskim informacijama na tržištu, dobavljači GI sustava vrlo su brzo stvorili proizvode koji su dostupni putem weba. Primjeri server GI sustava uključuju *Esri ArcGIS Server*, *Intergraph GeoMedia Webmap*, *MapGuide* i *MapServer* (oba open source), *Pitney Bowes MapInfo MapXtreme* i *Smallworld Spatial Application Server*.

Virtualni globusi su jedna od najuzbudljivijih nedavnih pojava u polju. To su 3-D web-servisi smješteni na *web-based* sustavima koji objavljuju globalne 3-D baze podataka i povezane usluge za korištenje preko Interneta. Virtualni globusi omogućuju korisnicima vizualizaciju geografskih podataka uz osnovne 3-D globalne karte. *Google Earth*, pušten u rad 2005. godine, postavio je standard za interakciju s korisnikom i kvalitetu i količinu podataka te je u nekoliko mjeseci njegovog rada uspostavljena vrlo aktivna i angažirana korisnička zajednica. Virtualni globusi su stekli priličnu

²¹ Eng. Overlay

²² Eng. Application Programming Interface - for either a web server or a web browser.

²³ Eng. Add-ons

popularnost među korisnicima jer su relativno jeftini (osnovne verzije su besplatne), imaju visoku kvalitetu slike i koriste vektorske baze podataka za Zemlju (pa čak i druge planete), jednostavno je dodati u *overlay* korisničke podatke te ih je lako koristiti. Virtualni globusi su u velikoj mjeri stimulirali dva potpuno nova polja nazvana neogeografijom²⁴ i dobrovoljno prikupljenim geografski podacima (VGI²⁵). Neogeografija je "nova" geografija koja između ostalog obuhvaća preklapanje dva ili više izvora geografskih informacija koristeći netradicionalne GIS alate (primjerice *Google Maps* i korisnikove geotagirane fotografije). VGI je iskorištavanje alata za stvaranje, sastavljanje i širenje geografskih podataka prikupljenih dobrovoljno od strane pojedinaca; bazira se na tome da ljudi djeluju kao senzori i grade i objavljuju sadržaj iz temelja, često koristeći virtualne globuse kao osnovne karte.

Razvojni GIS predstavlja skup komponenata koje razvojni programeri koriste kako bi izradili aplikacije s točno određenom svrhom. Ovaj GIS se bazira uglavnom na Microsoftovoj *.NET* tehnologiji. *Esri ArcGIS Engine* dobar je primjer desktop razvojnog proizvoda koji se može koristiti u *.NET* i *Java* razvojnim okruženjima. Setovi alata temeljenih na *Javi* uključuju *ObjectFX SpatialFX* i *IBM ILOG JViews Maps*.

Mobilni GIS je rezultat dramatičnog napretka u hardverskom dizajnu i "miniaturizaciji" uređaja tijekom posljednjih nekoliko godina gdje je postalo moguće razviti softver za mobilnu i osobnu upotrebu na ručnim²⁶ sustavima (pametnim telefonima, tabletima i raznim specijaliziranim uređajima). Razvoj "laganih" i relativno jeftinih tehnologija pozicioniranja položaja prvenstveno temeljenih na globalnom sustavu pozicioniranja (GPS²⁷) i bežičnom umrežavanju dodatno je potaknuo ovo tržište. *ESRI ArcPad* jedan je od brojnih proizvoda u ovoj kategoriji i specijaliziran je za prikupljanje podataka i mobilno mapiranje.

Ostali GIS softveri - Postoje mnoge druge vrste komercijalnih i nekomercijalnih softvera koji pružaju vrijedne GI sposobnosti. Tako postoje, primjerice, rasterski GI sustavi, kao što ime sugerira, usredotočeni prvenstveno na rasterske podatke i raster analize. Kao što mnogi vektorski bazirani sustavi imaju mogućnosti raster analize

²⁴ Eng. Neogeography

²⁵ Eng. Volunteered Geographic Information

²⁶ Eng. Handheld

²⁷ Eng. Global Positioning System

(primjerice, *ESRI ArcGIS* ima *Spatial Analyst* i *Intergraph GeoMedia* ima *Image and Grid*), posljednjih godina raster sustavi su dodali vektorske sposobnosti (primjerice, *ERDAS Imagine* i *Clark Labs Idrisi* sada imaju ugrađene vektorske mogućnosti pa su razlike među tim sustavima sve manje zamjetne.

GI sustavi bazirani na CAD tehnologiji (računalno potpomognuti dizajn) prvenstveno su bili CAD paketi, a zatim su dodane GI funkcije. U osnovi, CAD sustav se nadopunjuje bazom podataka, prostornom analizom i kartografskim mogućnostima. Korisnici ovih sustava su najčešće oni čiji je primarni fokus u tipičnim CAD aplikacijskim područjima kao što su arhitektura, inženjering i gradnja, ali koji također žele koristiti GI i geografsku analizu u svojim projektima. Ti sustavi se često koriste u aplikacijama za prikupljanje podataka i mapiranje. Najpoznatiji primjeri CAD sustava su *Autodesk Map 3D* i *Bentley Map*. (Longley, 2015.)

Neki dobavljači (primjerice *IBM*, *Microsoft* i *Oracle*) su razvili tehnologije kako bi proširili svoje DBMS poslužitelje i pomogli proces upravljanja podacima u standardnom DBMS-u, sve s ciljem kako bi mogli učinkovito pohranjivati i obrađivati geografske informacije. Iako ti softveri nisu strogo GI sustavi u svojoj osnovi, treba ih spomenuti u svrhu cjelovitosti iako će o njima više riječi biti u nastavku ovog rada.

2.6. Primjene GIS-a

Sposobnost GI sustava za povezivanje geografskih i atributnih obilježja pruža mogućnost analize, zaključivanja i logičkog interpretiranja rezultata, a mogućnost da se velika količina atributnih podataka pohranjenih u računalu vizualizira u jednostavnom, slikovitom i čovjeku bliskom obliku uvelike pomaže pri brzom i preciznom donošenju odluka. U nastavku će biti navedeni primjeri aktualnih primjena GIS-a u današnje vrijeme.

Mapiranje/izrada kartografskog prikaza je središnja funkcija GIS-a koja pruža vizualno tumačenje podataka. GIS pohranjuje podatke u bazu i zatim ih vizualno prikazuje u formatu karte. Ljudi iz raznih disciplina svakodnevno koriste karte za komunikaciju i poslovanje.

Među prvim asocijacijama za praktičnu primjenu GIS-a su geodezija i geodetska mjerenja te administracija zemljišta. U mnogim zemljama zasebne funkcije zemljišne administracije povezuju se stvaranjem digitalnih katastarskih baza podataka s kojima je moguće provoditi čak i digitalno oporezivanje i naplatu komunalija.

Nadalje, telekom industrija ima velike koristi od GIS-a. On omogućuje bežičnim telekomunikacijskim organizacijama da uključe geografske podatke u kompleksnu mrežnu dizajna, planiranja, optimizacije, održavanja i drugih aktivnosti poput upravljanja odnosa s kupcima i usluga temeljenih na lokaciji.

GIS se može koristiti kao ključan alat za smanjenje broja nesreća na cestama, optimizaciju postojeće cestovnu mreže, kao i za poboljšanje mjera sigurnosti na cesti. To se može postići pravilnim upravljanjem prometom; identificiranjem mjesta nesreće odjeli uprave mogu planirati svoje daljnje postupke i mjere. GIS je također vrlo prikladan u preusmjeravanju prometa te u planiranju transportnih ruta i rješavanju logističkih problema u planiranju prijevoza.

GIS tehnologija koristi se za analizu urbanog rasta i njegovog usmjerenja, te pronalaženje pogodnih mjesta za daljnji urbani razvoj. Kako bi se identificirale lokacije

prikladne za gradski rast, moraju se uzeti u obzir faktori poput dostupnosti zemljišta, opskrbe vodom, reljefa te iskoristivosti.

Procjena utjecaja na okoliš može se učinkovito provesti uz pomoć GIS-a, integrirajući različite GIS slojeve može se provesti procjena prirodnih značajki i nepovoljnih utjecaja ljudskog djelovanja te shodno tome donijeti odluke o izgradnji prometnice ili cjevovoda.

GIS je od velike koristi u poljoprivredi; može analizirati podatke o tlu i odrediti koji su najbolji usjevi za sadnju, gdje bi ih trebalo posaditi, kako održavati optimalne razine prihrane usjeva itd. U potpunosti je integriran i široko prihvaćen kao pomoć državnim agencijama za upravljanje programima koji podržavaju poljoprivrednike i zaštitu okoliša. Koristi se i za upravljanje vodom za navodnjavanje, kontrolu štetočina i rješavanje problema s odvodnjavanjem.

GIS pomaže procijeniti potrebu za državnim fondovima za pomoć pri katastrofama kada je to prikladno, a osiguravajuće kuće ga mogu koristiti u procjeni novčane vrijednosti izgubljene imovine (primjerice za procjenu štete nastale poplavom ili potresom). Lokalna uprava može i mapirati područja rizika od poplave/potresa kako bi procijenila potencijalnu opasnost. GIS se može koristiti i za procjenu udaljenosti svakog dijela ulične mreže od vatrogasne službe. To je vrlo korisno u procjeni najbolje lokacije za novi vatrogasni dom, u određivanju koliko dobro vatrogasne službe pokrivaju određena područja te za procjenu osiguranja.

Pomoću GIS-a je moguće izgraditi i turistički informacijski sustav; GIS pruža vrijedan set alata i tehnologija široke primjene u postizanju održivog razvoja turizma. Na taj način moguće je stvoriti alate i platforme za bolje razumijevanje potreba turista koji tako mogu dobiti sve informacije u nekoliko klikova - izmjeriti udaljenosti, pronaći hotele, restorane, atrakcije te kreirati rute do istih. Informacija igra vitalnu ulogu turistima u planiranju putovanja te može presuditi u uspjehu turističke industrije.

U rješavanju nekog problema GIS može povezati poglede praktički svih struka relevantnih za taj problem pa je tako potencijal GI sustava zapravo ograničen samo čovjekovom maštom te se nove primjene za GIS pronalaze svakog dana.

3. Prostorni podatci

Prostorni podatci postali su nezaobilazni dio sustava razvoja gospodarstva svake države. Oni se tiču svih segmenata gospodarstva i društva, poput katastra i pitanja vlasništva, zemljišnih knjiga i dr., a koriste se i u drugim granama kao što su građevinarstvo, geologija, poljoprivreda, šumarstvo, promet, komunikacije, prostorno uređenje, klimatologija, itd. Zapravo je daljnji razvoj i gospodarenje resursima bez prisutnosti prostornih podataka nezamisliv.

Prostorne podatke se može naći na karti, zapisane u bazama podataka ili mogu biti prikazani na fotografijama. Poznati su i kao geoprostorni podatci ili geografski podatci. Smatra se kako 80% svih raspoloživih informacija sadrži neku prostornu komponentu, što pred nas postavlja zahtjev za učinkovitijim upravljanjem prostornim podacima. (Cetl, 2011.)

U nastavku ovog rada predstaviti će se metode koje predstavljaju prostorne podatke u računalnom svijetu.

3.1. Karakteristike prostornih podataka

Prema Zakonu o nacionalnoj infrastrukturi prostornih podataka (Zakon.hr, 2018.) prostorni podatci su svi podatci koji su direktno ili indirektno povezani s određenim položajem u prostoru ili geografskim područjem.

Općenito, prostorne podatke u GI sustavima razlikujemo s obzirom na njihovu vrstu i oblik. Kada govorimo o vrsti podataka, razlikujemo:

- točke
- linije
- poligone

dok prema obliku podataka razlikujemo:

- geometrijske (rasterski i vektorski podatci)
- atributne (opisni podatci)
- grafičke (tonska vrijednost, šrafure, boja, simbol, itd.)

Drugi važan aspekt prostornih podataka je da često sadrže i atributne/opisne informacije. To znači da se opis pojave čuva u nekom obliku. Opis može biti, primjerice, naziv ili vrsta neke prometnice (A, B, autocesta), ili detalji o količini snijega, temperaturi zraka, brzini i smjeru vjetra na nekoj skijaškoj stazi. Te se informacije mogu čuvati u bazi podataka ili jednostavno napisati ili opisati na karti.

Nadalje, prostorni podatci svojom prirodom impliciraju da se zapisuju i odnosi. Kad pogledamo na kartu automatski interpretiramo relativne položaje prostornih podataka koji tako čine temelj prostorne analize. Geografska širina i dužina koriste se kao geografska referenca za određivanje odnosa prostornih objekata. Ako su poznata geografska širina i dužina nekog objekta, može se zaključiti relativni položaj drugih objekata.

Podatke iz stvarnog svijeta moguće je modelirati u smislu geografskog prikaza. Primjerice, linijama se mogu prikazati prometnice a zgrade poligonima. Modeli stvarnih pojava/stvarnog svijeta nazivaju se prostornim objektima (Zakon.hr, 2018.)

3.2. Modeli prostornih podataka

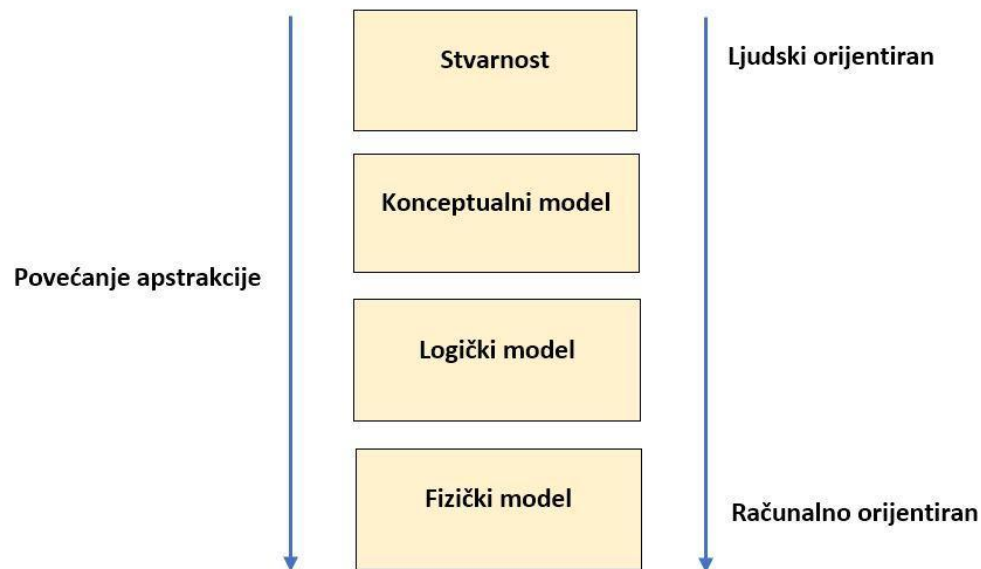
Da bi se stvarnost predstavila u prostornim podacima, kreira se model podataka. U njemu je stvarnost pojednostavljena.

Model podataka je srce svake GI baze podataka; on je skup konstrukata za predstavljanje objekata i procesa u digitalnom okruženju računala (Longley, 2015.) Način na koji se stvarni svijet modelira snažno utječe na vrste analiza koje se mogu provoditi, pa je tako odluka o vrsti modela podataka ključna za uspjeh GI projekta.

Prilikom predstavljanja stvarnog svijeta na računalu korisno je razmišljati sa stajališta četiri različite razine apstrakcije, generalizacije ili pojednostavljenja (Slika 9).

- Stvarnost se sastoji od fenomena u stvarnom svijetu (zgrade, ulice, šume, jezera, ljudi itd.) i uključuje sve aspekte koje pojedinci mogu ili ne mogu shvatiti ili smatraju relevantnima.

- Konceptualni model je “ljudski orijentiran” i često djelomično strukturiran model odabranih objekata i procesa koji se smatraju relevantnima za određenu problematiku.
- Logički model je orijentiran na implementaciju stvarnosti koja se često izražava u obliku dijagrama i popisa
- Fizički model prikazuje stvarnu implementaciju u GI sustavu i obuhvaća tablice pohranjene kao datoteke ili baze podataka. (Longley, 2015.)



Slika 9 - Razine apstrakcije GI modela podataka

(Izradila autorica prema: “Levels of GI data model abstraction” Longley et al. - Geographic Information Science and Systems(2015) str. 153)

Iako postoji više vrsta modela prostornih podataka za različite primjene (Tablica 1), predstavljanje konceptualnog modela pomoću odgovarajućeg modela prostornih podataka najčešće uključuje odabir jednog od dva pristupa - raster ili vektor, no sve više do izražaja dolazi i objektni model podataka

Model podataka	Primjer primjene
CAD (računalno potpomognut dizajn)	Automatiziranje dizajna i izrade u inženjeringu
Grafički (netopološki)	Jednostavno mapiranje i grafičke umjetnosti
Slika	Obrada slike i jednostavna mrežna analiza
Raster	Prostorna analiza i modeliranje, osobito u primjeni kod okoliša i prirodnih resursa
Vektor (georelacijski topološki)	Mnoge operacije na geometrijskim značajkama u kartografiji, socioekonomskoj analizi i analizi i modeliranju resursa
Mrežni	Analiza mreže u transportu i komunalnim uslugama
Triangulirana nepravilna mreža (TIN) ²⁸	Vizualizacija površine / terena, analiza i modeliranje
Objektni	Brojne operacije na svim vrstama entiteta (raster / vektor / TIN, itd.) u svim vrstama primjena

Tablica 1 - Neki od uobičajenih modela prostornih podataka

(Izradila autorica prema: "GI Data Models" (Longley et al. - Geographic Information Science and Systems(2015) str. 154.)

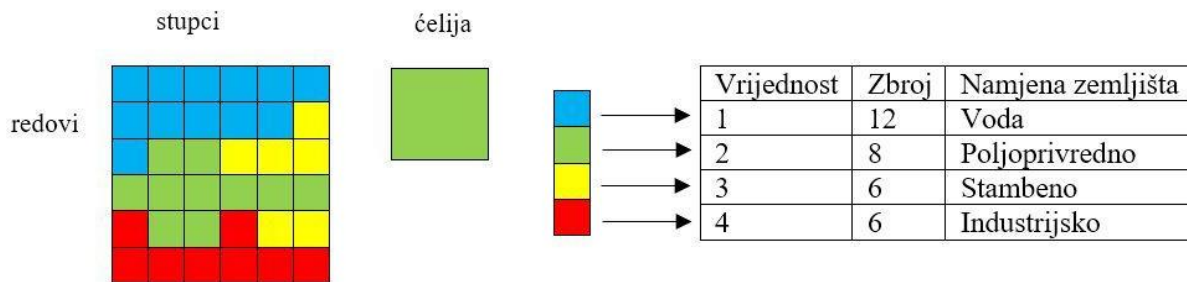
I rasterski i vektorski model upotrebljavaju koordinatni sustav kako bi pohranili položaje objekata, a razlika među njima leži u tome što biraju različite načine za prikaz oblika i veličine objekta. Odabir GIS softvera često određuje ovaj izbor.

²⁸ Eng. Triangulated Irregular Network

3.2.1. Rasterski model

Rasterski model podataka koristi niz ćelija ili piksela²⁹ za prikaz objekata u stvarnom svijetu. Ćelije mogu sadržavati vrijednosti atributa na temelju jedne od nekoliko shema kodiranja, uključujući kategorije, cijele brojeve³⁰ i brojeve s pomičnim zarezom³¹. U najjednostavnijem slučaju koristi se binarni prikaz (primjerice 1 za prisutnost ili 0 za odsutnost vegetacije), no u naprednijim slučajevima preferiraju se vrijednosti brojeva sa pomičnim zarezom (primjerice nadmorska visina neke točke u metrima). Atribut neke ćelije može predstavljati dubinu, nadmorsku visinu, intenzitet zagađenosti zemljišta, vrstu zemljišta, itd. (Longley, 2015.)

U nekim sustavima može se pohraniti više atributa za svaku ćeliju u vrsti tablice atributa vrijednosti gdje je svaki stupac atribut a svaki redak piksel ili klasa piksela (Slika 10).



Slika 10 - Atributna tablica na jednostavnom primjeru rasterskog prikaza

(Izradila autorica prema primjeru "Raster dataset attribute tables", URL:

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/raster-dataset-attribute-tables.htm>)

U literaturi se za raster često kao sinonim koristi termin slikovni podatak, što je i preciznije i bliže samoj suštini podataka. Rasterski model se još naziva i teselacija³². Veličina područja koje svaka ćelija predstavlja varira od nekoliko metara do kilometara i naziva se rezolucija mreže. Što je viša rezolucija mreže, više ćelija je potrebno za predstavljanje tog područja - rezultat je točniji prikaz prostornih značajki ali, s druge strane, povećanje količine i vremena obrade podataka.

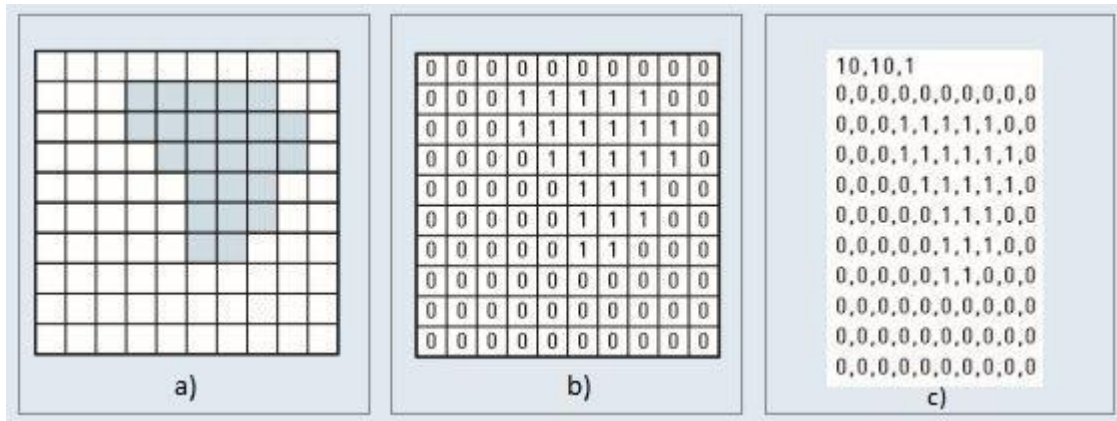
²⁹ Eng. Pixel

³⁰ Eng. Integer

³¹ Eng. Floating point number

³² mozaična podjela ravnine u diskretne plošne elemente koji se dodiruju i prekrivaju ravninu (izvor: Hrvatski terminološki portal)

Rasterski modeli se najčešće koriste kod digitalnog prikaza satelitskih snimaka, skeniranih karata te drugih aplikacija koje zahtijevaju detaljan prikaz, u slučajevima kada je potrebno smanjenje troškova i u slučajevima kada nisu potrebne detaljnije analize nad individualnim značajkama neke karte. (Fazal, 2008.)



Slika 11 - Jednostavna raster struktura a) model, b) vrijednosti ćelija, c) struktura datoteke

(izvor: Heywood, I., Cornelius, S. i Carver, S. (2006.) An Introduction to Geographical Information Systems, str. 80.)

3.2.2. Vektorski model

Matematički, vektor je vrijednost s početnim koordinatama i pridruženim pomakom i smjerom. (Gajski, 2017.) Vektorski model prostornih podataka koristi dvodimenzionalne kartezijanske (x, y) koordinate za pohranjivanje oblika prostornog objekta.

U vektorskom modelu točka je osnovni građevni blok od kojeg su izgrađeni svi prostorni objekti. Najjednostavnija prostorna cjelina, točka, predstavljena je jednim (x, y) parom koordinata (odnosno x, y i z ako je riječ o 3D podatcima ili x, y, z i m za 4D ukoliko dodajemo još jednu vrijednost koja bi mogla predstavljati vrijeme, neko drugo svojstvo ili atribut). Linije i polilinije³³ se sastoje od niza uređenih koordinatnih parova, a spajanjem njihovih segmenata “zatvaraju” se područja ili poligoni. (Longley, 2015.)

³³ Poligonalna linija - linija koja se sastoji od serije povezanih segmenata

Objekt je predstavljen točkama koje su postavljene na mjesta gdje se oblik objekta mijenja, a koje su povezane ravnim linijama (Slika 12). Složeniji oblici ili područja zahtijevaju veći broj točaka potrebnih za njihovo predstavljanje.

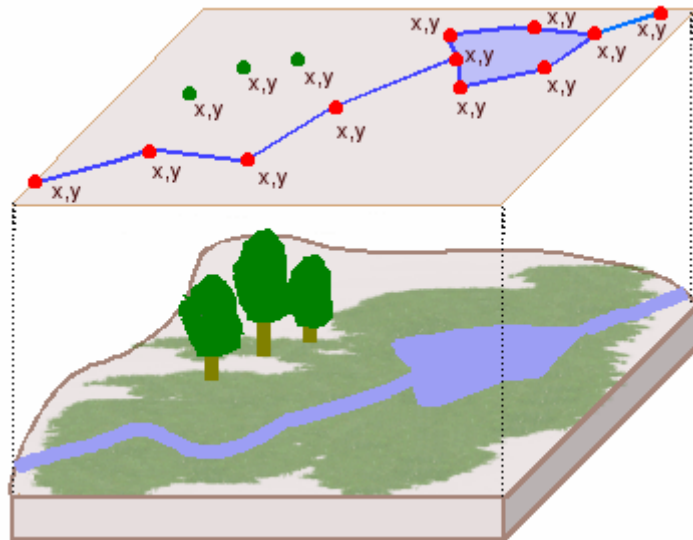
Točka nema dimenziju, ona je nuldimenzionalni geometrijski element - točkom su zato prikazani entiteti malih dimenzija koji se zbog dimenzija ne mogu prikazati linijom ili poligonom. Kod velikog mjerila pojedine zgrade u gradu su opisane točkama a kod malog mjerila se točkama opisuju gradovi. (Gajski, 2017.)

Odabir odgovarajućeg broja točaka³⁴ za izgradnju geografskog objekta je jedna od glavnih dilema pri korištenju vektorskog modela; premalo točaka ugrožava prostorna svojstva entiteta (primjerice područje, duljina, perimetar), a previše točaka uzrokuje nepotrebne duple informacije što je nepovoljno za vrijeme obrade podataka i kompjuterske resurse.

Odnosi između elemenata vektorskog modela se nazivaju topologija. To je matematika i znanost geometrijskih odnosa. Topološki odnosi su nemjerljiva (kvalitativna) svojstva geografskih objekata koji ostaju konstantni kada je geografski prostor objekata iskrivljen. Topologija daje vektorskom modelu "inteligenciju" što znači da GIS može prepoznati međusobno povezane segmente i odrediti poligone koji su susjedni. Topologija je važna u GI sustavima zbog svoje uloge u validaciji podataka, modeliranju integriranog ponašanja značajki, te uređivanja i optimizacije upita.

Ovaj oblik podataka se najviše koristi kod aplikacija koje zahtijevaju visoku preciznost, kada je bitna veličina podataka ili je potrebna detaljnija analiza značajki neke karte te u slučajevima kada je bitno da se sačuvaju opisne informacije. (Fazal, 2008.)

³⁴ Gustoća - eng. density



Slika 12 - Jednostavni primjer vektorskog modela

(Izvor: maps.uky.edu)

3.2.3. Objektni model

Svi dosad opisani modeli podataka geometrijski su u osnovi; oni modeliraju pojave iz stvarnog svijeta kao zbirke točaka, linija, područja ili ćelija. Sve operacije koje se obavljaju nad geometrijom su procedure odvojene od podataka što predstavlja ograničenje za modeliranje prostornih podataka u GIS-u.

Svi osim najjednostavnijih geografskih sustava sadrže mnoge entitete s velikim brojem svojstava, složenim odnosima i ponašanjem. Modeliranje takvih entiteta kao jednostavnih geometrijskih tipova previše je jednostavno i ne podržava sofisticirane karakteristike potrebne za suvremenu analizu. Osim toga, razdvajanje stanja entiteta (atributa ili svojstava koja definiraju što je to) od ponašanja entiteta (metode koje definiraju što ono čini) čini razvoj baze podataka i softvera dugotrajnim poslom sklonom pogreškama. Kao rješenje tog problema razvio se objektni model podataka za GIS.

Središnji fokus objektnog modela podataka jest zbir geografskih objekata i odnosa među tim objektima. Svaki objekt je spoj geometrije, atributa i metoda.

U objektnom modelu geometrija se tretira kao bilo koje drugo svojstvo (atribut) objekta, a ne kao njegova primarna karakteristika. Geografski objekti iste vrste grupirani su zajedno kao klase objekata, a pojedini objekti u klasi nazivaju se instance. U mnogim

GI sustavima svaka klasa fizički se pohranjuje kao tablica u bazi podataka, svaki redak kao objekt i svaki atribut kao stupac.

Metode koje se primjenjuju pridružene su instancama objekta u trenutku kada se stvore u memoriji za upotrebu u aplikaciji.

Tri ključna elementa objektnog modela podataka čine ga osobito korisnim za modeliranje geografskih sustava:

- Enkapsulacija³⁵ je svojstvo svakog objekta da zajedno “upakira” opis svog stanja i ponašanja. Stanje objekta može se smatrati njegovim svojstvom ili atributom (primjerice za neki šumski objekt to bi mogao biti dominantni tip stabla, prosječno doba stabla i pH tla). Ponašanje je zbir metoda ili operacija koje se mogu izvesti na objektu (šumski objekt bi se mogao: stvoriti, izbrisati, crtati, podijeliti, spojiti,...). Kombiniranje stanja i ponašanja objekta zajedno u jednom paketu prirodan je način razmišljanja o geografskim entitetima i podrška njihovoj ponovnoj upotrebi. Enkapsulacija čini svaku klasu jedinstvenom.
- Nasljeđivanje³⁶ je sposobnost ponovnog korištenja nekih ili svih svojstava jednog objekta u nekom drugom objektu. Primjer: u sustavu plinskih postrojenja može se lako stvoriti nova vrsta plinskog ventila brisanjem ili dodavanjem nekoliko svojstava ili postupaka na sličnu postojeću vrstu ventila. Nasljeđivanje pruža učinkovit način stvaranja modela geografskih sustava ponovnim korištenjem objekata te čini osnovu za jednostavno širenje modela. Nove klase mogu se izraditi i ponovno koristiti dijelove jedne ili više postojećih klasa te dodati nova jedinstvena svojstva i metode.
- Polimorfizam³⁷ opisuje postupak u kojem svaki objekt ima svoju specifičnu implementaciju za operacije poput crtanja, kreiranja i brisanja. Jedan primjer polimorfizma je da geografska baza podataka može imati generičku

³⁵ Eng. Encapsulation

³⁶ Eng. Inheritance

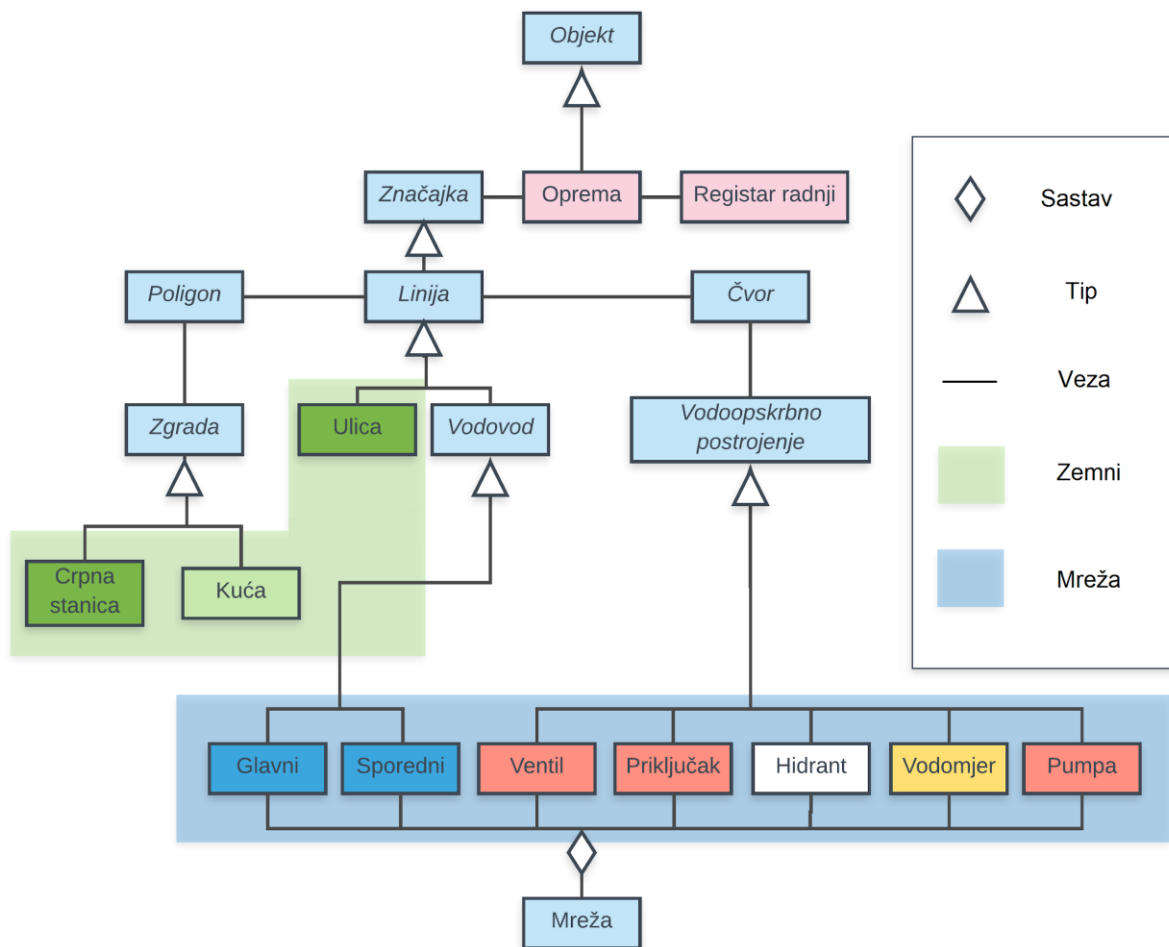
³⁷Eng. Polymorphism

komponentu za stvaranje objekata koja se specifično obrađuje od strane svake pojedine klase. Softver za uređivanje komunalnog sustava može poslati generički zahtjev za stvaranje svih objekata (npr., plinovoda, ventila), od kojih svaki ima specifične algoritme za kreiranje. Ako se nova klasa doda u sustav mehanizam će učiniti novu klasu odgovornom za implementaciju metode kreiranja. Polimorfizam je neophodan za izoliranje dijelova softvera kao samostalnih komponenti.

Osim podržavanja odnosa između objekata (klasa), objektni model podataka omogućuje i definiranje nekoliko vrsta pravila koja su vrlo korisna za održavanje integriteta baze podataka tijekom uređivanja. Najčešći tipovi pravila koja se koriste su:

- Pravila atributa koja se koriste za definiranje mogućih vrijednosti atributa koje se mogu unijeti za bilo koji objekt.
- Pravila povezivanja temelje se na specifikaciji važećih kombinacija značajki izvedenih iz geometrijskih, topologijskih i atributnih svojstava (primjerice, u sustavu plinovoda ne bi smjele postojati cijevi sa otvorenim krajevima).
- Geografska pravila definiraju što se događa sa svojstvima objekata kada ih se dijeli ili spaja (primjerice, pri cijepanju parcele na dva dijela treba površinu podijeliti točno na dva, na jednom treba zadržati ime starog vlasnika a na dio koji se prodao dodati ime novog vlasnika).

Općenito, objekt je osnovna građevna jedinica u objektnom modelu podataka i obuhvaća sva svojstva koja definiraju stanje objekta, zajedno s metodama koje definiraju njegovo ponašanje. (Longley, 2015.)



Slika 13 - Primjer objektnog modela

(Izradila autorica prema primjeru iz knjige *Geographic Information Systems and Science* - Longley et al. (2015) str 169.)

Na slici 13 prikazan je objektni model jednog sustava za distribuciju vode koristeći UML³⁸ dijagram za prikaz objekata i odnosa među njima. Dodatno su neke stavke označene bojama kako bi se lakše tumačilo model. U UML modelima svaki je okvir objekt klase, a linija definira način na koji jedna klasa nasljeđuje dio klase iznad nje u hijerarhiji. Nazivi klasa objekata u koji su u kurzivu označavaju apstraktne klase (one koje ne stvaraju objekte), a ostale se koriste za stvaranje (instanciranje) objekata. Apstraktne klase mogu sadržavati neke mogućnosti samo kako bi ih ostale klase mogle koristiti; na primjer, Glavni i Sporedni su oba vrste linija, kao i ulica. Budući da Glavni i Sporedni dijele nekoliko zajedničkih atributa - kao što su na primjer GrađevinskiMaterijal, Dijametar i DatumInstalacije te povezivost i način crtanja - dobro

³⁸ Eng. Unified Modeling Language

ih je implementirati u zasebnoj apstraktnoj klasi, nazvanoj Vodovod. Trokuti ukazuju na to da je jedna klasa vrsta druge klase. Na primjer, Crpna stanica i Kuća su vrste Zgrada, a Ulica i Vodovod su vrste Linija. Dijamanti ukazuju na sastav; na primjer, mreža se sastoji od zbirke objekata Linije i Čvora. Objektne klase bez ikakve geometrije su ružičaste boje i služe za pohranu atributa.

Nakon što je stvoren ovaj logički model geografskog objekta, on se može koristiti za generiranje fizičkog modela podataka. Jedan od načina je stvaranje modela pomoću alata računalno potpomognutog softvera (CASE³⁹). CASE je softverska aplikacija koja ima grafičke alate za crtanje i specificiranje logičkog modela te ima mogućnost generiranja fizičkih modela mogu biti izravno iz logičkih, uključujući sve tablice baze podataka i velik dio koda za implementaciju ponašanja. Nakon što je stvorena struktura baze podataka (shema), ona može biti popunjena objektima te se njome može početi koristiti. (Longley, 2015.)

3.3. Kvaliteta prostornih podataka

Kvaliteta podataka je stupanj izvrsnosti podataka koji zadovoljavaju zadani cilj. (GIS Lounge, 2008.) ili se jednostavno može definirati kao pogodnost za upotrebu za određeni skup podataka. (GeoSpace International, 2009.) Kvaliteta podataka opisuje ukupnu sposobnost ili prikladnost podataka za određenu svrhu ili se koristi za označavanje podataka bez pogrešaka i drugih problema.

Komponente kvalitete prostornih podataka su:

- Porijeklo
- Položajna točnost
- Atributna točnost
- Logička dosljednost
- Potpunost (GeoSpace International, 2009.)

Osim toga, razlučivost (rezolucija) i generalizacija izvornih podataka i korišteni model podataka mogu utjecati na prikaz značajki koje nas zanimaju.

³⁹ Eng. Computer-Aided Software Engineering

Skupovi podataka koji se koriste za analizu moraju biti potpuni, kompatibilni i dosljedni te primjenjivi za provedbu analize. (Longley, 2015.)

Porijeklo podataka odnosi se na povijesne i zbirne aspekte podataka kao što su:

- izvor podataka
- sadržaj podataka
- specifikacija prikupljanja podataka
- geografska pokrivenost podataka
- metoda prikupljanja podataka, npr. digitalizacija u odnosu na skeniranje
- metode transformacije koje su primijenjene na podatke
- upotreba odgovarajućih algoritama tijekom kompilacije, npr. linearno pojednostavljenje, generalizacija značajki

Položajna točnost je kvantitativna vrijednost koja predstavlja pozicijsku razliku između dva geoprostorna sloja ili između geoprostornog sloja i stvarnosti. Primjer toga je usporedba lokacije neke ceste u klasi značajki⁴⁰ u odnosu na njihovu lokaciju u stvarnom svijetu. (ArcGIS Desktop, 2018.)

Kvalitativna točnost atributa odnosi se na to jesu li nominalne varijable ili oznake točne, primjerice dodjeljivanje pogrešnog tipa korištenja zemljišta na karti koja prikazuje uporabne vrste zemljišta. Kvantitativna točnost odnosi se na razinu pristranosti pri procjeni dodijeljenih vrijednosti kao što su procijenjene vrijednosti pH na karti. (GITTA, 2003.)

Logička dosljednost se bavi određivanjem pouzdanosti strukture podataka za neki skup podataka. To obično uključuje nedosljednosti prostornih podataka kao što su netočna križanja linija, duplicirane linije ili granice te praznine. To se naziva prostornim ili topološkim greškama. (GeoSpace International, 2009.)

⁴⁰ Eng. Feature classes - homogene zbirke zajedničkih značajki, od kojih svaka ima istu način predstavljanja u prostoru kao što su točke, linije ili poligoni, te zajednički skup atributnih stupaca, na primjer, klasa linija za predstavljanje središnjih linija ceste.

Konačna komponenta kvalitete prostornih podataka je cjelovitost skupa podataka. To uključuje i razmatranje “rupa” u podacima, neklasificirana područja i sve postupke kompilacije koji su mogli uzrokovati uklanjanje/isključivanje podataka. To je u osnovi mjera cjelovitosti svih značajki. Skup podataka s minimalnim brojem nedostajućih značajki može se nazvati potpuni ili cjeloviti skup podataka. (GIS Lounge, 2008.)

Pogreške u skupovima prostornih podataka mogu doći iz izvornih podataka, ljudske pogreške, pogrešnog odabira analitičkih operacija i neodgovarajuće prezentacije konačnih rezultata. Međutim, postoje metode za otkrivanje i modeliranje pogrešaka koje se mogu koristiti za poboljšanje pouzdanosti podataka i rezultata. Metode za provjeru podataka uključuju vizualni pregled, ispitivanje oznaka/šifri pogrešaka i statističku analizu.

4. Operacije nad prostornim podacima

4.1. Razvoj računalnih metoda za upravljanje prostornim podacima

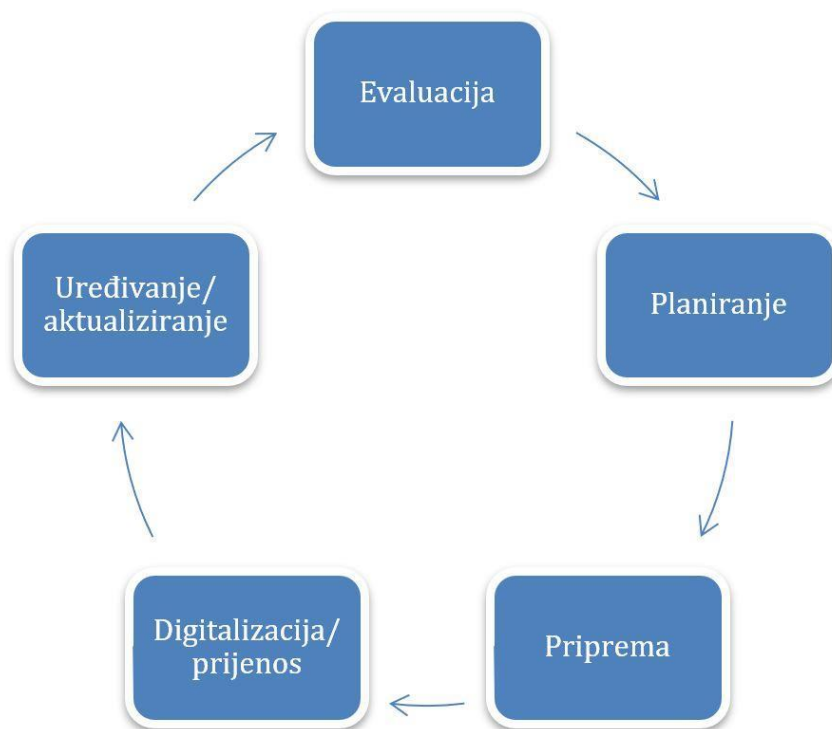
Mnogi skokovi u razvoju GIS-a bili su vođeni razvojem tehnologija ili primjena a ne razvojem teorije. Pojedinci, tvrtke i projekti odigrali su veliku ulogu u brzini i prirodi razvoja u različitim zemljama. Utjecaj političkih ograničenja i različitih komercijalnih okruženja također su bili važni. Razvoj je često bio rezultat suradnje i integracije, u skladu s prirodom tehnologije GIS-a. Uključene su mnoge različite discipline, uključujući one vezane uz tehnologiju: računalno mapiranje, baze podataka, informatika, geografija, daljinska istraživanja, obrada podataka, matematika i statistika; te onih koji se bave metodološkim i institucionalnim pitanjima kao što su teorija sustava i upravljanje informacijama.

Računalne metode za obradu prostornih podataka postojale su prije GIS-a te je prvenstveno napredak u računalnoj tehnologiji omogućio razvoj GIS-a. Smanjenje cijene računala tijekom posljednjih nekoliko desetljeća bio je jedan od poticaja za širu uporabu GIS-a. Postoje i drugi događaji koji su imali važan utjecaj: poboljšanja u grafičkim tehnologijama, pristupu podacima i metodama pohrane, digitalizacije, programiranja i korisničkim sučeljima.

Područja od najveće važnosti su baze podataka, daljinska istraživanja, globalni sustavi pozicioniranja (GPS), računalno potpomognuti dizajn i računalna grafika. Razvoj hardvera također je imao velik utjecaj na razvoj GIS-a; ekrani, pisači, ploteri i razni drugi ulazni uređaji kao što su digitalizatori i skeneri sve su napredniji ali i pristupačniji. (Heywood, 2006.)

4.2. Prikupljanje i unos

Prikupljanje podataka jedan je od najsloženijih i najskupljih, ali i najvažnijih zadataka povezanih s prostornim informacijama. Troškovi prikupljanja podataka mogu iznositi i do 85% troška GIS-a. Postoji mnogo različitih izvora, a mnoge su metode dostupne za njihov unos u GI sustav.



Slika 14 - Etape u prikupljanju prostornih podataka

Dvije glavne metode prikupljanja podataka su prikupljanje podataka i prijenos podataka. Korisno je razlikovati primarno i sekundarno prikupljanje podataka; primarni geografski izvori podataka prikupljeni su izravnim mjerenjima specifičnima za uporabu u GI sustavima dok se sekundarni izvori ponovno koriste iz ranijih studija ili su dobiveni

iz drugih sustava. Prijenos podataka uključuje uvoz digitalnih podataka iz drugih izvora kao što su, primjerice, geoportali.

Tipični primjeri primarnih izvora GI-a uključuju satelitske rasterske snimke i mjerenja snimljena pomoću totalne mjerne stanice.

Sekundarni izvori su digitalni i analogni skupovi podataka koji su možda izvorno snimljeni za drugu svrhu i trebaju se pretvoriti u odgovarajući digitalni format za upotrebu u GI projektu. Tipični sekundarni izvori obuhvaćaju raster skenirane zračne fotografije u boji koje se mogu skenirati i vektorizirati.

Uz izgradnju baza podataka iz primarnih i sekundarnih izvora, postoji i uvoz ili prijenos podataka. To se odnosi na podatke koji su prikupljeni od strane drugih. Neki skupovi podataka su slobodno dostupni, ali mnogi od njih se prodaju kao roba, uglavnom preko *weba*. Geografski podatci sve više postaju dostupni i kao usluge izravnog korištenja koje se mogu primijeniti u geografskoj analizi i mapiranju bez potrebe za uvozom podataka.

Jedan od najvećih problema s podacima dobivenim iz vanjskih izvora jest taj da se oni mogu kodirati u više različitih formata. Postoji mnogo različitih formata geografskih podataka jer niti jedan format nije prikladan za sve zadatke i primjene. Također, s obzirom na veliku raznolikost geografskih informacija, jedan cjeloviti format bi jednostavno bio prevelik i težak za upotrebu. Mnogobrojni različiti formati koji se danas upotrebljavaju razvili su se kao odgovor na različite zahtjeve korisnika.

S obzirom na visoke troškove stvaranja baze podataka, razvijeni su mnogi alati za prijenos podataka između sustava i ponovno korištenje podataka putem otvorenih sučelja za programiranje aplikacija (API).

Za prvi slučaj, pristup je bio razvoj softvera koji je u stanju prevesti podatke izravnim očitavanjem u memoriju ili putem posredničkog formata datoteka. U drugom slučaju, razvojni programeri stvorili su otvorena sučelja kako bi omogućili pristup podacima. Mnogi GI sustavi sada mogu izravno čitati *AutoCAD DWG* i *DXF*, *Microstation DGN*, *Esri Shapefile*, *VPF* i mnoge slikovne formate.

Nakon što imamo potencijalno koristan izvor geografskih podataka, sljedeći zadatak je uvesti ga u GI bazu podataka. Ako su podatci već u izvornom formatu ciljnog GI sustava ili softver ima izravnu mogućnost čitanja za taj format, onda je to relativno jednostavan zadatak. Ako podatci nisu kompatibilni s ciljanim softverom, alternative su zatražiti od dobavljača podataka da pretvori podatke u kompatibilni format ili korištenje softvera za prevođenje (primjerice *Safe Software* - www.safe.com) (Longley, 2015.)

Unos atributnih podataka obično je vrlo jednostavan. Tehnike unosa prostornih podataka su razne - nema jedinstvenog načina unosa prostornih podataka u GIS. Umjesto toga, postoji nekoliko, međusobno kompatibilnih metoda koje se mogu koristiti pojedinačno ili u kombinaciji.

Postoje najmanje četiri osnovna postupka za unošenje prostornih podataka u GIS:

- digitalizacija
- automatsko skeniranje
- unos koordinata pomoću koordinatne geometrije
- pretvorba postojećih digitalnih podataka.

Izbor metode unosa podataka u velikoj mjeri regulira primjena, raspoloživi budžet, te vrsta i složenost podataka koji se unose.

4.3. Pohrana

Svi veliki GI sustavi izgrađeni su na osnovi geografske baze podataka. Prema Longleyu (2015.), nakon ljudi koji upravljaju i održavaju GI sustave, baza podataka je najvažnija komponenta GIS-a zbog visokih troškova prikupljanja i održavanja te najviše zato što baza podataka čini osnovu svih upita, analiza i donošenja odluka.

Danas praktički sve implementacije velikih GI sustava pohranjuju podatke u sustavu upravljanja bazom podataka (DBMS), specijaliziranom softveru dizajniranom za obradu višekorisničkog pristupa integriranom skupu podataka.

Proširenje standardnog DBMS-a kako bi mogao pohranjivati geografske podatke postavlja nekoliko izazova. Baze podataka moraju biti dizajnirane s velikom pažnjom i trebaju biti strukturirane i indeksirane kako bi pružile učinkovite rezultate upita i transakcija. Interni model podataka koristi se za pohranu podataka primarnih atributa povezanih s topološkom definicijom prostornih podataka. Najčešće ove interne tablice baze podataka sadrže primarne stupce kao što su područje, perimetar, duljina i ID značajke.

Često se tematske atributne podatke drži u vanjskom DBMS-u koji je povezan sa prostornim podatcima putem interne tablica baze podataka. (GeoSpace International, 2009.)

4.4. Dohvaćanje

Sposobnost upita i dohvaćanja podataka na temelju nekih korisnički definiranih kriterija nužna je značajka DBMS-a. Dohvaćanje podataka obuhvaća mogućnost lakog odabira podataka za grafičko ili atributno uređivanje, ažuriranje, upite, analize i(li) prikaze.

Sposobnost dohvaćanja podataka temelji se na jedinstvenoj strukturi DBMS-a a sučelja ovise o softveru. Većina GIS softvera također pruža programsku knjižnicu⁴¹ tako da korisnik može napisati svoje vlastite specifične rutine za dohvaćanje podataka, ukoliko je to potrebno.

Upit⁴² je sposobnost dohvaćanja podataka, obično podskupa podataka, na temelju neke definirane formule. Ove podskupove podataka često nazivamo logičkim prikazima. Mnogi GIS softveri pokušali su standardizirati sposobnost upita pomoću standardnog jezika upita (*SQL*⁴³). Korištenjem *SQL*-a, GIS softver može raditi sa različitim DBMS paketima pa tako ovaj pristup omogućuje korisniku fleksibilnost u odabiru DBMS-a. Ovo ima velik značaj ako organizacija ima postojeći DBMS koji se koristi za zadovoljavanje ostalih poslovnih zahtjeva. (GeoSpace International, 2009.)

⁴¹ Eng. Programming (Subroutine) Library

⁴² Eng. Querying

⁴³ Eng. Structured Query Language

4.5. Analiza

Samo dohvaćanje pohranjenih podataka često je nedovoljno jer korisnici žele povezati i kombinirati podatke kako bi vidjeli uzorke i veze između različitih elemenata. Takve veze mogu biti vidljive u stvarnosti, ali mogu biti prikrivene zbog, primjerice, različitih metoda prikupljanja podataka. Tradicionalni jezici upita baze podataka nude samo skromnu podršku za kombiniranje podataka u obliku spajanja tablica na temelju zajedničkih vrijednosti atributa. Pronalaženje drugih odnosa zahtijeva daljnju matematičku analizu, često pomoću statističkih ili izračunskih metoda. (GeoSpace International, 2009.). Prostorna analiza može otkriti stvari koje bi inače bile nevidljive - može učiniti ono što je implicitno eksplicitnim. (Longley, 2015.) Prostorno-analitičke sposobnosti GIS-a razlikuju ga od drugih sustava za obradu podataka. Te sposobnosti koriste prostorne i neprostorne podatke u prostornoj bazi kako bi odgovorili na pitanja i riješili probleme. Osnovni cilj prostorne analize podataka sastoji se u transformaciji i povezivanju s različitim izvorima i disciplinama u korisne informacije, poboljšanje razumijevanja ili zadovoljavanje zahtjeva ili ciljeva donositelja odluka. (de By, 2001.)

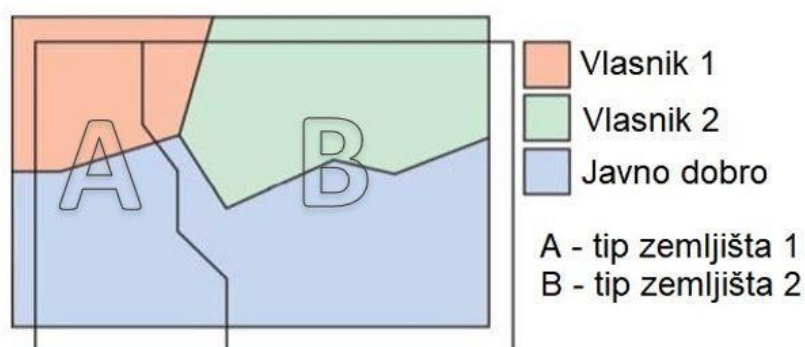
Mnogi GIS proizvodi primjenjuju termin (geo)prostorne analize u vrlo uskom kontekstu. U slučaju vektorskog GIS-a to obično znači operacije kao što su: *overlay* karte (kombinirajući dva ili više karata ili slojeva karte prema unaprijed definiranim pravilima); analiza zone utjecaja (*buffering* - prepoznavanje dijelova karte unutar određene udaljenosti jedne ili više značajki, kao što su gradovi, ceste ili rijeke) i slične osnovne operacije. To se podrazumijeva pod pojmom "prostorne analize" u okviru *Open Geospatial Consortium-a* (OGC). Prema Longleyu (2015.), osnovne prostorne analize dijele se na: analize temeljene na lokaciji (analiza atributnih tablica, prostorna spajanja, *PIP*⁴⁴, *Polygon overlay*, rasterska analiza), i analize temeljene na udaljenosti (mjerjenja, *buffering*, *cluster detection*, procjena gustoće, prostorna interpolacija, ..)

Za *raster-based* GIS, koji se široko koristi u znanostima o okolišu i daljinskom istraživanju, to obično znači niz aktivnosti koje se primjenjuju na rešetke jedne ili više

⁴⁴ Eng. Point In Polygon - U računalnoj geometriji; je li određena točka u ravnini unutar, izvan ili na granici poligona

karata (ili slika) koje često uključuju filtriranje i(li) algebarske operacije (*map algebra*⁴⁵). Te tehnike obuhvaćaju obradu jednog ili više raster slojeva u skladu s jednostavnim pravilima koja rezultira novim slojem karte, na primjer zamjenjujući svaku vrijednost ćelije kombinacijom vrijednosti svojih susjeda ili računanjem zbroja ili razlike specifičnih atributnih vrijednosti za svaku ćeliju u dva podudarna skupa podataka.

U ovom općem izrazu "prostorna analiza" često su uključene deskriptivne statistike, kao što su prosjeci, varijance, maksimumi, minimumi, kumulativne vrijednosti, frekvencije i brojne druge mjere kao i izračun udaljenosti. (de Smith, 2018.)



Slika 15 - Polygon overlay na jednostavnom primjeru: rezultat će biti jedinstveni skup podataka u kojem se svaka točka identificira s jednim tipom zemljišta i jednim tipom vlasništva.

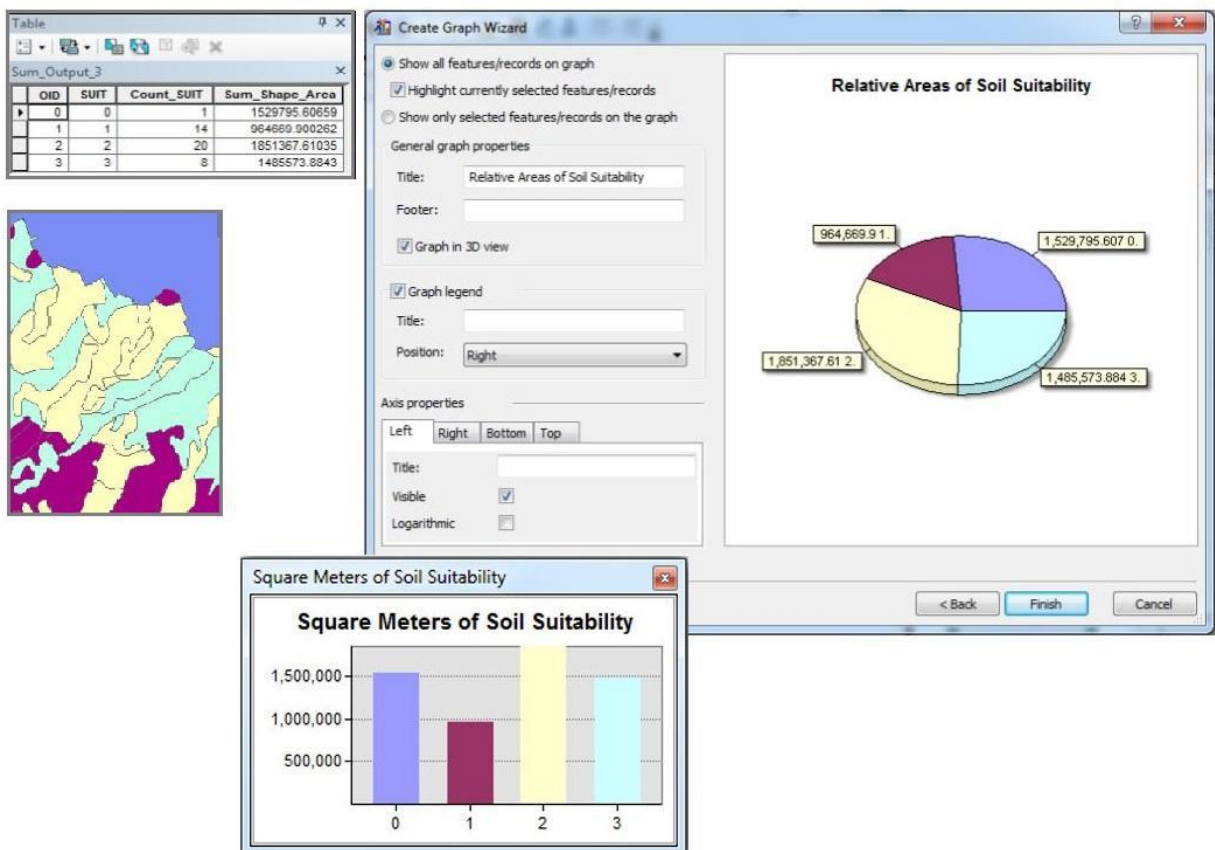
(Izradila autorica prema primjeru iz knjige *Geographic Information Systems and Science* - Longley et al. (2015), str. 301.)

⁴⁵ Eng. Map Algebra (Raster Math) - skup primitivnih operacija u GIS koji omogućava dva ili više raster slojeva (karata) sličnih dimenzija da stvore novi rasterski sloj (kartu) pomoću algebarskih operacija kao što su zbrajanje, oduzimanje itd. (www.gisgeography.com)

4.6. Vizualizacija i izlazni oblici (outputs)

Presudna komponenta GIS-a je njegova sposobnost grafičkog prikazivanja različitih podataka integriranih unutar njega. Time se korisniku omogućuje vizualizacija i time bolje razumijevanje rezultata napravljene analize ili simulacije. Ispis rezultata može biti u obliku novih skupova digitalnih prostornih podataka, karata (2D, 3D), tablica, izvješća, grafikona itd...

Kao odgovor na većinu upita izvještaj se dobiva u formi tematske karte. Vizualizacija informacija u formi karte ima niz značajnih prednosti u odnosu na numeričke izvještaje. Raspored, pravila kretanja i promjene nekih vrijednosti puno je lakše uočiti na tematskoj karti nego iščitati iz alfanumeričke tablice. GIS omogućuje kreiranje različitih formi izvještaja - od tematskih karata i 3D modela terena, preko multimedijalnih prikaza pa sve do klasičnih tabličnih izvještaja. (Jurišić, 2009.)



Slika 16 - Razni formati outputa

(Izvor: Michael Kennedy - Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS (2013))

5. Baze prostornih podataka

Baza podataka može se smatrati integriranim skupom podataka o određenoj temi. (Longley, 2015.) Podatci unutar baze podataka organizirani su tako da im je olakšan pristup i spriječeno nepotrebno dupliciranje. (Heywood, 2007.)

Baza podataka sadrži niz korisnih funkcija:

- može ju koristiti više korisnika istodobno
- svodi redundanciju (nepotrebno dupliciranje podataka) na minimum (Heywood, 2007.)
- nudi brojne tehnike za pohranu podataka i omogućuje korištenje one najučinkovitije (podržava optimizaciju pohrane podataka)
- omogućava kontroliran i centraliziran pristup podacima
- omogućava postavljanje pravila o pohranjenim podacima, koji će se automatski provjeravati nakon svakog ažuriranja podataka (podržava integritet podataka)
- nudi jezik za manipulaciju podacima koji je jednostavan za korištenje, a omogućuje obavljanje svih vrsta ekstrakcija podataka i ažuriranja podataka
- baza podataka će pokušati izvršiti svaki upit na jeziku za manipulaciju podacima na najučinkovitiji način (optimizacija upita) (de By, 2001.)

Prostorne (geografske) baze podataka su baze podataka koje sadrže zemljopisne podatke za određeno područje i predmet. (Longley, 2015.) One pohranjuju prikaze geografskih fenomena iz stvarnog svijeta koji će se koristiti u GIS-u. One su najvažniji i najkritičniji dio svakog operabilnog GIS-a zbog cijene izrade i održavanja te utjecaja na sve analize, modeliranja i odluke. Mogu fizički biti realizirane u obliku datoteka ili posebnih specijaliziranih programa za upravljanje bazama podataka (DBMS).

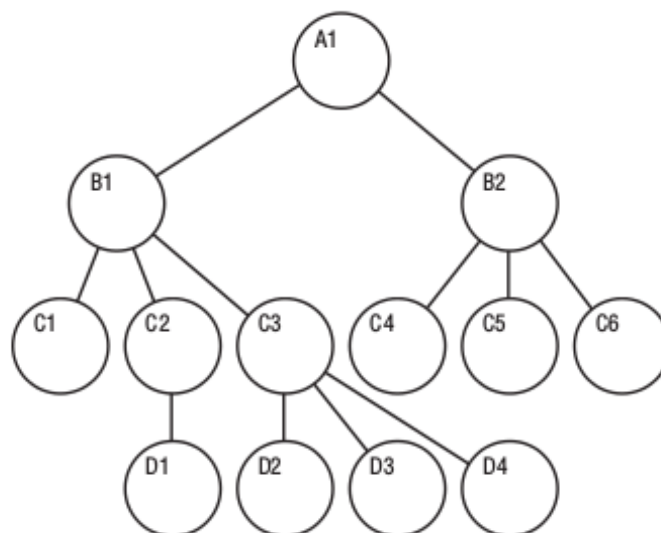
Danas se uglavnom koriste kombinacije datoteka i DBMS za pohranjivanje skupova podataka. (Gajski, 2016.)

5.1. Modeli baza prostornih podataka

Dizajn baze podataka određuje koje tablice će biti prisutne i kakve će stupce (atribute) imati svaka tablica. Dizajn baze podataka (apstraktno definiranje sadržaja buduće baze podataka) poznat je kao shema baze podataka⁴⁶ Da bismo definirali shemu baze podataka, koristimo jezik koji nazivamo model podataka. (de By, 2001.)

5.1.1. Hijerarhijski model

Hijerarhijski model baze podataka organizira podatke u odnosima “roditelj-dijete”. “Roditelj” najviše razine temeljna je radna jedinica. Taj će roditelj imati više “djece”, koja će imati svoju “djecu”. Dobra analogija hijerarhijskom modelu je stablo s pripadajućim granama, gdje iz svake grane rastu manje grane, u tom se slučaju “roditelj” najviše razine naziva i “korijen”. (Slika 17)



Slika 17 - Hijerarhijski model

(Izvor: www.mariadb.com)

Ovaj model, iako je ogromno poboljšanje u odnosu na rad s nepovezanim datotekama, ima neke ozbiljne nedostatke; vrlo je teško implementirati odnos M:N te se brisanjem “roditelja” brišu se i sva njegova “djeca”. Također, hijerarhijski model nije jako fleksibilan jer dodavanje novih odnosa može rezultirati velikim promjenama na postojećoj strukturi, što zauzvrat znači da se i sve postojeće aplikacije trebaju mijenjati.

⁴⁶ Eng. Database schema

Ako se odnosi među podacima često mijenjaju, hijerarhijski model baze podataka zahtijevat će znatan programski napor za održavanje operacija. Redundancija podataka također može biti nerazumno velika. Zbog svojstva kardinalnosti⁴⁷ prednost hijerarhijskog modela je brzo pretraživanje i pohranjivanje podataka. (Austin, 2015.)

Iako je povijesno hijerarhijski model baze podataka bio među prvim značajnim modelima baza podataka (šezdesetih i sedamdesetih godina 20. stoljeća), danas se smatra zastarjelim i rijetko se koristi.

5.1.2. Mrežni model

Mrežni model baze podataka je u mnogočemu sličan hijerarhijskom modelu. Poboljšanje u odnosu na hijerarhijski model leži u tome što je u mrežnom modelu moguće lako implementirati odnos tipa M:N (jedno "dijete" može imati više "roditelja"). Ovo omogućuje veliku brzinu pristupa podacima, istodobno smanjujući redundanciju podataka. Temeljen na matematičkoj teoriji skupova, mrežni model je konstruiran od skupova povezanih zapisa. Ključna strukturalna značajka mrežnog modela baze podataka je uporaba pokazivača⁴⁸ za označavanje veza. Povećanjem broja ovih veza povećava se i vrijeme pristupa podacima (što je složenija struktura - potrebno je više vremena). Iz tog razloga je bitno dobro definirati aplikaciju prilikom dizajniranja baze podataka. (Austin, 2015.)

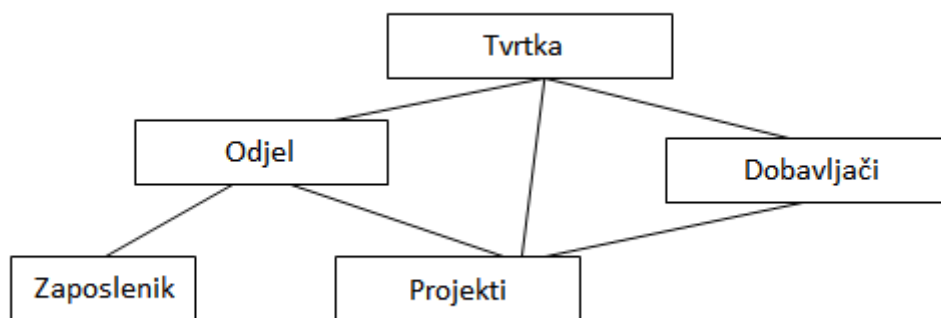
Mrežni model baze podataka nastao je krajem šezdesetih godina 20. stoljeća.

1971. *DBTG CODASYL*⁴⁹ definirao je mrežni model na osnovi kojeg su razvijeni brojni poznati sustavi za upravljanje bazama podataka.

⁴⁷ Korespondencija ili ekvivalentnost između skupova; međusobni odnos između njih. Na primjer, ako je jedan red u tablici povezan s tri retka u drugoj tablici, kardinalnost je jedan naprema više. (www.esri.com)

⁴⁸ Eng. Pointers

⁴⁹ Eng. (DataBase Task Group) Committee On Data Systems Languages - CODASYL konzorcij je osnovan 1959. godine kako bi vodio razvoj standardnog programskog jezika.



Slika 18 - Primjer mrežnog modela
(Izradila autorica)

5.1.3. Relacijski model

Relacijski model baze podataka najrašireniji je i najpoznatiji model koji se primjenjuje u današnje vrijeme u svim tehnologijama pa tako i u GIS-u. Relacijski model podataka je zasnovan na matematičkoj teoriji relacijske algebre, a osmislio ga je Edgar F. Codd 1970. godine, za vrijeme dok je radio za IBM⁵⁰.

Prve realizacije ovog modela bile su vrlo spore i neefikasne, ali razvojem informacijskih tehnologija učinkovitost i brzina su vrlo brzo rasle. Tako je relacijski model osamdesetih godina prerastao u najznačajniji model baza podataka, te ga u današnje vrijeme koristi većina sustava.

Relacijski model baze podataka sastoji se od tablica koje se nazivaju i relacije. Tablice se sastoje od više stupaca, a svaki stupac ima jedinstveno ime po kojem se razlikuje od ostalih u istoj bazi. Jedan stupac relacije sadrži vrijednost jednog atributa, točnije svojstva objekta o kojem prikupljamo podatke. Skup svih vrijednosti koje atribut može poprimiti nazivamo domenom atributa. Svaki red u tablici predstavlja jedan zapis te se još naziva i n-torka. Objekt iz stvarnog svijeta u kojemu se informacije skupljaju, obrađuju i predočavaju nazivamo entitet.

⁵⁰ eng. International Business Machines - američka tvrtka koja je jedna od pionira u razvoju računarstva i informacijskih tehnologija

Tablice se mogu povezati preko stupca koji se nalazi u obje tablice, ali važno je da taj stupac predstavlja neki jedinstveni podatak kao na primjer “ID_KORISNIKA”. U glavnoj tablici takav stupac naziva se primarni ključ⁵¹, dok se u podređenoj tablici naziva strani ključ⁵². (Šimić, 2015.)

Jedna od glavnih prednosti relacijskog modela baze podataka je fleksibilnost u podržavanju širokog raspona upita koje ne treba unaprijed definirati. U tom smislu, relacijski model baze podataka podržava sve moguće kombinacije varijabli i zapisa. (Austin, 2015.)



Slika 19 - Relacijski model baze podataka stalnih geodetskih točaka

(Izvor: <https://demlas.geof.unizg.hr/mod/wiki/view.php?pageid=205>)

Iako se u svakodnevnom govoru pojmovi tablica i relacija koriste kao sinonimi, ipak postoji razlika. Codd je prilikom uvođenja pojma “relacija” definirao da unutar jedne relacije ne smiju postojati dvije n-torke s identičnim vrijednostima svih atributa,

⁵¹ Eng. Primary key

⁵² Eng. Foreign key

redosljed n-torki unutar relacije ne igra ulogu te svi atributi unutar jedne relacije moraju imati različita imena i njihov redosljed nije bitan. (Marijanović, 2011.)

Za rad s relacijskom bazom podataka postoji više jezika. Najpoznatiji je *SQL*, a koriste se i *QUEL* i *QBE*⁵³.

5.1.4. Objektni model

Iako je još uvijek daleko najpopularniji relacijski model baza podataka, Worboys još 1995. sugerira da postoje problemi s relacijskim pristupom upravljanju prostornih podataka. Prostorni podatci se ne uklapaju lako u tablične strukture, a *SQL* jezik za postavljanje upita nema sve potrebne sposobnosti za prostorne ideje i koncepte.

Kao odmak od modela prostornih podataka koji se baziraju striktno na geometrijskim prikazima te predstavljaju svijet kao zbirke točaka, linija i poligona nastao je objektni (objektno-orijentirani) model baze podataka. Temeljni cilj objektnog modela je omogućiti modeliranje podataka koje je bliže stvarnim fenomenima i događajima, "onako kako ih mi vidimo". Ovaj je model primjereniji za geografske informacijske sustave od relacijskog modela jer omogućuje lakše stvaranje kompleksnih objekata iz stvarnog svijeta, ne radi razlike između prostornih i atributnih podataka te je prikladan za grafičke operacije na osnovi ranije spomenutih svojstava kao što su enkapsulacija, nasljeđivanje i polimorfizam. (Heywood, 2006.)

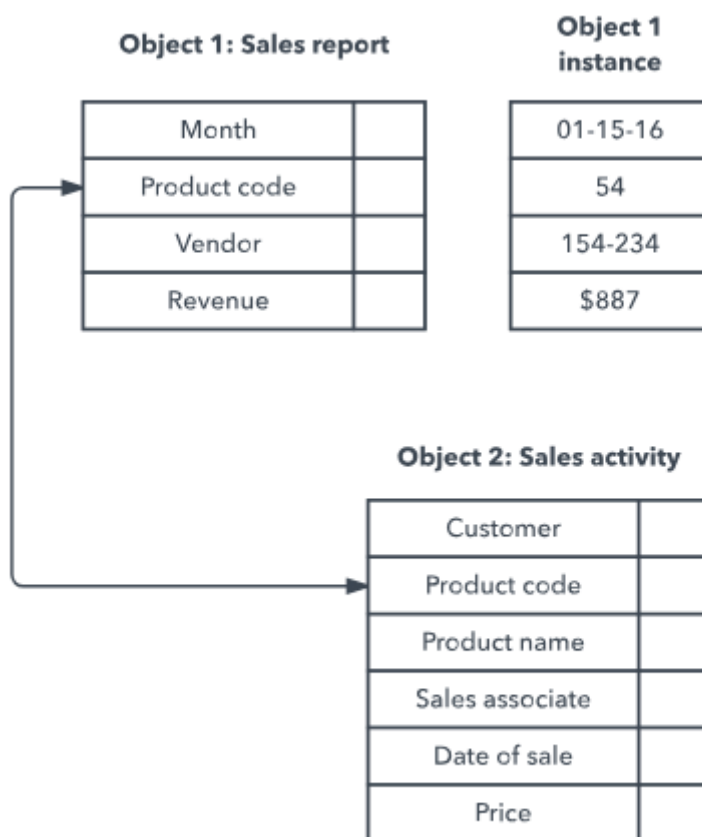
Kod nasljeđivanja se definiranje neke klase vrši korištenjem definicije neke već postojeće klase koja se onda naziva osnovna klasa. Tako dobivena klasa se naziva izvedena klasa. Često se osnovna klasa naziva superklasa, a izvedene klase se nazivaju subklase⁵⁴.

Dobro je definirati klasu kao predložak za objekt, a objekt je samo instanca ili primjerak klase.

⁵³ Eng. Query by Example - upit na osnovu primjera

⁵⁴ Eng. Subclass, u literaturi također i derived class, heir class, child class

Ključna značajka objektnog modela baze podataka je mogućnost korisnika za određivanje strukture objekata i operacija koje se mogu primijeniti nad njima, pa je tako svaki entitet modeliran kao objekt i može se prikazati jednostavnom formulom: *Objekt = stanje + ponašanje* (Heywood, 2006.), gdje stanjima nazivamo sve vrijednosti atributa (podataka i varijabli koje opisuju objekt u njegovom realnom svijetu) koje objekt može sadržavati a ponašanjima skup podržanih metoda (operacija nad objektom). Na taj način objektni model baze podataka objedinjuje podatkovnu i procesnu strukturu i osigurava veću brzinu izvođenja odgovarajućih operacija.



Slika 20 - Objektni model

(Izvor: <https://www.lucidchart.com/pages/database-diagram/database-models>)

Objekt	Stanje	Ponašanje
Hotel	Ime	Može se nacrtati na karti
	Adresa	Može se dodati u bazu podataka
	Broj soba	Može se obrisati iz baze podataka
	Standard smještaja	Standard se može nadograditi
		Broj soba se može povećati ili smanjiti

Tablica 2 - definicija objekta "Hotel" prema primjeru iz "An Introduction to Geographical Information Systems - Heywood, Cornelius, Carver", (2006.)

5.1.5. Objektno-relacijski model

Objektno-relacijski model je hibridni model baze podataka koji kombinira jednostavnost relacijskog modela s nekim od naprednih funkcionalnosti objektnog modela baze podataka. Objektno-relacijski model nudi veću fleksibilnost u vrstama podataka koje se mogu pohraniti i manipulirati. Objekti, klase i nasljeđivanje izravno su podržani u shemama baze podataka i u jeziku upita.

6. Sustavi za upravljanje bazama podataka

Za potrebe geografskih informacijskih sustava koristi se velika količina podataka zajedno sa prilično složenim vezama među njima. Za pohranu podataka koriste se baze podataka. Dodavanje, brisanje, mijenjanje, upravljanje te čitanje podataka vrši se pomoću posebnog softvera odnosno sustava za upravljanje bazom podataka (SUBP ili eng. *DBMS*).

6.1. Građa sustava za upravljanje bazama podataka

Sustav za upravljanje bazama podataka sastoji se od četiri glavna dijela:

- jezika za modeliranje
- strukture podataka
- jezika upita baze podataka
- mehanizama transakcije

Za sustav za upravljanje bazama podataka kažemo da ima tri razine:

- vanjska razina - način na koji korisnici percipiraju podatke
- logička razina - mapiranje i međuovisnosti između vanjske i unutarnje razine
- fizička razina - način na koji operacijski sustav i sustav za upravljanje bazom podataka percipiraju podatke (fizička organizacija podataka i upravljanje memorijom)

Komponente koje tvore sustav za upravljanje bazom podataka (Slika 21) su :

Mehanizam pohranjivanja⁵⁵ prihvaća logičke zahtjeve iz raznih drugih DBMS podsustava, pretvara ih u fizički ekvivalent i zapravo pristupa bazi podataka i rječniku podataka onakvima kakvi postoje na mediju za pohranu.

Podsustav za definiranje podataka⁵⁶ pomaže korisniku u stvaranju i održavanju rječnika podataka i definiranju struktura datoteka u bazi podataka.

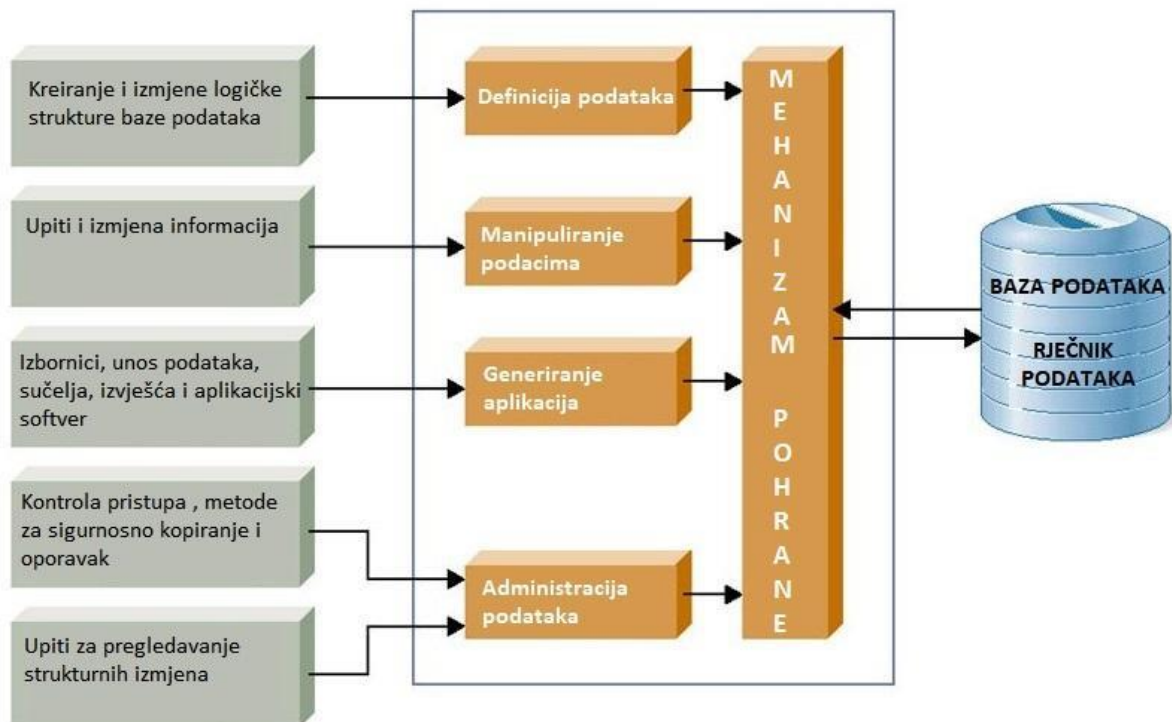
⁵⁵ Eng. DBMS Engine

⁵⁶ Eng. Data Definition Subsystem

Podsustav za manipulaciju podacima⁵⁷ pomaže korisniku dodati, mijenjati i brisati podatke u bazi podataka postavljati upite. Softverski alati unutar podsustava za manipulaciju podacima najčešće su primarno sučelje između korisnika i informacija sadržanih u bazi podataka te tako omogućuje korisniku da definira svoje zahtjeve za logičkim informacijama.

Podsustav za generiranje aplikacija⁵⁸ sadrži mogućnosti za pomoć korisnicima u razvoju aplikacija za transakcije. Omogućuje jednostavne zaslone za unos podataka, programske jezike i sučelja.

Podsustav za administraciju podataka⁵⁹ pomaže korisnicima da upravljaju cjelokupnim okruženjem baze podataka pružajući usluge za sigurnosno kopiranje i oporavak, upravljanje sigurnošću, kontrolu istovremenog pristupa više korisnika te optimizaciju upita i upravljanje promjenama.



Slika 21 - Komponente sustava za upravljanje bazom podataka

(Izradila autorica prema primjeru sa URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/database-management-system-dbms-6588731788.html>)

⁵⁷ Eng. Data Manipulation Subsystem

⁵⁸ Eng. Application Generation Subsystem

⁵⁹ Eng. Data Administration Subsystem

6.2. Funkcije sustava za upravljanje bazama podataka

Sustav za upravljanje bazom podataka je softverski sustav koji upravlja izvođenjem svih operacija s bazom podataka, od njena kreiranja nadalje. Ovdje spadaju kreiranje, mijenjanje i brisanje strukturiranih entiteta na svim trima razinama viđenja baze, definiranje preslikavanja među razinama, unos, povrat, mijenjanje i brisanje podataka, kao i definiranje ograničenja i ovlasti koje se odnose na pojedine korisnike, podatke i operacije. Ukratko, DBMS zaista upravlja svim zbivanjima u bazi i s bazom i to u izvršnom smislu ((Marijanović, 2011.) prema Radovan, 1993.).

Za obavljanje navedenih funkcija sustav za upravljanje bazom podataka mora imati uvid u strukturu entiteta iz baze podataka kojom upravlja te u tu svrhu sam kreira jednu posebnu bazu u koju pohranjuje podatke o strukturnim osobinama svih entiteta iz korisničke baze podataka. Takva se baza naziva katalog.

Sustav za upravljanje bazom podataka logički organizira podatke prema modelima podataka koji su ranije opisani (hijerarhijski, mrežni, relacijski, objektni, ...) pri čemu treba izabrati onaj model koji najbolje odgovara podacima koji se modeliraju u bazu podataka. O tome ovisi brzina pristupanja podacima te operacija koje će se nad njima provoditi. Također, DBMS fizički organizira podatke na mediju na kojemu je pohranjena baza podataka.

Sustavi za upravljanje bazama podataka mogu koristiti bilo koji od različitih modela baze podataka, kao što su ranije opisani relacijski model ili objektni model. U velikim sustavima, sustav za upravljanje bazama podataka omogućuje korisnicima ali i drugim softverima pohranu i dohvaćanje podataka na strukturiran način.

Neke od funkcija sustava za upravljanje bazom podataka su funkcije za definiranje baze podataka⁶⁰. Ove funkcije ostvaruju se standardnim jezikom za rad s bazom podataka, kao što je SQL kod relacijskih baza podataka, ili zasebnim jezikom DDL⁶¹ kod mrežnih i hijerarhijskih baza podataka. U oba slučaja jezikom se opisuje shema baze podataka koja sadrži logički opis baze podataka (naziv, tip, format i opis svakog

⁶⁰ Eng. Data Definition

⁶¹ Eng. Data Definition Language - računalni jezik za definiranje podatkovnih struktura

podatka te odnos prema drugim elementima podataka), kao i njen fizički opis (fizičku organizaciju baze podataka). (Marijanović, 2011.)

Iduća je funkcija za manipulaciju podacima u bazi podataka. Ove funkcije ostvaruju se zasebnim, često nestandardnim jezikom (DML⁶²) kao što je *SQL* kod relacijskih baza podataka ili dodavanjem DML naredbi u tradicionalne programske jezike *COBOL*, *PL/I*, *FORTRAN*, *C* ili *Pascal*.

Posljednje, ali ne i manje važne su upravljačke funkcije poput funkcije sigurnosti baze podataka, odnosno zaštite od neovlaštenog korištenja (korisnicima se specificira koje operacije nad bazom podataka mogu obavljati), funkcije čuvanja integriteta baze podataka i zaštita od mogućih oštećenja (baza podataka štiti se uzimanjem sigurnosnih kopija), funkcija oporavka u slučaju eventualnog oštećenja, te funkcije statističkog praćenja rada baze podataka. (Marijanović, 2011.)

6.3. Osobine i razvoj sustava za upravljanje bazama prostornih podataka

Standardizacija prostornih podataka i operacija nad njima od ogromne je važnosti za uspješnost i budući napredak GIS softvera. Unatoč tome, geoinformacijski sustavi najčešće koriste vlastite, nestandardizirane sustave za spremanje prostornih podataka pa tako formati prostornih podataka zapravo ovise o proizvođaču softvera.

Kao što je već ranije spomenuto, relacijski model podataka dominira poslovnim informacijskim sustavima i svoj položaj duguje upravo standardizaciji upitnog jezika. Međutim, relacijski sustavi za upravljanje bazama podataka pogodni su za poslovne aplikacije koje upravljaju velikim skupovima podataka, ali ti podatci imaju vrlo jednostavnu strukturu, pa je samim time teško koristiti čisti relacijski model za upravljanje prostornim podacima s obzirom na to da je njihova struktura puno kompleksnija.

⁶² Eng. Data Manipulation Language

Suvremeni objektno-relacijski sustavi za upravljanje bazama podataka sa svojim su proširenjima za prostorne podatke postali ozbiljna alternativa za skupe i složene GIS softvere kad se radi o prostornim podacima u dvodimenzionalnom prostoru. (Medak, 2005.) U istraživanju pod nazivom “Usporedba komercijalnih i slobodnih sustava za upravljanje bazama prostornih podataka” (2005.) objavljenom na Trećem hrvatskom kongresu o katastru dana je usporedba funkcionalnosti komercijalnih i slobodnih sustava za upravljanje bazama podataka, te se procijenila isplativost izbora sustava.

Isko se radi o istraživanju koje se već može smatrati zastarjelim, ono daje dobar primjer i neku vrstu povijesnog uvida u trend razvoja ekstenzija za prostorne podatke za sustave za upravljanje bazama podataka.

Kao primjer je uzet *Oracle Spatial*, koji je u današnje vrijeme poznat pod nazivom *Oracle Spatial and Graph*, prostorna ekstenzija jednog od najraširenijih komercijalnih sustava za upravljanje bazama podataka *Oracle*. *Oracle Spatial and Graph* danas uključuje snažne performanse i omogućuje podršku za poslovne i prostorne baze podataka i analitiku za *Oracle Database 18c*, u oblaku i lokalno. Podržava poslovne procese u poduzećima, poslovnu inteligenciju, geografske informacijske sustave velikih razmjera i aplikacije za usluge lokacije. Graf baza opće namjene i analitičke značajke podržavaju aplikacije za društvene mreže, Internet stvari (*IoT*⁶³), otkrivanje prijevara i sustave preporuka. (Oracle, 2018.)

Prema primjeru iz 2005., (*Oracle Spatial*) kao temeljno proširenje u prostornoj ekstenziji za *Oracle* dodan je novi, geometrijski atribut *SDO_GEOMETRY*. Tako se na primjer tablica *Grad* s informacijom o granici gradskog područja mogla definirati naredbom:

```

Create Table                               Grad
(Ime      varchar                            (30)
 Post_broj varchar                            (10)
 Broj_stan integer,
 Granica  MDSYS.SDO_GEOMETRY)

```

Tablica 3 - Naredba za definiranje tablice *Grad*

(Izvor: (Medak, 2005.))

⁶³ Eng. Internet of Things

Geometrijski tip se može sastojati od jednog elementa ili od liste elemenata; točka, niz dužina ili poligon. Lista može sadržavati elemente različitog tipa te se na taj način mogu prikazati složeni objekti. Unos podataka u bazu se potom vrši standardnom naredbom iz *SQL-a* (*insert*). (Medak, Pribičević, Medved, Odošić, 2005.)

Oracle Spatial je tako ponudio podršku za prostorne operatore (indeksne i ostale). Indeksni su oni operatori koji podržavaju prostorni indeks: *SDO_RELATE*, *SDO_FILTER* i *SDO_WITHIN_DISTANCE*. Primjerice, operator *SDO_RELATE* provjerava topološke odnose između dvaju prostornih objekata pa tako omogućuje ispitivanje bilo kojeg od sljedećih odnosa: *sadržavati*, *biti prekriven*, *pokrivati*, *biti razdvojen*, *biti jednak*, *biti unutar*, *preklapati* i *dodirivati*.

Ostali geometrijski operatori su: zoniranje (*SDO_BUFFER*), te skupovne operacije unija, razlika i presjek. Tako se, primjerice, sve građevinske zone u nekom gradu mogu naći sljedećim upitom:

```

select    INTERSECTION                               (Zemljiste.geometrija, Grad.granica)
from      Zemljiste,                                 Grad
where     Grad.ime='Zagreb'
and       Zemljiste.tip='gradnja'
and       MDSYS.SDO_RELATE(Grad.granica,
              Zemljiste.geometrija,
              'mask=OVERLAP')='TRUE'

```

Tablica 4 - Upit za pronalaženje građevinskih zona u gradu

(Izvor: (Medak, 2005.))

Operacijama *SDO_GEOM.AREA* i *SDO_GEOM.LENGTH* mogle su se tako izračunati površina dvodimenzionalnog odnosno duljina jednodimenzionalnog objekta. (Medak, 2005.)

Kako je prvi primjer bio komercijalnog tipa, autori istraživanja ponudili su i usporedbu sa slobodnim sustavima te su za primjer uzeli *PostgreSQL* kao jedinu ozbiljnu alternativu komercijalnim sustavima za upravljanje bazama podataka na području upravljanja prostornim podacima u to vrijeme. *PostgreSQL* je utemeljen na objektno-

relacijskom sustavu za upravljanje bazama podataka *POSTGRES* i kao takav uključuje ranije opisane koncepte nasljeđivanja, korisničkih tipova podataka i funkcija kao bitna proširenja standardnog relacijskog modela. Što se tiče upravljanja prostornim podacima *PostgreSQL* je ponudio ugrađene geometrijske tipove: točku, liniju, poligon, pravokutnik i krug, te prostorne operacije nad tim tipovima.

Prostorne podatke u *PostgreSQL*-u je bilo moguće donekle modelirati i bez prostornih proširenja: primjerice, za preklapanje dvaju pravokutnika uz korištenje jednostavne operacije "#":

```
SELECT box '((0,0),(2,2))' # box '((1,1),(3,3))';
resultset:
(2,2),(1,1)
```

Tablica 5 - Upotreba operacije "#"

(Izvor: (Medak, 2005.))

Kao proširenje *PostgreSQL*-a za napredno rukovanje prostornim podacima naveden je također slobodni softver *PostGIS* (vrlo popularan i danas). *PostGIS* podržava naprednu tehnologiju indeksiranja prostornih podataka, čime se značajno ubrzava izvođenje upita koji uključuju prostorne attribute te tako omogućuje potpunu podršku upravljanja vrlo velikim bazama prostornih podataka na standardiziran način.

(Medak, 2005.)

PostGIS je također uključivao prostorne operatore poput: **A&<B** ili **A&>B** (*preklapanje* ili *lijevo od*, *preklapanje* ili *desno od*), **A<<B** ili **A>>B** (*striktno lijevo/desno od*), **A~B** (*granični pravokutnik sadržan u*), **area2d(geometry)** (*površina* (ako je argument poligon)), te razne operatore za mjerenja duljine, udaljenosti i međusobnih odnosa objekata.

U konačnici rada izvedena je usporedba općih osobina dvaju komercijalnih i dvaju slobodnih sustava za upravljanje bazama podataka (Tablica 5).

Prema mišljenju autora, a što je vidljivo iz izvedene tablice (Medak, 2005.), funkcionalna usporedba, vezana uz *OpenGIS* specifikaciju jednostavnih geometrijskih objekata⁶⁴ za *SQL*, pokazuje da su tadašnji komercijalni i tadašnji slobodni sustavi za upravljanje prostornim podacima bili izjednačeni u funkcionalnosti. Prednost komercijalnih sustava bila je neupitno u raširenosti na tržištu uvjetovanoj činjenicom da su dugi niz godina bili jedini mogući izbor. Međutim, visok stupanj standardizacije te implementacija novih trendova u razvoju *SQL*-a od strane slobodnih sustava te mogućnost instalacije i korištenja takvih sustava na jeftinijem hardveru i bez plaćanja licenci, učinila je slobodnim sustavima ozbiljnom alternativom komercijalnim.

⁶⁴ Provedbeni standard za geografske informacije prema Open Geospatial Consortium Inc. (2011.)

Svojstvo	SQL Server	Oracle	MySQL	PostgreSQL
otvoreni kod			x	x
slobodni softver			x	x
ACID ⁶⁵ uvjeti	x	x		x
ANSI SQL kompatibilnost	x	x		x
referentni integritet	x	x		x
replikacija	x	x	x	x
pravila	x	x		x
pogledi	x	x		x
okidači	x	x		x
podrška za Unicode	x	x		x
nizovi		x		x
nasljeđivanje		x		x
vanjsko spajanje	x	x		x
podizbori	x	x		x
otvoreno sučelje za aplikacije			x	x
spremljene procedure	x	x		x
podrška za SSL	x	x	x	x
proceduralni jezici	x	x		x
indeksi	x	x	x	x

Tablica 5 - Usporedba komercijalnih i nekomercijalnih DBMS – opće osobine

(Izvor: Medak, Pribičević, Medved, Odobašić: Usporedba komercijalnih i slobodnih sustava za upravljanje bazama prostornih podataka, 2005.)

⁶⁵ ACID - prema atomičnost (eng. *atomicity*), konzistentnost (eng. *consistency*), izolacija (eng. *isolation*), trajnost (eng. *durability*)

Tvrđnje iz prethodnog istraživanja vezane za konkurentnost slobodnih sustava za upravljanje bazama podataka stoje i danas. Prema popularnoj internetskoj stranici za usporedbu sustava za upravljanje bazama podataka *DB-Engines.com*, slobodni sustavi po popularnosti već godinama u stopu prate komercijalne (Slika 22).

343 systems in ranking, July 2018

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Jul 2018	Jun 2018	Jul 2017			Jul 2018	Jun 2018	Jul 2017
1.	1.	1.	Oracle +	Relational DBMS	1277.79	-33.47	-97.09
2.	2.	2.	MySQL +	Relational DBMS	1196.07	-37.62	-153.04
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server +	Relational DBMS	1053.41	-34.32	-172.59
4.	4.	4.	PostgreSQL +	Relational DBMS	405.81	-4.86	+36.37
5.	5.	5.	MongoDB +	Document store	350.33	+6.54	+17.56
6.	6.	6.	DB2 +	Relational DBMS	186.20	+0.56	-5.05
7.	7.	↑ 9.	Redis +	Key-value store	139.91	+3.61	+18.40
8.	8.	↑ 10.	Elasticsearch +	Search engine	136.22	+5.18	+20.25
9.	9.	↓ 7.	Microsoft Access	Relational DBMS	132.58	+1.59	+6.45
10.	10.	↓ 8.	Cassandra +	Wide column store	121.06	+1.84	-3.07

Slika 22 - Rangiranje sustava za upravljanje bazama podataka u 2018. (ažurira se na mjesečnoj bazi)

(Izvor: <https://db-engines.com/en/ranking>)

U kontekstu proširenja za prostorne podatke, u današnje vrijeme sustavi za upravljanje bazama podataka nude još širu paletu alata.

PostGIS uvrštava prostorne tipove poput geometrije, zemljopisa, rastera i drugih u *PostgreSQL* bazu podataka te omogućava funkcije, operatore i poboljšanja indeksa koji se primjenjuju na te prostorne tipove. Ove dodatne funkcije, operatori i tipovi tako dodatno povećavaju snagu osnovnog *PostgreSQL* sustava, što ga čini vrlo brzim, funkcionalnim i robusnim sustavom (PostGIS.net, 2018.) U prilog ovom opisu idu i rezultati uspoređivanja izvedbe *Oracle Spatial*-a i *PostGIS*-a (Shukla, 2016.). Za usporedbu izvedbe upotrijebljen je isti skup podataka i postavljena su tri upita (Slika 23).

*Query 1: select * from nyc_census_blocks;*

SDBMS	Time (Seconds)	Cost (units)
Oracle Spatial	1.51	1068
Postgres PostGIS	0.00467	2064

Query 2: select sdo_geom.sdo_length(geom,0.005) from nyc_streets where name='Columbus Cir';

SDBMS	Time (milliseconds)	Cost (units)
Oracle Spatial	5	516
Postgres PostGIS	2.431	764

Query 3: select sum(sdo_geom.sdo_area(geom,0.005))/4047 from nyc_neighborhoods where boroname='Manhattan';

SDBMS	Time (milliseconds)	Cost (units)
Oracle Spatial	30	14
Postgres PostGIS	0.667	16

Slika 23 - Usporedba performansi predmetnih sustava za tri prostorna upita

(Izvor: Shukla, Shivnani, Shah: *Comparing Oracle Spatial and Postgres PostGIS*, 2016.)

Prema rezultatima istraživanja autori su zaključili da je *Oracle Spatial* relativno sporiji od *PostGIS*-a kada su u pitanju dohvaćanje podataka i upiti. U svim upitama razlika u brzini između *Oracle Spatial* i *PostGIS* je najmanje 50%. U najboljem slučaju, *PostGIS* je gotovo 450% brži u izvršavanju upita u usporedbi sa *Spatial*-om, ali ukoliko uzmemo računalne resurse kao parametar za usporedbu, izvršenje upita je “skuplje” kod *PostGIS*-a.

Aktualna inačica *PostGIS*-a danas nudi:

- Obradu i analitičke funkcije za vektorske i rasterske podatke za isijecanje, izdvajanje, kombiniranje, oblikovanje, reklasifikaciju i prikupljanje
- *Raster/map algebra* za finu obradu rastera
- Prostorne SQL funkcije za vektorske i rasterske podatke
- Podršku za uvoz i izvoz *ESRI shapefile* vektorskih podataka uz mogućnost korištenja komandne linije i koriničkog sučelja te podršku za više formata putem drugih 3rd-party⁶⁶ slobodnih alata

⁶⁶ Treća strana – neizravni sudionici

- Upakirane naredbe za uvoz rasterskih podataka iz mnogih standardnih formata: *GeoTiff, NetCDF, PNG, JPG* itd.
- Funkcije za podršku pri prikazivanju i uvozu vektorskih podataka za standardne tekstualne formate kao što su *KML, GML, GeoJSON, GeoHash* i *WKT* pomoću *SQL*-a
- Prikazivanje rasterskih podataka u različitim standardnim formatima *GeoTIFF, PNG, JPG, NetCDF*, pomoću *SQL*-a
- Raster/vektor *SQL* funkcije za izvlačenje vrijednosti piksela po geometrijskoj regiji, prikazivanje statističkih podataka po regijama, izrezivanje rastera prema geometriji i vektoriziranje rastera
- Podršku za 3D objekte, prostorne indekse i funkcije
- Podršku za mrežnu topologiju, itd. (PostGIS, 2018.)

Sa strane napretka u prostornim proširenjima komercijalnih sustava za upravljanje bazama (prostornih) podataka najbolje je za primjer uzeti *Oracle-ov Spatial and Graph* koji slovi kao jedan od najpoznatijih.

Njegova najnovija (stabilna) inačica *12c Release 1* sadrži, uz već opisane značajke iz ranijih verzija:

- *MDSYS*⁶⁷ shemu koja definira pohranu, sintaksu i semantiku podržanih geometrijskih tipova podataka
- Sustav za prostorno indeksiranje
- Poboljšan i proširen geometrijski model kroz *NURBS*⁶⁸ tehnologiju
- Poboljšanja performansi (do 100 puta brže prostorne funkcije i operatori u usporedbi s prethodnim verzijama)
- Operatore, funkcije i procedure za izvršavanje upita za područja interesa, upite prostornog spajanja i druge operacije prostorne analize
- Funkcije i procedure za operacije korisnosti i ugađanja
- Topološki podatkovni model za rad s podacima vezanim uz čvorove, granice i oblike u topologiji

⁶⁷ Od eng. Multi-Dimensional Dystem - višedimenzionalni sustav

⁶⁸ Od eng. Non-Uniform Rational B-Spline - modeliranje krivulja, prikaz nepravilnih oblika uz pomoć postojećih oblika, omogućava prikaz kompleksnih oblika s manje podataka

- *GeoRaster* mogućnost koja omogućuje spremanje, indeksiranje, postavljanje upita, analizu i isporuku *GeoRaster* podataka (rasterskih slika i mrežnih podataka te njihovih povezanih metapodataka)
- Trodimenzionalne tipove podataka i operatore uključujući *TIN*, oblake točaka i *LiDAR*⁶⁹ skupove podataka s indeksiranjem prostornih R-stabala, *SQL* operatore i funkcije analize, itd. (Oracle, 2018.)

⁶⁹ Od eng. Light Detection and Ranging - tehnologija prostornog laserskog skeniranja, potpuno automatizirana i izuzetno učinkovita metoda prikupljanja prostornih podataka

7. Zaključak

Prostorni podatci dio su naše svakodnevice već stoljećima. Već zastarjele, analogne karte su nam donedavno bile glavno pomoćno sredstvo prilikom percepcije, razumijevanja i smještanja događaja i objekata u prostor. Pojavom i razvojem geo(grafskih) informacijskih sustava (GIS) pojavile su se nove mogućnosti upravljanja prostornim podacima, razvojem novih proizvoda i usluga na temelju njih razvijaju se gospodarske i tržišne grane te nove generacije znanja i stručnjaka, a razvojem novih metoda za prikupljanje prostornih podataka stvara se sve veća količina prostornih (i neprostornih) podataka. Neizmijerna vrijednost leži u informacijama koje iz promišljenog, pravilnog i smislenog rukovanja prostornim podacima možemo izvući; od donošenja poslovnih odluka, upravljanja poljoprivrednim kulturama, planiranja urbanog razvoja pa sve do spašavanja života predviđanjem poplava pomoću GIS alata. Za potrebe geografskih informacijskih sustava potrebno je zato rukovati velikom količinom podataka zajedno sa prilično složenim vezama među njima, istovremeno osiguravajući sigurnost i integritet podataka ali i prikladnu brzinu i točnost izvođenja operacija nad njima. Za pohranu podataka koriste se baze podataka, a za dodavanje, brisanje, mijenjanje, upravljanje te čitanje podataka odgovoran je sustav za upravljanje bazom podataka. Specifična kompleksnost prostornih podataka predstavlja velik izazov pri planiranju baze prostornih podataka, njihovom učinkovitom pohranjivanju i dohvaćanju te izvođenju raznih vrsta analiza. Naglasak u ophođenju sa prostornim podacima za potrebe GIS-a je na pojednostavljivanju u svrhu lakšeg rukovanja, ali je bitno pri modeliranju i planiranju zadržati mogućnost pohrane i rukovanja velikom količinom informacija koje su sadržane u njima. Do te ravnoteže se postupno dolazi razvojem raznih računalnih metoda, kao i međusobnim kombiniranjem istih. U ovom radu opisani su prostorni podatci kao okosnica svakog GIS-a te razni načini rukovanja njima koji su s razvojem drugih tehnologija i ukorak s rastućim potrebama tržišta napredovali u raznim smjerovima. Iz svega obrađenog jasno je da je potreba za pojednostavljenjem kompliciranih koraka u razvoju uvijek prisutna, a proširenje mogućnosti upravljanja prostornim podacima neprekidan je proces.

Popis literature

Knjige

Austin, R. F., Disera, D. P., Books, T. J., 2015. *GIS for Critical Infrastructure Protection*, Boca Raton, CRC Press.

Cetl, V., Landek, M., Ponjavić, M., 2011., *Prostorni podaci i GML*, Zagreb, List studenata Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Clarke, K. C., 2001.. *Getting Started With Geographic Information Systems*, treće izdanje, Upper Saddle River New Jersey, Prentice Hall, Inc.

de By, R., 2001., *Principles of Geographic Information Systems*, drugo izdanje, Enschede, ITC Educational Textbook Series

Fazal, S., 2008., *Gis Basics*, prvo izdanje, New Delhi, New Age International.

Gajski, D., 2017. Geodetski fakultet, predavanja, Zagreb

GeoSpace International, 2009., *Geographic Information Technology Reference Guide*

Heywood, I. e. a., 2006., *An introduction to geographical information systems*, treće izdanje, Madrid, Prentice-Hall, Inc.

Jurišić, M. P. I., 2009., *Geoinformacijski sustavi, GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša*, Osijek, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Lo, C. Y. A., 2006., *Concepts and techniques of geographic information systems*, Upper Saddle River New Jersey, Prentice-Hall, Inc.

Longley, P. e. a., 2005., *Geographical Information Systems and Science*, drugo izdanje, Engleska, John Wiley & Sons, LTD.

Longley, P. e. a., 2015., *Geographic Information Science and Systems*, četvrto izdanje, SAD, Wiley.

Marijanović, M., 2011., *Objektno orijentirano modeliranje podataka*, završni rad, Pula, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Petrović, N., 2010. *Upotreba geoprostornih baza podataka za optimiziranje parametara miniranja*, diplomski rad, Varaždin, Geotehnički fakultet Varaždin

Radovan, M., 1993., *Baza podataka: Relacijski pristup i SQL*, Zagreb, Informator

Šimić, T., 2015., *Objektno orijentirane baze podataka*, završni rad, Pula, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Web izvori

ArcGIS Desktop, 2018.. Identify data quality requirements. [Online]

Available at: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/validating-data/identify-data-quality-requirements.htm>

[Accessed srpanj 2018.].

de Smith, M. G. M. L. P. a. c., 2018.. Geospatial Analysis - A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. [Online]

Available at: <https://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>

[Accessed 4 srpanj 2018.].

DGU, 2018.. DGU - Geodetsko informatički rječnik. [Online]

Available at: <https://dgu.gov.hr/istaknute-teme/geodetsko-informaticki-rjecnik/163>

[Accessed 10 srpanj 2018.].

GIS Lounge, 2008.. Spatial Data Quality: An Introduction. [Online]

Available at: <https://www.gislounge.com/spatial-data-quality-an-introduction/>

[Accessed srpanj 2018.].

GITTA, 2003.. Geographic Information Technology Training Alliance - Attribute Accuracy. [Online]

Available at: <http://www.gitta.info/MetaDataQual/en/multimedia/attributeaccuc.pdf>

[Accessed srpanj 2018.].

Medak, D. P. B. M. I. O. D., 2005.. Usporedba komercijalnih i slobodnih sustava za upravljanje bazama prostornih podataka. [Online]

Available at:

https://www.researchgate.net/publication/315407901_Usporedba_komercijalnih_i_slobodnih_sustava_za_upravljanje_bazama_prostornih_podataka

[Accessed srpanj 2018].

Oracle, 2018.. Oracle Spatial and Graph. [Online]

Available at:

<http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatialandgraph/overview/index.html>

[Accessed 10. srpanj 2018.].

PostGIS, 2018.. PostGIS Features. [Online]

Available at: <https://postgis.net/features/>

[Accessed 10 srpanj 2018.].

Shukla, D. S. C. S. D., 2016.. Comparing Oracle Spatial and Postgres PostGIS. [Online]

Available at: <http://csjournals.com/IJCSC/PDF7-2/16.%20Deepika.pdf>

[Accessed srpanj 2018.].

Zakon.hr, 2018.. Zakon o Nacionalnoj infrastrukturi prostornih podataka. [Online]

Available at: <https://www.zakon.hr/z/592/Zakon-o-Nacionalnoj-infrastrukturi-prostornih-podataka>

[Accessed srpanj 2018.].

ESRI Press, 2018., *Abstract Machine - Humanities in GIS*, [Online]

Available at:

<https://esripress.esri.com/storage/esripress/images/278/abstractmachine-samplechapter.pdf>

[Accessed srpanj 2018.].

Popis slika

Slika 1 - Crtež iz špilje Lascaux - “Velika dvorana bikova”	4
Slika 2 - Dr. Roger Tomlinson (1933-2014), “otac GIS-a”	5
Slika 3 - Komponente GIS-a	9
Slika 4 - Varijacija desktop tipa	10
Slika 5 - Desktop tip izgradnje (arhitekture GI sustava)	10
Slika 6 - Klijent-poslužitelj tip izgradnje GI sustava	11
Slika 7 - Centralizirani GI sustav (oblak)	12
Slika 8 - Različiti tipovi GIS softvera	14
Slika 9 - Razine apstrakcije GI modela podataka	22
Slika 10 - Atributna tablica na jednostavnom primjeru rasterskog prikaza	24
Slika 11 - Jednostavna raster struktura a) model, b) vrijednosti ćelija, c) struktura datoteke	25
Slika 12 - Jednostavni primjer vektorskog modela	27
Slika 13 - Primjer objektnog modela	30
Slika 14 - Etape u prikupljanju prostornih podataka	34
Slika 15 - Polygon overlay na jednostavnom primjeru.	40
Slika 16 - Razni formati outputa	41
Slika 17 - Hijerarhijski model	43
Slika 18 - Primjer mrežnog modela	45
Slika 19 - Relacijski model baze podataka stalnih geodetskih točaka	46
Slika 20 - Objektni model	48
Slika 21 - Komponente sustava za upravljanje bazom podataka	51
Slika 22 - Rangiranje sustava za upravljanje bazama podataka u 2018.)	59
Slika 23 - Usporedba performansi predmetnih sustava za tri prostorna upita	60

Popis tablica

Tablica 1 - Neki od uobičajenih modela prostornih podataka	23
Tablica 2 - definicija objekta "Hotel" prema primjeru iz "An Introduction to Geographical Information Systems - Heywood, Cornelius, Carver", (2006.).....	49
Tablica 3 - Naredba za definiranje tablice Grad.....	54
Tablica 4 - Upit za pronalaženje građevinskih zona u gradu	55
Tablica 5 - Upotreba operacije "#"	56

Sažetak

Cilj je ovog rada istraživanje pojma GIS te računalne potpore istome u vidu prostornih podataka i raznih metoda za rukovanje njima. Razvojem tehnologije razvijale su se i razne vrste operacija nad prostornim podacima koje obuhvaćaju njihovo prikupljanje i unos, pohranu, dohvaćanje, analizu te u konačnici vizualizaciju i outpute. Prostorni su podatci vrlo širokog opsega pa ih je potrebno učinkovito skladištiti korištenjem baza (prostornih) podataka i sustava za upravljanje bazama podataka kao računalne podrške za njihovu izgradnju, održavanje i učinkovito korištenje. Radi brzog i velikog rasta količine prostornih podataka nužno se razvijaju i sve učinkovitije metode za njihovo upravljanje.

Ključne riječi: GIS, geografski informacijski sustav, podatci, baza podataka, sustav za upravljanje bazom podataka

Summary

The aim of this paper is to see into the concept of GIS and the computer support needed for spatial data and various methods for managing it. With the development of technology, various types of spatial data operations have been developed, including data collection and input, storage, retrieval, analysis and ultimately visualization and output. Spatial data is widely available and needs to be efficiently stored using (spatial) databases and database management systems as computer support for their construction, maintenance, and efficient use. Due to the large and rapid growth of spatial data, it is necessary to develop more and more efficient methods for managing them.

Key words: GIS, geographic information system, data, database, database management system