

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1205

**Vizualizacija OT elemenata
trafostanice opisane jezikom SCL**

Marko Miljković

Zagreb, lipanj 2023.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1205

Pristupnik: **Marko Miljković (0036534519)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul: Računarstvo
Mentor: izv. prof. dr. sc. Stjepan Groš

Zadatak: **Vizualizacija OT elemenata trafostanice opisane jezikom SCL**

Opis zadatka:

Za opis konfiguracije u pametnoj trafostanici temeljenoj na normi IEC 61850 koristi se jezik SCL (engl. Substation Configuration Language). Opis trafostanice, koji koristi jezik SCL, smješten je tekstnu datoteku koja se često naziva datoteka SCL. S obzirom da su trafostanice vrlo složeni objekti, i sadržaj jedne datoteke SCL je vrlo složen te je teško nekoj osobi analizirati tu datoteku i njen sadržaj. U ovom završnom zadatku potrebno je osmisлити vizualizaciju datoteke SCL koja će omogućiti lakše razumijevanje sadržaja datoteke i strukture trafostanice. Obratiti pozornost da se unutar ostvarene vizualizacije lako dolazi do što veće količine informacija dostupnih u datoteci SCL.

Rok za predaju rada: 9. lipnja 2023.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Pregled IEC 61850 standarda	2
2.1. Sadržaj	2
2.2. Model podataka	4
2.3. Skupovi podataka	7
2.3.1. Perzistentni skupovi podataka	7
2.3.2. Neperzistentni skupovi podataka	7
2.4. Izvještavanje	7
2.4.1. RCB blokovi	8
3. Komunikacija u trafostanici	9
3.1. MMS protokol	9
3.2. GOOSE protokol	12
3.3. SV protokol	13
3.3.1. Procesna sabirnica	13
3.3.2. Protokol uzorkovanih vrijednosti	14
3.4. Šira slika komunikacije u trafostanici	15
4. SCL jezik	17
4.1. Vrste SCL datoteka	17
4.1.1. IED Capability Description (ICD) datoteka	17
4.1.2. Instantiated IED Description (IID) datoteka	18
4.1.3. System Specification Description (SSD) datoteka	18
4.1.4. System Configuration Description (SCD) datoteka	18
4.1.5. Configured IED Description (CID) datoteka	18
4.1.6. System Exchange Description (SED) datoteka	18
4.2. Proces generiranja konfiguracijskih datoteka	19

4.2.1. Konfiguriranje unutar trafostanice	19
4.2.2. Konfiguriranje dviju trafostanica	20
5. Rezultati	21
5.1. Klijentska strana	21
5.2. Poslužiteljska strana	22
6. Zaključak	24
Literatura	25

1. Uvod

Konfiguriranje trafostanice je težak i kompleksan proces koji je neophodan korak u dostavljanju električne energije kućanstvima. Jedna trafostanica sastoji se od mnoštva sklopki, senzora i raznih drugih električnih uređaja. Svi ti uređaji moraju međusobno komunicirati u stvarnom vremenu.

Standard IEC 61850 razvijen je kako bi se standardizirali podatkovni modeli i komunikacijski protokoli u trafostanicama. Time je pojednostavljen proces konfiguracije uređaja u trafostanicama te je omogućena interoperabilnost uređaja različitih proizvođača.

Ovaj rad se bavi IEC61850 standardom i SCL jezikom kojeg on definira. SCL jezik se koristi za izradu konfiguracijskih datoteka uređaja u trafostanicama, ali za razumijevanje što točno te konfiguracijske datoteke opisuju morat ćemo ući dublje u IEC 61850 standard. Također će se implementirati vizualizator koji će olakšati analizu konfiguracijskih datoteka.

U sljedećem, drugom poglavlju se daje kratak pregled nastanka IEC 61850 standarda, opis modela podataka kojeg IEC 61850 standard definira, skupovi podataka i kako se izvješćuju promjene nad tim skupovima podataka. Treće poglavlje bavi se abstraktnim komunikacijskim sučeljem IEC 61850 standarda te protokolima na koje se ono preslikava. U četvrtom poglavlju se opisuju različite SCL datoteke i način na koji se one generiraju. U petom poglavlju su prikazani rezultati implementacije vizualizatora SCL datoteka.

2. Pregled IEC 61850 standarda

U doba ranih trafostanica 1930-ih godina operateri su koristili telefone kako bi razmjenjivali informacije. Kako se razvijala digitalna mrežna oprema, trafostanice su počele koristiti različite sustave za prikupljanje podataka. Ti sustavi su zbog niske propusnosti mreže koristili posebne protokole specifične za pojedine uređaje kako bi se optimizirala uporaba mreže. To je otežalo konfiguraciju i održavanje takvih sustava.

Rastući broj inteligentnih električnih uređaja (engl. *Intelligent Electronic Device, IED*) u trafostanicama stvorio je potrebu za definiranjem standarda. Napretkom mrežne opreme i povećanjem propusnosti mrežnih kanala otvorila se mogućnost za razvijanje fleksibilnijeg protokola. Razvoj takvog standarda započeo je 1988., a konačni rezultat bio je IEC 61850 standard za komunikacijske mreže i sustave u trafostanicama. On je unificirao model podatka i komunikacijske protokole u trafostanicama (Baigent et al., 2004).

2.1. Sadržaj

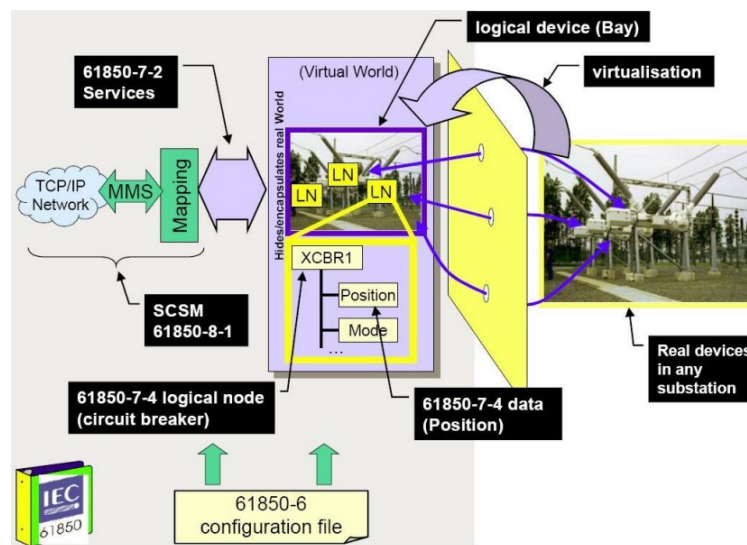
Standard IEC 61850 se sastoji od 10 poglavlja prikazanih u Tablici 2.1. Poglavlje 6 definira jezik za konfiguraciju trafostanica (engl. *Substation Configuration Language, SCL*) zasnovan na XML-u. Poglavlje 7 se bavi stvaranjem apstraktnog modela podataka i apstraktnih sučelja koja će razbiti ovisnost između fizičkih uređaja i konkretnih protokola. Također je uvedena ideja zajedničkih podatkovnih razreda (engl. *Common Data Classes, CDC*) koji čine građevne jedinice za modeliranje složenijih objekata. U poglavljima 8 i 9 se razmatra preslikavanje apstraktnih sučelja iz poglavlja 7 na konkretne protokole. Poglavlje 10 opisuje proces ispitivanja usklađenosti s IEC 61850 standardom.

Tablica 2.1: Poglavlja IEC 61850 standarda

1.	Uvod i pregled
2.	Riječnik pojmova
3.	Opći zahtjevi
4.	Sustavi i upravljenje projektima
5.	Komunikacijski zahtjevi za funkcije i modele uređaja
6.	Konfiguracijski jezik vezan za komunikaciju IED uređaja u električnim trafostanicama
7.	Osnovna komunikacijska struktura za trafostanice i opremu za napajanje
	7.1 - Načela i modeli 7.2 - Sučelje apstraktnog komunikacijskog servisa 7.3 - Zajedničke klase podataka 7.4 - Kompatibilne klase logičkih čvorova i klase podataka
8.	Mapiranje specifične komunikacijske usluge
	8.1 - Preslikavanje na MMS (ISO/IEC 9506) i na ISO/IEC 8802-3
9.	Mapiranje specifične komunikacijske usluge
	9.1 - Uzorkovanje vrijednosti putem serijske jednosmjerne <i>Point-to-Point</i> veze 9.2 - Uzorkovane vrijednosti putem ISO/IEC 8802-3
10.	Ispitivanje usklađenosti

2.2. Model podataka

Za razliku od starijih protokola, IEC 61850 ne modelira samo način prenošenja bitova po žici nego i model podataka koji će biti uniforman za sve logičke uređaje (engl. *logical device, LD*). Na slici 2.1 vidimo kako je trafostanica modelirana. Sve počinje od fizičkog IED uređaja (slika 2.2). Fizički uređaj definiramo kao uređaj koji se spaja na mrežu. Jedan fizički uređaj se sastoji od jednog ili više logičkih uređaja. IEC 61850 model logičkog uređaja omogućuje jednom fizičkom uređaju da djeluje kao posrednik (engl. *proxy*) ili poveznik (engl. *gateway*) za više uređaja. Iz tog razloga na IED uređaj možemo gledati kao na koncentrator podataka (Baigent et al., 2004)



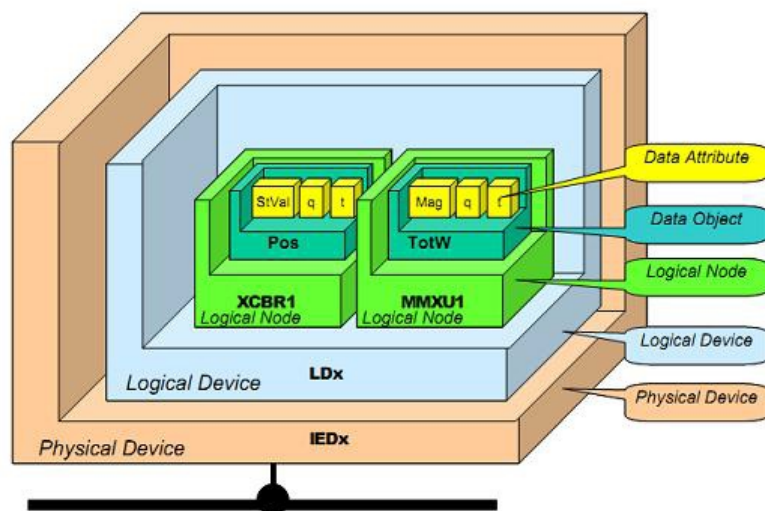
Slika 2.1: Pristup modeliranju trafostanice¹

Svaki logički uređaj sadrži jedan ili više logičkih čvorova (engl. *logical node, LN*). Logički čvor predstavlja skup podataka i prikladnih servisa koji su međusobno logički povezani s jednom zajedničkom funkcijom elektroenergetskog sustava.

Na slici 2.3 se vidi primjer logičkog čvora koji predstavlja prekidač (XCBR). On se sastoji od jednog ili više podatkovnih polja s jedinstvenim imenima. Podatkovna polja *Pos*, koje predstavlja položaj prekidača, i *BlkOpn*, koji predstavlja blok naredbi kad je prekidač u otvorenom položaju. Osim navedenih polja, XCBR logički čvor ima još podatkovnih polja koja nećemo razmatrati. Svako podatkovno polje je usklađeno s CDC specifikacijom. Svaki CDC razred opisuje tip i strukturu podataka u logičkom čvoru. Sa slike 2.3 vidimo da se podatkovno polje *Pos* sastoji od niza podatkovnih atributa vezanih za upravljanje, status, supstituciju i konfiguraciju (Baigent et al., 2004).

¹Preuzeto sa (Zhang i Gunter, 2007)

²Preuzeto sa (Typhoon HIL, 2023b)

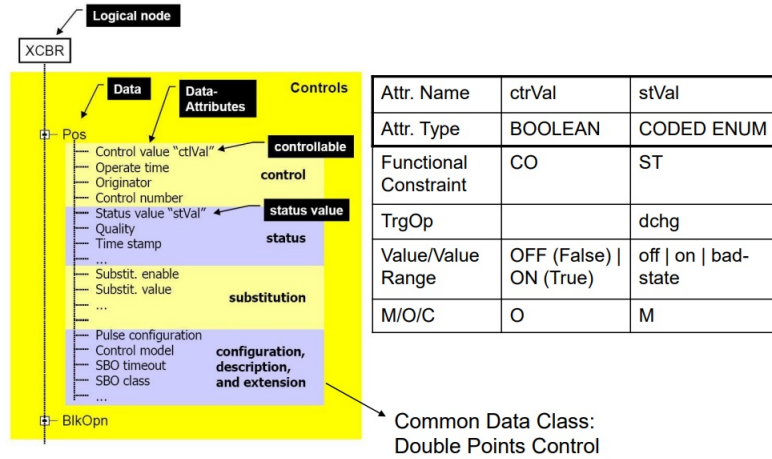


Slika 2.2: Fizički uređaj²

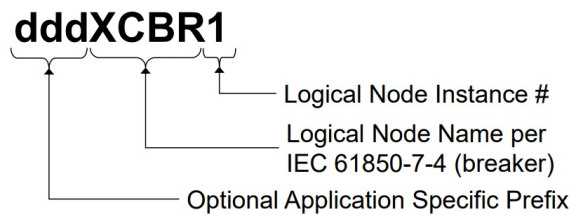
Imenovanje logičkih čvorova je standardizirano je u sedmom poglavlju IEC 61850 standarda. Svaka klasa imena logičkog čvora povezana je s nekom funkcijom elektroenergetskog sustava. Osim imena klase, logički čvor u postfiksima ima svoj broj instance. Također može imati opcionalni prefiks koji se odnosi na njegovu ulogu u uređaju. Na slici 2.4 možete vidjeti primjer imenovanja prekidača. Prvo slovo u imenu klase logičkog čvora također određuje njegovu ulogu:

- "A" za automatsko upravljanje
- "C" za nadzornu kontrolu
- "G" za generičke funkcije
- "I" za sučelje/arhiviranje
- "L" za logički čvor sustava
- "M" za mjerenje
- "P" za zaštitu
- "R" za logičke čvorove vezane za zaštitu
- "S" za senzore
- "T" za mjerni transformator
- "X" za sklopni uređaj
- "Y" za energetski transformator
- "Z" za ostalo

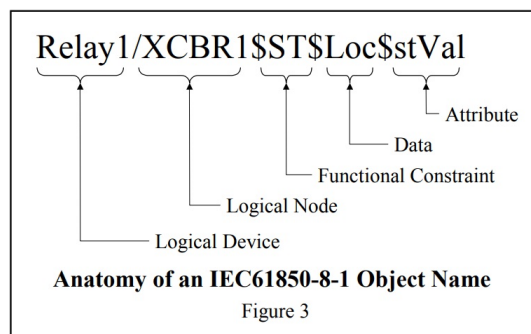
Kako bi bilo moguće referencirati svaki podatkovni atribut unutar IED uređaja osmišljeno je jendoznačno pravilo kod imenovanja IED objekata prikazano na slici 2.5 (Baigent et al., 2004).



Slika 2.3: Primjer logičkog čvora³



Slika 2.4: Imenovanje logičkog čvora⁴



Slika 2.5: Imenovanje IED objekta⁵

³Preuzeto sa (Zhang i Gunter, 2007)

⁴Preuzeto sa (Zhang i Gunter, 2007)

⁵Preuzeto sa (Baigent et al., 2004)

2.3. Skupovi podataka

IEC 61850 omogućuje grupiranje podataka logičkih čvorova u skupove podataka (engl. *Data Sets*). Standard IEC 61850 definira pet ACSI usluga povezanih sa skupovima podataka:

- *GetDataSetValues* za dobivanje vrijednosti svih članova skupa podataka
- *SetDataSetValues* za postavljanje vrijednosti svih članova skupa podataka
- *CreateDataSet* za dinamičko stvaranje novog skupa podataka
- *DeleteDataSet* za brisanje skupa podataka koji je stvoren i
- *GetDataSetDirectory* za dobivanje popisa svih postojećih skupova podataka na poslužitelju.

Skupovi podataka mogu se koristiti za čitanje ili pisanje nekoliko podatkovnih objekata ili podatkovnih atributa odjednom korištenjem *GetDataSetValues* i *SetDataSetValues* ACSI usluga. Koncept skupa podataka također koriste usluge izvješćivanja, zapisivanja, MMS, GOOSE i SV. Postoje dvije vrste skupova podataka.

2.3.1. Perzistentni skupovi podataka

Imaju referencu u formau *LDName/LNName. DataSetName*. Vidljivi su svim klijentima. Perzistentni skupovi podataka mogu se unaprijed konfigurirati u SCL datoteci. Perzistentni skupovi podataka definirani u SCL datoteci se ne mogu izbrisati. Klijenti mogu dinamički kreirati perzistentne skupove podataka te se takvi skupovi podataka kasnije mogu ponovo izbrisati. Dinamički stvoreni skupovi podataka automatski se brišu nakon što se poslužitelj zaustavi.

2.3.2. Neperzistentni skupovi podataka

Imaju referencu u formatu *@datasetname*. Vidljivi su samo klijentu koji ih je stvorio putem ACSI usluge *CreateDataSet*. Ovakvi skupovi podataka postoje samo dok je veza otvorena.

2.4. Izvještavanje

Izvještavanje omogućuje poslužitelju slanje podataka na temelju događaja bez izričitog zahtjeva klijenta. Podaci koji se šalju i događaji koji uzrokuju izvješća konfiguriraju

se putem kontrolnih blokova za izvješćivanje (engl. *Report Control Block, RCB*). Standard razlikuje dvije vrste izvješćivanja:

- izvješćivanje s međuspremnikom
- izvješćivanje bez međuspremnika

Kod izvješćivanja s međuspremnikom poslužitelj sprema izvješća u međuspremnik u slučaju prekida veze s klijentom. Na ovaj način izvješća se mogu poslati nakon što se klijent ponovno spoji. Izvještavanje s međuspremnikom konfigurira se putem kontrolnih blokova za izvješćivanje s međuspremnikom (engl. *Buffered Report Control Blocks, BRCB*). Izvješćivanje bez međuspremnika konfigurira se putem kontrolnih blokova za izvješćivanje bez međuspremnika (engl. *Unbuffered Report Control Blocks, URCB*).

2.4.1. RCB blokovi

RCB blokovi se nalaze unutar logičkih čvorova podatkovnog modela poslužitelja te su definirani u SCL konfiguracijskim datotekama. Oni su fiksni i ne mogu se brisati ili dodavati tijekom izvođenja. Na RCB blok se može pretplatiti samo jedan klijent, nije moguće posluživati više klijenata paralelno. RCB blokovi su uvijek povezani s određenim skupom podataka. Iako RCB blokovi mogu referencirati samo skupove podataka koji se nalaze u istom logičkom čvoru kao i sam RCB blok, oni i dalje mogu nadzirati podatke iz drugih logičkih čvorova jer se članovi skupa podataka mogu nalaziti u drugim logičkim čvorovima. Klijent može dinamički mijenjati pridruženi skup podataka RCB bloka tijekom izvođenja. Pošto se RCB blokovi nalaze u logičkim čvorovima, njihove reference su formata *LDName/LNName.RCBName*. RCB blokovi šalju izvješća o pridruženim skupovima podataka svojim klijentima kada se dogodi neki od događaja definiranih za taj RCB blok u SCL konfiguracijskoj datoteci. Sljedeći događaji mogu uzrokovati da RCB blok pošalje izvješće (beanit, 2023):

- Klijent zatraži opće izvješće (engl. *general interrogation*).
- Promjena nekog od elemenata skupa podataka pridruženog RCB bloku.
- Omogućeno je slanje povremenih izvješća u konfiguraciji RCB bloka.

3. Komunikacija u trafostanici

Sučelje apstraktnih komunikacijskih usluga (engl. *Abstract Communication Service Interface, ACSI*) prema IEC 61850 standardu definira skup usluga i odgovora na te usluge koji omogućuje svim IED uređajima da na identičan način prenose podatke preko mreže. Vremenski osjetljive poruke se preslikavaju na GOOSE i SV protokol, a vremenski neosjetljive poruke na MMS protokol (Baigent et al., 2004).

3.1. MMS protokol

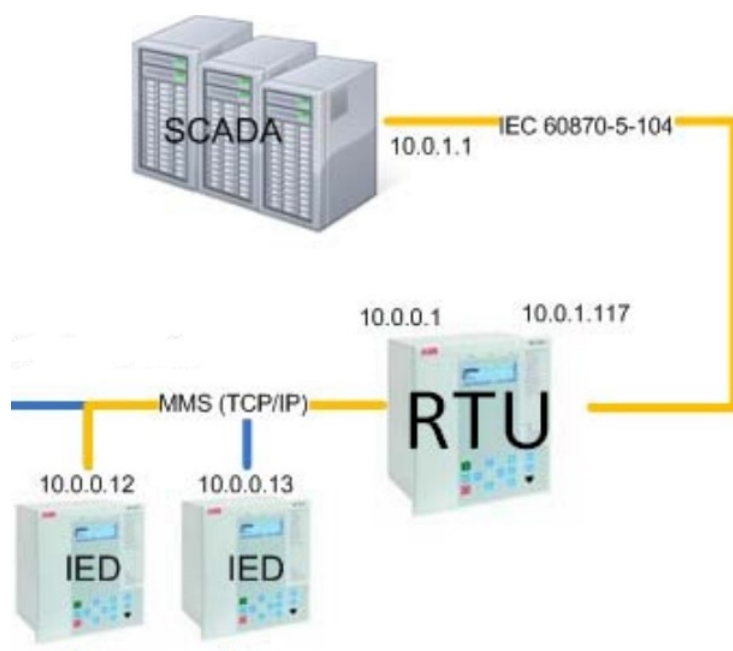
MMS protokol (engl. *Manufacturing Message Specification, MMS*) je poslužitelj/klijent oblik komunikacije. Ovaj protokol služi za razmjenu informacije između IED uređaja te za komunikaciju IED uređaja s uređajima više razine poput računalnih sustava za nadzor, mjerenje i upravljanje (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA*). Komunikacija sa SCADA sustavima se obavlja preko jedinica za udaljeni pristup (engl. *Remote Terminal Unit, RTU*). RTU jedinice služe kao sučelje između IED uređaja i SCADA sustava. Iako se RTU jedinice mogu smatrati dijelom SCADA sustava, one su fizički zasebni uređaji koji s ostatkom SCADA sustava komuniciraju preko radio signala, bakrenih žica ili optičkog kabela (RTU, 2023). Primjer takve komunikacije vidi se na slici 3.1.

Ispod MMS protokola nalaze se TCP/IP protokoli te se time omogućuje pristup MMS poslužiteljima putem IP adrese. Klijenti MMS protokola mogu čitati/pisati podatke, čitati konfiguraciju i razmjenjivati datoteke. Jedna od uloga MMS protokola je automatsko dojavljivanje promjena u skupovima podataka klijentima bez da klijenti zatraže čitanje podataka, a to se ostvaruje pomoću RCB blokova (Typhoon HIL, 2023b). Preslikavanje ACSI sučelja na MMS možemo vidjeti u tablicama 3.1 i 3.2.

¹Preuzeto s (Honeth)

²Preuzeto s (Baigent et al., 2004)

³Preuzeto s (Baigent et al., 2004)



Slika 3.1: Komunikacija putem MMS protokola¹

Tablica 3.1: Preslikavanje IEC 61850 objekata na MMS objekte²

IEC 61850 Objekti	MMS Objekt
SERVER class	Virtual Manufacturing Device
LOGICAL DEVICE class	Domain
LOGICAL NODE class	Named Variable
DATA class	Named Variable
DATA-SET class	Named Variable List
SETTING-GROUP-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
REPORT-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
LOG class	Journal
LOG-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
GOOSE-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
GSSE-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
CONTROL class	Named Variable
Files	Files

Tablica 3.2: Preslikavanje IEC 61850 usluga na MMS usluge³

IEC 61850 Usluge	MMS Usluge
LogicalDeviceDirectory	GetNameList
GetAllDataValues	Read
GetDataValues	Read
SetDataValues	Write
GetDataDirectory	GetNameList
GetDataDefinition	GetVariableAccessAttributes
GetDataSetValues	Read
DataSetValues	Write
CreateDataSet	CreateNamedVariableList
DeleteDataSet	DeleteNamedVariableList
GetDataSetDirectory	GetNameList
Report (Buffered and Unbuffered)	InformationReport
GetBRCBValues/GetURCBValues	Read
SetBRCBValues/SetURCBValues	Write
GetLCBValues	Read
SetLCBValues	Write
QueryLogByTime	ReadJournal
QueryLogAfter	ReadJournal
GetLogStatusValues	GetJournalStatus
Select	Read/Write
SelectWith Value	Read/Write
Cancel	Write
Operate	Write
Command-Termination	Write
TimeActivated-Operate	Write
GetFile	FileOpen/FileRead/FileClose
SetFile	ObtainFile
DeleteFile	FileDelete
GetFileAttributeValues	FileDirectory

3.2. GOOSE protokol

GOOSE protokol (engl. *Generic Object Oriented Substation Event*) je izdavač/pretpatnik oblik komunikacije. Ovaj protokol se također koristi za komunikaciju između IED uređaja (slika 3.2), ali za razliku od MMS protokola, GOOSE protokol se direktno preslikava na *Ethernet* okvir. Time se eliminira obrada bilo kakvih srednjih slojeva i osigurava da se vremenski osjetljive poruke dostave na vrijeme.

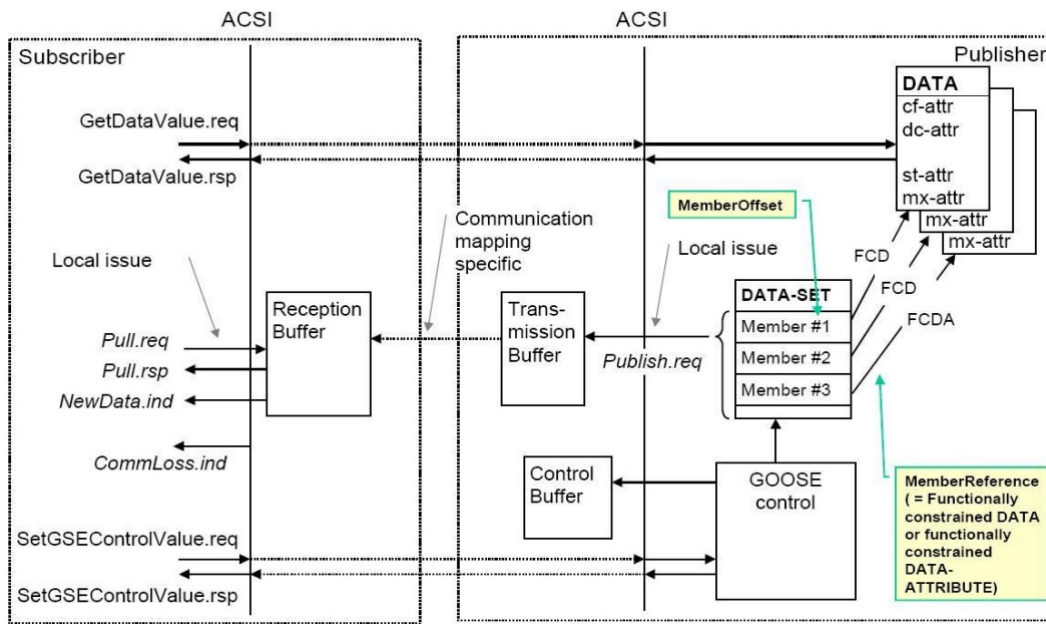


Slika 3.2: Komunikacija između IED uređaja putem GOOSE protokola⁴

GOOSE protokol se temelji na obradi događaja koristeći RCB blokove. Koncept GOOSE komunikacije je da izdavač povremeno šalje kontrolne poruke, a kada se dogodi neki događaj, izdavač šalje niz identičnih poruka s novim podacima. Slanjem niza identičnih poruka smanjuje se mogućnost gubitka poruke s obzirom na to da protokol nema mehanizam kojim bi pretplatnik potvrdio da je primio poruku. Sve poruke se objavljuju pod temom. Pretplatnik prima sve poruke iz sustava, ali filtrira i analizira samo poruke poslane unutar pretplaćene teme. Komunikacija pomoću GOOSE protokola moguća je samo unutar lokalne (LAN) mreže (Typhoon HIL, 2023a).

Na slici 3.3 vidimo primjer komunikacije između izdavača i pretplatnika korištenjem GOOSE protokola. U prvom dijelu komunikacije vidimo da pretplatnik dohvaća podatke od izdavača preko *GetDataValue* ACSI usluge. U drugom dijelu komunikacije vidimo da se jednom od elemenata podatkovnog skupa promijenila vrijednost zbog čega izdavač šalje informaciju o promjeni svim svojim pretplatnicima pomoću *Publish* ACSI usluge. Također je važno primijetiti da se izvješća drže u međuspremniku što nas upućuje na to da je korišten BRCB blok. Na kraju pretplatnik šalje *Generic Substation State Event* (GSSE) poruku. GSSE protokol je nešto jednostavnija verzija GOOSE protokola preslikana na IEC/ISO 8802-2 i 8802-3. Namijenjen je za zastarjele uređaje i unazadnu kompatibilnost te ga nećemo dalje razmatrati (GSSE protocol, 2023).

⁴Preuzeto sa (Honeth)



Slika 3.3: Komunikacija između GOOSE izdavača i pretplatnika⁵

3.3. SV protokol

Da bismo razumjeli ulogu SV protokola prvo se moramo upoznati s procesnom sabirnicom (engl. *Process Bus*).

3.3.1. Procesna sabirnica

Procesni sloj dodan je u model trafostanice kako bi se omogućilo prikupljanje podataka o naponu, struji i statusu transformatora i pretvarača u digitalnom obliku. Svi podatci o naponu, struju i statusu šalju se u sabirne jedinice (engl. *Merge Unit, MU*). MU jedinice uzorkuju podatke dogovorenom i sinkroniziranom brzinom. Tako svaki IED uređaj može usklađeno primiti podatke od više MU jedinica. Trenutno su definirane dvije frekvencije uzorkovanja:

- 80 uzoraka po ciklusu za osnovnu zaštitu i nadzor i
- 256 uzoraka po ciklusu za visokofrekventne primjere.

Duljina ciklusa ovisi o frekvenciji mjenog signala. Uzmimo za primjer frekvenciju mjenog signala od 50 Hz i frekvenciju uzorkovanja 80 uzoraka po ciklusu. Tada bi period uzorkovanja bio:

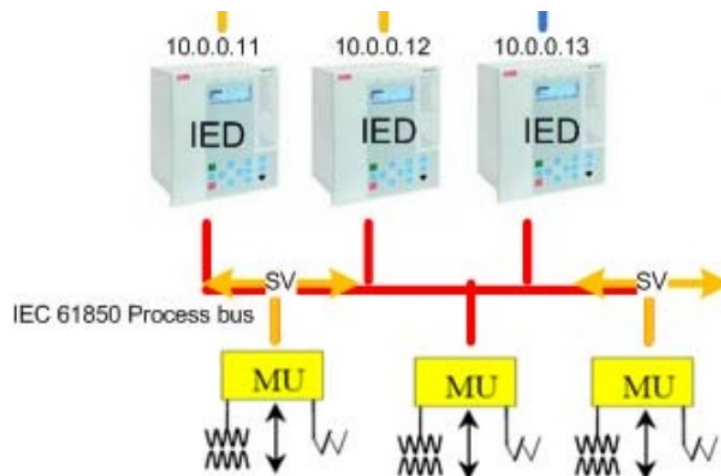
$$T_{\text{uzorkovanja}} = \frac{1}{50\text{Hz} \cdot 80} = 250\mu\text{s}.$$

⁵Preuzeto sa (Zhang i Gunter, 2007)

IEC 61850 norma definira prenošenje ovih podataka putem dvije različite definicije protokola. Poglavlje 9.1 spomenute norme definira *Unidirectional Multidrop Point-to-Point* fiksnu vezu koja prenosi fiksni skup podataka i nećemo je dalje razmatrati. Poglavlje 9.2 definira konfigurabilni skup podataka koji se prenosi višestruko od jednog izdavača na više pretplatnika. U definiciju iz poglavlja 9.2 upada SV protokol. Oba poglavlja definiraju da se protokoli preslikavaju direktno u *Ethernet* okvire kako bi se izbjegla obrada srednjih slojeva. Ovisno o brzini uzorkovanja, na jedan 100MB *Ethernet* priključak može se povezati od 1 do 5 MU jedinica. Više 100MB *Ethernet* priključaka može se zatim kombinirati u jedan *Ethernet* preklopnik s okosnicom od 1GB. U ovoj konfiguraciji moguće je dostavljati i do 50 skupova podataka pretplatnicima (Baigent et al., 2004).

3.3.2. Protokol uzorkovanih vrijednosti

Protokol uzorkovanih vrijednosti (engl. *Sampled Values, SV*) je oblik komunikacije izdavač/pretpatnik. Ovaj protokol se koristi za razmjenu informacija između MU jedinica i IED uređaja preko *Etherneta*. Na slici 3.4 ja prikazana komunikacija MU jedinice i IED uređaja putem procesne sabirnice koristeći SV protokol. Kao i kod GO-OSE protokola, sve poruke se objavljuju pod temom. Pretplatnik prima sve poruke iz sustava, ali filtrira i analizira samo poruke poslane s pretplaćenom temom. Ovaj protokol moguće je koristiti samo unutar lokalne (LAN) mreže (Typhoon HIL, 2023c).

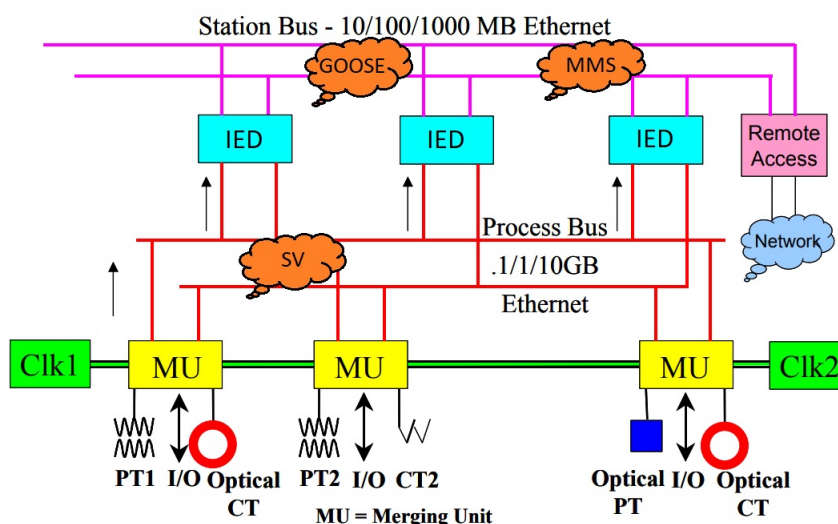


Slika 3.4: Komunikacija preko procesne sabirnice⁶

⁶Preuzeto sa (Honeth)

3.4. Šira slika komunikacije u trafostanici

Na slici 3.5 se vidi pojednostavljena arhitektura komunikacijskog sustava IEC 61850 trafostanice. Na procesnom sloju podaci iz optičkih/elektroničkih senzora napona, struje i informacije o statusu prikupljaju se i digitaliziraju u MU jedinicama. MU jedinice se mogu fizički nalaziti na terenu ili u kontrolnoj kući. Podaci iz MU jedinica će se prikupljati preko redundantnih 100MB optičkih *Ethernet* veza. Te *Ethernet* veze zatim se kombiniraju u redundantne *Ethernet* preklopnike s okosnicom od 1GB koji podržavaju prioritetni *Ethernet* i *Ethernet Virtual LAN* (VLAN). VLAN omogućuje *Ethernet* preklopniku isporuku skupova podataka samo onim priključcima/IED uređajima koji su pretplaćeni za primanje podataka. Komunikacija na ovoj razini se odvija uz pomoć SV protokola.



Slika 3.5: Arhitektura komunikacijskog sustava IEC 61850 trafostanice⁷

Također je potrebno obratiti pažnju na redundantne sinkronizacijske satove. U ovoj arhitekturi, ako dođe do kvara prvog sinkronizacijskog sata, drugi sinkronizacijski sat će se automatski uključiti i nastaviti pružati sinkronizaciju uzorkovanja.

Na razini trafostanice postoji sabirnica (engl. *Station Bus*) koja se temelji na 10MB i 100MB *Ethernetu*. Ona osigurava primarnu komunikaciju između različitih logičkih čvorova IED uređaja koji pružaju različite funkcije zaštite, kontrole i nadzora stanice. Komunikacija na ovoj razini se odvija pomoću GOOSE i MMS protokola. Na ovoj razini je također poželjno imati redundantnu komunikacijsku arhitekturu jer u slučaju kvara i prekida komunikacijskih veza između IED uređaja može doći do ozbiljnijih

⁷Preuzeto sa (Honeth)

oštećenja na trafostanici.

Konačno, ova arhitektura podržava udaljeni pristup mreži za sve vrste čitanja i pisanja podataka. Udaljeni klijenti imaju pristup širokom spektru dostupnih informacija.

Tipični klijenti su:

- lokalna sučelja (engl. *Human Machine Interface, HMI*)
- operateri
- inženjeri i
- tim za održavanje.

Kod udaljene pristupne točke potrebno je implementirati sigurnosne funkcije kao što su enkripcija i autentifikacija. Ovakva implementacija rasterećuje pojedinačne IED uređaje od izvođenja enkripcije na internim prijenosima podataka, ali i dalje pruža sigurnost na svim vanjskim transakcijama (Baigent et al., 2004).

4. SCL jezik

Jezik za konfiguraciju trafostanica (engl. *Substation Configuration Language, SCL*) se temelji na *eXtensible Markup Language* (XML) jeziku te služi za opisivanje sustava temeljenih na IEC 61850 standardu. SCL specificira hijerarhiju jednoznačnih i standardiziranih XML konfiguracijskih datoteka koje omogućuju konfiguriranje trafostanice na više razina (Baigent et al., 2004). SCL datoteke se razmjenjuju između različitih konfiguratora i IED uređaja tijekom procesa konfiguracije. Sudionici u procesu konfiguracije trafostanice su:

- konfigurator IED uređaja
- konfigurator sustava
- IED uređaj.

4.1. Vrste SCL datoteka

IEC 61850 definira šest različitih SCL datoteka te svaka od njih ima zasebnu ulogu u konfiguriranju trafostanice. Svaka datoteka sadrži broj verzije i broj revizije kako bi se razlikovale revidirane i stare datoteke (Aftab et al., 2019).

4.1.1. IED Capability Description (ICD) datoteka

Ova datoteka sadrži pregled funkcionalnosti i mogućnosti IED uređaja u obliku predloška kojeg proizvođač isporučuje zajedno s IED uređajem. Vlasnik može izmjenjivati taj predložak kako bi implementirao dodatne mogućnosti. ICD datoteka također sadrži logičke čvorove i odgovarajuće tipove podataka povezane s mogućnostima IED uređaja. ICD datoteku IED konfigurator šalje konfiguratoru sustava nakon svake izmjene rasporeda sustava, tj. u slučaju dodavanja ili uklanjanja IED uređaja u sustavu, kako bi se trafostanica ponovno konfigurirala. Ekstenzija datoteke koja se koristi za ICD datoteku je *.icd*.

4.1.2. Instantiated IED Description (IID) datoteka

Ova datoteka sadrži instancirane podatkovne objekte dobivene iz predloška podataka i koristi se kada je potrebno izvršiti određene izmjene u IED uređaju. Budući da se proces konfiguracije IED uređaja odvija višestrukim razmjenama konfiguracijskih datoteka, izmjena mogućnosti IED uređaja u kasnijoj fazi može se izvršiti putem IID datoteke. Obično je potrebno uključiti unaprijed konfiguriranu datoteku instance za IED uređaj, u slučaju da se vrijednost instance promijeni ili dođe do drugih manjih izmjena. Ekstenzija datoteke koja se koristi za razlikovanje ove vrste datoteke je *.iid*.

4.1.3. System Specification Description (SSD) datoteka

Ova datoteka se šalje iz alata za specifikaciju sustava u konfigurator sustava. Sadrži pregled strukture trafostanice kao dijagram s jednom linijom, funkcije trafostanice i potrebne logičke čvorove. Također sadrži predloške tipova podataka za pridružene logičke čvorove. Ekstenzija datoteke koja se koristi za ovu datoteku je *.ssd*.

4.1.4. System Configuration Description (SCD) datoteka

Ovu datoteku generira konfigurator sustava nakon kombiniranja svih ICD datoteka dobivenih iz različitih IED konfiguratora. Ova datoteka sadrži potpuni opis procesa uključujući konfiguraciju za sve IED uređaje prisutne u trafostanici, strukturu ili izgled trafostanice i konfiguraciju komunikacije. Ekstenzija datoteke koja se koristi za SCD datoteku je *.scd*.

4.1.5. Configured IED Description (CID) datoteka

Ova datoteka sadrži sve informacije potrebne za odgovarajući IED uređaj. Ona opisuju instancirani IED uređaj unutar projekta. Sadrži potpuni opis IED uređaja i njegovu adresu. CID datoteka se dijeli sa svim drugim IED uređajima prije početka rada sustava. Konfigurator sustava vraća ovu datoteku IED konfiguratoru nakon završetka procesa konfiguracije. Ekstenzija datoteke koja se koristi za CID datoteku je *.cid*.

4.1.6. System Exchange Description (SED) datoteka

Ova datoteka služi za konfiguriranje komunikacije između dvije trafostanice u IEC 61850 komunikacijskoj mreži. Ekstenzija datoteke koja se koristi za SED datoteku je *.sed*.

4.2. Proces generiranja konfiguracijskih datoteka

U procesu generiranja konfiguracijskih datoteka konačni cilj je SCD datoteka. Ona sadrži informacije o svim IED uređajima, rasporedu trafostanice, tipovima podataka i pridruženim logičkim čvorovima te opis komunikacije. Na slici 4.1 je prikazan tijek generiranja različitih vrsta SCL datoteka.

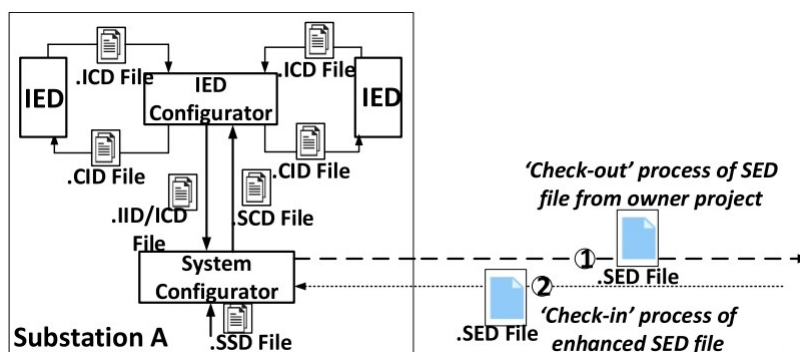
4.2.1. Konfiguriranje unutar trafostanice

Na početku svaki IED uređaj dostavlja svoju ICD datoteku IED konfiguratoru. U slučaju da je potrebna bilo kakva izmjena u opisu IED uređaja tijekom procesa konfiguracije, IID datoteka se dostavlja u IED konfigurator. IED konfiguratori prikupljaju sve ICD i IID datoteke od različitih IED uređaja te ih zatim šalju konfiguratoru sustava.

Nakon toga konfigurator sustava ima opise mogućnosti svih IED uređaja. Nakon toga se konfiguratoru sustava dostavlja SSD datoteka iz alata za specifikaciju sustava. SSD datoteka sadrži osnovne informacije o izgledu sustava i potrebnim logičkim čvorovima. Konfigurator sustava zatim kombinira sve ove informacije i generira SCD datoteku.

Generirana SCD datoteka konačno se dijeli s IED konfiguratorima, koji pomoću SCD datoteke i ICD datoteka generiraju CID datoteku za svaki IED uređaj. CID datoteka sadrži osnovni pregled konfiguracije sustava zajedno s adresama svih povezanih IED uređaja. Dijeli se sa svim IED uređajima u trafostanici prije početka rada.

Ovaj proces se ponavlja nekoliko puta kako bi se osiguralo da su svi dijelovi sustava ispravno konfigurirani. U slučaju dodavanja ili uklanjanja IED uređaja iz sustava, isti se postupak ponavlja.



Slika 4.1: Postupak generiranja SCL datoteka¹

¹Preuzeto sa (Aftab et al., 2019)

4.2.2. Konfiguriranje dviju trafostanica

Postoje i situacije u kojima dvije trafostanice moraju međusobno komunicirati. Jedan takav primjer je zaštita vodova koja zahtjeva da IED uređaj jedne trafostanice zna svojstva IED uređaja druge trafostanice. Ovo je potrebno kako bi se u skup podataka RCB bloka jedne trafostanice dodali podatci iz IED uređaja udaljene trafostanice. Postupak konfiguracije između dvije trafostanice se postiže razmjenom SED konfiguracijskih datoteka. SED datoteka sadrži sve informacije o trafostanici poput SCD datotke, ali uz to ima dodatna polja za informacije koje trafostanica očekuje od druge trafostanice.

Konfigurator sustava lokalne trafostanice *odjavljuje* (engl. *Check-out*) svoju SED datoteku iz projekta te je šalje udaljenoj trafostanici. Zatražene informacije konfigurator sustava udaljene trafostanice dodaje u SED datoteku koja se zatim vraća lokalnoj trafostanici. Konfigurator sustava lokalne trafostanice nakon toga *prijavljuje* (engl. *Check-in*) modificiranu vraćenu SED datoteku u vlasnički projekt. Time je razmjena podataka obavljena (Aftab et al., 2019).

5. Rezultati

Programska implementacija vizualizatora SCL konfiguracijskih datoteka ostvarena je u obliku Web aplikacije. Web aplikacija je podijeljena na klijentsku (engl. *frontend*) i poslužiteljsku (engl. *backend*) stranu.

5.1. Klijentska strana

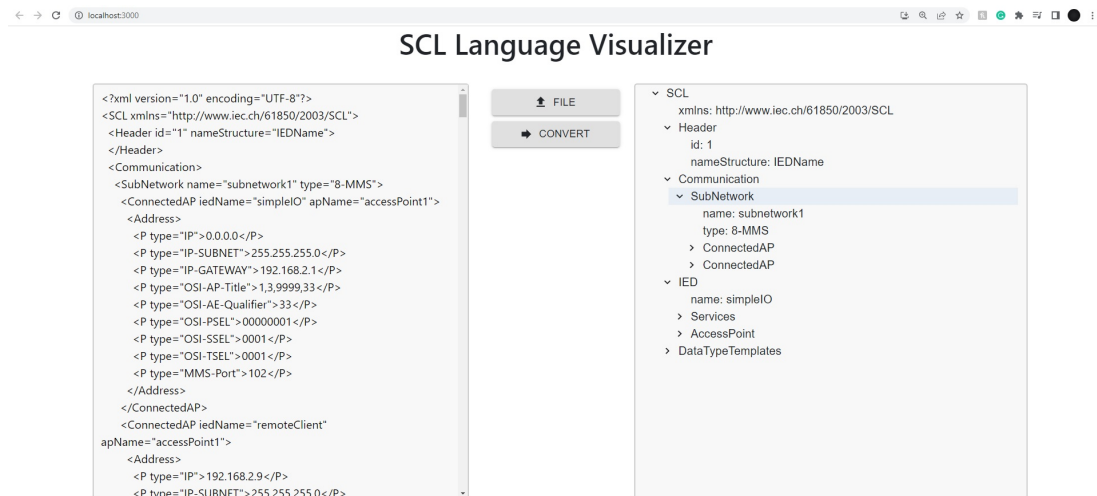
Klijentska strana je pisana u programskom jeziku *JavaScript*. Za pozicioniranje i stiliziranje korisničkog sučelja korišten je CSS radni okvir *Bootstrap* verzije 5.2.3. *Bootstrap* olakšava dizajniranje korisničkog sučelja te gotovo u potpunosti eliminira potrebu za pisanjem CSS koda. Također su korištene biblioteke:

- *React* verzije 18.2.0 i
- *Material UI* verzije 5.13.1.

React je biblioteka otvorenog koda koju održava Meta (nekadašnji Facebook). Pisana je u *JavaScriptu* i služi kako bi se olakšao razvoj korisničkih sučelja za Web. To postiže organizacijom srodnih dijelova korisničkog sučelja u komponente koje se kasnije mogu ponovno upotrijebiti. *Material UI* je također biblioteka otvorenog koda koja nudi gotove *React* komponente. Ponuđene komponente rješavaju učestale probleme korisničkih sučelja poput padajućih izbornika, botuna i sličnog.

Uloga klijentske strana je dobivanje unosa od korisnika. Komponenta *TextInput* služi za čuvanje stanja i uređivanje SCL datoteke. Kako ne bismo morali ručno popunjavati *TextInput* komponentu sadržajem SCL datoteke, moguće je učitati čitavu SCL datoteku pomoću *UploadButton* komponente. Nakon što *TextInput* komponenta ispunjena sadržajem željene SCL datoteke, postupak vizualizacije pokreće se pomoću *ConvertButton* komponente. *ConvertButton* komponenta šalje sadržaj *TextInput* komponente poslužiteljskoj strani na obradu. Klijentska aplikacija zatim od poslužiteljske strane dobije JSON datoteku dogovorenog formata pomoću koje *TextVisualizer* i *TextNode* komponente generiraju vizualizaciju SCL datoteke. Prikaz sučelja klijentske

strane može se vidjeti na slici 5.1.



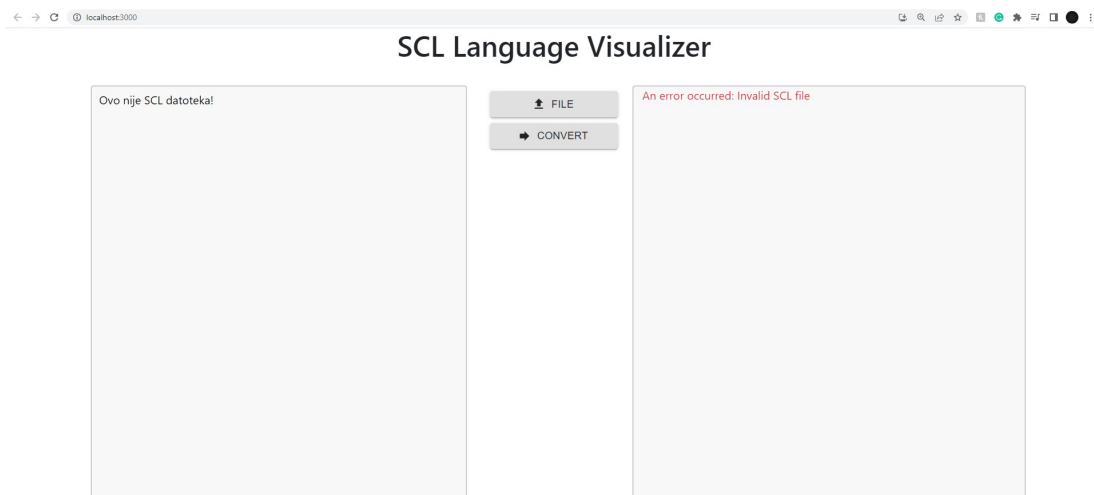
Slika 5.1: Korisničko sučelje klijentske strane

5.2. Poslužiteljska strana

Poslužiteljska strana je pisana u programskom jeziku *Java* verzije 17. Također je korišten upravitelj projekta *Maven* verzije 3.8.6 i radni okvir *Spring Boot* verzije 3.0.6.

Uloga poslužiteljske strane je obrada SCL datoteke te generiranje JSON datoteke dogovorenog formata pomoću koju će klijentska strana prikazati vizualizaciju SCL datoteke. Obrada klijentskog zahtjeva počinje u razredu *ScIVisualizerController*. *ScIVisualizerController* razred na putanji */scl* očekuje tekstualni sadržaj SCL datoteke koji će biti poslan pomoću *HTTP POST* metode. Dobiveni tekst SCL datoteke se zatim prosljeđuje na *ScIParserServiceJpa* razred. *ScIParserServiceJpa* razred je odgovoran za parsiranje i generiranje odgovora klijentu. Ako je parsiranje uspješno klijentu se preko *SCLVisualizerController* razreda vraća rezultat parsiranja u JSON obliku dogovorenog formata. U slučaju greške pri obradi, na klijentsku stranu se šalje prikladna poruka preko *SCLVisualizerController* razreda koja će se prikazati umjesto vizualizacije (slika 5.2).

Za parsiranje se koristi pomoćni razred *SCLParser* koji koristi *SAXParser*, *Javini* nativni XML parser. *SAXParser* obilazi XML oznake SCL datoteke te od njih stvara čvorove. U čvorovima se čuvaju atributi XML oznake te popis djece, odnosno čvorova koji su sadržani unutar ove XML oznake. Na ovaj način dobivamo strukturu stabla



Slika 5.2: Prikaz pogreške na klijentskoj strani

povezanih čvorova. Rekurzivnim obilaskom čvorova stabla u dubinu generira se JSON. Svaki obiđeni čvor stabla se preslika u JSON objekt s argumentima:

- ime XML oznake (*name*)
- argumenti XML oznake (*args*)
- vrijednost XML oznake (*value*) i
- lisat ugniježđenih XML oznaka (*children*).

Uzmimo za primjer jednu XML oznaku iz SCL datoteke.

```
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL">
  ...
</SCL>
```

U nastavku slijedi JSON objekt u koji će se ta XML oznaka preslikati.

```
{
  "name": "SCL",
  "args": {
    "xmlns": "http://www.iec.ch/61850/2003/SCL"
  },
  "value": "",
  "children": [...]
}
```

6. Zaključak

Ovaj rad proučava IEC 61850 standard te modele podataka, komunikacijske protokole i konfiguracijski SCL jezik koji on definira. Uz rad je i implementiran alat koji vizualizira SCL datoteke.

Najteži dio ovog rada bila je dubina samog IEC 61850 standarda i potrebno predznanje da bi se razumjele njegove implikacije. Dokumentacija vezana za IEC 61850 je oskudna što je također otežalo istraživački dio zadatka.

U konačnici je sam vizualizator poprilično jednostavan, posebice u odnosu na kompleksnost SCL jezika. Neovisno o tome, implementirani vizualizator je dobar temelj za razumjevanje SCL datoteka. Programski kod je organiziran na način koji je lako nadogradiv stoga se mogućnosti vizualizatora mogu proširiti.

Za daljnji nastavak ovog rada potrebno je detaljnije proučiti IED konfigurator i konfigurator sustava kako bi se vizualizator mogao proširiti novim mogućnostima.

LITERATURA

Mohd Asim Aftab, SM Suhail Hussain, Iqbal Ali, i Taha Selim Ustun. A novel scl configuration method for modeling microgrids with iec 61850. *IEEE Systems Journal*, 14(2):2676–2683, 2019.

Drew Baigent, Mark Adamiak, Ralph Mackiewicz, i GMGM Sisco. Iec 61850 communication networks and systems in substations: An overview for users. *SISCO Systems*, 2004.

beanit. Iec 61850 data sets tutorial, 2023. URL <https://www.beanit.com/iec-61850/tutorial/>.

GSSE protocol. Generic substation events — Wikipedia, the free encyclopedia, 2023. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Generic_Substation_Events&oldid=1139948633.

Nicholas Honeth. Interfacing with opc, iec61850 and iec 60870-5-10x. URL <https://www.kth.se/social/upload/4ea723cbf276541672000001/Agent-OPC-RTU%20interfacing.pdf>.

RTU. Remote terminal unit — Wikipedia, the free encyclopedia, 2023. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Remote_terminal_unit&oldid=1153180526.

Documentation Typhoon HIL. Iec 61850 goose protocol, 2023a. URL https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_goose_protocol.html.

Documentation Typhoon HIL. Iec 61850 mms protocol, 2023b. URL https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_mms_protocol.html.

Documentation Typhoon HIL. Iec 61850 sampled values protocol, 2023c. URL https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_sampled_values_protocol.html.

Jianqing Zhang i Carl A Gunter. Iec 61850-communication networks and systems in substations: an overview of computer science. *University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2007. URL <http://seclab.illinois.edu/wp-content/uploads/2011/03/iec61850-intro.pdf>.

Vizualizacija OT elemenata trafostanice opisane jezikom SCL

Sažetak

Trafostanice su ključni dio elektroenergetskog sustava, a njihova konfiguracija i arhitektura su kritični za sigurnu i pouzdanu dostavu električne energije kućanstvima. Ovaj rad se bavi IEC 61850 standardom koji je pojednostavnio dizajniranje i konfiguriranje trafostanica. IEC 61850 unificira modele podataka i komunikacijske protokole u trafostanicama te time omogućuje interoperabilnost uređaja različitih proizvođača. Također, uz ovaj rad implementiran je vizualizator konfiguracijskih datoteka pisanih SCL jezikom kojeg definira IEC 61850 standard.

Ključne riječi: IEC 61850, automatizacija trafostanice, komunikacijski protokoli, SCL jezik

Visualization of substation OT elements described using SCL language

Abstract

Substations are a key part of the power system and their configuration and architecture are critical for the safe and reliable delivery of electricity to households. This paper focuses on the IEC 61850 standard, which simplified the design and configuration of substations. IEC 61850 unifies data models and communication protocols in substations and thus enables the interoperability of devices between different manufacturers. Also, along with this work, a visualizer of configuration files written in SCL language defined by the IEC 61850 standard was implemented.

Keywords: IEC 61850, substation automation, communication protocols, SCL language