

# Definicija modela izgrađenosti elektrodistributivne mreže korišćenjem podataka u GML formatu

Željko Todorović, Jasenka Džakula, Ilija Bašičević, Miroslav Popović

**Sadržaj** — U ovom radu je opisana definicija i inicijalizacija modela izgrađenosti elektrodistributivne mreže korišćenjem GIS podataka u GML formatu. Prikazani su bitni aspekti programske podrške za automatizaciju procesa kreiranja međumodela kao prvog koraka u izgradnji krajnjeg modela potrebnog za rad sistema automatskog nadzora i upravljanja.

**Cljučne reči** — Distributivna mreža, Geoinformacioni sistem, GML, Model izgrađenosti mreže.

## I. UVOD

SAVREMENA elektrodistributivna mreža treba da obezbedi efikasnu, ekonomičnu, pouzdanu i sigurnu distribuciju električne energije. DMS (*Distribution Management System*) je nastao kao rezultat potrebe razvoja programske podrške za usavršavanje i poboljšanje distribucije električne energije. DMS objedinjuje funkcije za analizu, proračune i optimizaciju distribucionog sistema. Energetska mreža koja predstavlja ulaz u obradu mora biti u skladu sa DMS modelom podataka. Generisanje modela mreže može se raditi ručno korišćenjem *DMS Builder* programske podrške, ili razvojem alata za automatizaciju procesa inicijalizacije mreže na osnovu informacija iz nekog drugog modela.

Model izgrađenosti elektrodistributivne mreže predstavlja standardizovan opis mreže koji se sastoji od grafova koji sadrže informaciju o vodovima i elementima u mreži i pojedinačnog opisa svakog od elemenata. Model izgrađenosti mreže predstavlja prvi korak u izgradnji DMS modela i zbog toga moraju biti ispoštovani potrebni kriterijumi definisani u DMS programskoj podršci.

*Smallworld* programska podrška je GIS (*Geographic Information System*) alat koji omogućuje jednostavnu definiciju geografskog opisa mreže i rukovanje sa njom. *Smallworld* nema mogućnost provere ispravnosti karakteristika elemenata i mreže, što predstavlja prepreku

Ovaj rad je delimično finansiran od Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 12004, od 2008. god.

Željko Todorović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, (email:zeljko.todorovic@dmsgroup.rs),

Jasenka Džakula, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, (email:jasenka.dzakula@dmsgroup.rs),

Dr Ilija Bašičević, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, (email:ilija.basicevic@rt-rk.com)

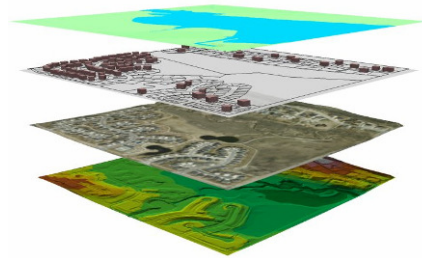
Dr Miroslav Popović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, (email:miroslav.popovic@rt-rk.com)

za inicijalizaciju DMS modela podataka.

Model izgrađenosti elektrodistributivne mreže se definiše na osnovu skupa GML (*Geography Markup Language*) datoteka izvedenih iz *Smallworld* alata i karakteristika specifičnih za krajnji sistem (DMS).

## II. GEOINFORMACIONI SISTEM

Geoinformacioni sistem (GIS) je skup programske podrške za objedinjavanje geografskih informacija sa elementima iz realne eksploatacije. Elementi se modeluju kao objekti koji su opisani određenim skupom atributa. GIS podrazumeva sistem specijalizovan za čuvanje, rukovanje i prikaz prostornih podataka.



Sl. 1. Uopšten prikaz GIS strukture

Model mreže se sastoji od linija (*edge*) i krajnjih tačaka (*junction*) [1]. Najčešće, svakoj geometrijskoj mreži odgovara logička mreža koja predstavlja model realnog sistema opisan geografskim podacima. Logičke mreže pored elemenata i njihovih veza, sadrže i dodatne informacije u zavisnosti od sistema koji se modeluje. One definišu različite osobine linijskog ili tačkastog elementa. Različite pretrage, kao i celokupna obrada podataka, se puno lakše izvodi nad logičkim podacima.

### A. GML standard

GML u svojoj osnovi je XML definisan od strane OGC (*Open Geospatial Consortium*) za predstavljanje geografskih elemenata i karakteristika [2]. Usvojen je kao internacionalni standard ISO 19136 2007. godine. GML koristi opšti koncept za opis geografskih karakteristika i uključuje ne samo standardne vektore ili diskretne objekte već i senzorske podatke. Zadatak GML-a je da integriše sve oblike geografskih informacija i predstavlja osnovu za druge standarde i protokole definisane od strane OGC-a.

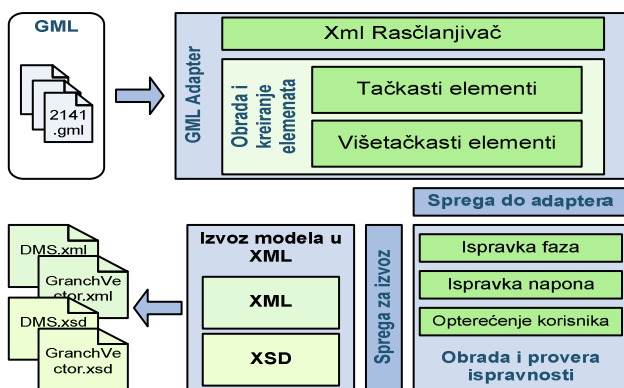
Opštost GML standarda obezbeđuje mogućnost opisa različitih tipova mreže na uniforman način. Proširivanjem postojeće GML šeme mogu se dobiti izvedeni standardi u

skladu sa prirodom sistema koji se modeluje.

### III. OPIS REŠENJA

Distribucija električne energije u praksi, kao i u matematičkom modelu, se zasniva na koncepciji izvoda (*feeder*) [3]. Oni predstavljaju elektroenergetske veze za povezivanje većih delova potrošačkog područja. GIS opis distributivne mreže se sastoji od više GML datoteka, gde svaka odgovara pojedinačnom izvodu. GML je opšti standard za rad sa geografskim podacima i kao takav ne podržava specifičnosti elektrodistributivne mreže. GML nema mogućnost definicije međusobne povezanosti elemenata te se ovaj problem rešava korišćenjem informacija o geografskoj poziciji elementa. Pri tome, ako dva voda imaju zajedničku koordinatu u svom opisu, GML nema informaciju da li su oni povezani ili se mimoilaze. Ispravnost atributa elemenata u GML datotekama predstavlja još jedan problem koji treba rešiti. Obrada se sastoji iz tri programska bloka:

- Blok za adaptaciju podataka, treba da inicijalizuje memorijske strukture koje opisuju elemente mreže i kontrolne metode.
- Blok za proveru ispravnosti i postavku vrednosti, kontroliše i menja vrednosti atributa elemenata i definiše model izgrađenosti elektrodistributivne mreže.
- Generisanja modela u vidu XML datoteka, zajedno sa XSD šemama (*XML Schema Definition*).



Sl. 2. Blok šema obrade podataka

Celokupna obrada predstavlja prilagođavanje podataka DMS modelu i ispravljanja grešaka nastalih prilikom definicije geografskog opisa mreže u *Smallworld* alatu. Koraci u procesu prilagođavanja su:

- Prepoznavanje linijskih segmenata i pojedinačnih elemenata mreže opisanih u GML datotekama.
- U slučaju da u opisu putanje linijskog elementa postoji neki drugi element potrebno je linijski segmenat podeliti na manje celine.
- Predstavljanje tačaka koje su normalno otvorene mora biti prilagođeno DMS opisu.
- Provera ispravnosti i korekcija faza i vodova oko transformatora.
- Neki elementi u mreži nemaju informaciju o fazama, taj podatak se dobija na osnovu informacije o vodovima na koje su povezani.
- Određivanje opterećenja pojedinačnih korisnika na

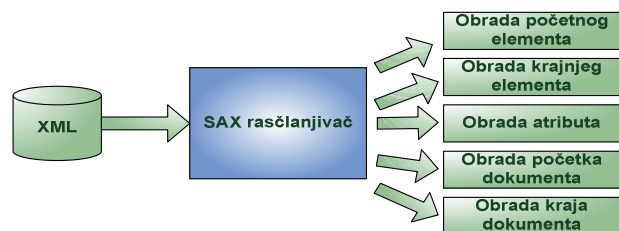
osnovu broja korisnika povezanih na transformator i nominalne snage transformatora.

- Posle obrade pojedinačnog izvoda definiše se graf podataka koji se proširuje.

Rezultat celokupne obrade predstavlja međumodel koji se sastoji od opisa pojedinačnih elemenata, kao i opisa međusobne povezanosti elemenata (graf). Na osnovu identifikacije elementa opisanog u grafu nalazi se detaljan opis elementa sa svim njegovim karakteristikama.

#### A. GML Adapter

GML datoteka je u svojoj osnovi XML zapis, proširen i uobičen standardom za rad sa geografskim podacima. Procedura obrade može biti obavljena na različite načine, pravljenjem objektnog modela u memoriji (*Document Object Model*) ili korišćenjem sprege za praćenje događaja (*SAX – Simple API for XML*). SAX predstavlja događajima vođen pristup rešavanju problema (*Event Driven Programming*). Osnovna prednost je što ulazna XML datoteka ne mora biti učitana u memoriju da bi se nad njom vršila obrada. Za obradu podataka korišćenjem SAX pristupa moraju se definisati funkcije koje će biti pozivane prilikom nalaženja početnih ili krajnjih elemenata i atributa (*Callback*).



Sl. 3. SAX rasčlanjivač

Celokupna realizacija rasčlanjavanja je smeštena u GML Adapter. Svrha postojanja adaptera je da inicijalizuje strukturu koje odgovaraju GIS elementima mreže i da ih prilagodi modelu izgrađenosti mreže. Model izgrađenosti mreže se sastoji od skupa klasa koje opisuju međumodel. Svaki element se modeluje tako da ima sva potrebna svojstva za nalaženje odgovarajućih struktura u DMS modelu (kataloga elemenata) [4]. GML Adapter treba da obezbedi i kontrolne informacije o tipu i poziciji elemenata. Da li je neki vod primarni ili sekundarni, može biti definisano korišćenjem dodatnog atributa, a može u samom nazivu klase stajati informacija o tome. Adapter obezbeđuje da ostatak programske podrške ne zavisi od oblika i logike formatiranja ulaznih podataka.

#### B. Obrada elemenata u mreži

Elementi mreže koji se opisuju sa jednom koordinatom spadaju u grupu tačkastih (*single-point*) elemenata. GIS objekti se prevode u objekte koji su prilagođeni međumodelu i inicijalizuju se željenim informacijama (potrebni za rad DMS programske podrške). Pretvaranje svakog od tipova elemenata je drugačije. Definicija nekih elemenata zahteva postojanje i više GIS objekata. Opis trofaznog osigurača u GML-u sastoji se od tri klase za opis faza i jedne klase koja objedinjava celokupni opis elementa. Za prilagođavanje postojećih GIS elemenata

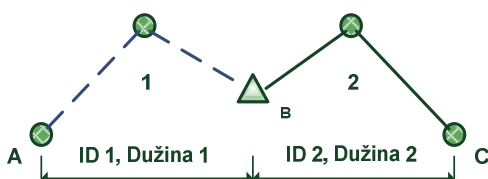
objektima koji su potrebni za rad sa DMS modelom koristi se klasa *CGisClassesForNMSPProxy*.

Obrada GIS linijskih segmenata se sastoji od kreiranja kompleksnih linijskih segmenata i prilagođavanja DMS modelu podataka. Kreiranje kompleksnih linijskih segmenata podeljeno je na obradu svakog od tipova voda pojedinačno. Na osnovu GIS elemenata smeštenih u dinamičke strukture definisane kao skupovi linijskih segmenata u skladu sa prostornom pozicijom, karakteristikama iz GIS datoteka, početnim i krajnjim tačkama, definišu se skupovi podzemnih, nadzemnih i vodova koji ih povezuju. Rezultat ovakve obrade su segmenti koji su opisani skupom koordinata i imaju svoje karakteristike. U svojoj putanji segmenti mogu imati bilo koji tačkasti element. Za rad DMS programske podrške ovi „kompleksni“ linijski segmenti (Sl. 4) moraju da se pojednostave.



Sl. 4. Kompleksni linijski segment

Nad ovakvim linijskim opisima potrebno je izvršiti podelu na manje fragmente (Sl. 5). Potrebno je za svaku tačku u nizu koordinata proveriti da li ta koordinata odgovara nekom tačkastom elementu ili drugom vodu (od te tačke počinje drugi vod). DMS model zahteva da svaki element ima jedinstvenu identifikaciju. Zbog toga se na novonastalim segmentima identifikacija dobija na osnovu jednostavne matematičke obrade, tako što se trenutna vrednost identifikacije logički pomeri za 4 bita u levo i sabere sa brojem koji odgovara delu segmenta. Karakteristike segmenta se ne menjaju sem informacije o dužini voda.



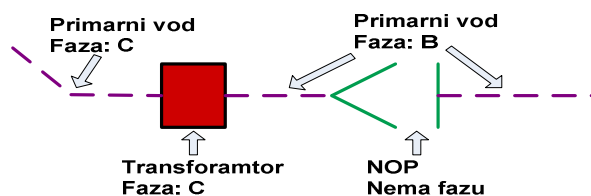
Sl. 5. Izdeljen linijski segment

### C. Postavka i provera ispravnosti faza i napona

Osnovni problem koji treba rešiti je problem pogrešnih GML podataka na transformatorima i primarnim vodovima povezanim na njih. *Smallworld* programski alat, za razliku od DMS alata, nema mogućnost provere ispravnosti atributa elemenata.

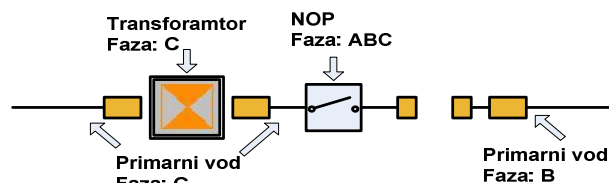
Linijski segmenti povezani na transformator moraju imati faze u skladu sa transformatorom. To podrazumeva da se na transformator sa fazom AB ne može povezati primarni vod faze ABC.

Može se videti da je na transformator (faza C) povezan primarni podzemni vod sa fazom B. Vod je prekinut pomoću prekidačkog elementa koji je podrazumevano otvoren.



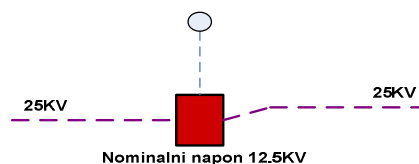
Sl. 6. Transformator prikazan u *Smallworld* alatu

Celokupna struktura sa Sl. 6 se prevodi u DMS model kao na Sl. 7.



Sl. 7. Transformator prikazan u DMS-u

U GML datotekama na puno mesta nominalni napon transformatora ima pogrešne vrednosti (Sl. 8). Nominalni napon (*voltage rating*) predstavlja napon za koji je namotaj transformatora napravljen. Primarni napon sme biti veći od tog napona ali u granicama tolerancije (oko 10%).



Sl. 8. Transformator sa pogrešnim nominalnim naponom

### D. Postavka informacija o potrošačima

Sekundarna mreža predstavlja skup vodova na izlazu iz transformatora, što dovodi do potrebe za informacijom o broju korisnika povezanih na transformator. Nominalna snaga transformatora omogućava nalaženje informacije o prosečnom opterećenju korisnika.

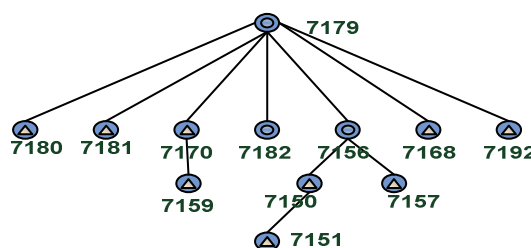
DMS model razlikuje različite tipove potrošača i u zavisnosti od toga ima definisane očekivane odnose aktivne i reaktivne snage u toku dana.

Prosečno opterećenje potrošača se dobija na osnovu nominalne snage transformatora, broja potrošača i faktora snage.

## IV. MODEL IZGRAĐENOSTI MREŽE

Model izgrađenosti elektrodistributivne mreže se sastoji iz dva dela:

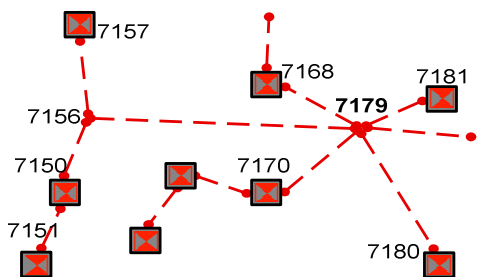
- opisa pojedinačnih elemenata
- opisa veze elemenata u mreži



Sl. 9. Model izgrađenosti mreže

Za svaki od elemenata definiše se njegova identifikacija u okviru grafa i navodi se odnos tog elementa i elemenata sa kojima je povezan. Svaka grana u grafu mora imati informaciju o početnoj i krajnjoj tački, jedinstvenu identifikaciju elementa koji predstavlja, kao i težinu elementa u skladu sa DMS modelom. Jedan element mreže može biti povezan sa proizvoljnim brojem drugih elemenata.

Na osnovu modela izgrađenosti mreže sa Sl. 9 definiše se DMS model na Sl. 10.

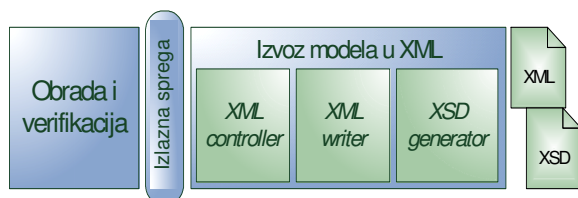


Sl. 10. DMS model mreže

Odabir atributa elementa treba da zadovoljni minimalni skup podataka potreban za pronalaženje ili definisanje elementa u DMS modelu podataka. Definicija imena strukture koja odgovara klasi elementa (katalog) razlikuje se za različite tipove elemenata mreže. U slučaju da neki od atributa u GIS nisu definisani koriste se podrazumevane vrednosti.

#### A. Implementacija izlaznog bloka

Model izgrađenosti elektrodistributivne mreže je potrebno upisati u datoteku koja predstavlja ulaz za svu dalju obradu. Da bi se postigla mogućnost daljeg poboljšanja, generator mora imati spregu preko koje će čitati podatke posle rezultata obrade.



Sl. 11. Blok za definiciju XML datoteka

Za potrebe programske podrške razvijen je programski blok (*XMLWriter*) za generisanje XML datoteka. U okviru *XMLWriter* bloka su realizovane klase *XMLStream* i *XMLController*. *XMLWriter* u svom radu vodi brigu o XML sintaksi, nudi mogućnost formatiranja sadržaja, kao i mogućnost definicije i promene informacije o šemi i verziji XML datoteke. Klasa za kontrolu (*XMLController*) definiše šta sve može biti ulaz u XML datoteku. Korisnik može naslediti i proširiti postojeći skup kontrola.

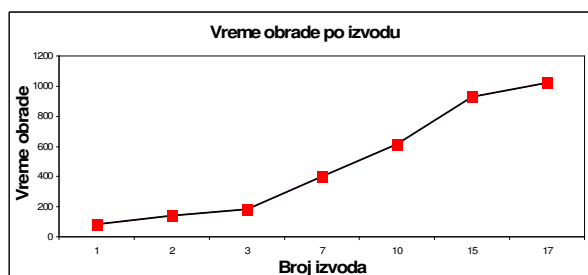
## V. ZAKLJUČAK

Analizirani su podaci i GML model elektrodistributivne mreže, i na toj osnovi je razvijen međumodel izgrađenosti

elektrodistributivne mreže, kao prvi korak u izgradnji krajnjeg modela potrebnog za rad sistema automatskog nadzora i upravljanja. Implementacijom ovog programskog bloka postignuta je univerzalnost interpretiranja podataka iz drugih GIS alata koji mogu da definišu mrežu u GML formatu. Drugi formati zahtevali bi samo definicije ulaznih adaptera. Izmenom izlaznog programskog bloka model izgrađenosti mreže bi mogao da se prilagodi nekom od postojećih standarda.

Funkcionalna ispravnost pokazana je na primeru obrade pojedinačnih izvoda glavnog grada *British Columbia* države u Kanadi (Viktoria) korišćenjem DMS programske podrške.

Vreme obrade zavisi od broja ulaznih datoteka i broja elemenata mreže povezanih na same izvode (Sl. 12). Sa povećanjem broja elemenata koji pripadaju različitim izvodima vreme obrade raste.



Sl. 12. Vreme obrade po izvodu napajanja

Ovakvim pristupom rešavanju problema može se postići da model izgrađenosti mreže predstavlja standardizovan model prilikom razmene podataka između većeg broja heterogenih sistema. Podaci predstavljeni različitim standardima moraju da se prevedu u međumodel i da se preko njega definiše DMS model i obrnuto.

## LITERATURA

- [1] ESRI, "The ArcGIS Network Model," 2008.
- [2] Open Geospatial Consortium, Inc, "OpenGIS Geography Markup Language (GML) Implementation Specification," OGC, 2004.
- [3] Vladimir C. Strezoski, "Osnovi elektroenergetike," Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, 1999/2000.
- [4] Dragan Popović, Ervin Varga & Zvezdana Perlić, "Extension of the Common Information Model with a Catalog of Topologies," *IEEE Transactions on Power Systems*, May 2007

## ABSTRACT

This paper presents definition and data initialization of power distribution network connectivity meta-model using GIS input data in GML data format. It shows the important aspects of the process automation software for the meta-model definition as the first step in building the model for distribution management systems.

## DEFINITION OF POWER DISTRIBUTION NETWORK CONNECTIVITY META-MODEL USING GML INPUT DATA

Željko Todorović, Jasenka Džakula, Ilija Bašičević, Miroslav Popović