



KONVERZIJA PODATAKA ELEKTROENERGETSKE MREŽE DEFINISANE U CIM-U U ESRI SHAPEFILE FORMAT

CONVERSION OF POWER GRID DATA DEFINED IN CIM TO ESRI SHAPEFILE FORMAT

Rade Ilić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Ovim radom je obuhvaćeno istraživanje *Esri shapefile* formata podataka koji se koristi za čuvanje geoprostornih podataka i kako se definišu geoprostorni podaci elektroenergetskih resursa u CIM-u. Takođe je istražena mogućnost konverzije geoprostornih podataka definisanih u CIM-u u *Esri shapefile*. Kao rezultat istraživanja nastala je aplikacija *CIMToShapefileConverter* koja može da konvertuje geoprostorne podatke elektroenergetske mreže definisane u CIM verziji 16 u *shapefile* format. Performanse aplikacije su testiranje i analizirane, a ispravnost rezultujuće *shapefile* datoteke testirane u *QGIS*-u.

Ključne reči: *Shapefile*, CIM, konverzija podataka, geoprostorni podaci, elektroenergetska mreža

Abstract – This paper covers research on *Esri shapefile* data format which is used for storing spatial data and how spatial data is defined in CIM. Possibility of conversion of geospatial data defined in CIM to *Esri shapefile* is also researched. As a result of that research an application is developed named *CIMToShapefileConverter* which is able to convert geospatial data of power grid defined in CIM version 16 to *shapefile* data format. CPU usage of application has been analyzed, and resulting *shapefiles* were tested in *QGIS*.

Keywords: *Shapefile*, CIM, data conversion, geographical data, power grid

1. UVOD

Rastući broj aplikacija i kompanija koje razmenjuju podatke doveo je do značajnog porasta kompleksnosti integracija tih aplikacija. Dolazi do potrebe za zajedničkim formatom podataka koji se razmenjuju u svim segmentima elektroenergetike. Za razmenu ovih podataka se koristi CIM. CIM je definisan serijom standarda propisanih od strane međunarodne elektrotehničke komisije IEC (*International Electrotechnical Commission*) koji definišu model elektroenergetskog sistema. *ENTSO-E* (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*) je mreža operatora prenosnih mreža širom Evrope napravljena sa ciljem da se poboljša njihova saradnja i omoguće integracije podataka. *ENTSO-E* je razvio *CGMES* (*Common Grid Model Exchange Standard*) standard koji se zasniva na IEC standardima i koji je prihvaćen od strane IEC [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Milan Gavrić.

CGMES sadrži profile *GeographicalLocation* i *Diagram-Layout* koji omogućavaju definisanje geoprostornih podataka elektroenergetskih resursa. *Shapefile* format je geoprostorni vektorski format podataka za softver geografskih informacionih sistema (*GIS*). Razvijen je i regulisan od strane *Environmental Systems Research Institute* (*Esri*) kao otvoren standard za interoperabilnost podataka između *Esri* i drugih *GIS* softverskih rešenja [2] [3]. Otvoren standard i interoperabilnost su omogućili *shapefile*-u da bude podržan od strane velikog broja *GIS* softverskih rešenja.

Pošto CIM sadrži klase koje opisuju geoprostorne podatke elektroenergetskih resursa, moguće je napraviti aplikaciju koja će da pročita ove podatke iz *CIMXML* datoteke i da ih konvertuje i serijalizuje u *shapefile* format. Cilj ovog rada je da se razvije ovakva aplikacija, kao i da se rezultujuće *shapefile* datoteke testiraju u nekom od *GIS* softverskih rešenja koji nije razvijen od strane *Esri*-ja i na taj način proveriti interoperabilnost *shapefile* formata.

2. OPIS KORIŠĆENIH TEHNOLOGIJA

Ovo poglavlje sadrži kratak osvrt na tehnologije, metode i principe koji su korišćeni za implementaciju projektnog rešenja. Opisane su samo tehnologije i principi koji su najviše uticali na implementaciju rešenja.

2.1. CIM

CIM (*Common Information Model*) je zajednički model podataka definisan nizom standarda propisanih od strane međunarodne elektrotehničke komisije IEC (*International Electrotechnical Commission*) koji omogućavaju aplikacijama razmenu informacija o resursima u prenosnoj i distributivnoj elektroenergetskoj mreži [4] [5]. *CIM* se održava kao *UML* dijagram. Za razmenu CIM podataka koriste se *CIMXML* datoteke. *CIMXML* datoteka koristi *RDF* (*Resource Description Framework*) model podataka za opis konkretnih instanci CIM resursa. Ove instance su serijalizovane *XML* sintaksom.

2.2. Shapefile

Shapefile je geoprostorni vektorski format podataka za softver geografskih informacionih sistema (*GIS*) [2]. Razvijen je i održavan od strane *Environmental Systems Research Institute* (*Esri*) kao otvoren standard za interoperabilnost podataka između *Esri* i drugih softverskih rešenja. *Esri* je međunarodna kompanija koja razvija softver za geografske informacione sisteme. *Esri*-jevi proizvodi imaju 40% udela u *GIS* tržištu, a posebno se ističe *ArcGIS Desktop*. Detaljan opis i tehnička dokumentacija *shapefile* formata se može pronaći na zvaničnom sajtu *Esri*-ja [2] [3]. Ovaj format podataka može prostor-

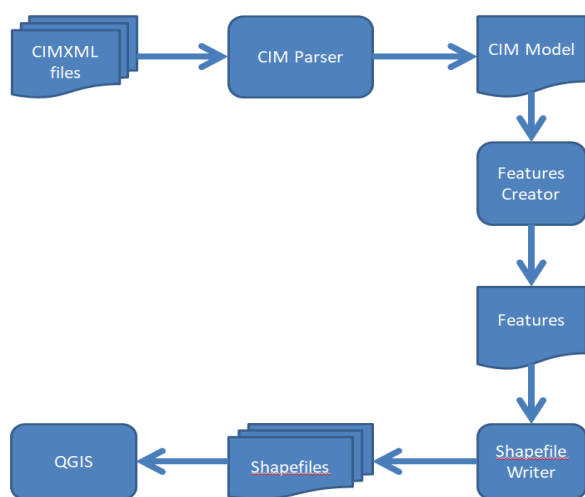
no da opiše vektorske karakteristike kao što su: tačke, linije i poligoni, koji mogu da predstavljaju objekte iz realnog sveta. Na primeru iz elektroenergetske mreže prekidači se mogu predstaviti kao tačke, a provodnici kao linije. Svaki *shapefile* može da sadrži više ovakvih elemenata koji se u datoteci čuvaju kao oblici (eng. *shape*), i svaki od njih može da sadrži dodatne atribute koji ih opisuju. *Esri shapefile* se sastoji od tri obavezne datoteke: *main file*, *index file* i *dbf file*. Ove tri datoteke moraju da imaju ekstenzije, respektivno: *.shp*, *.shx* i *.dbf*. Svaka datoteka mora da ima isti naziv. *Main* datoteka čuva geometrijske podatke, *index* datoteka čuva pozicije slogova unutar *main* datoteke a *dbf* datoteka sadrži bilo koji skup atributa koji se pridružuju oblicima iz *shapefile*-a.

2.3. QGIS

QGIS (Quantum GIS) je aplikacija otvorenog koda za rad sa *GIS*-om. *QGIS* podržava otvaranje *Esri shapefile* datoteka. Omogućava grafički prikaz u više slojeva (eng. *layer*) gde svaki sloj ima drugu *shapefile* datoteku kao izvor podataka i prikazuje ih sve na istom prozoru. Elementima iz svakog sloja može da se dodeli boja kojom će biti obojeni kako bi se razlikovali od elemenata iz drugih slojeva. Umesto tačke moguće je dodeliti neki od predefinisanih simbola ili simbola koje korisnik napravi. *QGIS* omogućava dodavanje mape kao novi grafički sloj. Na ovaj način je omogućeno da se vidi geografska lokacija elemenata na mapi. *QGIS* je korišćen kako bi se testirala interoperabilnost *shapefile* formata.

3. DIZAJN REŠENJA

Rešenje je implementirano kao *Microsoft .Net WPF (Windows Presentation Framework)* aplikacija. Prilikom razvoja *WPF* aplikacije korišćen je *MVVM* šablon koji razdvaja razvoj grafičkog korisničkog interfejsa od razvoja poslovne logike. Slika 3.1 prikazuje šematski dijagram toka podataka prilikom korišćenja aplikacije.



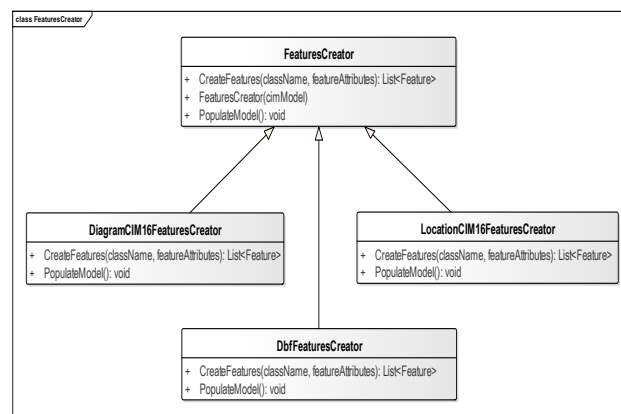
Slika 3.1 Arhitektura rešenja i šematski tok podataka

Kao ulazne podatke aplikacija prima *CIMXML* datoteke koje sadrže model elektroenergetske mreže kao i geoprostorne podatke resursa u mreži. Komponenta *CIMXML parser* učitava ulazne datoteke i parsira ih.

Parsirani podaci se šalju komponenti *Feature Creator* koja podatke učitane iz datoteke pretvara u listu oblika i njihovih atributa. *Shapefile Writer* prima ovu listu i konvertuje je u *shapefile*.

4. OPIS IMPLEMENTACIJE

Aplikacija se sastoji od tri komponente: *CIMXML parser*, *FeaturesCreatorCIM16* i *ShapefileWriter*. *CIMXML parser* učitava jednu ili više *CIMXML* datoteka, prolazi kroz njih liniju po liniju i parsira *XML* elemente i atribute. Parser zatim čita *CIM* resurse i njihove atribute koji su zapisani *XML* sintaksom. Kao rezultat parsiranja dobija se instanca klase *CIMModel*. Ova klasa u sebi sadrži kolekciju svih resursa, a za svaki resurs sadrži kolekciju vrednosti atributa tog resursa. Druga komponenta *FeaturesCreatorCIM16* je i najvažnija komponenta. Apstraktna klasa *FeaturesCreator* sadrži metode koje su potrebne da bi se kreirali *Feature*-i. *Feature* je klasa koja sadrži geoprostorne podatke u atributu *geometry* i atribute resursa u atributu *attributes*. Instanca *Feature* klase predstavlja model *shapefile* oblika u memoriji. U ovoj aplikaciji podržani su oblici *Point* i *MultiLine*. *Feature* predstavlja model podataka koji će biti jedan slog u *shapefile*-u. *FeaturesCreator* sadrži konstruktor koji prima *CIMModel* klasu kao ulazni parametar, jer se *Feature*-i stvaraju na osnovu pročitanih resursa iz datoteke. Apstraktnu klasu *FeaturesCreator* nasleduju tri klase: *DiagramCIM16FeaturesCreator*, *LocationCIM16FeaturesCreator* i *DbfFeaturesCreator*. Klasni dijagram na slici 4.1 prikazuje kako se implementiraju *FeaturesCreator*-i.

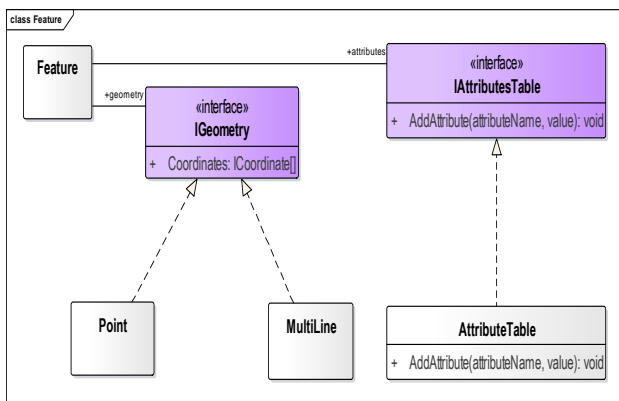


Slika 4.1 FeaturesCreator klasni diagram

DiagramCIM16FeaturesCreator klasa služi za kreiranje *Feature*-a tako što koristi *Diagram* klasu iz *CIMModel*-a kao izvor geoprostornih podataka. Ova klasa je implementirana prema *CIM*-u verziji 16, jer koristi klase *Diagram*, *DiagramObject* i *DiagramObjectPoint* koje su definisane u ovoj verziji. Instance ovih klasa kreira metoda *PopulateModel* na osnovu učitanih podataka iz *CIMXML* datoteke. Interna struktura ovih podataka se koristi za kreiranje *Feature*-a u metodi *CreateFeatures*. Ova metoda kreira *Feature*-e tako što prolazi kroz kolekciju *DiagramObject*-a, i za svaki *DiagramObject* se kreira jedan *Feature*. *DiagramObject* može da sadrži jedan ili više *DiagramObjectPoint*.

Ako sadrži jedan *DiagramObjectPoint* onda će *geometry* atribut da sadrži *Point* oblik, a ako sadrži više od jednog onda će *geometry* atribut da sadrži *MultiLine* oblik. *CreateFeatures* metoda kao parametar prima naziv klase, jer se *Feature*-i prave za svaku klasu posebno.

Razlog toga je što svaka klasa ima različite attribute, a slogovi u *dbf* datoteci moraju imati iste attribute, što znači da će različite klase biti eksportovane u različite *shapefile*-ove. *LocationCIM16FeaturesCreator* radi isto što i *DiagramCIM16FeaturesCreator*, jedino je razlika što ova klasa koristi *Location* klasu kao izvor geoprostornih podataka. *DbfFeaturesCreator* klasa se koristi kada korisnik u aplikaciji odabere opciju da kreira samo *dbf* datoteke. Ova klasa će da od ulaznih resursa iz *CIMXML*-a napravi *Feature*-e koji nemaju geoprostorne podatke, već samo listu atributa. *ShapefileWriter* komponenta služi za kreiranje *shapefile* datoteka. Podaci o oblicima koji će biti zapisani u *shapefile* se dobijaju u listi *Feature*-a od komponente *FeatureCreator*-a. Slika 4.1 prikazuje klasni dijagram koji opisuje kako su modelovani *shapefile* oblici pomoću klase *Feature*. *Feature* klasa sadrži dva atributa, *attributes* i *geometry*. *ShapefileWriter* za svaki *Feature* napravi jedan slog u *shapefile*-u.



Slika 4.2 *Feature* klasni dijagram

5. TESTIRANJE REŠENJA

Prilikom testiranja razvijene aplikacije testirana je brzina rada, odnosno koliko je opterećen procesor prilikom rada. Takođe naknadno je testirana validnost rezultujućih *shapefile*-ova koristeći *QGIS*.

5.1 Brzina rada

Brzina rada aplikacije je testirana pomoću *profiler*-a, alata u okviru programskog okruženja *Visual Studio*. Slika 5.1 prikazuje rezultat testiranja aplikacije pomoću *profiler*-a. *Profiler* rezultate prikazuje u obliku tabele koja ima kolonu *Function Name* koja izlistava imena metoda u aplikaciji koje su testirane, i kolonu *Total CPU (%)* koja pokazuje procentualno koliko se metoda vremenski izvršavala u odnosu na to koliko se cela aplikacija vremenski izvršavala. Tabela sadrži i neke druge kolone koje nisu prikazane na slici, na primer *Total CPU (ms)* koja prikazuje vreme izvršavanja metode u milisekundama. Kolona *Function Name* je organizovana kao stablo, tako da kada se izabere neka funkcija otvara se podstablo funkcija koje se iz nje pozivaju. Analizirajući rezultate vidi se da metoda *LoadXMLFiles* vremenski najviše opterećuje procesor. Sledeća metoda koja najviše

zauzima procesor jeste metoda *CreateFeatures*, međutim vreme izvršavanja je znatno manje u odnosu na metodu *LoadXMLFiles*. *LoadXMLFiles* metoda najviše vremena potroši prilikom parsiranja elemenata u *XML* datoteci kao i na rad sa datotekama. Takođe je testirana zavisnost vremena izvršavanja parsiranja od veličine datoteke. Korišćene su *CIMXML* datoteke koje sadrže definisane elektroenergetske resurse srednjenaponskih izvoda jedne severno-američke distribucije i njihove geoprostorne podatke koristeći *CIM 16*.

Function Name	Total CPU (%)
CIMToShapefileConverter.vshost.exe (PID: 13604)	100.00%
[External Code]	100.00%
Microsoft.VisualStudio.HostingProcess.HostProc:RunUsersAssembly	87.10%
[External Code]	87.10%
CIMToShapefileConverter.App:Main	49.65%
[External Code]	49.65%
CIMToShapefileConverter.MainWindow:Rectangle_Drop	37.20%
CIMToShapefileConverter.ViewModel.MainWindowViewModel:LoadXMLFiles	37.14%
[External Code]	0.06%
dynamicClass:IL_STUB_CLRtoCOM	0.91%
CIMToShapefileConverter.ViewModel.MyCommand:System.Windows.Input.Command.Execute	0.41%
CIMToShapefileConverter.ViewModel.MainWindowViewModel:CreateShapefile	0.39%
CIMToShapefileConverter.Model.ShapefilesWriter:Write	0.38%
CIMToShapefileConverter.Model.DiagramLayout:DiagramCIM16FeatureCreators:CreateFeatures	0.37%
[External Code]	0.01%
[External Code]	0.01%
[External Code]	0.01%
Microsoft.VisualStudio.Debugger.Runtime.Impl.dll!0x0077b458d1c86	0.26%

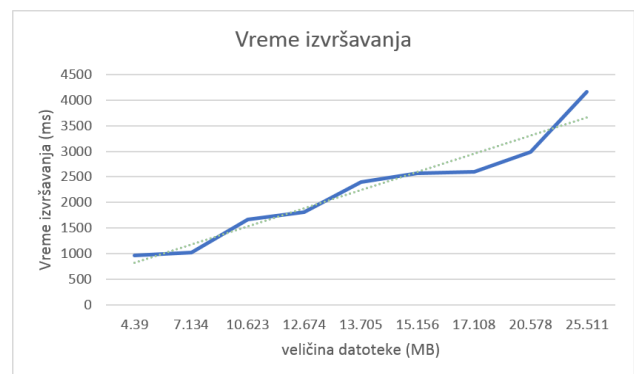
Slika 5.1 *Profiler* analiza rada aplikacije

Tabela 5.1 prikazuje nazive fidera koji su korišćeni za testiranje, veličina datoteke u megabajtima i vreme izvršavanja u milisekundama.

Tabela 5.1 *Vreme izvršavanja parsiranja*

Feeder	File size [MB]	Elapsed [ms]
Feeder 1	4.39	967
Feeder 2	7.134	1025
Feeder 3	10.623	1673
Feeder 4	12.674	1812
Feeder 5	13.705	2398
Feeder 6	15.156	2565
Feeder 7	17.108	2597
Feeder 8	20.578	2983
Feeder 9	25.511	4157

Na slici 5.3 je prikazan grafik koji se dobije korišćenjem podataka iz tabele 5.1.



Slika 5.3 *Vreme izvršavanja parsiranja*

Grafik predstavlja zavisnost vremena izvršavanja od veličine datoteke. Na grafiku se može videti tendencija promene vremena izvršavanja u zavisnosti od veličine datoteke. Vreme izvršavanja raste linearno kada se povećava veličina datoteke.

5.2. Testiranje shapefile-ova

Za testiranje rezultujućih *shapefile*-ova korišćena je aplikacija *QGIS*. *Shapefile*-ovi koji su testirani su dobijeni konverzijom *CGMES CIMXML* datoteka koje *ENTSO-E* koristi za *CIM interoperability* testove. Rezultat sadrži dva *shapefile*-a, jedan za klasu *ACLineSegment* i jedan za klasu *Substation*. Slika 5.3 prikazuje ova dva *shapefile*-a otvorena u *QGIS*-u. Instance *ACLineSegment* klase su prikazane kao zelene linije, a instance *Substation* klase kao plavi kvadrati.



Slika 5.3 *Shapefile* otvoren u *QGIS*-u

Svaki *shapefile* sadrži *dbf* datoteku koja može da sadrži dodatne atribute koji se pridružuju oblicima. *QGIS* za svaki *shapefile* nudi mogućnost otvaranja tabele atributa. Slika 5.4 prikazuje izgled ove tabele za *ACLineSegment*.

ID	r0	shortCircuit	bch	length	x	r	name
1	_0447c6f1-c766...	2.87914181	80	0.000312213	101.782356	9.23472	2.822688 82-96
2	_04483c2a-c766...	5.633876	80	0.0006732093	155.154892	20.0898724	5.523408 23-32
3	_04486330-c766...	5.49169636	80	0.00059573	61.4510345	17.59824	5.384016 69-77
4	_04488a45-c766...	9.508277	80	0.0002341598	118.117485	28.314	9.32104 103-105
5	_04499bb6-c766...	8.637425	80	0.000196281	81.91258	23.8708782	8.468064 49-51
6	_044a10e4-c766...	0.6812784	80	0.00131818186	114.272278	7.744	0.66792 65-68
7	_044a37f2-c766...	4.22985029	80	0.000689363	37.14677	17.371727	4.146912 89-90
8	_044a5f09-c766...	1.2736944	80	0.00254132226	130.187241	15.5848007	1.24872 9-10
9	_044b7078-c766...	9.41941452	80	0.0002708907	26.6151047	31.88592	9.23472 105-107
10	_044b9789-c766...	2.11492515	80	8.18411E-05	37.2328453	9.40896	2.073456 5-6
11	_044bbe91-c766...	1.20457923	80	0.00240082643	250.2668	14.762	1.18096 8-9
12	_044c5ad6-c766...	2.488147	80	8.23003E-05	64.94043	9.530928	2.43936 105-106
13	_044c5ad7-c766...	0.9672968	80	2.14646E-05	29.1255341	2.631024	0.850291 55-56
14	_044c5ads-c766...	4.21207762	80	0.0001365932	38.38349	16.4308319	4.129488 28-29
15	_044c81e1-c766...	7.108992	80	0.0001905418	44.9179039	23.6269436	6.9696 45-46
16	_044c81e3-c766...	3.94450331	80	0.001876033	149.0798	41.624	3.86716 26-30
17	_044cd003-c766...	2.77250671	80	0.0004958678	31.222496	13.9391994	2.718144 23-25
18	_044cd006-c766...	5.296199	80	0.0001440542	69.213974	17.16264	5.192352 31-32
19	_044e56a2-c766...	3.181274	80	7.21993E-05	74.0993347	8.79912	3.118896 48-49
20	_044ef2e1-c766...	3.00354886	80	0.000115932	32.4472427	12.3187675	2.944656 54-55
21	_044ef2e7-c766...	1.53909636	80	6.76079E-05	1	7.910496	1.508918 71-73

Slika 5.4 *ACLineSegment* tabela atributa

Svaka kolona predstavlja jedan atribut, a svaki red predstavlja vrednosti tih atributa za jedan oblik u datom *shapefile*-u. Ova tabela se otvara desnim klikom na sloj nekog *shapefile*-a u *QGIS*-u, a zatim na opciju *Open Attribute Table*.

6. ZAKLJUČAK

Kao rezultat ovog rada dizajnirana je i implementirana aplikacija *CIMToShapefileConverter*. Aplikacija je pokazala način na koji je moguće konvertovati geoprostorne podatke definisane u *CIMv16* u *shapefile*. Ispravnost dobijenih *shapefile*-ova je testirana u *QGIS*-u. Testiranjem performansi aplikacije zaključeno je da aplikacija najviše optereti procesor prilikom parsiranja datoteka i da vreme izvršavanja linearno raste kada se povećava veličina datoteke.

Pošto ova aplikacija podržava samo *CIMv16*, smer budućeg razvoja bi mogao biti usmeren ka dodavanju podrške i za ostale verzije *CIM*-a.

Pored ovog potencijalnog proširenja, aplikacija bi mogla da se proširi sa *plugin* arhitekturom. *FeaturesCreator*-i bi se u tom slučaju učitali dinamički kao *dll plugin*. Ovaj *plugin* bi trebao da sadrži implementaciju apstraktne klase *FeaturesCreator*.

Na ovaj način bi se olakšalo proširivanje aplikacije i svako bi mogao da implementira svoj *FeaturesCreator plugin* za bilo koju verziju *CIM*-a.

7. LITERATURA

- [1] ENTSO-E, "Common Grid Model Exchange Standard," <https://www.entsoe.eu/digital/cim/#common-grid-model-exchange-specification-cgmes>. (pristupljeno u oktobru 2019.)
- [2] ESRI, "ESRI Shapefile Technical Description," <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>. (pristupljeno u oktobru 2019.)
- [3] ESRI, "Spatial Data Standards and GIS Interoperability," <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/spatial-data-standards.pdf>. (pristupljeno u oktobru 2019.)
- [4] "Core IEC Standards," <https://www.iec.ch/smartgrid/standards/>. (pristupljeno u oktobru 2019.)
- [5] Mathias Usler et al., "The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325 - A practical introduction to the CIM" (Power Systems), Berlin, Springer, 2012.

Kratka biografija:



Rade Ilić, rođen je Zrenjaninu 1995. god. Školske 2014/2015. upisao se na Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, odsek Elektrotehnika i računarstvo, smer Primenjeno softversko inženjerstvo. Školske 2018/2019. je upisao master akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Primenjeno softversko inženjerstvo.