

Mr.sc. Domagoj Milun, dipl.ing.el.
HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split
domagoj.milun@hep.hr

Perica Perković, mag.ing.el.
HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split
perica.perkovic@hep.hr

Andrija Kuštre, mag.ing.el.
HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split
andrija.kustre@hep.hr

TEHNIČKE ZNAČAJKE DALJINSKI UPRAVLJANIH SKLOPNIH UREĐAJA NA NADZEMNIM VODOVIMA I NJIHOV UTJECAJ NA VOĐENJE I ODRŽAVANJE NADZEMNIH SN VODOVA

SAŽETAK

Ugradnjom daljinski upravljanih sklopnih uređaja, kao što su daljinski upravljane rastavne sklopke i daljinski upravljani automatski prekidači s automatskim ponovnim uklopom (recloseri), pored uvođenja daljinskog upravljanja, omogućava se i automatizacija. Na taj način se može značajno skratiti trajanje kvarova, a time i poboljšati pokazatelji pouzdanosti.

U radu se prikazuju osnovna načela izbora optimalnog broja i lokacija za ugradnju opreme, teoretski i kroz primjere iz realizacije pilot projekta naprednih mreža.

Analiziraju se tehničke značajke daljinski upravljanih sklopnih naprava ugrađenih na SN nadzemnim vodovima u DP Elektrodalmacija Split, njihova namjena te postupci osiguravanja mjesta rada pri održavanju dionica nadzemnih vodova na kojima su ugrađene. Uz to, navedene su i osnovne smjernice za održavanje opreme te navedena neka dosadašnja iskustva.

Ključne riječi: Automatizacija, daljinsko upravljanje, rastavna sklopka, recloser, nadzemni vod, kvar

TECHNICAL CHARACTERISTICS OF REMOTE CONTROLLED SWITCHING DEVICES ON OVERHEAD LINES AND THEIR INFLUENCE ON THE CONTROL AND MAINTENANCE OF OVERHEAD POWER LINES

SUMMARY

The installation of remotely controlled switching devices, such as remotely controlled switch disconnectors and automatic circuit reclosers, enables remote control and automation. In this way, the duration of faults can be significantly shortened, and thus reliability indicators improved.

The paper presents the basic principles of selecting the optimal number and location for installing equipment, theoretically and through examples from the implementation of the Smart Grid Pilot Project.

The technical characteristics of remotely controlled switching devices installed on MV overhead lines in DP Elektrodalmacija Split, their purpose and procedures for securing the work site during maintenance of overhead line sections on which they are installed are analyzed.

In addition, the basic guidelines for maintaining the equipment are listed, as well as some previous experiences.

Key words: Automation, remote control, switch disconnector, recloser, overhead line, fault

UVOD

Distribucijska nadzemna mreža nazivnog napona 10 kV i 20 kV građena je u početku kao radijalna, s dugim izvodima i većim brojem odcjepa. Takvi izvodi su pretežito bili napajani preko samo jednog vodnog polja iz jedne pojne TS 35(30)/10 kV. Operacije uklopa/isklopa obavljale su se uglavnom prekidačem u vodnom polju pojne TS x/10(20) kV, a odvajanje pojedinih dionica dalekovoda se provodilo linijskim i odcjepnim rastavljačima postavljenim na stupovima te rastavljačima u „prolaznim“ transformatorskim stanicama tipa „tornjić“. Isključenje voda u kvaru obavljalo se isključivo djelovanjem relejne zaštite na prekidač u vodnom polju pojne TS, bez mogućnosti automatskog ili daljinskog odvajanja dionice u kvaru. S obzirom na to da su nadzemni vodovi izloženi prolaznim kvarovima, automatika prekidača u vodnom polju uključivala je i ciklus „brzog“ i „sporog“ automatskog ponovnog uklopa (APU).

Osnovna obilježja nadzemnih mreža za napajanje pretežito ruralnih područja bila su:

- dugački, na širokom području razgranati izvodi, radijalno napajani iz jedne TS x/10(20) kV,
- nepristupačnost, odn. smanjena pristupačnost trasa vodova,
- smanjene mogućnosti ostvarenja komunikacijskih veza na trasama vodova,
- ekonomična izvedba vodova nižih presjeka vodiča izvedenih pretežito na drvenim stupovima,
- raspršeni konzumi, niskog vršnog opterećenja i značaja,
- velika vjerojatnost kvarova uslijed izloženosti atmosferskim i okolišnim utjecajima,
- dugotrajni postupci traženja kvara i odvajanja dionice u kvaru,
- relativno jednostavno i brzo otklanjanje kvara nakon pronalaska.

S vremenom se situacija na područjima napajanim nadzemnim mrežama značajno promijenila i mijenja se i dalje. Standard potrošnje električne energije i vršna opterećenja kućanstava se kontinuirano povećavaju i u ruralnim područjima. Norme kakvoće električne energije, iskazane i kroz mrežna pravila, podjednako se odnose na sva područja, bez razlike. Da bi se to postiglo i u područjima koja se napajaju iz nadzemne srednjonaponske mreže, potrebno je bitno promijeniti prethodno navedena obilježja nadzemnih SN mreža, što znači da je potrebno:

- promjenom izvedbe i održavanjem povećati pouzdanost mreže,
- povećati prijenosnu moć vodova,
- razvijati mrežu na način da se barem na magistralnim vodovima osigura kriterij n-1,
- tehničkim mjerama ubrzati ili automatizirati postupke lociranja kvara, odvajanja dionice u kvaru i oporavka napajanja u dijelu mreže koji nije u kvaru,
- kontinuirano pratiti napone i tokove snaga i pravodobnim sklopnim operacijama držati mrežu u optimalnom uklopnom stanju,
- u što većoj mjeri iskoristiti pozitivne, a umanjiti negativne utjecaje obnovljivih izvora u SN i NN mreži.

Bez obzira na tehnološka unapređenja mrežnih sastavnica, kojima se značajno utječe na njihovu pouzdanost, prekide i kvarove ipak nije moguće, odn. nije ekonomski opravdano, u potpunosti izbjeći. Međusobnim povezivanjem vodova, kojim se omogućava dvostrano napajanje, povećava se pouzdanost i fleksibilnost mreže, ali samim tim je vođenje takve mreže složenije. Automatizacija i daljinsko upravljanje po dubini srednjonaponske mreže pružaju operatoru sustava mogućnost osiguranja opskrbe električnom energijom i u uvjetima kvara ili održavanja, svim korisnicima ili barem onom dijelu koji je priključen na dio izvoda koji nije u kvaru. Preduvjet za to je ugradnja odgovarajućih sklopnih postrojenja ili naprava s automatskim djelovanjem ili daljinskim upravljanjem na prikladnim pozicijama u mreži.

Oprema za daljinsko upravljanje i automatizaciju SN mreže je skupa, pa je stoga važno odabrati optimalni broj uređaja, pozicije za njihovu ugradnju i tip uređaja za svaku pojedinu poziciju.

U ovom radu je cilj prikazati postupke i primjere određivanja lokacija za ugradnju daljinski upravljanih ili automatskih sklopnih naprava za ugradnju na stupove nadzemne mreže, odabir vrste sklopne naprave te njihov utjecaj na vođenje i održavanje nadzemnih vodova s posebnim osvrtom na sigurnost pri radu.

1. DALJINSKO UPRAVLJANJE I AUTOMATIZACIJA NADZEMNE SN MREŽE

1.1. Razvoj i ciljevi automatizacije nadzemne SN mreže

Procjenjuje se da je za najveći broj prekida i kvarova uzrok u srednjonaponskoj, poglavito nadzemnoj mreži, pa se logično nameće i usmjerenje na aktivnosti koje imaju za cilj smanjenje broja i trajanja kvarova i drugih prekida upravo u toj mreži. Među tim aktivnostima su i razvoj i implementacija sustava za daljinsko upravljanje i automatizaciju i to ne samo u pojnim točkama (TS x/10(20) kV), nego i po dubini mreže.

Osnovni cilj u samom početku primjene tehničkih rješenja za automatizaciju ili daljinsko upravljanje po dubini mreže je bio smanjenje trajanja kvara, odnosno što brža lokalizacija dionice u kvaru i što brži oporavak napajanja u dijelu izvoda koji nije pogođen kvarom. Dosadašnji razvoj na tom polju se može podijeliti u tri prethodne faze [1] i četvrtu koja je u tijeku:

1. Uključenje prvih transformatorskih stanica i rastavnih sklopki u nadzemnoj mreži u daljinsko vođenje, sa zasebnim aplikacijama i komunikacijskom opremom.
2. Nastavak uključenja novih transformatorskih stanica i rastavnih sklopki, priprema dispečerskih centara za uključenje većeg broja upravljanih objekata u SDV i priprema jedinstvene platforme s integracijom do tada zasebnih sustava.
3. Primjena novih tehnoloških rješenja na polju sklopne opreme, unapređenje veza primjenom digitalnih radio veza, GPRS-a i optike, unapređenje opreme za mjerenje i zaštitu i primjena sustava za automatizaciju i DMS aplikacija. Osim nekih izdvojenih lokalnih sustava s Automatskom Rekonfiguracijom Mreže (ARM), kao onaj realiziran u Zračnoj luci Split [2], lociranje kvara i upravljanje još nije automatizirano nego se uglavnom obavlja daljinski, nalogom za sklapanje od strane voditelja postrojenja.
4. Realizacija Pilot projekta uvođenja naprednih mreža (Smart Grid Pilot Projekt - SGPP), u okviru kojeg je ugradnja većeg broja daljinski upravljivih rastavnih sklopki i sklopnih blokova sa sekundarnom opremom. Ugradnjom rastavnih sklopki i sklopnih blokova iz ovog projekta, značajno se povećao ukupni broj daljinski upravljivih rastavnih sklopki, čime je dosadašnje daljinsko upravljanje pojedinačnim uređajima preraslo u sustav.

U slijedećim fazama razvoja sustava, predviđa se:

- daljnje proširenje sustava ugradnjom dodatnih uređaja prema potrebi,
- primjena automatiziranih postupaka lociranja kvara i izoliranja dionice u kvaru,
- brza automatska rekonfiguracija mreže,
- automatiziranje vođenja mreže u optimalnom režimu po zadanom kriteriju,
- integracija distribuiranih obnovljivih izvora i stvaranje uvjeta za otočni rad.

1.2. Automatska rekonfiguracija mreže (ARM)

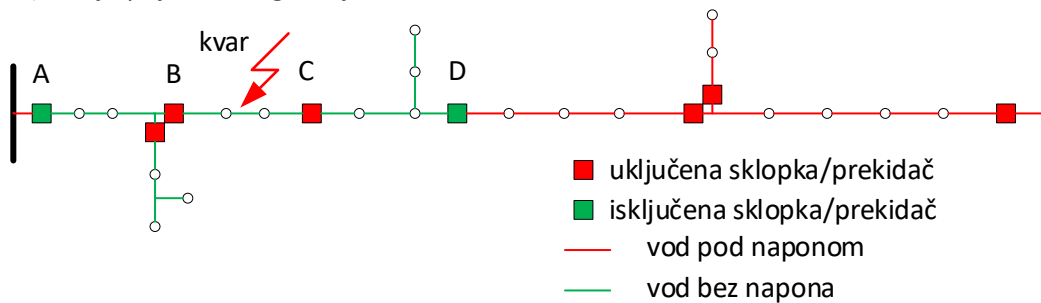
1.2.1. Osnovni princip automatske rekonfiguracije mreže

Izvorno, osnovna svrha automatske rekonfiguracije je bila automatsko odvajanje dionice voda u kvaru i brzi povratak napona u dijelove voda koji nisu zahvaćeni kvarom. Naknadno su, pored ovog osnovnog algoritma za brzu rekonfiguraciju u slučaju kvara, uvedeni i drugi algoritmi za optimalno konfiguriranje mreže po raznim kriterijima kao što su npr.: sigurnost, pouzdanost, gubici, opterećenje, padovi napona i sl.

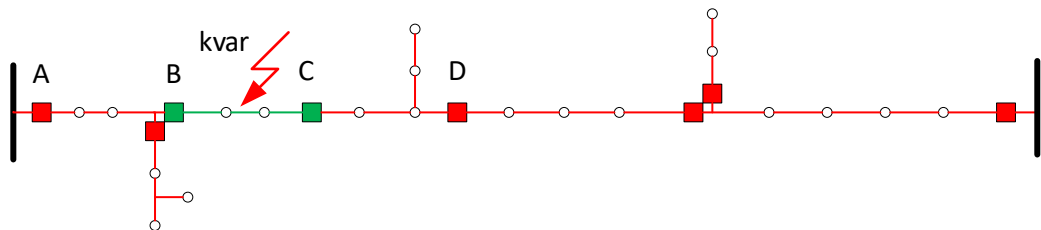
Algoritmi, sustavi i izvedbe se međusobno razlikuju ali osnovni zahtjev za izvedbu i automatsko djelovanje je svima zajednički [2], a to je postojanje:

- automatiziranih sklopnih uređaja na koje algoritmi djeluju (prekidači, sklopke, rastavljači,...),
- mjernih senzora i indikatora kao izvora ulaznih procesnih informacija prema kojima se provodi odlučivanje (strujni i naponski transformatori, indikatori napona, kvara, položaja i sl...),
- sustava automatskog prikupljanja i prijenosa procesnih informacija od mjernih senzora i indikatora do upravljačkih jedinica odnosno centra u kojem je implementiran upravljački algoritam.

a) stanje prije rekonfiguracije



b) stanje nakon rekonfiguracije



Slika 1. Automatska rekonfiguracija mreže nakon kvara

Na slici 1 je zorno prikazan primjer procesa rekonfiguracije mreže nakon kvara na dionici mreže između dvije upravljive rastavne sklopke. Automatski upravljive sklopne naprave na slici su prikazane kvadratima, a transformatorske stanice bez upravljanja kružicama. Proces se odvija u više faza:

1. Isključivanje prekidača A pod djelovanjem zaštite. Cijela dionica između prekidača A i rastavne sklopke D, koja je u normalnom pogonu otvorena, ostaje kratkotrajno bez napona.
2. Temeljem informacija od indikatora kvara, za vrijeme trajanja beznaponske pauze automatika daje nalog za otvaranje upravljivih rastavnih uređaja neposredno ispred i iza mjesta kvara. U prikazanom primjeru su to rastavne sklopke B i C
3. Po isključenju i odvajanju dionice u kvaru, automatski se uključuje prekidač A i rastavna sklopka D, pa se na taj način vraća napon u sve dijelove izvoda, osim dionice odvojene zbog kvara.

Cijeli proces se temelji na pouzdanim procesnim informacijama i njihovoj brzom razmjeni između izvora informacija, procesorskih jedinica s implementiranim algoritmom i sklopničkih naprava. Ako nije omogućena brza razmjena informacija (u realnom vremenu), a time ni automatsko djelovanje, proces rekonfiguracije se može obaviti od strane voditelja postrojenja (dispečera) putem sustava daljinskog upravljanja. Bitna razlika je u vremenu trajanja prekida u dijelu izvoda koji nije izoliran zbog kvara.

Ovisno o tome gdje se nalazi sustav odlučivanja, odn. algoritam upravljanja, sustavi automatike se dijele u centralizirane i decentralizirane.

1.2.2. Centralizirani sustavi automatizacije

Kod centraliziranih sustava automatike upravljanja, svim automatiziranim uređajima u mreži se upravlja algoritmima implementiranim u SCADA sustavu dispečerskog centra. Odlučivanje i upravljanje se provodi temeljem procesnih informacija prikupljenih iz mreže putem različitih komunikacijskih kanala. Sva komunikacija je vertikalna, odnosno odvija se na relaciji uređaj-SCADA i obrnuto, a komunikacija između pojedinih uređaja međusobno nije predviđena, osim horizontalne komunikacije između komponenti unutar same sklopne naprave, npr. rastavne sklopke ili automatskog linijskog prekidača (reclosera).

Prednost: s jednog mjesta je moguće upravljati svim uređajima i to po raznim kriterijima, koji se mogu po potrebi mijenjati. Sve informacije važne za sustav se nalaze u SCADA-i i uvijek su dostupne. Uređaji mogu biti jednostavnije izvedbe i ne trebaju imati vlastitu automatiku, važna je jedino komunikacija prema SCADA-i

Nedostatak: ovisnost o pouzdanosti i brzini komunikacije između dispečerskog centra i uređaja u mreži. Vrijeme reakcije je općenito sporije nego u slučaju decentralizirane automatizacije.

1.2.3. Decentralizirani sustavi automatizacije

Kod decentraliziranih sustava algoritam djeluje na razini grupe uređaja, npr. na jednom izvodu iz TS x/20(10) kV. Odlučivanje se provodi na temelju preciznih informacija koje uređaji unutar grupe međusobno razmjenjuju (horizontalna komunikacija). Svaka sklopna naprava ima svoju automatiku i djeluje neovisno o dispečerskom centru. Usporedno s horizontalnom komunikacijom između uređaja unutar automatizirane grupe, provodi se i vertikalna razmjena informacija sa SCADA sustavom, za potrebe daljinskog vođenja i upravljanja po potrebi, pa takvi sustavi mogu biti i kombinirani.

Prednost: automatsko upravljanje sklopnim uređajima provodi se neovisno o dispečerskom centru te je neovisno o pouzdanosti i brzini komunikacije sa SCADA-om. Brzina reakcije ovisi o vrsti primijenjenih sklopnih naprava i u pravilu je brža nego kod centraliziranih sustava, a naročito u slučaju primjene automatskih linijskih prekidača (ACR – Automatic Circuit Recloser) s vlastitim sustavom zaštite.

Nedostatak: upravljački algoritmi su ograničeni samo na jednu skupinu uređaja i informacije koje se razmjenjuju unutar te skupine. Sustav zahtijeva složenije i skuplje uređaje koji su, pored svojih primarnih funkcija, dodatno opremljeni i sekundarnom opremom za mjerenje, razmjenu informacija i automatiku.

1.3. Metodologija za određivanje optimalnog broja i lokacija daljinski upravljivih naprava

Osnovna, iako ne i jedina, svrha uvođenja daljinskog upravljanja i automatizacije po dubini SN mreže je smanjenje trajanja kvara, odnosno pokazatelja *SAIDI*. Povećanjem broja ugrađenih sklopnih naprava s daljinskim upravljanjem i mogućnošću automatizacije smanjuje se ukupno trajanje prekida u mreži, odnosno pokazatelj *SAIDI*, a time se izravno smanjuju i troškovi neisporučene električne energije. Pored toga, smanjuju se i troškovi traženja kvara i obavljanja terenskih sklopnih operacija. No, oprema koju je potrebno ugraditi u mrežu je skupa, a zahtijeva i održavanje, pa to s druge strane povećava troškove. Stoga je potrebno odrediti optimalni broj, vrstu i lokacije za ugradnju daljinski upravljivih rastavnih naprava (DURN) i to ukupno za mrežu, kao i po pojedinim izvodima. Npr. automatski linijski prekidači-recloseri (ACR) ugrađeni na stupovima dalekovoda su najučinkovitije rješenje jer, pored odvajanja dionice u kvaru, imaju mogućnost brzog „čišćenja“ prolaznih kvarova, ograničavajući ih samo na pogođeni odcjep, odn. dionicu. Međutim, ugradnja takvih uređaja na sve odcjepe razgranatog nadzemnog voda bila bi preskupo rješenje kakvo se ne može ekonomski opravdati.

Za određivanje optimalne količine i vrste opreme, ukupno za mrežu, kao i za izbor izvoda mreže za uvođenje u SDV i automatizaciju po dubini izvoda, razmatraju se tri kategorije kriterija [3]:

- Parametri mreže
- Pogonski pokazatelji
- Ekonomski pokazatelji

S obzirom na ukupno visoke investicijske troškove, za analizu cijelih mreža i određivanje ukupnog broja i vrsta uređaja, primjenjuju se složene, sveobuhvatne metodologije, kao što je npr. GAP – Grid Automation Planning metodologija, primijenjena na SN mreži DP-a Elektroistra [4], a kasnije i za projekt automatizacije SN mreže po programu SGPP za distribucijska područja obuhvaćena tim programom.

Nakon provedene analize i određivanja optimalnog ukupnog broja naprava i izabranih izvoda mreže, provodi se postupak određivanja optimalnih lokacija za ugradnju opreme. Tipovi lokaciju su npr.:

- odcjepni stupovi na početku duljeg ili problematičnog izvoda
- stupovi na duljim vodovima prikladni za rastavljanje na optimalne dionice
- spojna(rastavna) mjesta između dva voda, gdje je rastavna naprava otvorena u norm. pogonu
- mjesta prikladna za brzo prespajanje u svrhu regulacije opterećenja ili padova napona
- lokacije prikladne za prespajanje važnih kupaca ili konzuma

Pored prethodno navedenih kriterija, kojima se razmatra prikladnost lokacije s gledišta upravljanja, odnosno smanjenja trajanja kvara, potrebno je uzeti u obzir i mogućnosti, odn. troškove ugradnje i kasnijeg održavanja, kvalitetu veza i dr. parametre bitne za postupak ugradnje i eksploatacije.

2. AUTOMATIZACIJA NADZEMNE SN MREŽE U DP ELEKTRODALMACIJA SPLIT U OKVIRU PILOT-PROJEKTA UVOĐENJA NAPREDNIH MREŽA

2.1. Ciljevi projekta automatizacije nadzemne SN mreže po programu SGPP

U okviru Pilot-projekta uvođenja naprednih mreža (Smart Grid Pilot Project - SGPP) je i projektna aktivnost: Automatizacija srednjonaponske mreže. U programu te aktivnosti je ugradnja daljinski upravljive sklopne opreme na ukupno 670 lokacija u pet distribucijskih područja. Predviđena je ugradnja ukupno 503 kompleta daljinski upravljivih rastavnih sklopki za ugradnju na stupove nadzemne SN mreže i 167 daljinski upravljivih blokova za ugradnju u trafostanice. Raspodjela opreme prikazana u tablici I je provedena temeljem prethodne analize, uzimajući u obzir broj VP s najduljim prosječnim trajanjem neplaniranih zastoja, odnosno ona za koja je analizom utvrđeno da se ugradnjom opreme za daljinsko upravljanje u najvećoj mjeri može smanjiti indeks SAIDI (CAIDI). Projektom je obuhvaćeno nešto manje od trećine od ukupnog broja VP 10(20) kV u TS X/10(20) kV.

Tablica I. Raspodjela opreme iz SGPP po distribucijskim područjima

Distribucijsko područje	Rastavne sklopke (SF ₆)			SN blokovi	Broj lokacija		Broj VP		
	1s	2s	Ukupno	Ukupno	SGPP	Preth.	Ukupno	SGPP	(%)
4001 Elektra Zagreb	98	45	143	48	191	/	325	76	23,4
4008 Elektroslavonija Osijek	73	5	78	25	103	38	188	69	36,7
4013 Elektrodalmacija Split	131	40	171	57	228	69	331	103	31,1
4014 Elektra Zadar	5	65	70	23	93	35	153	41	26,8
4016 Elektrojug Dubrovnik	35	6	41	14	55	6	108	24	22,2
UKUPNO:	342	161	503	167	670	148	1105	313	28,3

Projektom je za DP Elektrodalmacija predviđena ugradnja 171 rastavne sklopke na stupovima i 57 upravljivih sklopnih blokova u TS, na ukupno 228 lokacija u 103 VP 10(20) kV. Prije ovog projekta oprema za daljinsko upravljanje u SN mreži DP Elektrodalmacija bila je ugrađena samo na 69 lokacija, pretežno (cca 70%) u transformatorskim stanicama. Znatni udio od ovog broja prethodnih lokacija su transformatorske stanice izgrađene za napajanje objekata autoceste, a rastavne sklopke na stupovima su bile najčešće ugrađene na mjestima spajanja dvaju izvoda u cilju osiguranja n-1 pouzdanosti i na mjestima razdvajanja dugačkih odcjeka od magistralnih vodova.

Ovo je značajno povećanje broja daljinski upravljanih objekata u SN mreži, a naročito je veliko povećanje broja upravljivih rastavnih sklopki ugrađenih na stupove dalekovoda. Ovako veliko povećanje broja lokacija uključenih u SDV, uz uvjet optimalno odabranih pozicija za ugradnju, trebalo bi značajno smanjiti indeks CAIDI, a time i SAIDI. Naime, nadzemni vodovi su znatno izloženi vanjskim utjecajima što za posljedicu ima značajno veći broj kvarova u odnosu na kabelsku mrežu. Ugradnjom ovakve opreme ne može se bitno utjecati na broj kvarova, ali se značajno smanjuje vrijeme otkrivanja kvara i izolacija dionice mreže koja je u kvaru. Samim tim se smanjuje pokazatelj pouzdanosti CAIDI (prosječno godišnje trajanje prekida isporuke električne energije po kupcu), a s njime i SAIDI, što je konačni cilj ovog projekta.

2.2. Izbor lokacija za ugradnju rastavnih sklopki

Broj lokacija za ugradnju opreme za automatizaciju (daljinsko upravljanje) je unaprijed određen, pa je zadaća DP-a bila odrediti vodna polja za daljinsko upravljanje po dubini te lokacije i vrstu opreme za ugradnju za pojedino VP. Vodovi duljine manje od 5 km nisu bila razmatrani, kao ni vodovi s manje od 4 transformatorske stanice. Osnovni kriterij za izbor lokacija je najveći utjecaj na smanjenje trajanja kvara, a razmatrani su tipovi lokacija prethodno navedeni u poglavlju 2.3. Zbog dužine određenih vodnih polja (preko 50 km) u nekim terenskim jedinicama, prvenstveno u dalmatinskoj zagori, GAP metodologija se nije mogla primijeniti, pa takva vodna polja opravdano imaju više od preporučene 4 lokacije za ugradnju.

Osim kriterija s gledišta upravljanja, na izbor, odn. prikladnost lokacije imaju utjecaj i lokalne posebnosti, kao npr.:

- vrsta i nosivost stupa,
- pristupačnost za montažu opreme i naknadno održavanje,
- kvaliteta veza (signala) za daljinsko upravljanje.

Nisu sva čvorišta u nadzemnoj mreži izvedena na stupovima. Neke transformatorske stanice tipa tornjić su izvedene kao *prolazne* ili *čvorne*, što tu lokaciju čini prikladnijom za ugradnju sklopnog bloka nego rastavnih sklopki na stupovima.

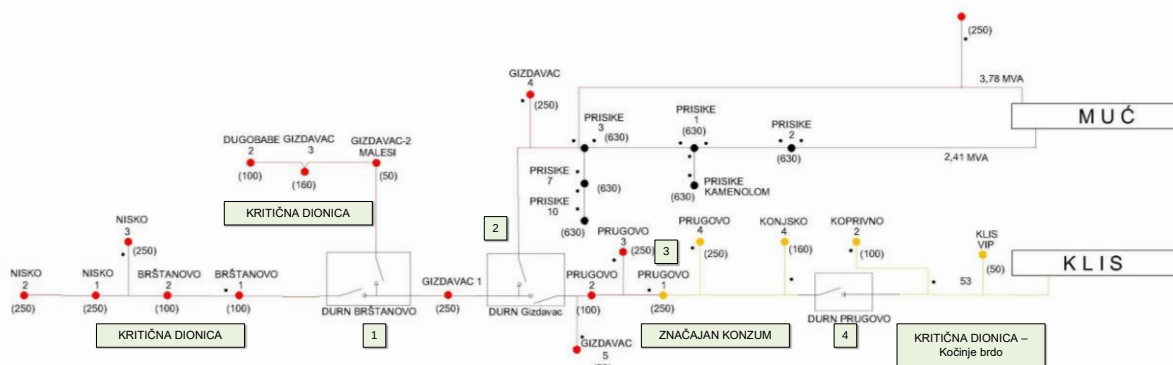
U nastavku su prikazani primjeri dva VP s karakterističnim lokacijama za ugradnju.

2.2.1. Primjer daljinskog upravljanja na VP 10 kV Konjsko 4

Na primjeru VP 10 kV Konjsko 4, odnosno DV 10 kV Klis – Muć, prikazane su karakteristične lokacije odabrane za ugradnju daljinskih rastavnih sklopki:

- na početku problematičnih odcjeka (odvajanje dionice u kvaru),
- na mjestima prespajanja dalekovoda na napajanje iz drugog VP (TS),
- na mjestima prespajanja/odvajanja dionica voda sa značajnim konzumom u slučaju kada je prva dionica voda problematična.

Ovaj dalekovod karakterizira nekoliko kritičnih dionica te jedan značajan konzum – naselje Prugovo s četiri transformatorske stanice. Dalekovod je moguće napojiti iz dvije TS 35/10 kV: Klis i Muć, pa je već i prije ugradnje opreme iz SGPP projekta na dionici između TS 10/0,4 kV Gizdavac 1 i TS 10/0,4 kV Gizdavac 4 bila ugrađena jedna daljinski upravljiva rastavna sklopka, koja je u normalnom pogonu bila otvorena. S obzirom da je u normalnom pogonu ta rastavna sklopka bila u otvorenom položaju, nije imala indikaciju prolaska struje kvara pa se nije ni mogla koristiti za automatsku rekonfiguraciju.



Slika 2. Jednopolna shema DV 10(20) kV Klis – Muć (VP 10 kV Konjsko 4)

Realizacija se odvijala u tri faze:

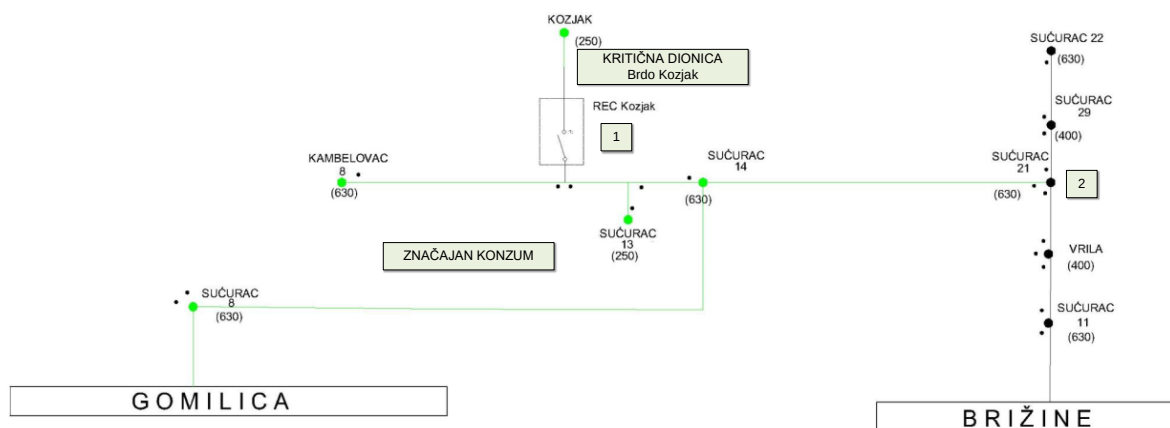
1. **Ugradnja dvostrukih rastavnih sklopki (1) i (2):** dvostruka rastavna sklopka označena s (1) ima ulogu **odvajanja kritičnih dionica dalekovoda**, s većom vjerojatnošću kvara. Dvostruka rastavna sklopka (2) ima ulogu **prespajanja dalekovoda** na napajanje iz TS 35/10 kV Muć i to u dvije varijante. Ona je zamijenila prethodnu jednostruku rastavnu sklopku starije generacije.
2. **Ugradnja daljinski upravljivog sklopnog bloka (3)** u TS 10/0,4 kV Prugovo 1. Ovim je omogućeno brzo prespajanje četiri transformatorske stanice u naselju Prugovo u slučaju kvara ili radova na bilo kojoj od kritičnih dionica.
3. **Naknadna ugradnja jednostruke rastavne sklopke (4):** Kritična dionica na početku dalekovoda preko Kočinjeg brda karakterizirana je čestim kvarovima zbog velike izloženosti atmosferskim pražnjenjima. Zbog toga je i pored ugradnje opreme iz prve dvije faze, jedan dio naselja Prugovo, u slučaju kvara na problematičnoj prvoj dionici ostajao bez napajanja do otklanjanja kvara. S obzirom na to da je upravo na tom dijelu voda koji nije bio obuhvaćen prespajanjem planirana značajna buduća izgradnja objekata, naknadno je ugrađena jednostruka rastavna sklopka (4).

2.2.2. Primjer primjene automatskog linijskog prekidača (ACR) na VP 10 kV Sućurac 8

U ovom slučaju su napravljena značajna odstupanja od osnovnih načela primijenjenih za ugradnju upravljivih rastavnih sklopki i sklopnih blokova u okviru programa SGPP. U pitanju je kratki vod sa samo pet transformatorskih stanica, izveden većim dijelom kao kabelski, ali s jednim izuzetno problematičnim odcjepom dalekovoda. Ovaj vod ima osigurano napajanje po kriteriju n-1, a spojna lokacija (2) je u TS 10/0,4 kV Sućurac 21 (nije u SDV-u). Ovaj vod nije uključen u razmatranje u okviru programa SGPP jer je kratak, s malim brojem transformatorskih stanica i većim dijelom izveden podzemno, a na problematičnom odcjepu dalekovoda za TS 10/0,4 kV Kozjak već je prethodno ugrađena daljinski upravljiva rastavna sklopka. Međutim, to se u praksi nije pokazao kao dobro rješenje iz dva razloga:

- rastavna sklopka starije generacije nije imala indikator prolaska kvara, pa nije bilo moguće uvijek sa sigurnošću utvrditi lokaciju kvara,
- odcjep Kozjak napaja antensku i radarsku postaju na vrhu brda i među najugroženijim je vodovima u DP-u, s vrlo velikim brojem, većinom prolaznih, ali i značajnim brojem trajnih kvarova, izazvanih brojnim i intenzivnim atmosferskim pražnjenjima.

S ciljem brzog izoliranja problematične dionice u slučaju trajnog kvara, ali i lokalizacije kratkotrajnih prekida kod prolaznih kvarova – preskoka uslijed atmosferskih pražnjenja, rastavna sklopka na početku dionice je zamijenjena automatskim linijskim prekidačem (ACR – Automatic Circuit Recloser). Automatski linijski prekidač s vlastitom detekcijom prolaska kvara i vlastitim ciklusom automatskih ponovnih uklopa, automatski, bez naloga iz dispečerskog centra, isključuje problematični odcjep u vremenu kraćem od vremena prorade zaštite u VP TS 35/10 kV Gomilica te time značajno smanjuje broj prekida na preostalom dijelu izvoda i to ne samo dugih (> 3 min), nego i kratkotrajnih. U dvije godine od ugradnje, na brojaču prorada su zabilježena 53 isklopa uslijed prorade zaštite te 34 automatska ponovna uklopa. Dakle, može se zaključiti da su ugradnjom reclosera značajno smanjeni broj i ukupno trajanje prekida na ovom vodnom polju, ali i bitno poboljšana kvaliteta opskrbe u pogledu kratkotrajnih prekida, koji se inače ne uzimaju u obzir pri računanju pokazatelja SAIFI i SAIDI.



Slika 3. Jednopolna shema VP 10 kV Sućurac 8

2.2.3. Primjeri ugradnji rastavnih sklopki na stupove SN mreže

Ugradnja 171 rastavne sklopke na stupove 10(20) kV dalekovoda je zahtjevan posao. Nisu sve ugrađene na već postojeće stupove, u dosta slučajeva je bilo potrebno prethodno zamijeniti postojeće drvene stupove u betonske ili čeličnorešetkaste zatezne stupove te u tu svrhu izraditi i pristupne puteve. Posebno je složena ugradnja dvostrukih rasklopnih sklopki zbog prepletanja strujnih mostova. Zbog toga su za izvedbu strujnih mostova odabrani kabeli, na kojima su prethodno izvedeni kabelski završetci. Položaj sklopke na stupu treba biti takav da je pokazivač položaja okrenut prema dolje i vidljiv s tla, a položaj poluge pogonskog mehanizma takav da omogućuje neometano rukovanje pomoću izolacijske motke s tla.

Nosači i montažni pribor su prethodno pripremljeni za karakteristične izvedbe i to tako da su za svaku karakterističnu izvedbu prvo izrađeni prototipovi, a nakon testiranja prilikom prvih ugradnji, pokrenuta je masovna izrada u određenom broju primjeraka. Većina uređaja je ugrađena na tipičnim armiranobetonskim centrifugiranim stupovima tip SB 1600/12-13 i čeličnorešetkastim zateznim stupovima

tip ZAH, ZAJ, ZAL i ZAM, no u nekim slučajevima bilo je potrebno prilagoditi montažnu opremu posebnim izvedbama kao što su cijevni čelični stupovi tip SUN ili armiranobetonski stupovi kvadratnog presjeka tip „Šperac“. Posebno je zahtijevna bila montaža sklopki na stupove koji nisu pristupačni mehanizaciji, pa su prijenos i podizanje obavljani ručno.

Većina radova je izvedena u vlastitoj režiji, što pored uštede ima i drugu korist: iskustvo i osposobljenost radnika za buduće slične aktivnosti na ugradnji nove ili održavanju i zamjeni postojeće opreme.



Slika 4. Dvostruka sklopka na ČR stupu



Slika 5. Dvostruka sklopka na betonskom stupu



Slika 6. Jednostruka sklopka na betonskom stupu

3. SKLOPNI UREĐAJI U PRIMJENI ZA DALJINSKO UPRAVLJANJE I AUTOMATIZACIJU NADZEMNE SN MREŽE

3.1. Vrste daljinski upravljivih sklopnih naprava u nadzemnoj mreži

Daljinski upravljane sklopne naprave u nadzemnoj mreži su s vremenom evoluirale od daljinski upravljanih rastavnih sklopki otvorenog tipa, do današnjih rastavnih sklopki u metalnom kućištu napunjenom plinom SF₆ i automatskih linijskih prekidača (ACR – Automatic Circuit Recloser) s ciklusom višestrukih ponovnih uklopa. Pored razvoja samih sklopnih uređaja, razvijala se i sekundarna oprema pa su današnje sklopne naprave potpuno automatizirane i opremljene svom potrebnom komunikacijskom, signalnom, mjernom, zaštitnom i upravljačkom opremom potrebnom za daljinsko upravljanje i automatsko odvajanje (sekcioniranje) u slučaju kvara.

Svi sklopni uređaji u elektroenergetskoj mreži se mogu razvrstati u tri osnovne skupine, prema svojoj osnovnoj funkciji prekidanja i odvajanja strujnog kruga:

- prekidači
- sklopke
- rastavljači

Definicije i tehnički zahtjevi za svako od ovih vrsta sklopne opreme su navedeni u:

1. **HRN EN 62271-1:2017:** Visokonaponska sklopna aparatura – 1. dio: Zajedničke specifikacije za sklopne aparature izmjenične struje (IEC 62271-1:2017; EN 62271-1:2017)
2. **HRN EN IEC 62271-100:2021:** Visokonaponska sklopna aparatura -- 100. dio: **Prekidači izmjenične struje** (IEC 62271-100:2021; EN IEC 62271-100:2021)
3. **HRN EN 62271-102:2018:** Visokonaponska sklopna aparatura – 102. dio: Visokonaponski **rastavljači i zemljospojnici izmjenične struje** (EN 62271-102:2018; IEC 62271-102:2018)
4. **HRN EN 62271-103:2012:** Visokonaponska sklopna aparatura – 103. dio: **Sklopke za nazivne napone iznad 1 kV do uključujući 52 kV** (EN 62271-103:2011; IEC 62271-103:2011)
5. **IEC 62271-111:2019:** High-voltage switchgear and controlgear - Part 111: **Automatic circuit reclosers** for alternating current systems up to and including 38 kV

Pored prethodno navedenih osnovnih vrsta sklopnih uređaja, u primjeni se susreću i drugi nazivi sklopnih naprava, kojima se opisuju i druga svojstva naprave pored osnovnog. Tako se npr. za sklopke, ovisno o njoj ulozi i izvedbi, susreću još i nazivi:

- rastavna sklopka (switch-disconnector ili load break switch)
- sekcionalizator (sectionalizer).

Prekidači ugrađeni na stupu ili općenito duž voda, sa zaštitnom funkcijom prekidanja struje kvara i ciklusom automatskih ponovnih uklopa, nazivaju se automatski linijski prekidači (Automatic Circuit Recloser) ili skraćeno recloseri, a njihove su značajke definirane normom IEC 62271-111 [8].

Definicije:

Sklopka je sklopna naprava koji može uklapati, voditi i prekidati struje u normalnom pogonskim uvjetima (load brak switch), uključujući specificirane uvjete pogonskog preopterećenja te može određeno vrijeme podnijeti i struje izvanrednih pogonskih uvjeta, kao što su oni kod kratkog spoja [5], [7].

Rastavna sklopka je sklopka koja u otvorenom položaju, zadovoljava izolacijska svojstva (izolacijski razmak između kontakata) zadana za rastavljače i navedena u [5], [6].

Automatski prekidač s ponovnim uklopom (automatic circuit recloser - ACR) je samoupravljiva sklopna naprava koja može uklapati, voditi i automatski prekidati pa ponovno uklapati strujni krug izmjenične struje po predodređenom nizu uzastopnih sklopnih operacija isklopa i ponovnog uklopa, koji završava uspješnim uklopom i resetom ili konačnim (definitivnim) isklopom. [8]. Naprava uključuje skup upravljačkih i mjernih elemenata potrebnih za detekciju struje kvara i automatsko upravljanje.

Sekcionalizator (sectionalizer) je automatska sklopna naprava namijenjena automatskom odvajanju dionice u kvaru (sekcioniranju), nakon određenog broja isklopa prekidača ili linijskog prekidača. Rastavna sklopka može biti ujedno i sekcionalizator ako je opremljena upravljačkim i mjernim elementima potrebnim za automatsko odvajanje dionice u kvaru.

3.2. Tehničke značajke daljinski upravljivih sklopnih naprava u nadzemnoj mreži

Uloga sklopnih naprava u mreži nije samo upravljanje i odvajanje dionice u kvaru, nego i sigurno isključenje i odvajanje dijela voda u svrhu izvođenja radova u beznaponskom stanju, u skladu s pravilima sigurnosti i zaštite na radu. Stoga sklopne naprave koje se primjenjuju u distribucijskoj mreži trebaju ispunjavati važećim tehničkim propisima i normama [5] – [8] postavljene tehničke zahtjeve, kao preduvjet pouzdanosti i sigurnosti.

3.2.1. Naponske značajke

U tablici II su navedeni tehnički zahtjevi definirani normom HRN EN 62271-1 i usporedba tehničkih značajki za dva tipa rastavnih sklopki i dva tipa linijskih prekidača.

Tablica II. Usporedba naponskih značajki sklopnih naprava sa zahtjevima norme

		Rastavne sklopke		Automatski linijski prekidači	
	IEC 62271-1	ABB NXB 24	Schneider RL27	Schneider U27	Tavrida REC25_AL
Izolacijska razina					
Nazivni napon opreme (U_r)	≥ 24 kV	24 kV	27 kV	27 kV	27 kV
Nazivni kratkotrajni (1 min) podnosivi napon mrežne frekvencije 50 Hz (U_d) – ef. vrijednost (RMS)					
linijski i fazni	≥ 50 kV	50 kV	60 kV	60 kV	50 kV
preko izolacijskog razmaka	≥ 60 kV	60 kV	60 kV	60 kV	60 kV
Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon (1,2/50 μs) (U_p) – vršna vrijednost (peak)					
linijski i fazni	≥ 95 (125) kV	125 kV	150 kV	125 kV	125 (150) kV
preko izolacijskog razmaka	≥ 110 (145) kV	145 kV	170 kV	125 kV	125 (150) kV

Vrijednosti podnosivog napona "preko izolacijskog razmaka" vrijede za rasklopne naprave kod kojih se zahtijeva da je razmak između otvorenih kontakata dizajniran da zadovolji dielektrične zahtjeve specificirane za rastavljače. To je nužan uvjet da bi se zadovoljilo prvo od pet pravila sigurnosti za rad u beznaponskom stanju, odn. da bi se zadovoljio uvjet za odvajanje od napona. Iz podataka u tablici vidljivo je da te **uvjete zadovoljavaju i rastavne sklopke i prekidači**, s tim da recloseri zadovoljavaju uvjet podnosivog atmosferskog udarnog napona samo za nižu izolacijsku razinu (≥ 110 kV). To je potrebno uzeti u obzir prilikom radova, ali ne bi trebalo biti ograničenje jer radovi i tako nisu dopušteni u uvjetima opasnosti od atmosferskih prenapona.

3.2.2. Strujne značajke

Strujne značajke sklopne opreme trebaju biti usklađene s očekivanim strujama u normalnom i izvanrednom pogonu te sa očekivanim strujama kratkog spoja. Najveći presjek Al/C vodiča u 10(20) kV mreži je 95 mm², iznimno može biti 120 mm², čija je najveća dopuštena vrijednost struje 410 A. Rastavne sklopke i linijski prekidači opće namjene, standardno se proizvode s nazivnim strujama 630 A, što zadovoljava uvjete najveće očekivane struje.

Zahtjev za najveću podnosivu struju kratkog spoja $I_k \geq 16$ kA (1s) proizlazi iz zahtjeva za transformatorske stanice na strani 10 i 20 kV. Struje kratkog spoja u nadzemnoj mreži su u praksi znatno manje zbog impedancije vodova, pa standardne sklopne naprave nazivne struje 630 A, u pravilu zadovoljavaju uvjet podnosive struje kratkog spoja. Osim podnosive struje kratkog spoja, pred sklopne naprave se postavlja i uvjet uklopne moći (uklopne struje KS) vrijednosti ≥ 40 kA (vršna vrijednost).

3.2.3. Električna i mehanička izdržljivost

HRN EN 62271-103 definira dva razreda mehaničke izdržljivosti, odnosno mehaničke sposobnosti obavljanja operacija sklapanja i to M1 s ≥ 1000 operacija te M2 s ≥ 5000 operacija. Zbog veće vjerojatnosti kvara na nadzemnim vodovima, sklopke namijenjene rekonfiguraciji mreže u slučaju kvara trebale bi biti razreda M2, odnosno mehaničke izdržljivosti ≥ 5000 operacija. Recloseri su predviđeni za višestruke ponovne uklope, pa njihova mehanička izdržljivost treba biti ≥ 10000 operacija.

Sklopke se dijele u tri razreda električke izdržljivosti. Sklopke razreda E3 (sklopke visoke izdržljivosti) namijenjene su za primjenu u uvjetima čestih sklapanja gdje nije omogućen redovni pregled i zamjena dijelova. Norma za ovaj razred postavlja granice:

- Broj sklapanja na nazivnu struju ≥ 100
- Broj operacija uklopa na kratki spoj ≥ 5

Sklopke primijenjene u projektu automatizacije SN mreže imaju električnu izdržljivost obavljanja do 400 operacija, a neke i više. Kod reclosera, broj operacija sklapanja na nazivnu struju jednak je broju operacija koje određuje mehanička izdržljivost.

Sklopke trebaju imati brojače prorada, ne samo ukupno, nego i po vrstama. S obzirom na ograničene mogućnosti pregleda i servisa, nakon što naprava odradi broj prorada definiran mehaničkom i električnom izdržljivošću, treba je zamijeniti.

3.2.4. Izvedba i pogon

Rastavne sklopke

Rastavne sklopke iz ovog projekta izvedene su kao trole, dvopoložajne ili troležajne (u slučaju kad se zahtijeva izvedba uzemljivača). Svi električki elementi sklopke smješteni su u hermetički zatvorenom metalnom kućištu, napunjenim izolacijskim plinom SF₆ pod tlakom. Isti plin se koristi za gašenje luka. Kompaktni smještaj u plinu SF₆, pored jednostruke, omogućava i dvostruku izvedbu u istom kućištu.

Mehanizam polova je opružni, prekretnog tipa. Opruge daju brzinu polovima, neovisno o brzini ručnog ili motornog pogona. Prekretni mehanizam osigurava stabilnost u svim položajima i djeluje na način da uvijek gura polove u krajnji položaj, pa nema rizika da ostanu u međupoložaju. Osim motornog pogona, postoji mogućnost i ručnog sklapanja s tla, pomoću izolacijske motke. Kod troležajnih rastavnih sklopki s noževima za uzemljenje, operacija uzemljivanja se može obaviti samo ručno, pomoću izolacijske motke.

Automatski linijski prekidači - recloseri

Linijski prekidači primijenjeni za automatizaciju nadzemne mreže izvedeni su s polovima s vakuumskim komorama za gašenje luka. Svi električni dijelovi su izolirani i smješteni su u metalnom kućištu, zajedno s pogonskim mehanizmom. Zbog zahtijeva za višestrukim ponovnim uklopima, polovi se pokreću djelovanjem magnetskog aktuatora.

Za razliku od rastavnih sklopki, koje se mogu uključiti i isključiti ručno, pomoću izolacijske motke s kukom, recloser se može samo isključiti ručno, dok je uključanje moguće jedino električno, bilo daljinski ili lokalno iz upravljačkog ormara u podnožju stupa.

3.3. Rukovanje i mjere sigurnosti

Uvođenjem nove opreme te automatizacije i daljinskog upravljanja na vodovima nadzemne mreže, bitno se mijenjaju ustaljene prakse i procedure za provedbu Pravila i mjera sigurnosti pri radu na električnim postrojenjima [9]. Za svaki tip sklopnih uređaja kojima se provodi odvajanje dionice dalekovoda u svrhu izvođenja radova, potrebno je provjeriti da li svojom izvedbom ispunjava postavljene zahtjeve za siguran rad na isključenoj dionici, odnosno da li omogućava primjenu prva četiri osnovna pravila za siguran rad u beznaponskom stanju.

3.3.1. Isključenje i odvajanje od napona

Isključenje se može obaviti daljinski ili lokalno. Lokalno upravljanje može biti elektromotorno ili ručno, pomoću izolacijske motke. Potpuno odvajanje se može provesti samo na uređajima koji su izvedeni u skladu s odredbama norme HRN EN IEC 62271-102, koja se odnosi na rastavljače i zemljospojnike. Ako uređaj nije sukladan s normom HRN EN IEC 62271-102, ne može se smatrati da je ispunjen prvi uvjet: **potpuno odvajanje od napona**. U tablici II u poglavlju 4.2.1., prikazana je provjera zadovoljavanja tehničkih zahtjeva normi [5] i [6] po pitanju sigurnosnog električkog razmaka za četiri tipa sklopnih uređaja u primjeni u nadzemnoj mreži DP Elektrodalmacija.

Napomena: Iako daljinski upravljane sklopne naprave imaju mogućnost i ručnog upravljanja (izolacijskom motkom), preporuka je da se sklopne operacije izvode daljinskim ili lokalnim elektromotornim upravljanjem, a ručno (motkom) samo iznimno u slučaju kvara elektromotornog pogona ili nestanka pomoćnog napajanja.

Kod oklopljenih uređaja nije moguće vidljivo provjeriti stanje kontakata, pa takvi uređaji trebaju biti opremljeni **mehaničkim pokazivačem položaja** te dodatno signalnom sklopkom za signalizaciju položaja za potrebe automatizacije i daljinskog vođenja. Mehanički pokazivač položaja je jedina pouzdana provjera da su kontakti u krajnjem položaju, pa on treba biti tako i izveden te postavljen s donje strane pogonskog mehanizma, na mjestu uvijek vidljivom s tla te obojan reflektirajućom bojom čime se omogućava vidljivost i po mraku.

Signalizacija položaja u SCADA-i nije pouzdana te se dopusnica za rad može izdati tek nakon provjere na mehaničkom pokazivaču položaja na samom uređaju.

3.3.2. Sprječavanje ponovnog uključenja

Prvi uvjet za sprječavanje ponovnog uključenja je da su kontakti u krajnjem položaju te da uključenje nije moguće bez primjene vanjske energije (električne ili mehaničke). To je kod rastavnih sklopki osigurano samom prekretnom izvedbom opružnog mehanizma, dok je kod prekidača s automatskim ponovnim uklopom potrebno isprazniti svu električnu i mehaničku energiju akumuliranu u mehanizmu koji pokreće polove.

Slijedeći uvjet je blokiranje djelovanja električne ili mehaničke energije iz vanjskog izvora na pogonski mehanizam koji pokreće kontakte. Blokiranje električnog djelovanja (daljinskog ili lokalnog elektromotornog upravljanja) postiže se prebacivanjem preklopke u upravljačkom ormaru, uz postavljanje upozorenja o zabrani uključenja i zaključavanjem ormara. S obzirom da je mehaničko upravljanje moguće jedino primjenom dugačke izolacijske motke, mehaničko zaključavanje mehanizma nije nužno, ali proizvođači opreme i to nude kao opciju.

Kod reclosera, sprječavanje ponovnog uključenja se izvodi potezanjem mehaničke ručice smještene s donje strane uređaja, dohvatljive jedino izolacijskom motkom s kukom, čime se uređaj isključuje mehaničkim putem, prazni sva akumulirana električna i mehanička energija u mehanizmu te blokira uključenje.

3.3.3. Utvrđivanje beznaponskog stanja

Na sklopnim uređajima u nadzemnoj mreži u pravilu ne postoji vidljiva indikacija napona. Uređaji su opremljeni naponskim senzorima za mjerenje ili detekciju napona, ali se signal iz tih mjernih uređaja prosljeđuje u SCADA-u, bez posebne vanjske indikacije na samoj napravi. Stoga se provjera beznaponskog stanja provodi na dva načina:

- komunikacijom s dispečerom koji ima uvid u naponsko stanje u SCADA-i
- provjerom odgovarajućim indikatorom napona pomoću izolacijske motke.

Neovisno o provjeri beznaponskog stanja na mjestu isključenja, obavezna je provjera beznaponskog stanja pomoću indikatora napona na mjestu rada.

3.3.4. Uzemljivanje i kratko spajanje

Prije rada na nadzemnom vodu, obavezno je uzemljivanje i kratko spajanje na svakom mjestu isključenja i odvajanja od napona te na mjestu rada. Kod tropoložajnih rastavnih sklopki s noževima za uzemljenje i kratko spajanje (spori zemljospojnik), uzemljivanje se obavlja mehaničkim zakretanjem poluge pogona primjenom izolacijske motke, nakon prethodno provedenih postupaka isključenja i odvajanja od napona, sprječavanja ponovnog uklopa i provjere beznaponskog stanja.

Kod dvopoložajnih rastavnih sklopki i linijskih prekidača, uzemljivanje i kratko spajanje je jedino moguće primjenom odgovarajućih prijenosnih naprava za uzemljivanje i kratko spajanje, nakon prethodne provjere beznaponskog stanja ispitnim indikatorom s motkom, uz sve mjere sigurnosti i zaštite na radu.

3.4. Održavanje i pogonska iskustva

Uvjet za pouzdan i siguran rad sklopnih naprava je njihova ispravnost, koja se provjerava periodičkim pregledima i održavanjem, prema uputama proizvođača i prema Pravilima o održavanju elektrodistribucijske mreže [10]. Daljinski upravljane sklopke i prekidači su složene naprave kod kojih su objedinjene i funkcije telekomunikacija i daljinskog vođenja, automatskog upravljanja, signalizacije, zaštite i mjerenja. Time se i nadležnosti za održavanje pojedinih funkcija iste naprave dijele između više organizacijskih jedinica.

Vizuelni pregled uređaja se obavlja prilikom pregleda dalekovoda, a što je prema Pravilima predviđeno jednom u dvije godine. Prilikom pregleda, pored stanja svih dijelova naprave, provjerava se i tlak plina, ako je uređaj opremljen manometrom, a ako nije, tlak se provjerava mjerenjem periodički sukladno preporukama proizvođača. Osim temeljem redovnih pregleda, održavanje i intervencije se provode i nakon utvrđenih neispravnosti po dojadi u SCADA-u od strane samog uređaja ili nakon uočenih problema u radu. Tako se npr. za daljinski upravljive rastavne sklopke punjene plinom SF₆, u SCADA-u dovode signali *niskog napona baterije* i *niskog tlaka plina*.

U slučaju prorade signala *gubitka tlaka plina*, potrebno je hitno manometrom provjeriti tlak plina u uređaju. U slučaju da tlak plina padne ispod dopuštene razine, nije dopušteno sklapanje. Uređaji su inače opremljeni mehaničkom blokadom koja sprječava sklapanje u uvjetima niskog tlaka plina iz sigurnosnih razloga zbog rizika od unutrašnjeg luka. Iz dosadašnjeg iskustva u DP Elektrodalmacija Split, još nije ni na jednom uređaju utvrđen gubitak plina, iako je nekoliko slučajeva bilo dojava gubitka tlaka plina. Provjerom je utvrđen ispravan tlak, a uzrok lažne dojave je otklonjen prilikom servisiranja elektromotornog pogona i signalnih uređaja.

Iz iskustva u prethodnih dvadeset godina, nisu zabilježeni veći kvarovi na rastavnim sklopkama, barem ne u dijelu unutar hermetičkog kućišta. Zabilježeni kvarovi i problemi su:

- kvarovi i dotrajalost baterija i sustava pomoćnog napajanja,
- istrošenost, lomovi i oksidacija elemenata motornog pogona i signalnih sklopki zbog prodora vlage u kućište elektromotornog pogona,
- proboji odvodnika prenapona,
- kvar na vanjskom izolatoru zbog pregrijavanja na lošem spoju,
- povremeni gubitak veze zbog smetnji ili neispravnosti na komunikacijskoj opremi.

4. ZAKLJUČAK

Sustavnom automatizacijom i daljinskim upravljanjem sklopnim napravama ugrađenim na nadzemnim vodovima srednjonaponske mreže može se značajno pridonijeti pouzdanosti opskrbe, prvenstveno kroz smanjenje trajanja postupaka utvrđivanja mjesta kvara, odvajanja dionice voda u kvaru i povratka napona u dijelove mreže koji nisu zahvaćeni kvarom. Time se utječe upravo na dio distribucijske mreže koji je najizloženiji kvarovima. Pokazatelj koji najbolje pokazuje pozitivan utjecaj automatizacije i daljinskog upravljanja je CAIDI - prosječno trajanje dugotrajnih prekida napajanja po korisniku mreže (CAIDI, engl. Customer Average Interruption Duration Index). Drugim riječima on predstavlja prosječno vrijeme potrebno za ponovnu uspostavu napajanja.

Primijenjena oprema je skupa, pa se pri određivanju ukupnog broja lokacija za njenu ugradnju slijede pravila i načela optimalnog odnosa investicijskih troškova i troškova izazvanih trajanjem kvara. Na primjeru realizacije projektne aktivnosti SGPP (Smart Grid Pilot Project) prikazane su utjecaji karakterističnih lokacijskih uvjeta, izloženosti vodova kvarovima i specifičnosti konzuma na izbor lokacija za ugradnju opreme.

Ugrađena oprema treba, osim zahtjeva sustava daljinskog upravljanja i automatizacije, zadovoljiti i opće zahtjeve za sigurnost pri radu. Analizom tehničkih značajki najčešće primjenjivane opreme u DP Elektrodalmacija Split, provjerena je usklađenost primijenjene opreme i njena prikladnost za primjenu mjera sigurnosti pri radu na mjestu isključenja uz zaključak da sve ugrađene sklopne naprave zadovoljavaju tehničke uvjete za pouzdano isključenje i odvajanje od napona na mjestu rada te sprječavanje ponovnog uključenja.

5. LITERATURA

- [1] D. Brajković, R. Ćučić, V. Fabris, Z. Jadrijević, B. Brestovec, Boris Njavro, "Implementacija automatizacije po dubini srednjonaponske mreže", 4.(10.) savjetovanje HO CIRED, Trogir/Seget Donji, 11. - 14. svibnja 2014.
- [2] B. Brestovec, Z. Jadrijević, B. Njavro, "Osnovni principi vođenja samoodržive napredne mreže", 4.(10.) savjetovanje HO CIRED, Trogir/Seget Donji, 11. - 14. svibnja 2014.

- [3] K. Ugarković, D. Brajković, M. Zadro, "Metodologija i kriteriji za odabir izvoda SN mreže za uvođenje u SDV", 4.(10.) savjetovanje HO CIRED, Trogir/Seget Donji, 11. - 14. svibnja 2014.
- [4] A. Slupinski, J. Monscheidt, „HEP ODS GAP Elektroistra – Grid Automation Planning“, Ver. 2.0, Technical Report, Siemens AG, DE_dn200003, 20. ožujka 2020.
- [5] HRN EN 62271-1:2017: Visokonaponska sklopna aparatura – 1. dio: Zajedničke specifikacije za sklopne aparature izmjenične struje (IEC 62271-1:2017; EN 62271-1:2017)
- [6] HRN EN 62271-102:2018: Visokonaponska sklopna aparatura – 102. dio: Visokonaponski rastavljači i zemljospojnici izmjenične struje (EN 62271-102:2018; IEC 62271-102:2018)
- [7] HRN EN 62271-103:2012: Visokonaponska sklopna aparatura – 103. dio: Sklopke za nazivne napone iznad 1 kV do uključujući 52 kV (EN 62271-103:2011; IEC 62271-103:2011)
- [8] IEC 62271-111:2019: High-voltage switchgear and controlgear - Part 111: Automatic circuit reclosers for alternating current systems up to and including 38 kV
- [9] Pravila i mjere sigurnosti pri radu na električnim postrojenjima, Bilten Vjesnik HEP-a br. 496, Zagreb, 12. kolovoza 2020.
- [10] Pravila o održavanju elektrodistribucijske mreže, Bilten Vjesnik HEP-a br. 504, Zagreb, 01. ožujka 2021.