

## UPOREDNA ANALIZA PRIMENJENIH REŠENJA NAPREDNE AUTOMATIZACIJE SNDM MREŽE

### COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLIED SOLUTIONS OF ADVANCED AUTOMATION OF THE MV ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK

Dušan VUKOTIĆ, „Elektrodistribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, Srbija  
Stojan ŠIŠKOSKI, „Elektrodistribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, Srbija  
Božidar ĆIRIĆ, „Elektrodistribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, Srbija

#### KRATAK SADRŽAJ

Pre više od dve decenije, za elektrodistributivno području grada Beograda je usvojen koncept automatizacije SNDM mreže, koji je bio početna osnova za dalju intenzivnu automatizaciju SNDM mreže. Konceptcija SNDM mreže se pre svega zasnivala na decentralizovanom konceptu, gde je veliki broj elemenata bio planiran za integraciju u SDU, sa mogućnošću aktiviranja standardnih predefinisanih funkcija lokalne automatike. U okviru usvojene koncepcije automatizacije SNDM mreže, planirana je primena i velikog broja integrisanih indikatora prolaska struje kvara pre svega u SN nadzemnoj elektrodistributivnoj mreži. Kako se situacija na tržištu opreme za automatizaciju SNDM mreže dramatično promenila usled intenzivne digitalizacije, dalje pravce u smislu primene sve većeg broja automatizovanih tačaka u okviru SNDM mreže je bilo potrebno redefinisati. Takođe, zahtevi u pogledu sve veće pouzdanosti SNDM mreže doveli su do situacije da je potrebno povećati stepen automatizacije SNDM mreže, ali i da se obezbedi daleko veći stepen koordinacije između ugrađene opreme za automatizaciju SNDM mreže. Iz navedenih razloga bilo je neophodno započeti sa primenom novih savremenih koncepata napredne automatizacije SNDM mreže, koja su bila podržana najnovijom generacijom opreme i rešenja najvećih svetskih proizvođača opreme. Jedno rešenje je obuhvatalo primenu polu-decentralizovane koncepcije sa mrežnim kontrolerima, dok je drugo rešenje obuhvatalo primenu rešenja bez mrežnog kontrolera sa predefinisanim aplikativnim algoritmom u okviru ugrađene i integrisane opreme za automatizaciju SNDM mreže. Oba rešenja su značajno podigla stepen automatizacije SNDM kablovske mreže u centralnim delovima grada, gde je izuzetno veliko specifično površinsko opterećenje, a samim tim obuhvaćen je veliki broj krajnjih kupaca realizovanim rešenjima. U radu je data uporedna analiza primenjenih rešenja, pri čemu je dat poseban osvrt na sve uočene prednosti primenjenih rešenja, ali i uočene nedostatke.

**Ključne riječi:** Napredna automatizacija, Inteligentna mreža, Aktivna mreža

#### ABSTRACT

More than two decades ago, the concept of automation of the MV network was adopted for the distribution area of the city of Belgrade, which was the initial basis for further intensive automation of the MV network. The concept of the MV electric distribution network was primarily based on a decentralized concept, where many elements were planned for integration in the SCADA system, with the possibility of activating standard predefined functions of local automation. Also, the requirements regarding the increasing reliability of the MV network led to the situation that it is necessary to increase the degree of automation of the MV network, but also to ensure a far greater degree of coordination between the installed equipment for the automation of the MV network. For the above reasons, it was necessary to start with the application of new modern concepts of advanced automation of the MV network, which were supported by the latest generation of equipment and solutions from the world's largest equipment manufacturers. One solution included the application of a semi-decentralized concept with network controllers, while the other solution included the application of a solution without a network controller with a predefined application algorithm within the built-in and integrated MV network automation equipment. Both solutions have significantly increased the degree of automation of the MV underground network in the central parts of the city, where there is an extremely high specific surface load, and therefore a large number of end users are covered by the implemented solutions. The paper provides a comparative analysis of the applied solutions, with a special review of all the observed advantages of the applied solutions, as well as the observed disadvantages.

**Key words:** Advanced Automation, Smart Grids, Active Network

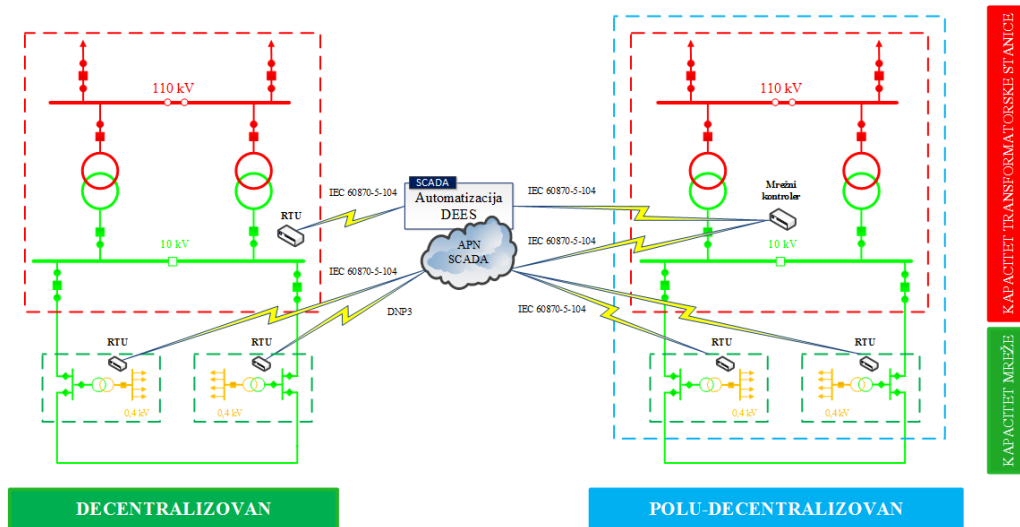
Dušan Vukotić, dusan.vukotic@ods.rs

## 1. UVOD

U trenutku kada je integracija distribuirane proizvodnje u okviru elektrodistributivne mreže na svima naponskim nivoima praktično došla do kritičnih nivoa, automatizacija distributivne elektrodistributivne mreže dobija na sve većem značaju. Praktično je od samog početka primene koncepcija „inteligentnih mreža“ (Smart Grids) bilo je jasno da automatizacija elektrodistributivne mreže predstavlja osnovu za dalji razvoj i njihovu široku primenu. Nažalost, prilikom razvoja i primene „inteligentnih mreža“ pristupilo se implementaciji nekih drugih segmenata „inteligentnih mreža“, kao što je npr. realizacija AMI sistema kroz masovnu zamenu („roll-out“) postojećih elektro-mehaničkih brojlara sa „inteligentnim brojilima“ („Smart meter“). U poslednje vreme došlo se do zaključka da je automatizacija mreže ključna za obezbeđivanje masovne integracije distribuirane proizvodnje u elektrodistributivnu mrežu, pre svega što ona u sebi objedinjuje osnovni fundament „inteligentnih mreža“ koji se ogleda u potpunoj integraciji energetskih i telekomunikacionih resursa koje poseduje jedno elektroprivredno preduzeće. Takve mreže postaju osnov za efikasno upravljanje aktivnim distributivnim mrežama, pre kojima se postavljaju višestruki izazovi, a koji su u poslednje vreme oličeni u potrebi da se obezbedi potreba fleksibilnost u okviru elektrodistributivnih mreža. Predstojeće stanje mreže, kao i promena karaktera elektrodistributivne mreže u aktivnu mrežu, zahteva pre svega intenzivnu modernizaciju sredjenaponske elektrodistributivne mreže (SNDM), u okviru koje je „Elektrodistribucija Srbije“ kao operator distributivnog sistema (ODS) u Republici Srbiji planirala velika finansijska sredstva da uloži u njenu modernizaciju. Modernizacija u cilju automatizacije SNDM mreže je započela pre više od dvadeset godina, kada je usvojena inicijalna koncepcija upravljanja SNDM mrežom na konzumnom području grada Beograda. Kroz dve početne faze implementacije primene automatizacije SNDM mreže, kada su prvobitno uvedena rešenja decentralizovanog upravljanja i nadzor na nadzemnoj SNDM mreži kroz uvođenje reklozera i daljinski upravljivih sklopka-rastavljača i njihova integracija u Sistem Daljinskog Upravljanja (SDU), kao i ugradnja automatizovanih SN blokova tipa („Ring Main Unit - RMU“) sa ugrađenim daljinskim stanicama u kojima su realizovane funkcije lokalne automatike. Nakon ove dve faze, kada se u velikoj meri od strane ODS ovladalo primenjenim konceptom automatizacije SNDM mreže kroz implementaciju posebnog sistema za daljinski nadzor i upravljanja nad SNDM mrežom, stekli su se svi uslovi da se proces automatizacije SNDM pomeri ka narednoj - višoj fazi. Kroz primenu napredne automatizacije SNDM mreže koja se bazira na „polu-centralizovanom“ konceptu u odnosu na SCADA sistem, očekuje se zaokruživanje željenog koncepta „inteligentnih mreža“ („Smart Grids“) u pogledu ciljane automatizacije.

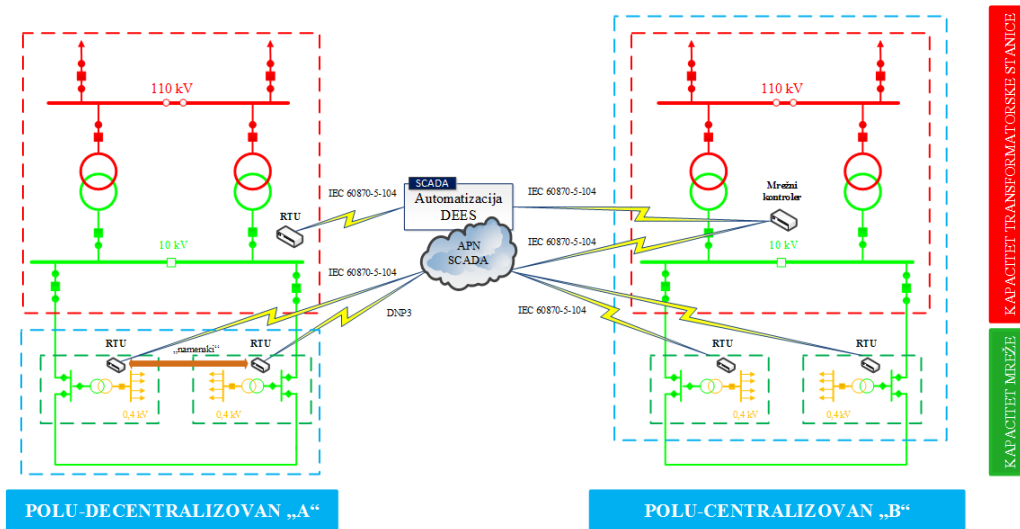
## 2. NAPREDNA AUTOMATIZACIJA SNDM MREŽE

Kao što je napomenuto, realizovani projekti napredne automatizacije SNDM mreže na konzumnom području grada Beograda bazirani su na „polu-decentralizovanoj“ koncepciji automatizacije SNDM mreže, i realizovani su u okruženjima koja su nezavisno razvila dva vodeća proizvođača sistema i opreme za automatizacije elektrodistributivne mreže. Realizovane platforme obezbeđuje naprednu („inteligentnu“) automatizaciji SNDM koja treba pre svega da povećava pouzdanost i raspoloživost elektrodistributivnog sistema, što treba u krajnjoj instanci da omogući sigurno i pouzdano snabdevanje krajnjih korisnika na ciljnim konzumnim područjima koja su obuhvaćena realizovanim rešenjima.



Slika 1 – Primenjene koncepcije automatizacije SNDM mreže

Realizovani projekti automatizacije SNDM mreže se zasnivaju na primeni utvrđenog koncepta „Self-optimizirajuće mreže“ („Self-Optimising Grid“ – SoG ili „Self-Healing Grid“ - SHG), koji se kod različitih proizvođača opreme i sistema drugačije nazivaju, pre svega iz marketinških razloga. Realizovani projekti automatizacije SNDM mreže predstavljaju inovativna i inteligentna rešenja koja kombinuje automatizaciju SNDM mreže i decentralizovane aplikacije za daljinski nadzor i upravljanje SNDM mreže, koje su realizovane u okviru mrežnih kontrolera u napojnim transformatorskim stanicama VN/SN ili SN/SN ili u samim daljinskim stanicama koje izvršavaju upravljačke akcije prema predefinisanim algoritmu. Na Slici 2 su prikazane dve pod varijante „polu-decentralizovanog“ rešenja: varijanta „A“ i varijanta „B“. Varijanta „A“ obuhvata rešenje gde je algoritam „polu-decentralizovanog“ rešenja implementiran u jednoj od daljinskih stanica koja pokrivaju celokupan automatizovan SN izvod, pri čemu daljinske stanice međusobno komuniciraju preko 3G/LTE mreže mobilnog operatera putem optimizovanog „fabričkog“ („Peer-to-Peer“) protokola. Sa druge strane, varijanta „B“ obuhvata rešenje gde je algoritam „polu-decentralizovanog“ rešenja implementiran u nadređenom mrežnom kontroleru koji realizovan u okviru integrisanog sistema zaštite i upravljanja u napojnoj transformatorskoj stanici VN/SN ili SN/NN.



Slika 2 – Primenjena rešenja „polu-centralizovane“ koncepcije automatizacije SNDM mreže

Bez obzira koja je varijanta „polu-decentralizovanog“ rešenja primenjena u SNDM mreži, deo mreže koja je obuhvaćena naprednom automatizacijom treba da poseduje mogućnost da deonicu mreže koja je pogodena kvarom, izoluje u najkraćem mogućem vremenskom periodu (do par sekundi), a da svi ostali ili najveći mogući broj krajnjih kupaca koji se napajaju preko ostalih deonica SN izvoda koje nisu pogođene kvarom, restaurira napajanje za manje od 30 sekundi. Nakon dodatne detekcije u okviru deonice pogođene kvarom, vrši se mikro-lokacija sekcije u kvaru, nakon čega se vraća napajanje svim krajnjim kupcima. Tokom mikro-lokacije deonice u

kvaru, aplikacija se blokira iz razloga što je potrebno daljinskim putem i ručnim manipulacijama na elementima koji se nalaze u neautomatizovanim TS SN/NN detektovati sekciju u kvaru. Nakon popravke kvara, granice napajanja se vraćaju na „stalne“ granice („NOP“), i nakon toga se aplikacija ponovo aktivira.

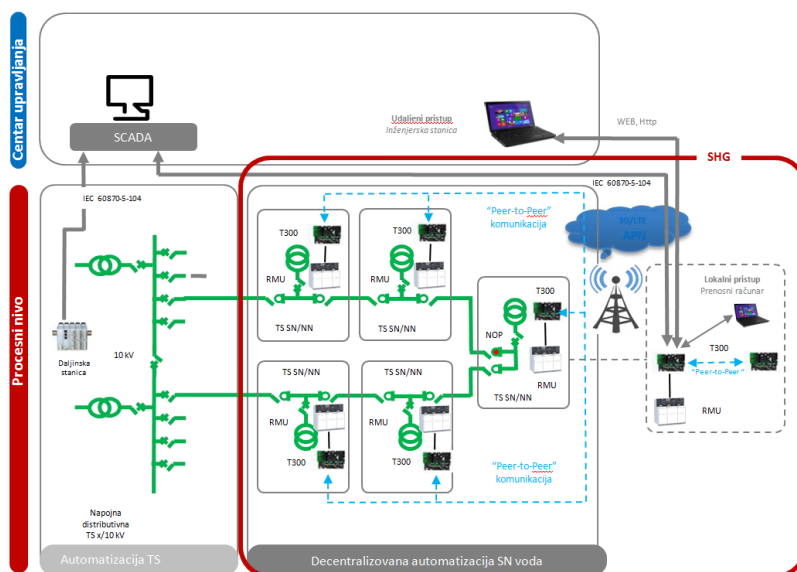
U obe varijante, primenjena rešenja „polu-decentralizovane“ automatizacije SNDM mreže se baziraju na primeni funkcije automatske rekonfiguracije SN vodova u cilju restauracije pogona nakon kvara, pri čemu treba da obezbede sledeće:

- Izolovanje sekcije (skup deonica) pogođene kvarom, koji je nastao na SN distributivnom vodu.
- Rekonfiguracija SN voda zatvaranjem rasklopnog aparata na „stalnoj granici“ („NOP“).
- Restauracija napajanja SN sekcija koje nisu pogođene kvarom, ponovnim uključivanjem rasklopnih aparata.
- Postizanje poboljšanja pokazatelja pouzdanosti SN mreže (SAIDI, SAIFI, CAIDI, ENS);
- Omogućavanje jednostavnog konfigurisanja i proširenje sistema sa novim automatizovanim SN postrojenjima;
- Obezbeđivanje neophodne sigurnosti i postizanja optimalnog nivoa pouzdanosti za kritične potrošače.
- Obezbeđivanje efikasne integracije daljinskih stanica putem standardnih protokola sa nadređenim centrom upravljanja.

### 3. POLU-DECENTRALIZOVANA AUTOMATIZACIJA SNDM MREŽE – VARIJANTA „A“

Sistem za naprednu automatizaciju SNDM mreže koji je realizovan po principu „polu-decentralizovanog“ rešenja na centralnom delu distributivnog područja grada Beograda, bazira se na rešenju u kome je omogućena samo horizontalna komunikacija između daljinskih stanica u automatizovanim SN postrojenjima duž jednog SN voda, pri čemu ne postoji komunikacija sa sistemima za daljinski nadzor i upravljanje u okviru napojnih transformatorskih stanica VN/SN i SN/SN [2]. Važno je napomenuti da je u osnovi zadržan osnovni koncept automatizacije SN mreže, gde se podrazumeva da nadređeni centar upravljanja ima direktnu nadležnost u pogledu nadzora i upravljanja nad ugrađenim automatizovanim SN postrojenjima tipa („RMU“) sa pripadajućim daljinskim stanicama. Budući da u rešenju „Varijante A“ ne postoji komunikacija sa napojnom transformatorskom stanicom, samim tim ne postoji posebno realizovan mrežni kontroler za potrebe realizacije Sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže, već jedna od daljinskih stanica preuzima ulogu mrežnog kontrolera (po pravilu daljinska stanica ugrađena na „stalnoj granici – „NOP“) i odgovorna je za izvršenje logičkih šema za potrebe sprovođenja upravljačkih akcija nad obuhvaćenim SN izvodom.

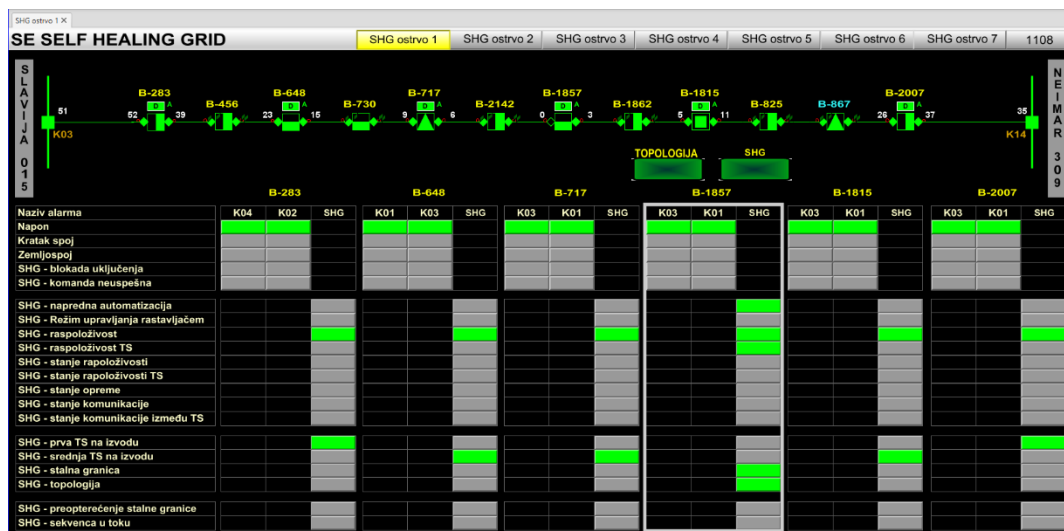
Na Slici 3 je prikazan deo SN elektrodistributivne mreže nad kojim je primenjeno „polu-decentralizovano“ rešenje u „Varijanti A“, na kojoj je moguće uočiti komunikacione veze za potrebe horizontalne komunikacije („Peer-to-Peer“) između daljinskih stanica duž SN voda, kako i komunikacione veze za potrebe daljinskog nadzora i upravljanja od strane nadređenog centra upravljanja.



Slika 3 – Obuhvat SN voda „polu-centralizovanim“ rešenjem automatizacije SNDM mreže







Slika 5 – HMI prikaz na SCADA sistemu jednog dela SN mreže obuhvaćenog rešenjem napredne automatizacije

#### 4. POLU-DECENTRALIZOVANA AUTOMATIZACIJA SNM MREŽE – VARIJANTA „B“

Sistemom za naprednu automatizaciju SNM mreže koji se bazira na „Varijanti B“ su pokrivene 4 (četiri) napojne transformatorske stanice na području Novog Beograda i Zemuna, i to: TS 110/10 kV „Beograd 41 – Blok 32“, TS 35/10 kV „Novi Beograd 1“, „Novi Beograd 3“ i „Zemun Centar“, u kojima su instalirani mrežni kontroleri [1,2]. Takođe, sistem obuhvata i ciljne SN karakteristične izvode na pojedinim delovima njihovih konzumnih područja na kojima je ukupno ugrađeno 30 (trideset) automatizovanih transformatorskih stanica SN/NN, pri čemu je integrisano u sistem i 5 (pet) postojećih TS SN/NN koje su do tada radile u decentralizovanom konceptu automatizacije. Automatizacija ciljnih transformatorskih stanica SN/NN je podrazumevala zamenu postojećih SN postrojenja u njima, kao i odgovarajućih daljinskih stanica koje preko posebnih komunikacionih protokola obezbeđuje željenu funkcionalnog napredne automatizacije SNM. Važno je napomenuti da je izbor konzumnog područja koji je obuhvaćen realizovanim sistemom vršen po više kriterijuma (broj krajnjih kupaca, optimalna konfiguracija SNM mreže, gustina opterećenja, itd.), ali da je opredeljujući kriterijum bio broj instaliranih sistema izabranog proizvođača koji podržava koncept napredne automatizacije SNM mreže. Na Slikama 6 (a,b) je prikazano konzumno područje Novog Beograda i Zemuna, koje je obuhvaćeno realizovanim rešenjem napredne automatizacije SNM mreže, kao i obuhvati konzumnih područja pojedinih napojnih transformatorskih stanica, kao i međusobne dužine između samih lokacija napojnih transformatorskih stanica. Važno je napomenuti da ovakvo izabrano ciljno konzumno područje ima potencijal širenja i na okolne napojne transformatorske stanice, čime je moguće pokriti veliki deo Novog Beograda u delu od reka Save i Dunava prema Zemu. Ograničavajući faktor u daljem širenju sistema predstavlja trenutno ograničenje primenjenog algoritma, po kome u algoritmu koji je implementiran po jednom mrežnom kontroleru može da bude obuhvaćeno najviše 50 (pedeset) rasklopnih elemenata u pokrivenoj SNM mreži.



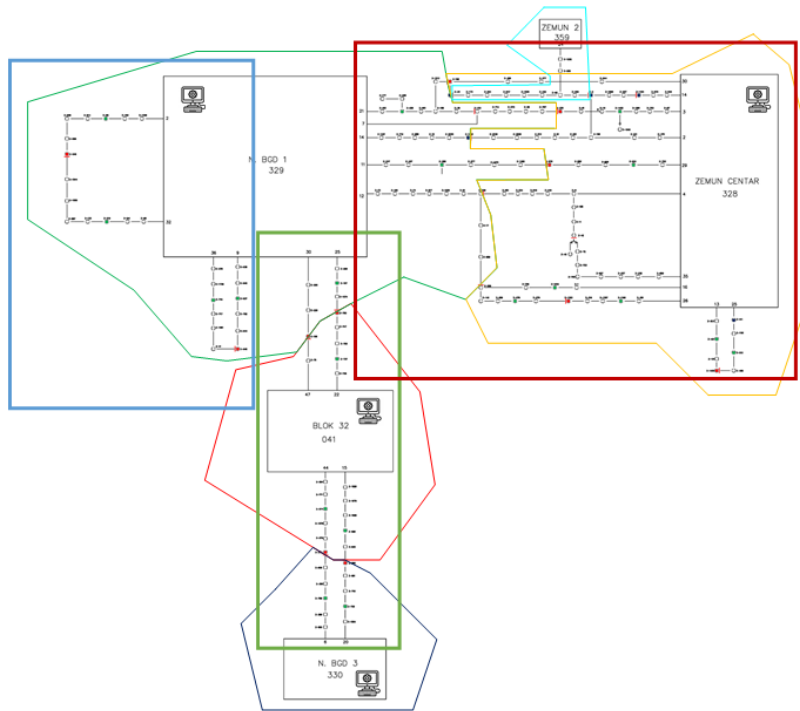


a) Lokacije napojnih TS

b) Konzumna područja napojnih TS

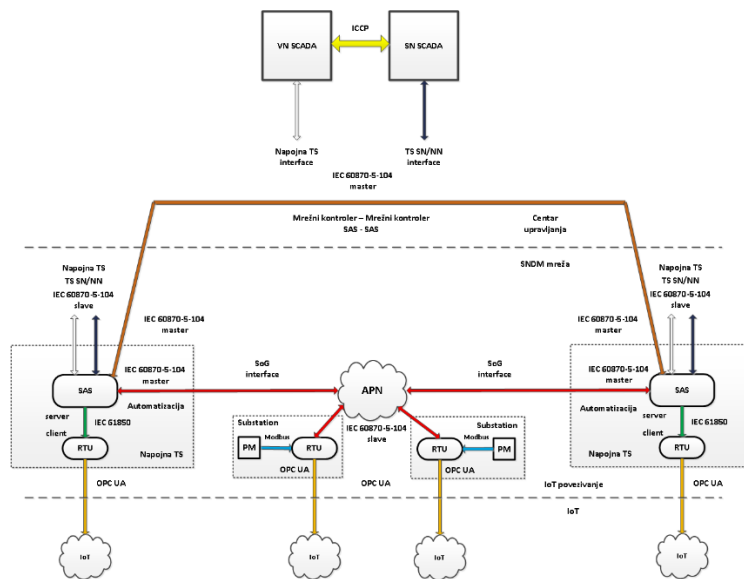
Slika 6 – Konzumno područje obuhvaćeno Sistemom za naprednom automatizaciju SNDM mreže

Kao što je ranije napomenuto, u cilju donošenja pravovremenih odluka prilikom upravljanja elektrodistributivnom mrežom, koristeći pre svega koncepte „polu-centralizovanog“ rešenja, a u krajnjoj instanci i centralizovanog upravljanja, znatno se uslošnjava obradu procesnih informacija koje se sada prikupljaju u daleko većem obimu. Sa druge strane, znatno veći obuhvat procesnih informacija iz realizovanog sistema, omogućava izbor optimalnog scenarija upravljanja, ali nadogradnju sistema u cilju aktiviranja raspoloživih mrežnih aplikacija u okviru realizovanog sistema. U okviru realizovanih mrežnih kontrolera, instalirane su sledeće mrežne aplikacije, koje svojom funkcionalnošću zaokružuju koncept napredne automatizacije SNDM mreže, u okviru globalnog koncepta „inteligentnih mreža“ („Smart Grids“): „Samo-ozdravljenje“ mreže („Self-Healing“), upravljanje potrošnjom („Load Management“), automatsko prebacivanje izvora napajanja („Automatic Source Transfer“), smanjenje preopterećenja („Overload Reduction“), i područna kontrola napona („Area Voltage Control“). Navedene mrežne aplikacije su od velikog interesa za primenu u okviru SNDM mreža, ali akcenat u dosadašnjoj realizaciji sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže je dat na primeni samo prve mrežne aplikacije „samo-ozdravljenja“ mreže, dok su za sve ostale mrežne aplikacije obezbeđeni svi preduslovi za njihovu primenu. Zbog složenosti realizovanog sistema koji je u svojoj realizaciji bio vremenski ograničen, pristupilo se samo validaciji i praktičnoj primeni prve mrežne aplikacije. Za sve ostale funkcije obezbeđeni su svi neophodni ulazni podaci, ali njihova validacija u omogućenom simulacionom modu neće biti vršena u okviru ove faze realizacije sistema. Nakon toga što su se sistemu preveli u trajni rad, pristupiće se daljem širenju realizovanog koncepta napredne automatizacije SNDM mreže, pod kojim se podrazumeva da će upravo preostale funkcije biti implementirane u određenim fazama. Na Slici 7 je prikazan obuhvat SNDM mreže od strane aktiviranih mrežnih kontrolera u napojnim transformatorskim stanicama.



Slika 7 – Prikaz konzumnih područja napojnih TS i nadređenosti od strane mrežnih kontrolera

Takođe, obuhvat delova SNDM mreže od strane mrežnih kontrolera je u velikoj meri uslovljen i koncepcijom SNDM mreže, budući da pojedini mrežni kontroleri obuhvataju jednostavnije strukture mreže, dok neki od njih obuhvataju i daleko složenije nekoncepcijski oblikovane SNDM mreže.



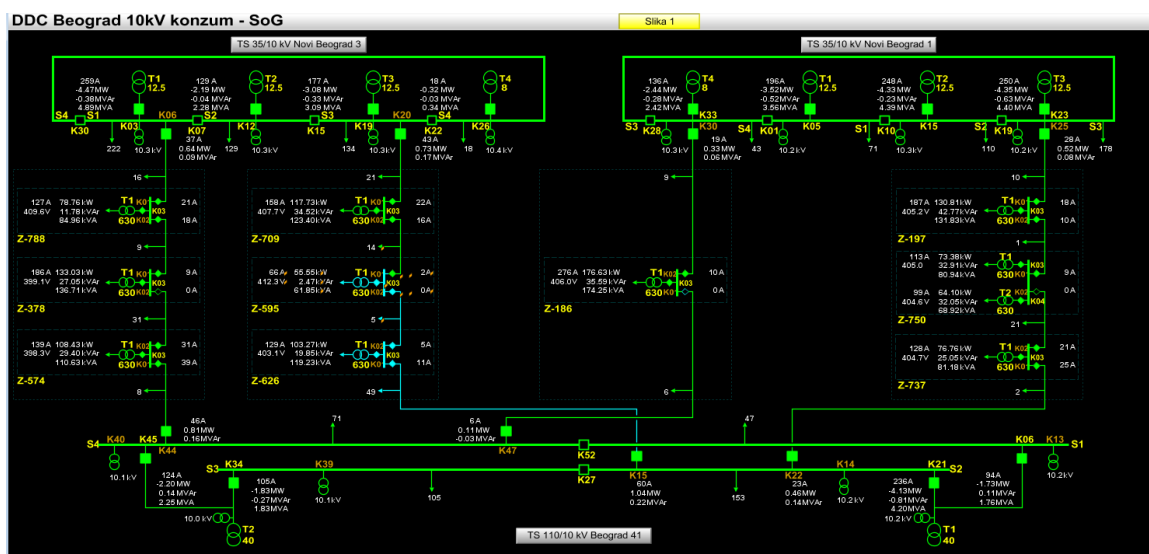
Slika 8 – Prikaz arhitekture sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže

U slučaju da se algoritam proširi na nešto veći broj rasklopnih elemenata u odnosu na postojeće ograničenje, sistem će trajno raditi sa dva mrežna kontrolera, što je bio i prvobitni scenario. U svakom slučaju, trenutno je omogućen rad sa tri primarna mrežna kontrolera i moguće je simulirati već broj scenarija koja se tiču preuzimanja nadležnosti od strane pratećih mrežnih kontrolera.

Na Slici 8 prikazana je arhitektura „polu-centralizovanog“ sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže „Varijanta B“, pri čemu je u početnoj fazi realizacije sistema, u celosti zadržan koncept decentralizovanog daljinskog nadzora i upravljanja. Pod tim se podrazumeva da je zadržana direktna komunikacija sa podređenim daljinskim stanicama u automatizovanim TS SN/NN putem mobilne mreže preko posebno određenog APN



segmenta. U svakom trenutku operator u nadređenom centru upravljanja može da blokira izvršenje aplikacije za naprednu automatizaciju SNMD mreže i da zadrži do sada standardni (decentralizovani) koncept daljinskog upravljanja TS SN/NN. Pored mogućnosti decentralizovanog koncepta upravljanja nad TS SN/NN, zadržan je i koncept centralizovanog upravljanja nad napojnim transformatorskim stanicama, ali putem optičkim telekomunikacionih vodova, pre sve u cilju obezbeđivanje potrebne brzine komunikacije, ali i same pouzdanosti komunikacije. Upravo je realizovana optička komunikacija između nadređenog centra upravljanja i napojnih transformatorskih stanica obezbedila se neophodne preduslove da se realizuje direktna horizontalna komunikacija na nivou napojnih transformatorskih stanica putem protokola IEC 60870-5-104 (master/slave). Putem uspostavljene horizontalne komunikacije obezbeđena je međusobna razmena neophodnih procesnih veličina iz susedne napojne transformatorske stanice, a koje su neophodni ulazni podaci za izvršavanje algoritma realizovane aplikacije. Na nivou napojnih transformatorskih stanica i svih ugrađenih automatizovanih transformatorskih stanica SN/NN realizovan je još jedan poseban komunikacioni interfejs koji omogućuje komunikaciju sa ciljnom IoT platformom, ali putem do sada retko korišćenog u elektrodistributivnim sistemima - protokola UA OPC.

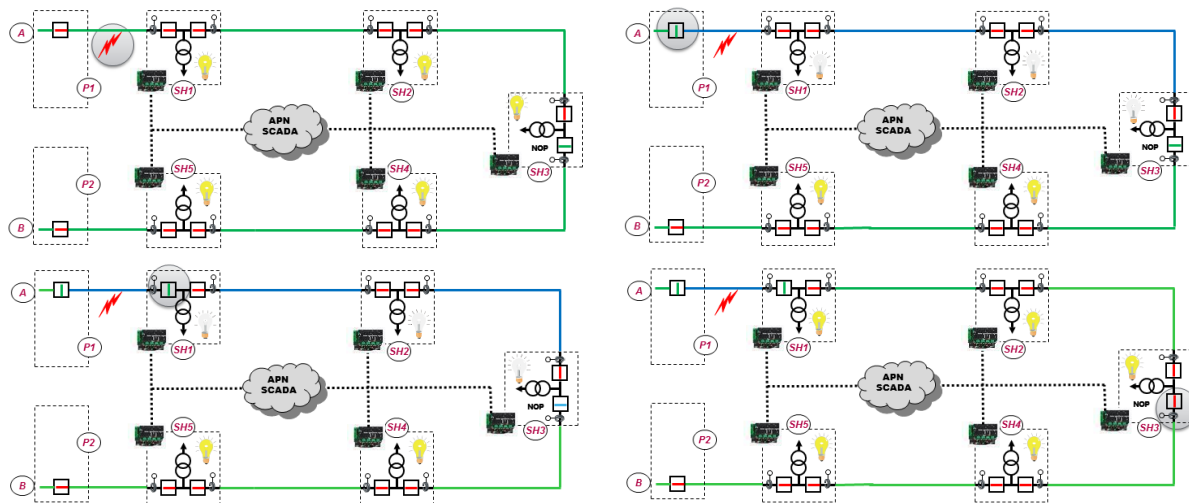


Slika 9 – Procesni prikaz dela SNMD mreže je realizovana napredna automatizacija SNMD mreže

Na Slici 9 je prikazan jedan od realizovanih HMI procesnih prikaza dela SNMD na kojem je implementirana napredna automatizacija SNMD mreže. Na procesnom prikazu je implementirana potpuna funkcionalnost koja se odnosi na praćenje rada napredne automatizacije, ali i mogućnost deaktiviranja iste u slučaju kada postoji potreba da nadležnost upravljanja ponovo preuzme nadređeni centar upravljanja. Za razliku od HMI prikaza dela SNMD mreže koja je obuhvaćena rešenjem sistema „Varijanta A“ gde je prikazano samo jedno SN „ostrvo“, u HMI prikazu sistema „Varijanta B“ zbog obuhvata mrežnog kontrolera nad većim delom SNMD mreže, HMI prikazi su daleko složeniji.

## 5. VERIFIKACIJA RADA NAPREDNE AUTOMATIZACIJE SNMD MREŽE U POGONSKIM USLOVIMA

Praktično oba sistema su puštena u probni rad do sredine 2023.godine i tokom probnog rada vršene su određene simulacije rada, pre svega rešenja „varijante B“ koje ima mogućnost izvršenja simulacija rada napredne automatizacije SNMD mreže za ciljna scenarija rekonfiguracije mreže u slučaju pojave kvara na određenim deonicama mreže. Tokom probnog perioda, a i kasne kada su oba sistema prevedena u trajni rad, došlo je do više prorada napredne automatike SNMD mreže pri realnim pogonskim događajima i svaki slučaj prorade je posebno analiziran i verifikovan. Za potrebe prezentacije prorade napredne automatike SNMD mreže u ovom radu, za obe varijante rešenja, uzeti su pogonski događaji koji su imali kvarove na prvim deonicama delova SN mreže. Oba rešenja imaju identičan broj potrebnih manipulaciju (dve manipulacije) za potrebe restauracije napajanja Na Slici 10 prikazan je scenario rada napredne automatike SNMD mreže u slučaju rešenja zasnovanog na „Varijanta A“, koji praktično ima četiri koraka.



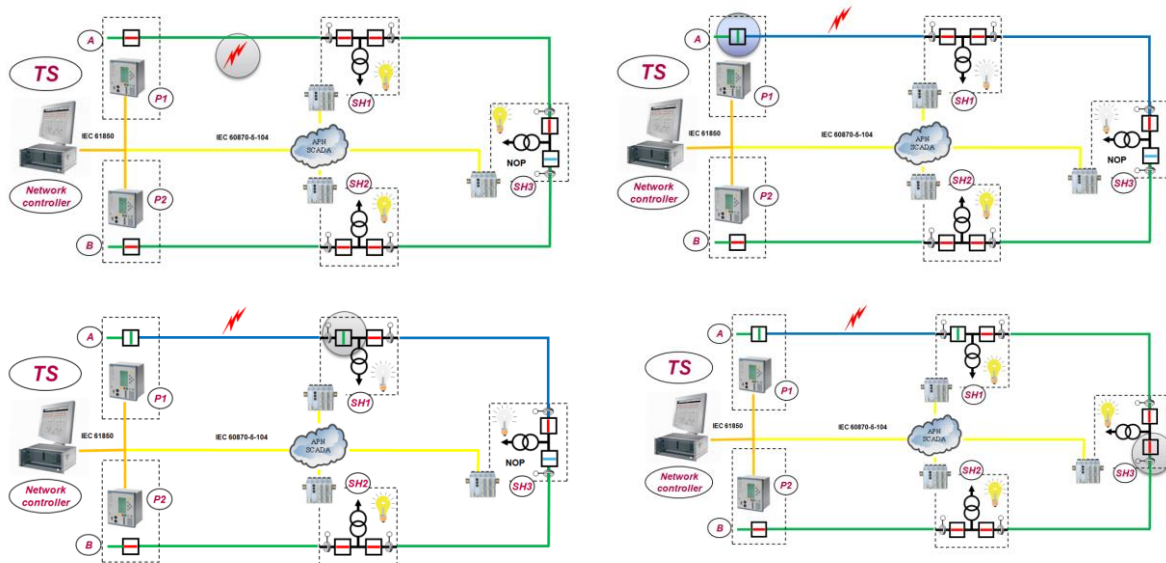
Slika 10 – Primer rada napredne automatizacije u slučaju kvara na prvoj deonici – „Varijanta A“

Na Slici 11 je prikazana lista događaja sa SCADA sistema u slučaju kvara na prvoj deonici mreže za „Varijantu A“. Na listi se uočavaju ključni događaji u listi (označeni posebnim bojama) koji su doveli do pravovremene prorade napredne automatizacije SNDM mreže. Kao što se može videti iz liste, u ovom scenariju napredne automatizacije SNDM mreže, realizovani sistem je izvršio rekonfiguraciju mreže za 18 sekundi, što je daleko kraće od postavljenog cilja od 30 sekundi. Važno je napomenuti da u listi nije bilo signala prorade identifikacije prolaska struje kvara, budući da je kvar bio na prvoj deonici.

07-Feb	04-11-02-900	180717		B-717	K01	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-02-914	180717		B-717	K03	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-02-996	180717		B-717	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-11-03-042	180648		B-648	K03	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-03-052	180648		B-648	K01	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-03-127	180648		B-648	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-11-03-386	100015	TS 110/10 kV Beograd 15	K99	VOD/MTK	KRATKOSPOLNA ZAŠTITA ISKLJUČENJE	REAGOVALA	
07-Feb	04-11-03-396	100015	TS 110/10 kV Beograd 15	K03	VOD	PREKIDAČ	ISKLJUČEN	
07-Feb	04-11-03-763	181857		B-1857	K01	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-03-829	180283		B-283	K04	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-03-830	180283		B-283	K02	VOD NAPON	NUIE PRISUTAN	
07-Feb	04-11-03-858	181857		B-1857	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI TS	KVAR	
07-Feb	04-11-03-858	181857		B-1857	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-11-03-968	180283		B-283	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-11-04-635	180717		B-717	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	NASTANAK	
07-Feb	04-11-04-739	180648		B-648	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	NASTANAK	
07-Feb	04-11-05-586	180283		B-283	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	NASTANAK	
07-Feb	04-11-08-689	180283		B-283	K04	VOD SKLOPKA RASTAVLJAČ	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-08-689	180283		B-283	S00	SHG SHG - SEKVENCA U TOKU	NASTANAK	
07-Feb	04-11-20-254	180717		B-717	K03	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-20-261	180717		B-717	K01	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-20-280	180717		B-717	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	PRESTANAK	
07-Feb	04-11-20-349	180717		B-717	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	NORMALNO	
07-Feb	04-11-20-402	180648		B-648	K03	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-20-413	180648		B-648	K01	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-20-434	180648		B-648	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	PRESTANAK	
07-Feb	04-11-20-568	180648		B-648	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	NORMALNO	
07-Feb	04-11-21-044	181857		B-1857	K01	VOD SKLOPKA RASTAVLJAČ	UKLJUČENA	
07-Feb	04-11-21-124	181857		B-1857	K01	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-21-191	180283		B-283	K02	VOD NAPON	PRISUTAN	
07-Feb	04-11-21-204	181857		B-1857	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	NORMALNO	
07-Feb	04-11-21-291	180283		B-283	O01	DAS NESTANAK NAPONA 230 V AC	PRESTANAK	
07-Feb	04-11-50-431	180648		B-648	S00	SHG SHG - RASPOLOŽIVOST	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-50-447	180717		B-717	S00	SHG SHG - RASPOLOŽIVOST	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-50-497	180648		B-648	O01	DAS LOKALNA AUTOMATIKA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-50-685	180717		B-717	O01	DAS LOKALNA AUTOMATIKA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-51-085	180283		B-283	S00	SHG SHG - RASPOLOŽIVOST	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-51-085	180283		B-283	S00	SHG SHG - SEKVENCA U TOKU	PRESTANAK	
07-Feb	04-11-51-164	180283		B-283	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	NORMALNO	
07-Feb	04-11-51-235	180283		B-283	O01	DAS LOKALNA AUTOMATIKA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-51-280	181815		B-1815	S00	SHG SHG - RASPOLOŽIVOST	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-51-360	181815		B-1815	O01	DAS LOKALNA AUTOMATIKA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-51-425	181857		B-1857	S00	SHG SHG - NAPREDNA AUTOMATIZACIJA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-51-425	181857		B-1857	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI TS	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-51-425	181857		B-1857	S00	SHG SHG - RASPOLOŽIVOST	NEAKTIVNA	
07-Feb	04-11-51-499	181857		B-1857	O01	DAS LOKALNA AUTOMATIKA	ISKLJUČENA	
07-Feb	04-11-51-506	181857		B-1857	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-11-59-233	180283		B-283	S00	SHG SHG - STANJE RAPLOŽIVOSTI	KVAR	
07-Feb	04-18-18-000	100015	TS 110/10 kV Beograd 15	K03	VOD	PREKIDAČ	UKLJUČI	ZAHTEVANA KOM
07-Feb	04-18-43-000	100015	TS 110/10 kV Beograd 15	K03	VOD	PREKIDAČ	UKLJUČI	KOM NEUSPEŠNO
07-Feb	04-51-16-348	180283		B-283	S00	SHG SHG - BLOKADA UKLJUČENJA	NASTANAK	
07-Feb	04-51-16-348	180283		B-283	K04	VOD RASTAVLJAČ ZA UZEMLJENJE	UKLJUČEN	

Slika 11 – Lista događaja za proradu napredne automatizacija SNDM mreže – „Varijanta A“

Na Slici 12 prikazan je scenario rada napredne automatike SNDM mreže u slučaju rešenja zasnovanog na „Varijanti B“, gde se uočava da su identični koraci rada realizovanog algoritma. Takođe, uočava da se realizovani sistem u „Varijanti B“ zasniva na daleko složenijoj komunikaciji između komponenti realizovanog rešenja, što je prethodno na više mesta u radu nepomenuto.



Slika 12 – Primer rada napredne automatizacije u slučaju kvara na prvoj deonici – „Varijanta B“

Na Slici 13 je prikazana lista događaja sa SCADA sistema u slučaju kvara na prvoj deonici mreže za „Varijantu B“. Na listi se uočavaju ključni događaji u listi (označeni posebnim bojama) koji su doveli do pravovremene prorade napredne automatizacije SNDM mreže, pri čemu je lista značajno kraća budući da ne postoje u ovom rešenju signali koji se odnose na međusobnu komunikaciju između daljinskih stanica, jer je algoritam napredne automatizacije realizovan u nadređenom mrežnom kontroleru.

19-Mar	11:07:16:930	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	K15 VOD	KRATKOSPojNA ZAŠTITA ISKLJUČENJE	REAGOVALA	
19-Mar	11:07:16:986	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	K15 VOD	PREKIDAAČ	ISKLJUČEN	
19-Mar	11:07:17:017	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	K15 VOD	POVRATNI NAPON	NIJE PRISUTAN	
19-Mar	11:07:17:076	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	K15 VOD	KRATKOSPojNA ZAŠTITA ISKLJUČENJE	PRESTANAK	
19-Mar	11:07:17:102	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	K15 VOD	BLOKADA	NASTANAK	
19-Mar	11:07:17:127	120626		Z-626 K03 TR1	NAPON	NIJE PRISUTAN	
19-Mar	11:07:17:350	120595		Z-595 K02 VOD	NAPON	NIJE PRISUTAN	
19-Mar	11:07:17:369	120626		Z-626 K01 VOD	NAPON	NIJE PRISUTAN	
19-Mar	11:07:17:395	120626		Z-626 K02 VOD	NAPON	NIJE PRISUTAN	
19-Mar	11:07:38:435	120626		Z-626 K01 VOD	SKLOPKA RASTAVLJAČ	ISKLJUČENA	
19-Mar	11:07:47:675	120595		Z-595 K02 VOD	SKLOPKA RASTAVLJAČ	UKLJUČENA	
19-Mar	11:07:47:692	120595		Z-595 K02 VOD	NAPON	PRISUTAN	
19-Mar	11:07:47:698	120626		Z-626 K03 TR1	NAPON	PRISUTAN	
19-Mar	11:07:47:707	120626		Z-626 K02 VOD	NAPON	PRISUTAN	
19-Mar	11:07:47:890	100041	TS 110/10 kV Beograd 41	S15 SoG Z626 VOD K01	BLOKADA	NASTANAK	

Slika 13 – Lista događaja za proradu napredne automatizacije SNDM mreže – „Varijanta B“

Sa prikazane liste događaja se utvrđuje da u ovom scenariju napredne automatizacije SNDM mreže, realizovani sistem je izvršio rekonfiguraciju mreže za 31 sekundi, što odgovara postavljenom cilju od 30 sekundi. Važno je napomenuti da je u ovom algoritmu uvedeno vremensko kašnjenje za svaku manipulaciju od 10 sekundi, što će se u narednom periodu eliminisati, tako da će se algoritam u ovom slučaju očekivano izvršiti za 10 sekundi.

## 6. ZAKLJUČAK

Napredna automatizacija SNDM mreže je kroz implementaciju dva rešenja, baziranih na različitim rešenjima vodećih svetskih proizvođača sistema i opreme za automatizaciju SNDM mreže, pokazala svu svoju superiornost u odnosu na rešenja automatizacije prethodnih generacija. Takođe, tokom praćenja rada realizovanih rešenja identifikovana je mogućnost daljeg poboljšanja rada primenjenih rešenja, pre svega u smanjenju ukupnog vremena za restauraciju napajanja krajnjih kupaca. Imajući u vidu da realizovana rešenja trenutno predstavljaju velika rešenja po obuhvatu mreže u svetskim razmerama, dobijeni rezultati svako predstavljaju svojevrstan „banchmark“ rezultata koji se postižu prilikom rada sistem za naprednu automatizaciju SNDM mreže.

## LITERATURA

- [1] D. Vukotić, N. Čolović, 2022, “Napredna automatizacija SNDM mreže”, CIRED SRBIJA 2022, R-3.01
- [2] Proizvođačka dokumentacija, 2022, Elaborati sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže