Broj rada: R3-03
DOI:10.46793/CIRED2026.R3-03_192

ANALIZA PRIMENE REŠENJA AUTOMATIZACIJE NA KONCEPCIJI SLOŽENE SN ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE

ANALYSIS OF AUTOMATION SOLUTIONS IN THE CONCEPT OF A COMPLEX MEDIUM-VOLTAGE POWER DISTRIBUTION NETWORK

Aleksa VUKOTIĆ, Go2Power Consulting, Srbija*
Darko ŠOŠIĆ, Elektrotehnički Fakultet u Beogradu, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Automatizacija SN elektrodistributivne mreže predstavlja jedan od najvažnijih pravaca razvoja savremenih elektrodistributivnih sistema, i kao takva ima značajnu ulogu u primeni „*Smart Grids*“ rešenja. Njena primena omogućava efikasniju, pouzdaniju i fleksibilniju distribuciju električne energije, uz bolje upravljanje mrežom u realnom vremenu. Savremeni koncepti automatizacije SN elektrodistributivne zasnivaju se na upotrebi naprednih informaciono-komunikacionih tehnologija, inteligentnih senzora, inteligentnih brojila i automatizovanih upravljačkih sistema. Poseban značaj automatizacija SN mreže ima u smanjenju potrebe za terenskim intervencijama od strane dispečerskih ekipa, a što rezultira bržem lociranju i otklanjanju kvarova na mreži. Ovim se povećava pouzdanost snabdevanja krajnjih potrošača, smanjuju gubici u mreži i olakšava integracija obnovljivih izvora energije uz optimalno korišćenje mrežnih resursa. U radu je analiziran decentralizovani koncept automatizacije SN mreže, koja je definisana pre oko dve decenije u okviru tada usvojene koncepcije automatizacije elektrodistributivnih sistema. Ovaj koncept se primenjuje od početka 21. veka i zasniva se na vertikalnoj komunikaciji između centra upravljanja (*SCADA* sistema) i SN elektroenergetskih objekata, korišćenjem standardizovanih komunikacionih protokola. Nakon analize rada primenjenog decentralizovanog koncepta automatizacije SN mreže, data je detaljna analiza primenjenog polu-centralizovanog koncepta automatizacije SN mreže koja se primenjuje u slučaju složenih elektrodistributivnih mreža, kao što je i analizirani primer „dvostruke petlje“ koja je po koncepciji svrstana u složene konfiguracije SN elektrodistributivne mreže.

Ključne reči: Napredna automatizacija SN mreže, SAIDI, SAIFI, ENS, složena SN mreža

ABSTRACT

Automation of medium-voltage (MV) power distribution networks represents one of the most important directions in the development of modern power distribution systems and, as such, plays a significant role in the implementation of Smart Grid solutions. Its application enables more efficient, reliable, and flexible distribution of electrical energy, along with improved real-time network management. Contemporary concepts of MV distribution network automation are based on the use of advanced information and communication technologies, intelligent sensors, smart meters, and automated control systems. Automation of the MV network is particularly important in reducing the need for field interventions by dispatching crews, resulting in faster fault location and fault clearance within the network. This increases the reliability of supply to

* Prof. dr Aleksa Vukotić aleksa.vukotic@go2power.eu; Darko Šošić sosic@etf.rs

end consumers, reduces network losses, and facilitates the integration of renewable energy sources while ensuring optimal utilization of network resources. Within this paper, a decentralized concept of MV network automation was analyzed, which was defined approximately two decades ago within the then-adopted concept of power distribution system automation. This concept has been applied since the beginning of the 21st century and is based on vertical communication between the control center (SCADA system) and MV power facilities, using standardized communication protocols. Following the analysis of the operation of the implemented decentralized automation concept of the MV network, a detailed analysis of the applied semi-centralized concept of MV network automation is presented, which is used in the case of complex power distribution networks, such as the analyzed example of a "double-loop" configuration, which is classified as a complex MV distribution network configuration.

Keywords: Advanced automation MV network, SAIFI, SAIDI, ENS, Complex MV network

UVOD

Automatizacija elektrodistributivne mreže (ADM) predstavlja osnovni korak ka modernizaciji elektroenergetskih sistema, koje je u intenzivnoj primeni već nekoliko decenija unazad. Automatizacija elektrodistributivne mreže pre svega omogućava veću efikasnost, pouzdanost i fleksibilnost prilikom distribucije električne energije krajnjim korisnicima. Savremena rešenja za automatizaciju elektrodistributivne mreže se oslanjaju na primenu naprednih informaciono-komunikacionih tehnologija, savremenih multi-funkcionalnih mernih uređaja, inteligentnih brojila („Smart meter“) i savremenih upravljačkih sistema, kako bi se poboljšalo upravljanje elektrodistributivnim sistemima u realnom vremenu. Uvođenje automatizacije SN elektrodistributivne mreže donosi i brojne promene u postojećim procesima upravljanja elektrodistributivnom mrežom, smanjujući potrebu za angažovanjem dispečerskih ekipa za manipulaciju na terenu, a samim tim omogućava brži odziv prilikom pojave kvarova u mreži, a u cilju efikasne restauracije napajanja krajnjim potrošačima.

Glavni motiv za automatizaciju SN elektrodistributivne mreže jeste povećanje pouzdanosti snabdevanja električnom energijom i smanjenje gubitaka u mreži [1]. Tradicionalni elektrodistributivni sistemi često se suočavaju sa izazovima kao što su: zastarelost energetske infrastrukture, neefikasna restauracija i rekonfiguracija, kao i sa intenzivnom potrebom za integracijom obnovljivih izvora energije (OIE). Kroz proces automatizacije, moguće je postići brže identifikovanje nastalih kvarova, smanjenje trajanja nestanaka napajanja i optimizaciju rada mreže. Takođe, automatizacija elektrodistributivne mreže doprinosi povećanju energetske efikasnosti kroz bolju kontrolu potrošnje i proizvodnje, kao i optimizaciju ukupnog opterećenja mreže.

Takođe, postoje i određeni problemi i izazovi kada je reč o primeni automatizacije elektrodistributivne mreže (ADM), a to su: visoki početni investicioni troškovi za ugradnju opreme za automatizaciju mreže, relativno visoki troškovi održavanja opreme, potreba za stalnim unapređenjem upravljačkih *SCADA* sistema u okviru Sistema daljinskog upravljanja (SDU), zamena sistema zaštite sa novim integrisanim sistemima zaštite i upravljanja, prisutan otpor zaposlenih prema uvođenju novih tehnologija, složen i visok nivo obuke kadrova za upravljanje i održavanje novih realizovanih sistema zaštite i upravljanja.

1 NIVOI AUTOMATIZACIJE SN ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE

U SN elektrodistributivnim mrežama mogu se naći različiti tipovi SN konfiguracija mreže, ali će se za potrebe prikaza nivoa automatizacije, posmatraće se jedna od karakterističnih i najčešćih konfiguracija – „međupovezni vod“ sa „stalnom granicom“ (*NOP*) na sredini SN voda.

Udeo ugrađene opreme za automatizaciju u SN elektrodistributivnoj mreži utiče na potrebno vreme operateru i dispečerskim ekipama na terenu da reaguju u cilju rešavanja nastalog problema na mreži. Redosled manipulacija i trajanje izvršenja istih direktno utiče na neisporučenu električnu energiju (*ENS* – „*Energy Not Supply*“) krajnjim potrošačima, što predstavlja jedan od ključnih indikatora. Što je manje prisustvo opreme za automatizaciju u SN mreži, odnosno što je niži nivo automatizacije, to će više vremena biti potrebno da se izvrše korektivne operacije u cilju rešavanja problema, i obrnuto.

Primenjeni nivoi automatizacije u SN elektrodistributivnoj mreži, prikazani su u odnosu na svoju složenost:

Nivo I - Deo SN mreže bez primenjenih rešenja automatizacije

Napojna transformatorska stanica nije uvedena u Sistem daljinskog upravljanja (SDU), odnosno ne poseduje daljinsku stanicu, tako da nije moguć daljinski nadzor i upravljanje nad njom. Takođe, u dubini dela SN mreže nije ugrađena oprema za automatizaciju.

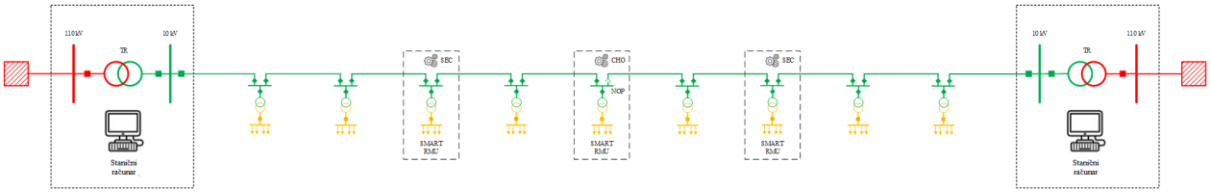
Nivo II - Deo SN mreže, gde je automatizovana samo napojna transformatorska stanica

Napojna transformatorska stanica je uvedena u Sistem daljinskog upravljanja (SDU), odnosno poseduje daljinsku stanicu ili integrisan sistem zaštite i upravljanja, preko koje je obezbeđen daljinski nadzor i upravljanje nad njom. U dubini dela SN mreže nije ugrađena oprema za automatizaciju.

Nivo III - Deo SN mreže gde je primenjena osnovna koncepcija automatizacije (decentralizovan koncept)

Napojna transformatorska stanica je uvedena u Sistem daljinskog upravljanja (SDU), odnosno poseduje daljinsku stanicu ili integrisan sistem zaštite i upravljanja, preko koje je obezbeđen daljinski nadzor i upravljanje nad njom. U dubini dela SN mreže je ugrađena oprema za automatizaciju na sredini SN izvoda i „stalnoj granici“ (*NOP*), pri čemu ugrađena oprema komunicira u okviru decentralizovanog koncepta automatizacije, kao što je prikazano na Slici 1. Poseban akcenat je na mogućnosti daljinske rekonfiguracije mreže, kao optimalno mesto za ugradnju opreme za automatizaciju bila izabrana distributivna transformatorska stanica SN/NN, u kojoj se nalazila „stalna granica“ (NOP - *Normal Open Point*), odnosno mesto u SN elektrodistributivnoj mreži u kojoj je izvršena njena radijalizacija. U automatizovanoj distributivnoj transformatorskoj stanici SN/NN se po pravilu aktivira funkcija automatskog prebacivanja pravca napajanja (**CHO** – „*Change-Over*“) [2,3]. Optimalne lokacije ugradnje opreme za automatizaciju SN izvoda na sredinama izvoda, u velikoj meri se poklapa sa lokacijama gde operateri iz nadređenog centra upravljanja sprovode tehnike „polovljenja“ tokom lokalizacije i izolacije SN deonice u kvaru. Osnovna koncepcija automatizacije bazira se na primeni funkcije lokalne automatike u automatizovanim distributivnim transformatorskim stanicama SN/NN, u kojima se na sredinama SN izvoda po pravilu se aktivira funkcija automatskog sekcionisanja SN izvoda (**SEC** – „*Sectioniser*“). Realizovane funkcije lokalne

automatike u osnovnoj koncepciji automatizacije SN izvoda su potpuno nezavisne i izvršavaju se po pravilu skoro paralelno u zavisnosti od procesnih veličina koje su prikupljene od strane daljinskih stanica.



Slika 1 – Osnovna koncepcija automatizacije SN izvoda

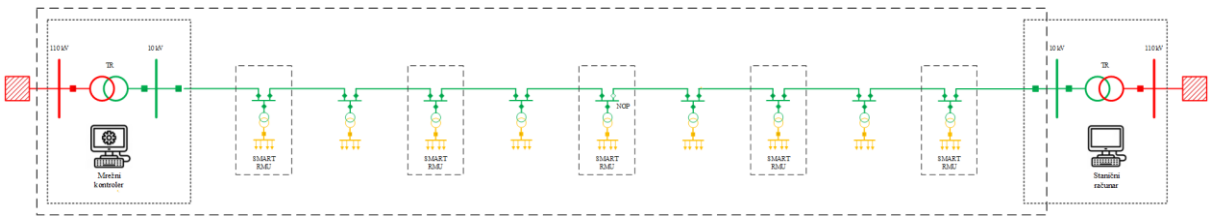
Nivo IV - Deo SN mreže gde je primenjena napredna koncepcija automatizacije (decentralizovan koncept)

Napojna transformatorska stanica je uvedena u Sistem daljinskog upravljanja (SDU), odnosno poseduje daljinsku stanicu ili integrisan sistem zaštite i upravljanja, preko koje je obezbeđen daljinski nadzor i upravljanje nad njom. U dubini dela SN mreže je ugrađena oprema za automatizaciju na: početku SN izvoda, sredini SN izvoda i „stalnoj granici“ (*NOP*), pri čemu ugrađena oprema međusobno komunicira u okviru decentralizovanog koncepta automatizacije.

Razmena procesnih podataka između automatizovanih transformatorskih stanica i nadređenog Centra upravljanja vrši se vertikalno putem standardnih komunikacionih protokola IEC 60870-5-104 i DNP3 u zavisnosti od komunikacionog medijuma koji se koristi (optički prenosni put ili radio-veza) [4,5].

Nivo V - Deo SN mreže gde je primenjena napredna koncepcija automatizacije (polu-centralizovan koncept).

Napojna transformatorska stanica je uvedena u Sistem daljinskog upravljanja (SDU), odnosno poseduje daljinsku stanicu ili integrisan sistem zaštite i upravljanja, preko koje je obezbeđen daljinski nadzor i upravljanje nad njom. U dubini dela SN mreže je ugrađena oprema za automatizaciju na: početku SN izvoda, sredini SN izvoda i „stalnoj granici“ (*NOP*), pri čemu ugrađena oprema komunicira u okviru polu-centralizovanog koncepta automatizacije sa nadređenim mrežnim kontrolerom.



Slika 2 – Koncepcija napredne automatizacije SN izvoda – decentralizovano rešenje

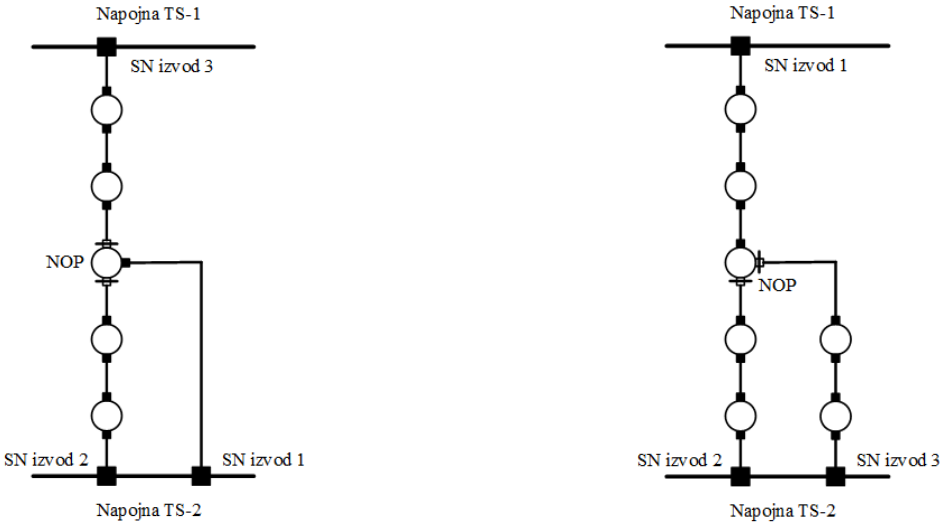
Na Slici 2 prikazan je polu-centralizovan koncept koji se primenjuje za naprednu koncepciju automatizacije SN mreže, u okviru koga je nadređen mrežni kontroler [6,7]. I dalje se razmena procesnih podataka između automatizovanih transformatorskih stanica i nadređenog Centra upravljanja vrši vertikalno putem standardnih komunikacionih protokola IEC 60870-5-104 i DNP3 u zavisnosti od komunikacionog medijuma koji se koristi, ali sada automatizovane distributivne transformatorske stanice komuniciraju međusobno i sa mrežnim kontrolerom putem komunikacionog protokola IEC 60870-5-104.

2 KONFIGURACIJE SN MREŽE

SN elektrodistributivna mreže je izuzetno složena po svojoj strukturi, pre svega zbog velikog broja elemenata i čvorova. Svaka SN elektrodistributivna mreža se može dekomponovati na određen broj SN tipičnih konfiguracija. Tipične konfiguracije SN elektrodistributivne mreže su: antenski vod (jedan SN izvod), međupovezni vod (dva SN izvoda sa dve susedne napojne TS), petlja (dva SN izvoda sa iste napojne TS) i pramen (više SN izvoda sa iste napojne TS).

Kao što je već ranije napomenuto, SN elektrodistributivna mreža je složena uzimajući u obzir da ona može imati jako veliki broj čvorova i grana. Pojedine SN elektrodistributivne mreže po pravilu mogu da imaju i nekoliko desetina hiljada čvorova i po pravilo su vezuju za određenu teritoriju pod nadležnošću nadređenog centra upravljanja. Za razliku od tipičnih konfiguracija, složene konfiguracije distributivne mreže se ne mogu posmatrati kao tipične konfiguracije, jer realizacija automatizacije nad tim mrežama predstavlja veliki izazov, a razlog leži u činjenici da svaka složena konfiguracija SN mreže može biti kombinacija različitih osnovnih konfiguracija. Važno je napomenuti da se za svaku tipičnu konfiguraciju SN elektrodistributivne mreže primenjuje odgovarajuće rešenje automatizacije prema utvrđenoj koncepciji u skladu sa definisanim nivoima automatizacije.

Primeri složenih konfiguracija SN elektrodistributivne mreže, koji su identifikovani u SN elektrodistributivnim mrežama su sledeći: „trokrak“ sa direktnim vodom („lauferom“), „trokrak“ bez direktnog voda, koji su prikazani na Slici 3, „dvostruki pramen“ i „složeni pramen“ koji su prikazani na Slici 4 (a,b).

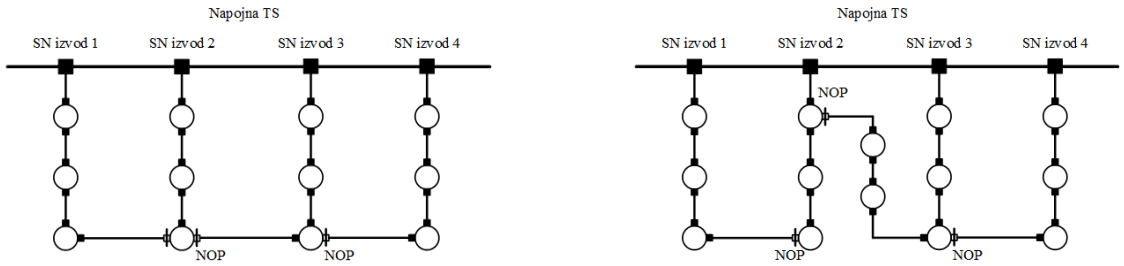


a) Sa direktnim vodom („laufer“) b) Bez direktnog voda

Slika 3 – Složena konfiguracija SN mreže „trokrak“

Važno je napomenuti da prikazani primeri složenih konfiguracija SN mreže nisu inicijalno planirani u fazi razvoja SN mreže za automatizaciju, gde se po usvojenoj koncepciji automatizacije ODS planira da automatizovana po pravilu bude samo „čvorna“ transformatorska stanica, gde se sučeljavaju sva 3 (tri) SN izvoda. U početnoj fazi razvoj, odnosno oblikovanja SN mreže, složene konfiguracija ovog tipa se po pravilu realizuju sa II (drugim) nivoom automatizacije, gde su samo automatizovane napojne transformatorske stanice (VN/SN ili SN/SN), a kasnije se one nadograđuju opremom za automatizaciju tako da pripadaju III (trećim) nivoom automatizacije SN mreže.

Predmet ovog rada je analiza i predlog realizacije viših nivoa automatizacije automatizacije na jednoj složenoj konfiguraciji SN mreže – „**dvostruki pramen“**, čiji su tipične primeri prikazani na Slici 4. Analizom je utvrđeno da do sada ovakvi tipovi konfiguracija nisu u potpunosti automatizovani iz razloga potrebe da se odvoje značajna investiciona sredstva za prevođenje ovakvih konfiguracija u više nivoe automatizacije.



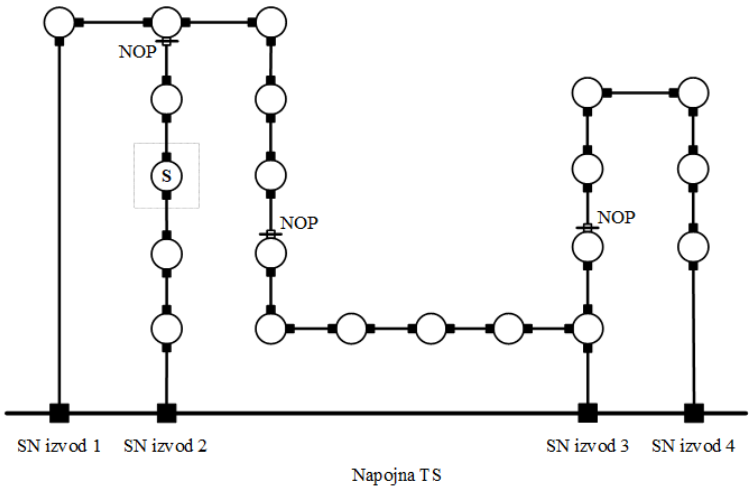
a) Osnovni „dvostruki pramen“ b) Složeni „dvostruki pramen“

Slika 4 – Složena konfiguracija SN mreže „dvostruki pramen“

Na prikazanim slikama se može uočiti u okviru SN konfiguracija mreže po pravilu postoje 4 (četiri) SN izvodne ćelije, gde se u principu osnovna i složena SN konfiguracija „dvostruki pramen“, formiraju tako što se određene lokacije transformatorskih stanica SN/NN u dve nezavisne SN „petlje“, spajaju direktnim SN vodom kod osnovne konfiguracije ili SN vodom sa više transformatorskih stanica SN/NN kod složene konfiguracije. Obe konfiguracije imaju dve „čvorne“ transformatorske stanice, u kojima su postavljene 3 (tri) „stalne granice“ (*NOP*), i koje se po pravilu automatizuju tako da ciljne SN konfiguracije budu klasificirane u III nivo automatizacije.

3 ANALIZA KONFIGURACIJE SLOŽENE „DVOSTRUKE PETLJE“

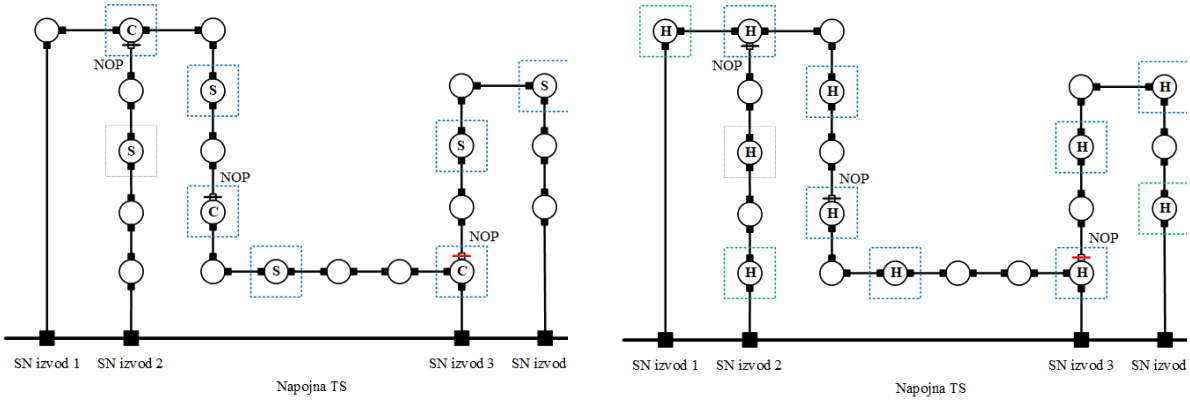
Predmet analize u radu je jedan složeni „dvostruki pramen“ koji je identifikovan SN mreži na području grada Beograda. Posmatrani složeni „dvostruki pramen“ je do sada samo delimično automatizovan, budući da u praksi nije ispoštovana osnovna koncepcija automatizacije SN mreže. Analiziran je realan primer složenog „dvostrukog pramena“, koji ima određeno odstupanje od postavljene konfiguracije u koncepciji oblikovanja (razvoja) SN mreže. Analizirani primer je prikazan na Slici 5.



Slika 5 – Analizirana konfiguracija SN mreže složeni „dvostruki pramen“

Za potrebe analize izvršena je jedna izmena na SN mreži, odnosno izvršeno je pomeranje „stalne granice“ (*NOP*) na SN izvodu br. 3 u „čvornu“ transformatorsku stanicu, kako bi se ispoštovalo pravilo da na složenim SN mrežama bar jedna „stalna“ granica (NOP) bude u „čvornoj“ TS SN/NN. Kao što se može uočiti, analizirana SN mreža je slabo automatizovana i poseduje samo jednu automatizovanu TS SN/NN na SN izvodu br. 2 u kojoj je aktivirana funkcija lokalne automatike „sekcionisanja“ („S“). Za početno stanje analize, usvojena je pretpostavka da ne postoje automatizovane TS SN/NN na analiziranom delu SN mreže, kao bi se analizirana SN mreža mogla klasificirati u II nivo automatizacije.

Za potrebe realizacije viših nivoa automatizacije (III i V nivo) na posmatranom delu SN mreže, predložene su TS SN/NN koje će biti predmet automatizacije, kao što je prikazano na Slici 6. Plavom bojom su obeležene TS SN/NN koje su predložene da se uključe u okviru automatizacije na III nivou automatizacije, dok su zelenom bojom obeležene TS SN/NN koje su dodatno uključene za realizaciju V nivoa automatizacije. Na III nivou automatizacije aktiviraju se funkcije lokalne automatike: sekcionisanje dela mreže u kvaru („S“) i automatsko prebacivanje pravca napajanja („C“). Na slikama je prikazana promenjena pozicija nove „stalne granice“, koja je obeležene crvenom bojom.



a) III nivo automatizacije b) V nivo automatizacije

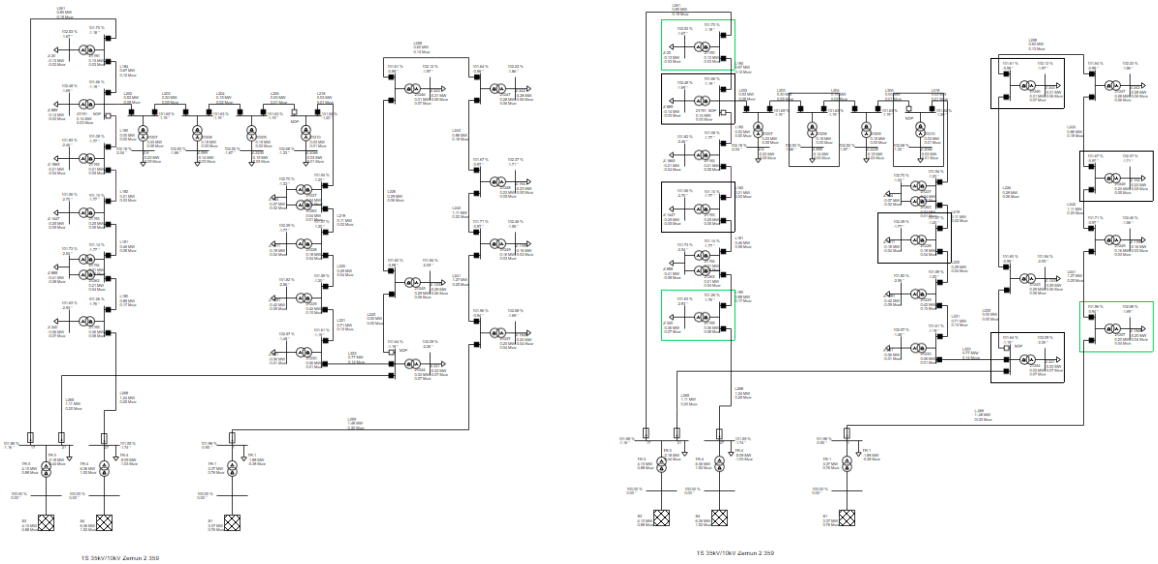
Slika 6 – Predlog ciljnih lokacija za automatizaciju analizirane SN mreže

U okviru V nivoa automatizacije sve funkcije lokalne automatike se isključuju i automatizovane TS SN/NN se uključuju u naprednu automatizaciju i podređene su nadređenom mrežnom kontroleru u napojnoj transformatorskoj stanici (označene sa „H“). Budući da je analizirana SN mreže izuzetno složena i poseduje veliki broj TS SN/NN, u okviru analize simuliraće se najkritičniji kvarovi u SN mreži, odnosno kvarovi na svakoj od početnih deonica pojedinačnog SN izvoda za sva tri obrađena nivoa automatizacije: II nivo, III nivo i V nivo.

4 REZULTATI ANALIZE

U prethodnim tačkama je dat pregled složenih konfiguracija SN elektrodistributivne mreže, kao i principska objašnjenja različitih nivoa automatizacije SN mreže, gde su predložene ciljne lokacije ugradnje opreme za automatizaciju kako bi se omogućili viši nivoi (III i V) automatizacije SN mreže. Analizirana složena SN mreža je u potpunosti modelovana u savremenom softverskom alatu, pri čemu je matematički model u potpunosti modelovan sa realnim podacima posmatrane elektrodistributivne mreže (kablovska mreža, transformatori), kao i ostvarenim opterećenjima po potrošačkim čvorovima. i model kao takav uključuje stvarne parametre mreže u pogledu transformatora i kablova. Sva opterećenja u SN mreži su modelovana prema registrovanim 15-minutnim merenjima na *SCADA* sistemu u toku jednog

dana sa visokim opterećenjem celokupne složene mreže tokom zimskog perioda za svaki pojedinačan SN izvod. Na Slici 7 prikazan je kreirani model posmatrane SN mreže nad kojim su izvršene simulacije.

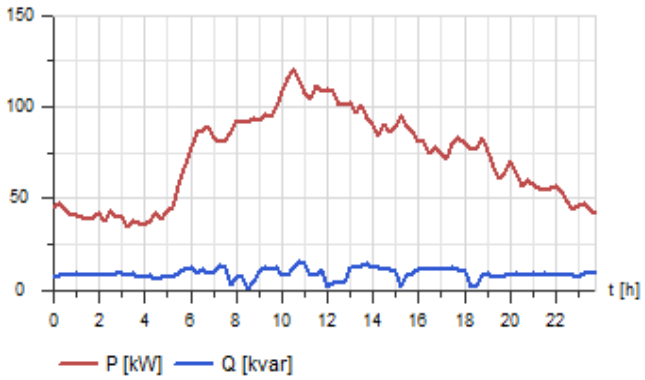


a) II nivo automatizacije b) V nivo automatizacije

Slika 7 – Prikaz mrežnog modela za potrebe simulacije rada SN složene mreže

Simulirani kvar je isti za svaku konfiguraciju SN mreže, odnosno uvek se dešava u isto vreme u toku dana (u 12:00 časova), kada je ukupno opterećenje posmatrane složene SN mreže najveće. Analizirana su 4 (četiri) pojave kvara na svakoj pojedinačnoj prvoj deonici SN izvoda i oni su respektivno označeni sa: Kvar I (kvar prve deonice SN izvoda br. 1), Kvar II (kvar prve deonice SN izvoda br. 2), Kvar III (kvar prve deonice SN izvoda br. 3) i Kvar IV (kvar prve deonice SN izvoda br. 4). Korišćeni softverski paket ima modul za proračun tokova snaga korišćenjem vremenskih serija („*Time-Series Load Flow*“), kojim može da se analizira stanje na delu SN mreže u vremenskim intervalima, sa dijagramima opterećenja po potrošačkim čvorovima koji su prethodno kalibrisani, kao što je prikazano na Slici 8.

t [h]	Curve	P [kW]	Q [kvar]
0.000	Continuous	45.166	7.268
0.250	Continuous	47.134	8.076
0.500	Continuous	44.181	8.346
0.750	Continuous	40.919	8.336
1.000	Continuous	40.962	8.673
1.250	Continuous	39.354	8.028
1.500	Continuous	38.547	7.699
1.750	Continuous	39.814	7.934
2.000	Continuous	41.394	8.103
2.250	Continuous	37.365	7.585



a) II nivo automatizacije b) V nivo automatizacije

Slika 8 – Prikaz modelovanja opterećenja jedne TS SN/NN pre pojave kvara na SN izvodu u PSS SINCAL™

Za potrebe modelovanja SN složene mreže, neophodno je bilo uvesti nekoliko pretpostavki:

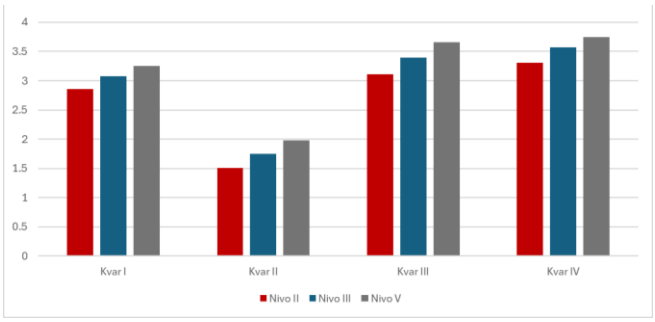
- Posmatra se jedan dan (24 sata) sa 15’ merenjima opterećenja - ukupno 96 odbiraka;
- Opterećenje potrošača koji nisu napojeni, modelovano je sa nultim opterećenjem;

- Vreme koje je potrebno da dispečerskoj ekipi, koja vrši promenu uklopnog stanja rasklopne opreme na SN izvodu, iznosi 15 minuta između svake manipulacije;
- Zaštita na SN izvodu deluje ispod jedne sekunde, prikazano je kao da deluje trenutno;
- Vreme koje je potrebno operateru (dispečeru) da deluje, iznosi 3 minuta;

Rezultati proračuna su sistematizovani u tabelarnoj formi, gde je prikazana ukupna količina neisporučene električne energije pri pojavi kvara u Tabeli 1, dok su ukupni aktivni gubici električne energije na posmatranom SN vodu prikazani na Slici 9.

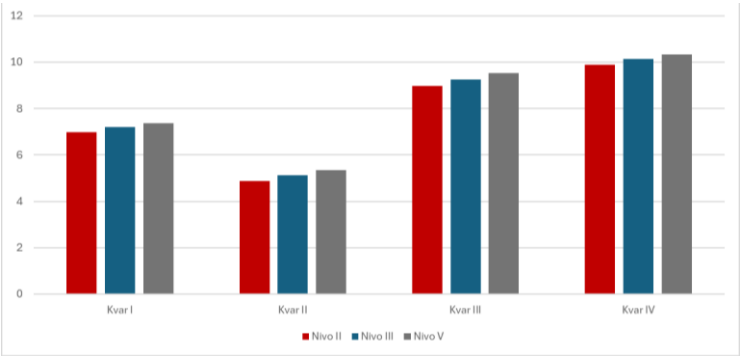
Tabela 1 – Neisporučena električna energija (*ENS)* [kWh] prikazana za svaki nivo pri određenom kvaru

Nivo automatizacije	Kvar I	Kvar II	Kvar III	Kvar IV
Nivo II	739.603	1.023.204	1.112.305	1.068.525
Nivo III	393.992	581.167	627.906	563.590
Nivo V	155.408	218.412	242.721	244.505



Slika 9 – Ukupni aktivni gubici električne energije izraženi u procentima

Urađena je i analiza kad u SN mreži dođe do dužeg otklona kvara (trajanje 24h od trenutka nastanka kvara), odnosno u slučaju kada prilikom pojave kvara dispečerske ekipe na terenu nisu u mogućnosti da odmah izađu na intervenciju zbog zauzetosti drugim intervencijama. Posmatrano je kako se gubici menjaju sa povećanjem nivoa automatizacije za svaki prethodno definisani kvar. Rezultati analize su prikazani na Slici 10, na kojoj je i prikazano povećanje gubitaka za svaki kvar za određen nivo automatizacije.



Slika 10 – Ukupni aktivni gubici električne energije prikazani za sve dugotrajne kvarove po nivou automatizacije izražene u procentima

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se pri višim nivoima automatizacije smanjuje količina neisporučene električne energije (ENS), dok se aktivni gubici električne energije za vreme trajanja radova na izolaciji kvara i restauraciji napajanja - povećavaju. Međutim, ukupna aktivna električna energija koja predstavlja zbir aktivnih gubitaka električne energije i neisporučene električne energije se smanjuje pri primeni višeg nivoa automatizacije, što je glavni pokazatelj da kako se nivo automatizacije elektrodistributivne SN mreže povećava, tako da se postiže veća ušteda električne energije.

5 ZAKLJUČAK

Cilj izvršene analize je bio da se detaljno objasni kako realizovana rešenja automatizacije SN elektrodistributivne mreže, utiču na efikasnost izvršenja radnji na izolaciji kvara i restauraciji napajanja krajnjim potrošačima u delovima SN mreže koji su pogođeni kvarovima ili ispadima elemenata na višem naponskom nivou. Pokazano je, kako se osnovni koncept kablovske SN elektrodistributivne mreže unapređuje kroz povećanje stepena automatizacije SN izvoda i uvođenje novih optimalnih tačaka za automatizaciju, ali i realizaciju novih rešenja automatizacije koja obezbeđuju horizontalnu komunikaciju između ugrađene opreme za automatizaciju.

Nedvosmisleno se zaključuje da primena viših nivoa automatizacije, utiče na skraćenje vremena potrebnog za lokalizaciju kvara, kao i obuhvata smanjene nenapojenih krajnjih potrošača koji su pogođeni kvarom, uz smanjenje ukupne količine neisporučene energije i aktivnih gubitaka u SN mreži.

Dobijeni rezultati svako predstavljaju svojevrstan „*benchmark*“ rezultata, koji se mogu koristiti za dalje analize iz oblasti automatizacije SN mreže, a sve u cilju daljeg poboljšanja rada sistema za naprednu automatizaciju SN elektrodistributivne mreže, koji trenutno predstavlja najviši nivo automatizacije.

LITERATURA

[1] Studija „Izbor koncepcije upravljanja elektrodistributivnom 10 kV mrežom EPS - JP Elektrodistribucija Beograd“, DMS Grupa, Novi Sad, 2005.
[2] T. D. Sudhakar and K. N. Srinivas „Restoration of power network – a bibliographic survey“, European Transactions on Electrical Power 21(1), pages:635 – 655, January 2011, DOI:10.1002/etep.467
[3] R. W. Uluski, „The Role of Advanced Distribution Automation in the Smart Grid“, IEEE PES General MeetingD. Vukotić, N. Čolović, 2022, 3.01 - “Napredna automatizacija SNDM mreže”, CIRED SRBIJA 2022
[4] D. Vukotić, B. Ćirić, S. Šiškoski, 2024, 3.01 - “Uporedna analiza primenjenih rešenja sistema za naprednu automatizaciju SNDM mreže”, CIRED SRBIJA 2024, DOI: 10.46793/CIRED24.R-3.01DV
[5] M. R. Elkadeem, M. A. Alaam and A. M. Azmy „Reliability Improvement of Power Distribution Systems using Advanced Distribution Automation“, Renewable Energy and Sustainable Development (RESD) Volume 3 Issue 1, Special Issue, March 2017, DOI:10.13140/RG.2.2.28065.81763/1
[6] , July 2010, DOI:10.1109/PES.2010.5590075
[7] Moustafa A. Shahin „Smart grids Self-Healing Implementation for Underground Distribution Networks“, 2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), DOI: 10.1109/ISGT-Asia.2013.6698702