

ZEMLJOPISNI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS) I PLANIRANJE RAZDJELNIH MREŽA

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) AND DISTRIBUTION NETWORKS PLANNING

SAŽETAK

Zemljopisni informacijski sustav (eng. GIS - Geographic Information System) predstavlja integrirani sustav računalno podržane kartografije i relacijskih baza podataka. Elektroenergetski sustav sa svojom prostornom prožetošću među prvim je tehnološkim sustavima s nedvojbenom opravdanošću uvođenja GIS-a. Rad opisuje osnovne pojmove GIS-a i mogućnosti primjene u planiranju razdjelnih mreža proisteklih iz iskustava primjene GIS-a na Zavodu za visoki napon i energetiku, Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

ABSTRACT

More than most industries, electricity utilities have a need to keep a comprehensive and accurate inventory of their physical assets, both as a part of normal service provision (extending the network, undertaking maintenance, etc.) and as a part of their obligation to inform third parties about their facilities. Increase of electricity consumption will require either a new distribution network or extensions to the existing network. There is a range of possible solutions, some of them more effective and less expensive than others. By using modern GIS in conjunction with his own in-house network optimisation software, the engineer is able to simulate the impact of different configurations. The basic notions of GIS are discussed in the paper. The planning of distribution networks resulting from the experiences with the application of GIS in the *Department of Power Systems, Faculty of Electrical Engineering and Computing* has also been discussed.

KLJUČNE RIJEČI

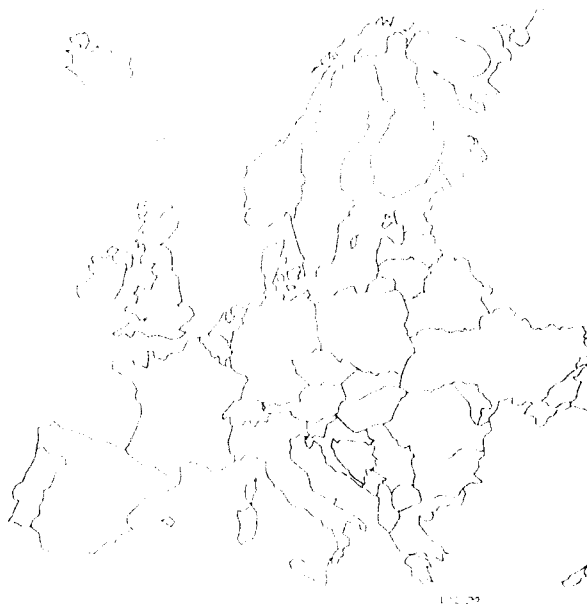
zemljopisni informacijski sustav (GIS), razdjelna mreža, optimiranje, planiranje

UVOD

1.1 Da li su Columbo ili Magellan imali GIS ?

Što je GIS? Da li je GIS samo računalom podržan prikaz podataka koji se susreću sa zemljovidima? Da li je svaka karta koja se prikazuje na računalu GIS? Da li su svi alati koji se danas pojavljuju na tržištu GIS alati? Da li je to pomodnost? Da li je ...?

Pomorska i kopnena putovanja, reguliranje vlasništva na određenom teritoriju i državnog teritorija zajedno s razvitkom astronomije razvila su granu znanosti koja je danas poznata pod nazivom kartografija. Prvi sačuvani zemljovidi su iz 12. stoljeća prije Krista nastali u starom Egiptu za vrijeme vladavine Ramzesa II. Povjesničari su mišljenja da je čak i ranije zbog civilizacijske razine u Babilonu morao postojati neki način takvog opisivanja svijeta. Tijekom stoljeća ovisno o organizaciji društva zemljovidi su od početnih slikovnih prikaza krajolika postajali sve precizniji čemu je znatno pridonio razvoj matematike i geometrije. Sve do 19. stoljeća zemljovidi (odnosno zemljopisne informacije) koristili su se za potrebe putovanja, poslova katastra u svrhu skupljanja poreza i vojne potrebe. Povećanjem gradova i njihove potrebe za energijom (plin, voda, struja), razvoj i izgradnja komunikacija (ceste, željeznica, telefon i telegraf) zahtjevala je planiranje njihove izgradnje te poznavanje točnih informacija o izgrađenoj infrastrukturi, a točnost podataka bila je zagarantirana topografskim podacima. Sve do pojave suvremenih **zemljopisnih informacijskih sustava** (GIS) podaci su se obrađivali ručno i pohranjivali na papirnatim zemljovidima. Svaki i najmanji zahvat nad promjenom informacija zahtijevao je ogroman ljudski trud i veliku količinu materijalnih resursa.



Slika 1. Hrvatska na zemljovidu Europe. Da li je njezino pojavljivanje zbog ručne obrade zemljovida? Ne u Europi nego u Hrvatskoj!

Znanstveno-tehnološki napredak uzrokovao je bitnu promjenu načina prikupljanja, obrade i prezentacije podataka u prostoru. Svoj doprinos razvoju GIS-a dali su **CAD sustavi za računalno podržano projektiranje**, i **računalno podržana kartografija-AM/FM** (Automated

Mapping/Facility Managament). **Zemljopisni informacijski sustav** je po općoj definiciji *integrirani sustav sklopovlja, računarskih alata, korisničke programske podrške, a u svrhu sakupljanja, organiziranja, rukovanja, analize, modeliranja i prikaza prostornih podataka s ciljem rješavanja složenih problema analize i planiranja*. GIS radi s prostornim podacima koji su opisani topologijom i atributima i prikazani u vektorskom ili rasterskom obliku. Po načinu organizacije podataka razlikujemo sustave koji koriste tehnologiju prostornih slojeva ili modernije koji imaju objektni pristup pohranjivanja i manipuliranja prostornih podataka. Danas gotovo da nema ljudske djelatnosti u kojoj se GIS ne primjenjuje ili se ne može primijeniti. Od vojne upotrebe (kartiranje, daljinsko istraživanje, simulacije vojnih akcija) GIS je postao nezaobilazan pomoćni alat u energetici, industriji, telekomunikacijama, geologiji, zaštiti okoliša, prostornom uređenju i geologiji. Interdisciplinarnost koju omogućava GIS putem novih metoda prikupljanja i analiziranja unapređuje postojeće statističke metode pa postaje nezamjenjiv u zdravstvu, poljoprivredi i šumarstvu (praćenje i vrednovanje stanja tla i poljoprivrednih kultura), financijama (gospodarstvo, turizam, promet), klimatologiji i demografskim istraživanjima.

1.2 Prostorna informacija ili informacija o prostoru

Svojstva koja razlikuju neki prostorni informacijski, npr. komunalni (elektroenergetska razdjelna mreža, plinska mreža, vodovodna mreža) u odnosu na ostale, npr. bankarski, skladišni ili slični informaciski sustavi, je potreba da se u bazu podataka zabilježe zemljopisne informacije. Ovakav prostorni informacijski sustav zahtijeva dvije vrste zemljopisnih informacija: informacije o smještaju elemenata i informacije o prostornim odnosima među njima. Najčešće se smještaj elemenata iskazuje u apsolutnom koordinatnom sustavu, bilježeći položaj u 2- ili 3-dimenzionalnom prostoru. Prostorni odnosi predstavljaju simulacije ili modeliranja koja se odnose na povezanost unutar neke mreže i najbolje se rješavaju pomoću topologije: bez-koordinantne ili bez-mjerne geometrije. U tom slučaju geometrija prostora može biti topološki ekvivalentna, a da stvarno predstavlja potpuno različitu koordinatnu strukturu. Osnovna je prednost topološke strukture što nas oslobađa potrebe koordinatnog registriranja elemenata - kuća, parcela, cesta, kabela, zračnih vodova i sl. - a da ipak možemo manipulirati s njima. To je značajno zbog toga što su kod mnogih operacija prostorne analitike bezkoordinatni topološki algoritmi puno efikasniji od metričkih ekvivalenata.

Moderni informacijski sustavi u smislu primjene dijele se na nekoliko funkcionalnih cijelina, najčešće su sljedeće:

- računalom podržana kartografija koja ima funkciju rukovanja kartografskim podacima (digitalni model katastra),
- relacijska baza podataka koja ima funkciju rukovanja podacima pridruženih grafičkim simbolima,
- zemljišni informacijski sustav koji sadrži specifične zemljopisne i lokacijske reference (katastarske čestice, zgrade, ulice i sl.),
- topološka struktura podataka koja omogućava prostorne relacije između čvorišta, linija i pologona, dakle objekte u stvarnom svijetu i
- prostorne analize, pretraživanja i grafičkog prikazivanja.

U smislu primjene zemljopisnog informacijskog sustava susrećemo ga u mnogim granama ljudske djelatnosti. Činimo li podjelu mogla bi izgledati ovako:

- sustav za obradu podataka: *izrada zemljovida, 3D vizualizacija*;
- informacijski sustavi: *javne službe, dokumentacija*;
- gospodarski sustavi: *pogon i održavanje raznih vrsta mreža, gospodarenje raznim resursima*;
- sustavi za planiranje: *planiranje cestovnih i komunalnih mreža (plin, voda, elektroenergetika i sl.)*.

1.3 Kako prepoznati moderni GIS ?

Moderni zemljopisni informacijski sustav sadrži informacije o tri aspekta topologije prostora: ***djeljivost (zajedništvo), povezanost i susjedstvo (kontinuitet)***. Ostale topološke informacije se najčešće izvode iz ovih osnovnih.

Djeljivost (zajedništvo) označava osobinu prostornih objekata da pripadaju većem broju prostornih objekata više razine, npr. rub zgrade je ujedno i granica parcele. Djeljivost objekata (umjesto njihovog ponavljanja) jedna je od glavnih karakteristika GIS modela, koja smanjuje redundanciju podataka i pomaže u osiguranju integriteta baze podataka, a time promjena jednog podataka u bazi osigurava i promjenu drugog podataka kojeg karakterizira djeljivost.

Mnoge GIS analize zahtijevaju pronalaženja puteva unutar mreže - npr. transportni problem. Ovakove je zadatke, obično uz upotrebu teorije grafova i matrične algebre, moguće izvesti jedina ako postoje eksplicitno definirane veze između čvorova i rubova koji čine neku mrežu. ***Povezanost*** zbog toga definira odnose između objekata prezentiranih u bazi podataka točkama i linijama. Povezanost je važna i za mogućnost spremanja poligonskih pojmova kao površina i dodjelu atributa tim površinama.

GIS analize u sebi često sadrže operacije koje zahtijevaju i saznanja o kontinuitetu; npr. koje se kuće nalaze u određenoj ulici, koje potrošače napaja pojedini kabel, koje je opskrbno područje pojedine transformatorske stanice i sl. Pod ***kontinuitetom - susjedstvom*** obično podrazumijevamo sposobnost da dodemo do informacije o objektima s jedne ili obje strane linearnog elementa.

Spremajući topološke informacije eksplicitno u bazu podataka, a ne izvođenjem iz koordinatnih podataka, možemo upotrijebiti dvije važne prednosti topologije:

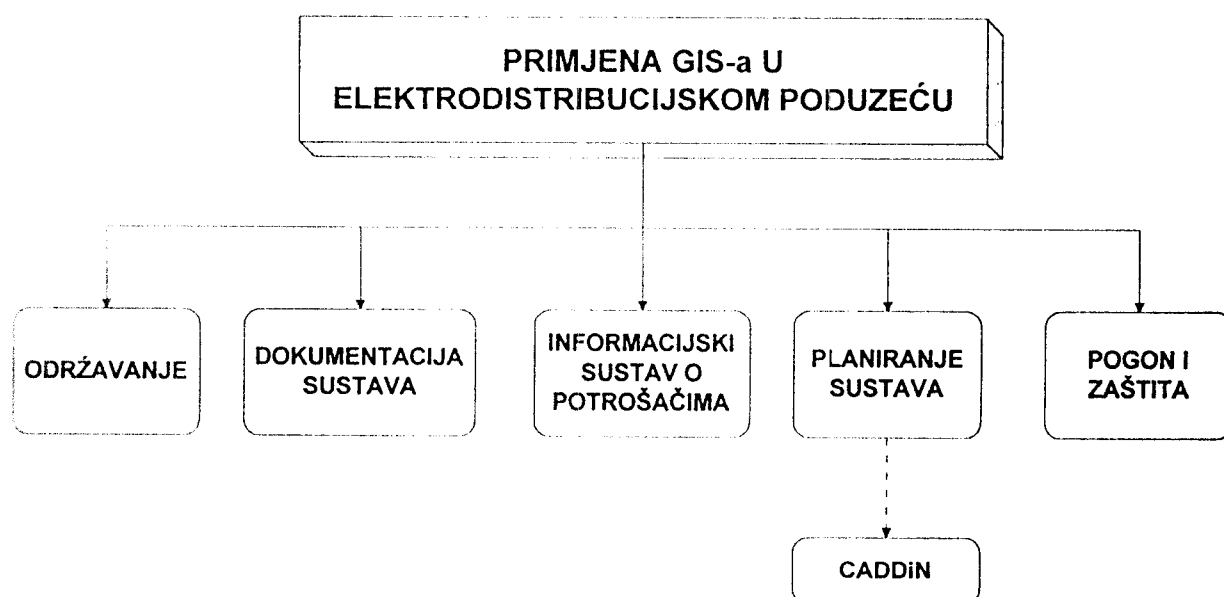
- pomaže optimiranju prostornih pretraživanja i
- osigurava integritet podataka.

Informacije o *zajedništvu, povezanosti i susjedstvu* koristimo za izravno odgovaranje na pojedine upite, ali i kao temelj za ostale vrste pretraživanja. Topologija se

upotrebljava za opisivanje odnosa između objekata kvalitativnim jezikom koji se ne oslanja na koordinate odnosno udanjenosti.

U modernim GIS-evima veći dio formiranja topologije izvodi sam sustav, i u stvari je transparentan za operatera koji i ne treba znati kako je topologija stvarno spremljena u bazi podataka. Nije potrebno voditi brigu o prvom i zadnjem čvorištu niti specificirati lijevi i desni poligon kao i redoslijed unošenja podataka.

Iako i u elektrodistribuciji postoji široko područje primjene GIS alata, slika 2, (planiranje mreže, vođenje mreže, održavanje, praćenje potrošnje, praćenje naplate i sl.) u ovom će se radu detaljnije analizirati samo preslikavanje razdjelne mreže iz stvarnog svijeta u GIS svijet, a u svrhu izvođenja planiranja. Treba naglasiti da osnovna filozofija primjene GIS-a nije različita i za druge primjene i da se cjelokupna primjena zbiva nad istom bazom podataka. Treba također kazati da je za formiranje GIS-a poželjno već u početku sagledati što je moguće veći broj značajki i atributa jer je kasnije dodavanje, iako moguće, znatno složenije.



Slika 2. Primjena GIS-a u elektrodistribucijskom poduzeću

2. RAZDJELNE MREŽE U GIS-u

2.1 Prikaz osnovnih elemenata razdjelne mreže

Prostor prikazan na zemljovidu promatra se kao skup točaka, linija i likova. Sve značajke, ceste, zgrade, ulice, kabeli, transformatori, stupovi itd. mogu se reducirati na jedan ili više osnovnih grafičkih elemenata. Na vektorima bazirana prezentacija prostora u GIS-u slijedi iste osnovne konvencije. Struktura podataka u GIS-u ne samo da se poklapa s uobičajenim pogledom na prostor i omogućava ispravnu grafičku prezentaciju, nego što je puno važnije, osigurava model relanog svijeta.

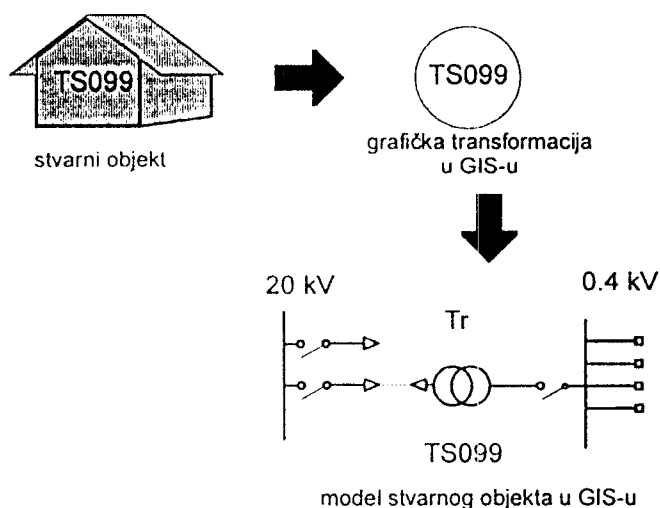
U GIS modelu podataka sve su *geometrijske značajke (features)* izgrađene od osnovnih geometrijskih elemenata: *čvorišta (node)*, *linije (line)*, *površine (surface)* i *slobodne linije (spaghetti)*. Čvorište je pohranjeno kao skup X, Y i opcionalno Z koordinate. Linija je geometrijski element definiran s dva krajnja čvora i mogućom grupom međutočaka. Površina se sastoji od jednog ili više linijskih segmenata koji zajedno čine zatvoreni poligon.

Kod modeliranja elemenata razdjelne mreže pretpostavlja se korištenje modernog zemljopisnog informacijskog sustava koji koristi relacijsku bazu podataka s objektnom nadgradnjom i ugrađenu topološku strukturu podataka te sadrži niz pomoćnih funkcija koje su već prethodno ugrađene u samu aplikaciju ili su razvijene od korisnika. Za potrebe planiranja srednjenaponske razdjelne mreže dovoljna je digitalizirana katastarska karta mjerila 1:5000. U tom mjerilu znatno se reducira broj prostornih podataka, ali još uvijek ostaju oni najvažniji za planiranje (optimiranje) razdjelne mreže: objekti s adresama (privatne kuće, stambeni blokovi, industrija, ostali objekti), ulice, transformatorske stanice, vodovi, parkovi te ostale javne površine i objekti (važni trgovi, športski centri, groblja, parkirališta, robne kuće itd.). Objekti koji nemaju funkciju prijenosa i transformacije električne energije obično nisu sastavni dio digitaliziranih karata 1:5000, ali su ih zato obvezni posjedovati katastar tehničkih vodova (ima funkciju održavanja i distribucije svih komunalnih instalacija) i tehnička dokumentacija elektrodistribucijskog poduzeća.

2.2 Modeliranje elemenata razdjelne mreže

Transformatorska stanica x/0.4 kV predstavlja složeni objekt u GIS-u koji se sastoji od nekoliko jednostavnih objekata: niskonaponskog razvoda, srednjenaponskih sabirnica i transformatora odnosno transformatorskog polja, slika 3. Svi jednostavni objekti koji čine transformatorsku stanicu dijele zajedničku točku kao geometrijski podatak. Vodna polja s pripadajućim sklopnim aparatima izdvojena su iz transformatorske stanice jer je tada moguće simulirati uklopno stanje razdjelne mreže. Grafički simboli transformatorskih stanica 110/x kV i 30/10 kV razlikuju se od simbola transformatorskih stanica x/0.4 kV, a isto predstavljaju složeni objekt u GIS-u koji se sastoji od nekoliko jednostavnih objekata: srednjenaponskog razvoda, visokonaponske sabirnice i transformatora. Kao dodatni parametar optimiranja može se koristiti broj mogućih izvoda iz transformatorske stanice x/10(20) kV određene karakteristikama pojedine izvedbe. Geometrijski podatak visokonaponske transformatorske stanice također je točka koju dijeli nekoliko jednostavnih objekata.

Linija se kao geometrijski podatak koristi za modeliranje vodova i mogućih trasa polaganja novih vodova. Grafički se različitim bojom prikazuju vodovi različitih stupnjeva izolacije, a moguće trase polaganja novih vodova modelirane su paralelnim linijama koje se automatski generiraju na svim površinama koje se mogu označiti kao ulica, put ili staza. Kod trgova i ostalih javnih površina od posebnog značaja, specijalnih izvedbi rekonstruiranih ulica (npr. u centru grada rekonstruirane ulice mogu imati ugrađene kanale za provlačenje vodova) moguće trase definira u interaktivnom radu planer. Atributi mogućih trasa polaganja automatski se generiraju, a imaju sva svojstva standardnog voda koji se polaže na području jednog elektrodistribucijskog poduzeća.



Slika 3. Model i grafički prikaz transformatorske stanice u GIS-u

Ostali neenergetski objekti potrebni za prostorne analize (ulice, javne površine, zgrade) definirani su kao površine.

2.3 Modeliranje veza između elemenata razdjelne mreže

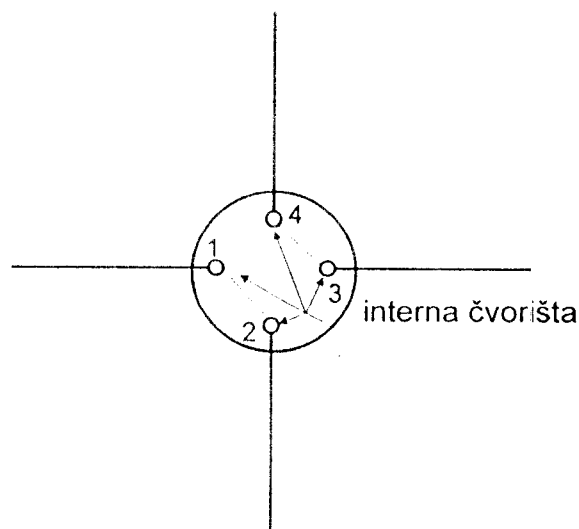
U modeliranju razdjelne mreže transformatorske stanice 110/x kV i 30/10 kV elektroenergetski izvori predstavljaju skladišta, dok transformatorske stanice x/0.4 kV predstavljaju potrošačka čvorišta definirana u općem problemu dostave. Transformatorske stanice međusobno su povezane vodovima, koji su definirani linijama i predstavljaju veze između potrošačkih čvorišta i njihove veze prema skladištima. Tek u postupku modeliranja razdjelne mreže vidi se kolika je primjenjivost GIS-a koji je zamijenio cijeli niz aproksimativnih postupaka određivanja duljina i ugrađivanja heurizama u algoritam kako bi se što bolje iskoristila postojeća razdjelna mreža.

U GIS-u se jednostavno modelira postojanje ili polaganje paralelnih kabela u isti rov jer se na jednostavan način može odrediti bliska prostorna susjednost s drugim objektom, u ovom slučaju s drugim vodom, te točno izračunati prijenosna moć voda koja je sada ulazni podatak za algoritam dok se prije morala izračunavati.

GIS ima mogućnost da modelira čvorišta u mreži tako da se svako čvorište sastoji od jednog vanjskog čvorišta koje se koristi samo za grafički prikaz te nekoliko nutarnjih čvorišta koja se koriste za stvaranja veza čvorišta prema ostalim čvorištima, slika 4. Ovakav model čvorišta omogućava da se opći problem dostave može bez preinaka primjeniti na optimiranje mreže uz istovremeni višestruki obilazak jednog čvorišta i zadovoljavanja uvjeta problema dostave da se svako čvorište obilazi samo jednom. Također se mogu definirati veze između nutarnjih čvorišta te tako uvesti dodatne odluke planera u postupku planiranja koje se neće odraziti na efikasnost algoritma optimiranja glede brzine izvođenja.

Dodatna mogućnost GIS-a postiže se na mjestima presijecanja mogućih trasa polaganja i postojećih vodova, jer se generiraju dodatna čvorišta u mreži koja su u praksi kabela spojnice. Dodatna čvorišta se koriste samo kod pretraživanja mreže, pronalaženja najkraćih udaljenosti između čvorišta i grafički prikaz rezultata optimiranja, te ne opterećuju algoritam za optimiranje

dodavanjem čvorišta, proširivanjem matrice udaljenosti i sličnim problemima koji su postojali kod prijašnjih postupaka planiranja. Čvorišta koja predstavljaju sklopne aparate kao jednostavne objekte u mreži postavljaju se na linije koje predstavljaju vodove, a opisani su atributom koji definira njihovo uklopno stanje. Takva vrsta čvorišta također ne opterećuje algoritam optimiranja, jer ona za njega zapravo ne postoje već se koriste samo unutar GIS-a kod postupka pronalaženja najkraćih udaljenosti i proračuna pada napona kada se pomoću njih mogu simulirati prekidi u mreži.



Slika 4. Modeliranje čvorišta u GIS-u. Iako na zaslonu izgleda kao da se dvije linije križaju u jednom čvorištu, stvarne veze ostvarene su internim čvorištima 1-2 i 3-4. Ostale veze između internih čvorišta smatraju se prekidima.

3. FUNKCIJE GIS-a U PLANIRANJU RAZDJELNE MREŽE

Nekoliko standardnih funkcija modernog GIS-a mogu se prilagoditi potrebama planiranja razdjelnih mreža i to uglavnom u pripremi podataka za optimiranje mreže. Sve funkcije se koriste u svrhu određivanja prostornih odnosa između elemenata razdjelne mreže. Slučajevi kada se te funkcije primjenjuju su:

- priključivanje novih transformatorskih stanica na razdjelnu mrežu;
- generiranje modela mreže potrebnog za razne analize i prikaz rezultata optimiranja;
- pronalaženje najkraćih udaljenosti (zapravo trošak povezivanja) između čvorišta u mreži
- elektroenergetski proračuni u mreži (pad napona, tokovi snaga, itd.).

Moderni zemljopisni informacijski sustav najčešće ima poseban modul koji se koristi za generiranje modela mreže. Kako bi se mogla provesti bilo koja analiza mreže potrebno je sve objekte koji će predstavljati čvorišta u modelu i objekte koji će predstavljati linije povezati u jedan model. Takav model pretvara stvarne objekte i njihove međusobne veze u povezani graf definirane topologije u kojem čvorišta imaju određene zahtjeve, a veze određenu težinu. Zahtjevi čvorišta i težine veza u modelu su opisane atributima. Tako se za

objekte koji predstavljaju čvorišta uzimaju: transformatorske stanice 110/10(20) kV i transformatorske stanice 30/10 kV kao izvori (skladišta) u mreži (samo dio kompleksnog objekta koji se odnosi na srednjenaponski razvod), transformatorske stanice x/0.4 kV (samo dio kompleksnog objekta koji se odnosi na srednjenaponske sabirnice), te sklopni aparati u mreži. Objekti koji predstavljaju linije su vodovi stupnja izolacije 12 kV i 24 kV, te moguće trase polaganja novih vodova, ovisno o tome da li se radi o planiranju mreže ili samo nekoj analizi postojeće strukture mreže.

Priključivanje novih transformatorskih stanica x/0.4 kV na mrežu temelji se na mogućnosti da do svake transformatorske stanice mora postojati pristupni put. Kako pristupni put pripada istoj klasi prostornih objekata kao što su npr. ceste, ulice, staze na njemu se automatski generiraju paralelne linije koje predstavljaju moguće trase polaganja novih kabela. Prostornim funkcijama GIS-a tada se pronalazi najbliža linija koja predstavlja vod ili moguću trasu polaganja, te se transformatorska stanica automatski spaja na isti ili se iteracijskim postupkom planeru omogućava utjecaj na mjesto priključivanja.

Nakon što se sve nove transformatorske stanice priključe u mrežu pristupa se generiranju modela mreže za što se koristi poseban modul GIS-a. Funkcijom GIS-a koja pronalazi najkraće veze između jednog čvorišta u mreži prema ostalim čvorištima koja se nalaze unutar određenog područja određuju se međusobne udaljenosti između čvorišta i troškovi njihovog povezivanja. Ovakav pristup pripreme podataka znatno smanjuje zahtjeve na algoritme za optimiranje koji rješavaju samo optimizacijski problem neopterećen raznim pretraživanjima i proračunima. Osim podatka o najmanjoj udaljenosti između čvorišta navedena funkcija GIS-a može sačuvati i stazu s kojom je ostvarena ta udaljenost tako da je rekonstrukcija optimalnog rješenja mreže jednostavna i brza.

4. ORGANIZACIJA SYSTEM 9 GIS-a

Projekt, particija i tema su tri bitna elementa strukture organizacijskog kostura **SYSTEM 9** GIS-a.

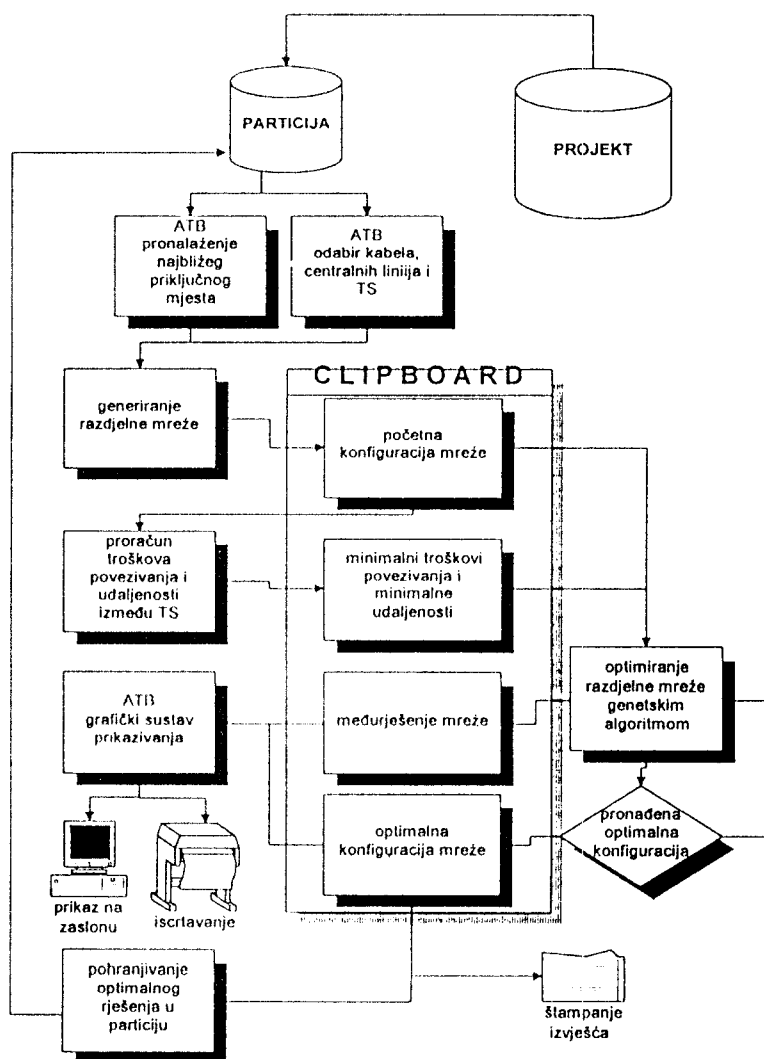
Projekt je najviša razina organizacije podataka u **SYSTEM 9**. On predstavlja kompletnu bazu podataka određenog zemljopisnog područja, npr. grada. Projekt se sastoji od dvije komponente: fonda podataka koji sadrži sve zemljopisne i atributne podatke o obuhvaćenim značajkama i definicije baze podataka koja putem klasa značajki i tema određuje strukturu projekta.

Tema uspostavlja vezu između liste značajki i njihovih atributa s listom grafičkih transformacija. Svaka transformacija je detaljna specifikacija kako će značajka i njeni atributi biti vizualizirani: bojom, simbolom, slovom itd. Definicija teme određuje kako će te značajke i atributi biti prikazivani.

Značajnu organizacijsku zaštitu **SYSTEM 9** osigurava kroz zabranu provođenja promjena u bazi podataka na razini projekta. Na razini projekta korisnik može bazu podataka samo pretraživati. Kreiranje i održavanje baze podataka se provodi na sljedećoj nižoj razini strukture podataka - u particiji. *Particija* je kopirani, radni dio projekta. Ona je razina na kojoj

korisnik može unositi, uređivati ili održavati podatke. Particija se izlučuje iz projekta u ovisnosti o potrebama konkretnog zadatka, i završetkom uređivanja podataka particija se vraća u projekt. Particija će biti kreirana ovisno o definiciji particije, koja određuje prostorni opseg, sadržaj i grafičku prezentaciju podataka.

Organizacija informacija u topološki strukturiranu, objektno-orijentiranu relacijsku bazu podataka čini SYSTEM 9 predstavnikom modernog zemljopisnog informacijskog sustava.



Slika 5. Prikaz strukture SYSTEM 9 GIS-a s dijagramom toka aplikacije za planiranje razdjelnih mreža genetskim algoritmima

Dodatni moduli omogućavaju stvaranje korisničkih programskih paketa temeljenih na SYSTEM 9. Pritom je daleko najvažniji modul tzv. *kutija s alatima za razvoj aplikacija* (eng. *Application Tool Box, ATB*). *ATB* rukuje s podacima i informacijama pomoću *tokova podataka* (engl. *data flows*). Tok podataka je zapravo tablica (relacija) koja može sadržavati izdvojene informacije iz baze podataka na temelju postavljenih uvjeta, bez obira nalaze li se te informacije u jednoj ili više relacija u bazi, zatim kombinaciju već izdvojenih informacija iz baze ili sasvim nove informacije stvorene kao rezultat prostornih ili raznih drugih analiza. Tokovi podataka smještaju se u posebno radno područje nazvano *Clipboard*. To je zajednički radni prostor kojem mogu pristupiti pojedini dijelovi SYSTEM 9 ili programi koje je stvorio

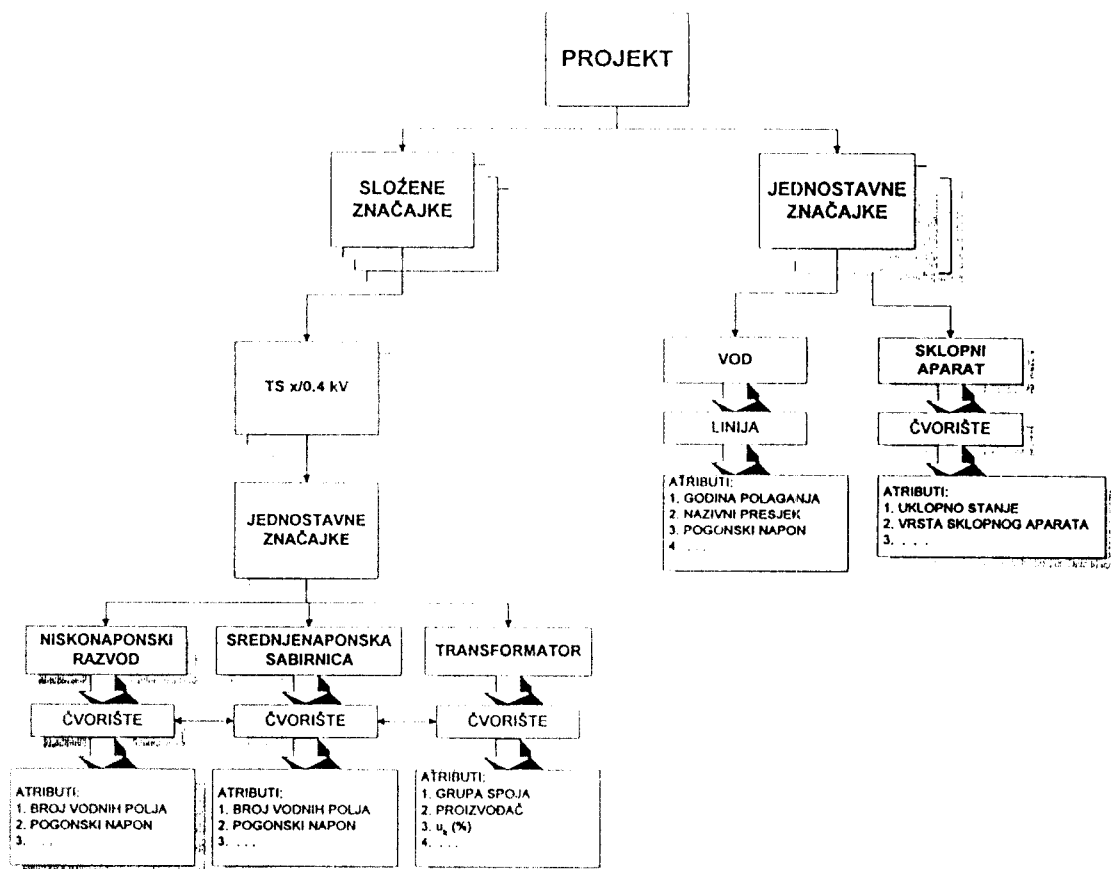
sam korisnik. *ATB* se sastoji od tri glavna dijela: dio za upravljanje tokovima podataka (eng. *Data Flow Management Functions*), dijela za obrađivanje i stvaranje informacija (eng. *Processing Functions*) i dijela za grafičko predočavanje (eng. *ATB Viewer Management*). To su zapravo funkcije grupirane po namjeni, a smještene su u tzv. biblioteke funkcija odakle se pozivaju pri izvođenju programa čiji su dio. *ATB* nudi radno okruženje za modeliranje, analizu i integriranje prostornih i neprostornih podataka. Pritom se koristi važna prednost digitalnog zapisa prostornih podataka - informacije se izravno analiziraju bez potrebe prethodnog izdvajanja i tumačenja reprezentacije tih podataka na zemljovidima. Najveća snaga ovog modula je u tome što umjesto gotovih rješenja nudi sastavne blokove od kojih se grade programski paketi za razne namjene.

4.1 Organizacija podataka i topologija

Čvorišta, linije, površine i slobodne linije nisu jedini objekti koji se mogu razmatrati unutar SYSTEM 9 GIS-a. SYSTEM 9 sprema objekte kao prepoznatljive geografske pojave ili objekte koji pripadaju određenoj grupi i koje u stvarnom svijetu možemo prepoznati i imenovati - "ceste", "vodovi", "zgrade" i sl. Ove se grupe objekata nazivaju **klase značajki** (eng. *feature classes*), a pojedinačne geografske objekte **značajke** (eng. *features*). Takve značajke mogu biti sastavljene od jednog ili više geometrijskih osnovnih elemenata.

U klasičnoj kartografiji različite vrste značajki prikazujemo različitim grafičkim simbolima koji su obično objašnjeni u legendi. To nam omogućuje razlikovanje, uporabom npr. raznih boja, kabele i zračne vodove različitog stupnja izolacije od ostalih linijskih elemenata. GIS ima mogućnost ovakve klasične interpretacije značajki prostora, međutim sposobnost razlikovanja raznih vrsta značajki - "*feature classification*" - seže puno dalje od jednostavne simbolizacije jer se određuje topološka struktura i veza atributa s pripadajućim klasama značajki. Sve pojedinačne značajke unutar jedne klase značajki imaju će istu topološku strukturu, i istu grupu atributa.

Ako razmislimo o svakodnevnim aktivnostima, jasno je da ne promatramo geografske objekte samo kao **pojedinačne značajke** (eng. *feature*) ili **grupe istoznačnih značajki** (eng. *feature class*), već i kao objekte grupirane po određenim međuovisnostima koje se uspostavljaju u odnosu na smještaj, prostorne odnose ili odnose među atributima. Na primjer razdjelna mreža je objekt koji se sastoji od transformatorskih stanica, transformatora, kabela, zračnih vodova, itd. Ovako logički grupirane značajke nazivamo **složene značajke** (eng. *complex feature*). Definiraju se kao značajke koje sadrže druge značajke. Isto tako, razlikuju se od **jednostavnih značajki** (eng. *simple feature*), po tome što jednostavne značajke sadrže geometrijske elemente, a složene značajke sadrže druge značajke. Slijedno tome govorimo o **klasi složenih značajki** i **klasi jednostavnih značajki**. Primjer korištenja klase složenih značajki može biti formiranje opskrbnog područja jedne transformatorske stanice 110(30)/20(10) kV unutar srednjenaponske razdjelne mreže ili opskrbnog područja jedne transformatorske stanice 20(10)/0.4 kV unutar niskonaponske razdjelne mreže. Složene značajke također mogu imati pridodjeljene attribute. Na ovaj način informacije koje se odnose na zonu gledamo kao "objekt" zona, a ne moramo svakoj značajki unutar te zone dodjeljivati atribut zone. Složene značajke mogu sadržavati i druge složene značajke, pa se tako može formirati složena značajka "opskrbno područje razdjelne mreže" koja se sastoji od više složenih značajki "opskrbno područje transformatorske stanice".



Slika 6. Model organizacije podataka u SYSTEM 9 GIS-u

5. PLANIRANJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE POMOĆU GIS-a

Baza podataka koja je jezgra svakog modernog GIS-a predstavlja osnovu mogućnost korištenja simulacijskih metoda za planiranje potrošnje električne energije. Sve komponente razdjelne mreže u njoj su definirane i između njih postoji određena veza, bilo preko topologije, značajki ili atributa. Tako se vrlo precizno može odrediti opskrbno područje svake transformatorske stanice (bez obzira da li se radi o transformaciji sa 110/x kV ili x/0.4 kV), odnosno svi kabeli, zračni vodovi, transformatori te ostali elementi mreže koji su na nju priključeni.

Preko složenih značajki se tako u GIS-u može definirati opskrbno područje transformatorske stanice koja će u sebi sadržavati parcele, kuće koje se nalaze na tim parcelama, priključak na svaku kuću, veze koje postoje između priključaka i transformatorske stanice i sl. Preko atributa pojedinih značajki točno se može odrediti broj električnih brojila na određenom priključku te sve podatke vezane uz njih (šifra brojila, šifra potrošača, vrsta električnog brojila), vrsta priključka (domaćinstvo, industrija, itd.). Na taj se način može pratiti potrošnja svakog pojedinog potrošača, odnosno sumarno za jednu transformatorsku stanicu ili neko drugo područje. Poznavanjem potrošnje kroz nekoliko godina, te mogućnosti da su planeru poznati i drugi, vanenergetski podaci, primjenom se dodatnih računarskih programa može predviđati

potrošnja za naredne godine. Ono što je značajno za sveobuhvatno planiranje jest, u ovom slučaju, mogućnost obuhvaćanja i ostalih energenata na području planiranja koja utječu na potrošnju električne energije. Tako se može modelirati i odrediti i međuovisnost potrošnje električne energije o ostalim izvorima energije, npr. gradski/zemni plin, sustav centralnog grijanja i sl. Još se cijeli niz analiza može ostvariti preko upita GIS-u, kao npr. "izdvoji sve potrošače koji su imali godišnju potrošnju električne energije između 2500 i 3500 kWh a priključeni su na transformatorsku stanicu 099" i sl. Trenutačno se na Zavodu za visoki napon i energetiku istražuju simulacijski modeli i algoritmi koji bi se najbolje uklopili u analize primjenom GIS alata.

Na Zavodu za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu razvija se postupak planiranja i projektiranja razdjelnih mreža urbanih područja pomoću tzv. **inteligentnog sustava za podršku pri odlučivanju** (engl. *Intelligent Decision Support System, IDSS*) temeljen na geografskom informacijskom sustavu SYTEM 9. Samo predviđanje potrošnje izvodi se metodom predviđanja potrošnje malih područja primjenom algoritama grupiranja. Metode predviđanja potrošnje malih područja pretpostavljaju podjelu opskrbnog područja poduzeća za razdiobu električne energije na mnogo manjih područja. Metode se razlikuju po strukturi i opsegu podataka koje zahtijevaju, te složenosti postupaka kojima izvode predviđanje potrošnje.

6. OSTALE MOGUĆNOSTI GIS-a

Primjena GIS-a u planiranju razdjelne mreže i planiranju potrošnje samo su neke od mogućnosti primjene GIS alata. Primjena ostalih može ići do neslučenih razmjera. Gotovo sve djelatnosti razdjele električne energije, i ne samo nje, mogu se poduprijeti GIS alatima. Navedimo samo još neke: održavanje, optimiranje u izvanrednim situacijama, traženje po kvaliteti energije slabih točaka u mreži i sl. Unesu li se u GIS podaci o periodičnom održavanju svih elemenata mreže, jednostanim se upitom mogu dobiti planovi dnevnih, tjednih i mjesečnih održavanja. Uz pretpostavku da je GIS baza popunjena sa svim prometnicama, može se za vrijeme kvarova odrediti najbrži put ekipe za intervencije, pronaći optimalno uklopno stanje i sl.

7. ZAKLJUČAK

Povijest GIS-a relativno je kratka; većina današnjih GIS-ova je nastala zadnjih desetak godina. No, ipak njegova primjena u elektroenergetici, pogotovo na području elektroenergetskih mreža, nije stvar budućnosti nego realna stvarnost. Objedinjavanje nekoliko aktivnosti elektroprivrednog poduzeća (praćenje potrošnje i obračun električne energije, planiranje, projektiranje, izrada dokumentacije) u jednom projektu odnosno bazi podataka povećava efikasnost što dokazuju i svjetska iskustva (Union Fenosa, Madrid, Španjolska; Hydro Quebec, Quebec, Kanada; itd.). Međutim, treba naglasiti da najveću vrijednost u GIS projektu imaju podaci čije je sakupljanje, organizacija i održavanje od najvećeg značaja. Istina je da GIS tehnologija zahtjeva veliki početni trud, na skupljanju, organizaciji i unošenju podataka te počesto predstavlja prepreku početnom korištenju. No, prihvaćanjem GIS-a kao nužnosti

svakog modernog ees-a taj se korak daje prevladati organiziranom kampanjom. Taj početni korak mogu savladati jedino vizionari, kojih u povijesti nastajanja elektroenergetskog sustava nije nedostajalo, pa se nadamo neće nedostajati ni ubuduće.

8. LITERATURA

- [1] T. Bernhardsen, *Geographic Information Systems*, Viak IT, Norway, 1992.
- [2] U. Bernhardt, *Technische Betriebsmittel-informations-Systeme auf der Basis von GIS in EVU*, Elektrizitätswirtschaft 22/93 pp. 1387-1394, 1993.
- [3] S.Blagać, S.Krajcar, K.Valentić, *A clustering algorithm for the past electric load data analysis*, Proceedings of 17th International Conference, ITI '95, Pula, Croatia, pp.
- [4] S.Blagać, *Uporaba algoritama grupiranja pri predviđanju opterećenja razdjelnih mreža urbanih područja*, magistarski rad, FER, 1995.
- [5] H. Freund, L. Klein, W.H. Wellbow, *Rechnergestützte Planung von städtischen Mittelspannungsnetzen*, Elektrizitätswirtschaft 22/93 pp. 1374-1380, 1993.
- [6] D. Blume, F. Reyer, T. Speck, *Integriertes System zur Aufzeichnung und Auswertung von Störungen im Industrienetz*, Elektrizitätswirtschaft 22/93 pp. 1382-1386, 1993.
- [7] HEP-Direkcija za distribuciju, *Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0.4 kV 1x630 kV (kabelska i stupna izvedba)*, N 012.01, klasif. br. 4.02/92., Zagreb, srpanj 1992.
- [8] Z. Sumić, S.S. Venkata, T.Pistorese, *Automated Underground Residential Distribution Design - Part 1: Conceptual Design*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993., pp. 637-643.
- [9] Z. Sumić, T.Pistorese, S.S. Venkata, H.Maleš-Sumić, *Automated Underground Residential Distribution Design - Part 1: Prototype Implementation and Results*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993., pp. 644-650.
- [10] D.Škrlec, S.Krajcar, S.Blagać, *GIS Applications for Electric Power System Analyses and Planning*, Proceedings of the 15th International Conference on Information Technology Interfaces, Pula; Croatia, June 15-18, 1993., pp. 135-140.
- [11] E.C. Yeh, Z. Sumić, S.S. Venkata, *APR: A Geographic Information System Based Primary Router for Underground Residential Distribution Design*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 1, February 1995., pp. 400-406.