

DOI: [10.46793/CIGRE37.B1.03](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B1.03)**B1.03****NEKA ISKUSTVA U ODRŽAVANJU KABELSKЕ MREŽE****SOME EXPERIENCES IN CABLE NETWORK MAINTENANCE****Josip Popović, Zvonimir Popović, Dejan Ćulibrk***

Kratak sadržaj: Najvažniji pogonski problemi u eksploataciji i održavanju podzemne kableske distribucijske mreže su kvarovi na kabelima i njihova sanacija, u što ulazi minimalno trajanje beznaponskog stanja, popravak kvara i uspostava normalnog pogonskog stanja. Takve situacije se mogu svesti na gotovo svima proživljeni događaj, pa s njim u vezi i poznatu konstataciju: "ono kad nema struje"! Proces povratka u normalno pogonsko stanje ovisan je o brzini reakcije pogonskog osoblja u tim slučajevima, prvenstveno radi pravilnog postupanja, kao i njihovo iskustvo i opremljenost, i dostupnost pogonske dokumentacije. Pri tome je jako važno kakva je i da li postoji pogonska rezerva za takve posve neizbježne pogonske događaje. Rješavanje niza nepredvidivih, uglavnom otežavajućih, okolnosti koje se odjednom pojavljuju u takvim situacijama mogu doprinijeti izbjegavanju puno nepotrebnih problema u eksploataciji

Ključne reči: *podzemni kabeли, održavanje kableske mreže, kvarovi na kabeлиma*

Abstract: The most important operational problems in the exploitation and maintenance of underground cable distribution networks are cable faults and their sanitation, which includes the minimum duration of the outage, sanitation of the fault and the establishment of normal operating conditions. Such situations can be reduced to an event experienced by almost everyone, and the well-known statement related to it: "that time when there is no power"! The process of returning to normal operating conditions depends on the speed of reaction of operating personnel in such cases, primarily for the sake of correct action, as well as their experience and equipment, and the availability of operating documentation. In this regard, it is very important what kind of operating reserve is and whether there is one for such completely inevitable operating events. Resolving a series of unpredictable, mostly aggravating, circumstances that suddenly appear in such situations can contribute to avoiding many unnecessary problems in exploitation.

Key words: *underground cables, cable network maintenance, cable faults*

* Josip Popović, -, josip.popovic.bj@gmail.com

Zvonimir Popović, HEP ODS d.o.o. Elektra Bjelovar, zvonimir.popovic@hep.hr

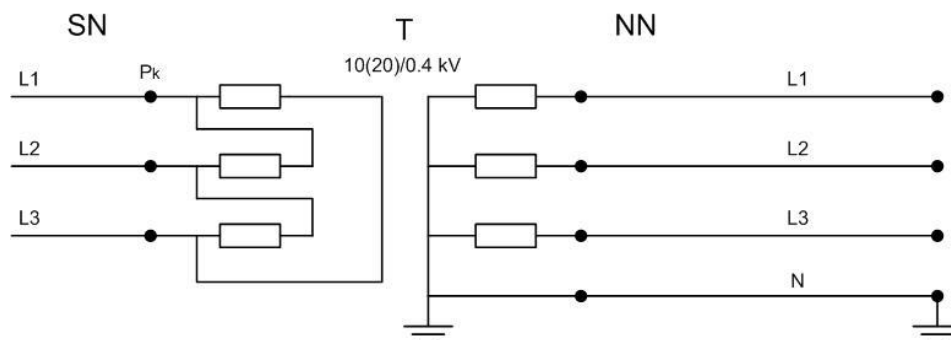
Dejan Ćulibrk, HEP ODS d.o.o. Elektra Bjelovar, dejan.culibrk@hep.hr

1 UVOD

Ugradnja podzemnih kabela ima dugačku tradiciju u gradskoj mreži, puno dužu nego u vanjskoj mreži, pa zato i zastupljenost kabela prevladava u strukturi gradske mreže. Počelo je polaganjem uljnih kabela različitih presjeka bakrenih ili aluminijskih vodiča, a nastavljeno je polaganjem kabela s izolacijom od plastike i aluminijskih vodiča sve do izolacije od umreženog polietilena. Redovno održavanje kabelskih mreža uključuje preglede i otklanjanje uočenih nedostataka, a interventno otklanjanje uzroka prekida ili poteškoća u isporuci električne energije kupcima, nakon čega se prilaže pisani izvještaj radi evidencije i ažuriranja podataka u pogonsko tehničkoj dokumentaciji. Kabele se načelno može razvrstati u mrežne, priključne i kabele javne rasvjete iako granična crta nije jasno zadana. Kabelske mreže neizostavno prate i iznenadni kvarovi na kabelima sa svim neugodama koje izazivaju kupcima i operativnom osoblju jer je njihovo saniranje specifično i ovisi o uvjetima na terenu. Istraživanje kvarova na kabelima je posebno izazovna kategorija posla u održavanju kabelskih mreža

2 NISKONAPONSKI KABELOVI

Niskonaponske kabelske mreže građene su kabelima s tri fazna i jednim neutralnim vodičem, pogonski uzemljenim na više mjesta i spojenim na zvjezdište niskonaponske strane distribucijskog transformatora kao na slici 1.



Slika 1: Shema niskonaponske mreže

Niskonaponske mreže su radijalne i razgranate i uglavnom nemaju rezervu što znači da ih se, prema potrebi, ne može jednostavno prespojiti ili čak prekopčiti na njima susjedne niskonaponske mreže s kojima bi ostvarivale međusobnu rezervu.

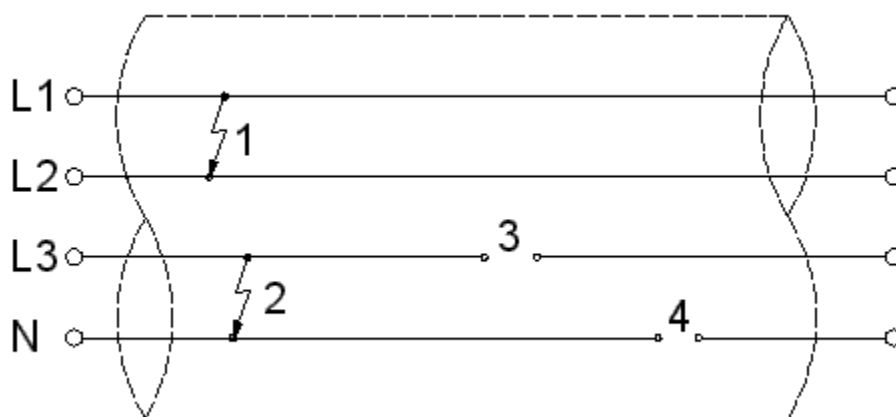
2.1 Kvarovi niskonaponskih kabela

Kvarovi na kabelima neizbježni su dio eksploatacije kabelskih mreža koji uzrokuju poremećaj, povremeni ili potpuni prekid u opskrbi kupaca električnom energijom zbog oštećenja izolacije u kabelu što rezultira pregaranjem ili isključenjem osigurača i nestankom napona za jednog kupca, dva kupca i puno više kupaca. Niskonaponski kabeli štićeni su osiguračima koji su ugrađeni na početke kabelskih izlaza u transformatorskim stanicama ili u razvodne ormare i pregaraju ili isključuju samo u vodičima koji su u kvaru.

2.1.1 Kratki spojevi

Vrste kvarova u niskonaponskim kabelima prikazani su na slici 2. To mogu biti kratki spojevi između faznih vodiča (broj 1) i kratki spojevi između faznog i nultog vodiča (broj 2) na slici 2.

Kvarovi koji su jednopolni kratki spojevi između faznog i nultog vodiča uzrokuju pregaranje ili isključenje osigurača u fazi koja je u kvaru i ona trajno ostaje bez napona. pa svi kupci koji su jednofazno priključeni baš na taj fazni vodič ostaju potpuno bez električne energije. Kupci koji su trofazno priključeni u tom slučaju nemaju napon u jednom vodiču i nemaju mogućnost korištenja trofaznih elektromotornih trošila. Postoje slučajevi kada su dva fazna vodiča u kratkom spoju s neutralnim vodičem tako da dvije faze nemaju napon. Naravno da se pojavljuju i kvarovi kada su svi vodiči niskonaponskog kabela međusobno u kratkom spoju pa niti jedan fazni vodič nema napon. Dvopolni kratki spojevi su kvarovi između dva fazna vodiča koji mogu nastati posljedično od dva jednopolna kvara. U tim slučajevima kupci koji imaju trofazni priključak mogu se služiti samo jednom fazom, dok kod jednofaznih priključaka će napon imati samo oni kupci koji su spojeni na ispravnu fazu.



Slika 2: Prikaz kvarova u niskonaponskom kabeu

Tropolni kratki spojevi su kvarovi između sva tri fazna vodiča pa ukoliko je to još i kvar prema nultom vodiču onda pregore osigurači u sve tri faze. Događa se da kod trofaznih kvarova pregore osigurači samo u dvije faze, a u jednoj fazi osigurač ne pregori. Ovisno o izvedbi priključka i mogućnosti primjene na terenu mogu se neki ugroženi jednofazni priključci prespojiti na susjedne ispravne fazne vodiče.

2.1.2 Prekid vodiča

U niskonaponskim kabelskim mrežama, kao kvarovi, prevladavaju prekidi vodiča u obliku uzdužnog kvara i stvaraju poremećaj nestanka napona u jednoj fazi. Posljedica su mehaničkog oštećenja vanjske izolacije i naknadnih kemijskih reakcija na aluminijski vodič kabela kad dođe u dodir sa okolnim materijalom, uglavnom zemljom i pijeskom kojim je zatrpan. Na tom mjestu vodič nije više vodljiv nego prekinut kako je prikazano brojem 3 na slici 2 pa potrošači iza mjesta prekida nemaju fazni napon i ta pojava može utjecati na trofazna elektromotorna trošila ako nisu pravilno zaštićena.

Prekid nultog vodiča prikazan je brojem 4 na slici 2 može imati štetnu nuspojavu izraženog povišenja napona za trošila i električne aparate iza mjesta prekida i izazvati njihovo oštećenje odnosno pregaranje jer imaju uvjete kao da su priključeni na dvije faze, a ne između faze i nule.

Kod niskonaponskih kabela velika je paleta presjeka vodiča, vrste izolacijskih materijala i broj godina njihove eksploatacije. Proboji niskonaponskih kabela se pojavljuju na starim uljnim kabelima nedovoljnog presjeka i strujno preopterećenim.

Popravljeni stari uljni niskonaponski kabele su zbog različitih materijala kabela i kableske spojnice kratkog životnog vijeka i kvarovi na tim mjestima najčešće se ponavljaju. Niskonaponski plastični aluminijski kabele kojima je pri radovima oko njih oštećena izolacija i ne probijaju odmah, kvar se manifestira naknadno kao prekid vodiča koji na tom mjestu nestane i pretvori se u neku vrstu praha. Popravci se obavljaju kableskim spojnica, ubacivanjem dijelova kabela i montažom dvije kableske spojnice, ali i zamjenom cijelog kabela.

Tabela I: Kvarovi niskonaponskih kabela

Broj kvarova	Godine kvarova	Kratki spoj	Prekid vodiča	Ukupno
2	83, 86, 01	5	1	6
3	89, 12	4	3	7
4	88, 93, 03, 15, 16	15	5	20
5	84, 94, 99	12	3	15
6	92, 97, 98, 14	21	3	24
7	85, 91, 00, 06, 10	20	15	35
8	02, 05, 09, 11	13	19	32
9	87, 95, 94, 07	26	10	36
10	90, 96, 08	20	10	30
11	13	6	5	11
Ukupno		142	74	216

Kvarovi niskonaponskih kabela prikazani su u tabeli I. u godinama pojave, vrsti kvara i ukupnom broju kvarova. Kratki spoj je vezan uglavnom za stare uljne kabele najčešće premalog presjeka vodiča i nove kabele neoprezno oštećene. Na kabeleima s bakrenim vodičima kvarovi su redovito kratki spojevi. Na kabeleima čiji su vodiči aluminijski učestalije pojavljuju se prekidi vodiča. Svi priključeni kupci do mjesta prekida vodiča imaju ispravno napajanje električnom energijom, a oni priključeni iza mjesta kvara imaju poremećaj naponskog stanja, odnosno nestanak jedne faze.

3 SREDNJENAPONSKI KABELI

Najčešći kvarovi u srednjenaponskim kableskim mrežama su kvarovi prema zemlji, odnosno slabljenje ili probij izolacije prema plaštu, u pogonskom pogledu manifestiraju se u dva oblika, kao jednopolni kratki spojevi i dozemni spojevi, ovisno o tretiranju zvjezdišta pojedine srednjenaponske mreže. Pri dozemnim spojevima u srednjenaponskim mrežama s izoliranim zvjezdištem posebno je opasna pojava neizbježnog prenapona koji usputno može prouzročiti i kvarove na mjestima oslabljene izolacije u bilo kojem dijelu mreže, s tim da su tome posebno izložene mješovite, pogotovo stare kableske i nadzemne mreže, pa je zbog njihove razgranosti lokalizacija dionice u kvaru znatno otežana, pogotovo pri pojavi dvostrukog dozemnog spoja koji ima većini slučajeva obilježja dvopolnog kratkog spoja.

3.1 Uzroci i vrste kvarova

Uzroci kvarova mogu biti mehanički zbog nepažljivih građevinskih radova na kableskoj trasi, oštećenje kabela prije polaganja, nestručna montaža i pogotovo izbor nekvalitetnog ili pogrešnog spojnog materijala i pribora.

U tabeli II. prikazani su uzroci kvarova i njihov udjel u ukupnom broju i to samo za kvarove koji su istraživani mjernim metodama za točno određivanje mjesta kvara.

Prema uzrocima kvarova najviše ih je od građevinskih radova u blizini kabela odnosno mehanički uzrokovani kvarovi.

Tabela II: Uzroci kvarova

Uzrok	VN	%	NN	%
Mehanički	49	43	137	76,5
Spojnice	49	43	12	6,7
Završetci	3	2,63	6	3,4
Proboj	10	8,76	15	8,4
Montaža	2	1,74	9	5
Nepoznato	1	0,87	0	0
Ukupno	114	100	179	100

Na tim mjestima ugrađivane su kableske spojnice, ponekad i dvije uz ubacivanje dijela kabela. Kableske spojnice su u pravilu mjesta gdje je kabel oslabljen. Značajan uzrok kvarova na kabelima je kvar na kabelskoj spojnici pogotovo na srednjenaponskim kabelima. Naime, montaže olovnih spojnica na uljnim kabelima specifičan su posao koji je montažerski vrlo zahtjevan. Najviše kvarova na kabelskim spojnicaama bilo je na mjestu spoja spojnice i kabela gdje je puknuće lemljenog spoja izazvalo curenje ulja neophodnog za izolaciju. Jedan dio kvarova vezan je i uz prelaganje kabela i njegovo nastavljanje drugom vrstom kabela gdje je spoj različitih vrsta materijala potencijalni uzrok kvara na kabelu. Gotovo isto objašnjenje može se primijeniti i na kvarove na kabelskim završecima. Samo za jedan kvar na kabelu bio je nepoznat uzrok, s tim da mjesto kvara nije niti pronađeno i što je još zanimljivije tijekom naponskog ispitivanja kabel je podnosio sve viši napon ispitivanja umjesto da je obratno kako je to uobičajeno kod takozvanog propaljivanja kabela. To se događalo na 35 kV kabelu i nakon uključenja kvar se više nije pojavio. Zaista neobičan događaj!?!.

Tabela III: Kvarovi srednjenaponskih kabela

Broj kvarova	Godine kvarova	Kratki spoj	Dozemni	Ukupno
1	88	0	1	1
2	82, 84, 87, 93, 96, 06	3	9	12
3	83, 89, 91, 95, 00, 10	1	17	18
4	85, 94, 99, 03	3	13	16
5	86, 90, 04, 08, 09	2	23	25
6	92, 01, 07	4	14	18
7	98, 05	1	13	14
10	02	4	6	10
Ukupno		18	96	114

Kvarovi srednjenaponskih kabela prikazani su u tabeli III. s prevladavajućim brojem dozemnih spojeva zbog proboja jedne faze prema zemlji. Dio kvarova vezan je za nekvalitetnu montažu kabelskih spojnica i kabelskih završetaka najčešće uzrokovanih nepoznavanjem tehnologije montaže i primjene novih vrsta materija. Pogotovo se to odnosi na prelazne kableske spojnice s trožilnog uljnog kabela na jednožilni plastični kabel kada se dovoljna pažnja ne posveti poluvodljivom sloju ekraniziranog kabela.

4 OTKLANJANJE KVAROVA

Prema vrsti kabela, vrsti kvara, razini oštećenja na mjestu kvara i uvjetima u okolišu kvara određuje se način otklanjanja kvara odnosno popravka kabela.

Tabela IV: Kvarovi na istom kabelu

Broj kvarova	Broj kabela	Ukupno kvarova	Udjel
1	30	30	26,3
2	13	26	22,8
3	9	27	23,7
4	3	12	10,5
5	1	5	4,4
6	1	6	5,2
8	1	8	7
Ukupno	58	114	100

U tabeli IV prikazano je ponavljanje kvarova na srednjenaponskim kabelima pa je vidljivo da su neki kabele više bili izloženi kvarovima. Prikazani brojevi kvarova odnose isključivo na kvarove za koje se nije znalo točno mjesto kvara i upotrebljavana je aparatura za precizno određivanje mjesta kvara. Broj kabela koji su izloženi kvaru je 58 u odnosu na 156 kabela koji su trajno u pogonu pokazuje da većina kabela funkcionira bez poremećaja. Popravci kabela vezani su uz ugradnju kabelaških spojnica. Ulni srednjenaponski kabele su popravljani ugradnjom olovni kabelaških spojnica koje su postajale posebno kritično mjesto za nove kvarove. Kad je takva kabelaška spojica u kvaru, više se nije mogla popraviti ugradnjom jedne kabelaške spojnice nego, ugradnjom dvije kabelaške spojnice i komadom kabela između njih. Ovo pokazuje da se vjerojatnost ponovnog kvara na takvom kabelu jako povećava. Ovakvom načinu popravka kvara pribjegavalo se kad je kvar ispod prometnica i na mjestima gdje nije fizički moguće montirati kabelašku spojnicu. Kabele na kojima su češće bili kvarovi ili su oštećivani pa imaju više kabelaških spojnica kao potencijalno vjerojatnijih mjesta kvara se zamjenjuju djelomično ili u cijelosti novim jednožilnim kabelima.

5 KVAR SVIH KVAROVA

E, KAD HOĆE HOĆE!?!

Jedan specifični kvar na kabelu koji treba spomenuti, kao zaista rijetku iskustvenu pojavu, zavrjeđuje kratki opis. Spletom čudnih okolnosti obavljen je netipični slučaj kvara na kabelu. Iskustvo koje se najbolje uokviruje Murphyjevim zakonom. Iskustveno je bilo neprihvatljivo da je kratki spoj na jednožilnom kabelu, koji je prvi dio glavne trase, razgranatih dalekovoda, po olujnom nevremenu dok puše vjetar, pada mokri snijeg, padaju stupovi, pucaju vodiči i ruše se drveća na dalekovodima spojenim na taj kabel. Uz to i nemogućnost njegova rješenja i jedinstveno, rijetko ponovljivo iskustvo, već je dovoljno i zato što je kratki spoj bio na jednožilnom kabelu u uvjetima kad zdrav razum u najmanju ruku zakazuje. Kvar je stvarno bio na kabelu i to kratki spoj na jednožilnom kabelu!?!

U tom događaju, na istom mjestu i prostoru, ujedinilo se niz neovisnih okolnosti koje same za sebe ne predstavljaju posebne probleme, ali ih nije na odmet spomenuti.

Kabel je relativno dugačak, čak 2.589 metara, ima dva presjeka 35mm² i 50mm², dvije vrste izolacije, EPR i XLP, dvije izvedbe plašta, dio sa žicama, dio s trakama i šest spojnica od samovulkanizirajućih izolacijskih traka. Kabel nije bio vodonepropustan. Nije postojala geodetska snimka kabela. Bez tog kabela struja dozemnog spoja u tom dijelu srednjenaponske mreže smanjila se ispod razine osjetljivosti dozemne relejne zaštite, koja je u takvim uvjetima potpuno nedjelotvorna. Kabel je dijelom položen uz metalni plinovod i telekomunikacijski kabel, imao je prelaze ispod prometnica i preko riječnog mosta u metalnoj preuskoj cijevi, a cijela trasa je položena po vrlo močvarnom, trusnom području pa probleme stvaraju, snijeg i susnježica praćena jakim vjetrom, a zatim kiša voda i blato. Oba kraja kabela su visoko postavljena kroz metalnu zaštitnu cijev. Prvi na provodni izolator u transformatorskoj stanici, u neposrednoj blizini napona susjednog provodnog izolatora, a drugi na odcjepni "A" stup dalekovoda. Pristup završecima kabela je onemogućen bez upotrebe mehanizacije, a otpajanje kabela bez isključenja dijela elektroenergetskog postrojenja i osiguranja mjesta rada. Prva mjerenja su pokazala su dvije žile u kvaru i onu koja je, uvjetno, ispravna. Prve refleksije valova iz lokatora na jednoj žili bile su jasne, a na drugoj nejasna radi utjecaja lutajućih struja, što je ukazivalo i na njen spoj sa zemljom. Ipak, makrolokacija kvara je bila moguća bez obzira što se nije znala točna brzina vala refleksije. Radi mikrolokacije priključen je udarni generator koji se nije praznio baš dobro. Rezultat je ipak vrlo zadovoljavajući i treba otići na teren. A SADA DOLAZI ZAKON "MURPHY", nešto kao odskočna daska za skok u bezdan. Izbijanje udarnog vala se čuje po cijeloj trasi, na svim plinskim priključcima, na mjestima kabelaških spojnica i u metalnoj cijevi na prelazu preko mosta, pa zapravo ništa nije jasno. Pri sljedećem mjerenju otkazalo je mjerno područje lokatora kvara pa su korištene ručno nacrtane skice refleksije, jer lokator nije memorijski. Kabelaške spojnice su prva sumljiva mjesta kvara, ali kad su otkopane nije bilo sumljivih tragova kvara. Kad su kabelaške spojnice otpiljene iz njih i kabela je curila voda, ali i dalje ni traga od kvara. Da bi se odredilo, onu uvjetno, zdravu žilu u otkopanom rovu, bez koje nastavak ispitivanja nije moguć, trebalo je upotrijebiti nimalo jednostavnu metodu diferencijalne struje. Nakon niza, prema definiciji gotovo uzaludnih, pokušaja kratki spoj je ipak pronađen, ali ne i kvar. Na tom mjestu su kabeli bili međusobno iskrižani, vidljivo oštećeni i dvije žile spojene i kad su razdvojene kvar na kabelu je i dalje prisutan! I TO JE TO!?!?

6 KRITERIJI ZA OBNOVU SREDNJENAPONSKE KABELSKE MREŽE

Radi lakšeg planiranja izgradnje i rekonstrukcije srednjenaponske kabelaške mreže postavljeno je pet kriterija prema kojima bi se utvrđivalo zahvate na kabelima. Kriteriji su postavljeni prema važnosti zahvata u srednjenaponskoj kabelaškoj mreži i rezultat su zatečenog stanja kabelaške mreže i višegodišnjeg iskustva, a sve da bi se povećala raspoloživost i fleksibilnost u upravljanju koja osigurava sigurnu i redovitu opskrbu potrošača električnom energijom. Ovi kriteriji nastali su višegodišnjim praćenjem događaja u srednjenaponskoj gradskoj kabelaškoj mreži. Kriteriji nisu bili obavezujući, ali su omogućavali jasniji uvid kod odabira tehničkih rješenja za rekonstrukciju i izgradnju kabelaške mreže i upućuju na prioritete pri njihovom odabiru, a oni su svrstani u pet nivoa. To su:

- A. Kabeli koje treba dovršiti
- B. Kabeli koji zatvaraju petlje
- C. Kabeli za zamjenu nadzemnog dalekovoda
- D. Kabeli izgrađeni iz dva različita tipa kabela
- E. Ostali trožilni kabeli
 - E.1. Kabeli koji imaju premale presjeke vodiča
 - E.2. Kabeli koji su bili više puta u kvaru ili su na njima sagrađeni objekti
 - E.3. Svi ostali trožilni kabeli

6.1 Kriterij „A“

Kriterij "A" ima najviši prioritet jer su u tu grupu kabela svrstani nedovršeni kabeli koji nisu pogonski spremni. Spletom okolnosti događaju se prilike da se u sklopu rekonstrukcije ulica i infrastrukture u njima mogu položiti i kabeli koje zbog stanja na terenu nije moguće odmah i potpuno dovršiti, pa pitanje njihovog dovršetka ne trpi neke dulje odgode.

6.2 Kriterij „B“

Kriterij "B" ima visoki pogonski prioritet i u tu grupu kabela predloženi su novi kabeli koji omogućavaju spajanje radijalno priključenih transformatorskih stanica u petlju i osiguravaju njihovo dvostrano napajanje. U razvoju ili proširenju srednjenaponske gradske kabelske mreže neke distribucijske transformatorske stanice su spojene radijalno i nisu imale potrebnu rezervu. Takvim radijalno priključenim transformatorskim stanicama treba osigurati rezervno napajanje radi pogonske sigurnosti potrošača i lakšeg upravljanja srednjenaponskom kabelskom mrežom.

6.3 Kriterij „C“

Kriterij "C" uključuje kabele koje je potrebno izgraditi i ima visoki prioritet zbog opće sigurnosti ljudi i imovine, a sve radi zamjene nadzemnih dalekovoda u urbanim cjelinama koji predstavljaju latentnu opasnost ili otežavaju razvoj i širenje prigradskih područja. To su novi kabeli koje treba izgraditi radi zamjene priključnih nadzemnih dalekovoda za transformatorske stanice u prigradskim naseljima. Srednjenaponska kabelska mreža u prigradskim dijelovima grada jednim dijelom još uvijek pripada vanjskoj nadzemnoj srednjenaponskoj mreži i pogonski je ovisna o stanju u njoj, pa je u takvim uvjetima ugrožena sigurna i redovita opskrba kupaca električnom energijom. Zato se nadzemna srednjenaponska mreža u prigradskim dijelovima mora mijenjati i postepeno ugrađivati kabele kao zamjenu za nadzemne dalekovode. Jedan način je izgradnja kabela umjesto priključnog nadzemnog dalekovoda. Na taj se način otklanja opasnost koju nadzemni dalekovodi predstavljaju, ali to se uglavnom provodi etapno prema razvojnim planovima za proširenje gradske kabelske mreže ili stihijski prema zahtjevima s terena. U pogonskom smislu se ne dobiva veća pouzdanost i sigurnost opskrbe jer taj dio elektroenergetskog postrojenja i dalje pripada vanjskoj nadzemnoj srednjenaponskoj mreži, pa je zajednička potreba za sva prigradska područja da ih se što prije prespoji na gradsku kabelsku srednjenaponsku mrežu. To je vezano za polaganje novih srednjenaponskih kabela i omogućavanje njihovog spoja na postojeće transformatorske stanice, tornjiće, zračne željezne, rešetkaste aluminijske i one na betonskom stupu, tako da bi postojeći srednjenaponski priključak, kabelski ili nadzemni, postao rezerva.

6.4 Kriterij „D“

Kriterij "D" određen je za kabele koji su trenutno pogonski ispravni, ali su izgrađeni iz bar dva tipa kabela i s različitim izolacijama. To su trožilni 10 kV kabeli, najčešće uljni papirom izolirani, na koje su prelaznim spojnica spojeni jednožilni 20 kV kabeli izolirani plastikom. U pravilu su to privremena rješenja koja zadovoljavaju pogonsku sigurnost srednjenaponskog elektroenergetskog sustava, a najčešći uzroci takvih rješenja su nemogućnost zamjene starih kabela na cijeloj trasi, interpolacija novih distribucijskih transformatorskih stanica sistemom ulaz-izlaz, otklanjanje kvarova radi brzog uključenja kabela u normalno pogonsko stanje i ugradnja novih sklopnih blokova koji mogu biti spojeni samo jednožilnim kabelima. Spojna mjesta na tim kabelima su i njihova najosjetljivija mjesta i potencijalna su mjesta kvarova.

Zato su svi ovako izvedeni kabeli svrstani u posebnu grupu prioriteta za cjelovitu zamjenu koja nema posebnu hitnost i izvodi se prema ostvarivim mogućnostima sve dok srednjenaponska elektroenergetska mreža ima pogonski napon 10 kV i do prelaska na 20 kV napon svima ovima kabelima stari dijelovi će biti zamijenjeni.

6.5 Kriterij „E“

Kriterij "E" ima najniži, ali ne i nevažni nivo prioriteta. U ovu grupu trožilnih kabela svrstani su svi ostali trožilni srednjenaponski kabeli koji funkcioniraju bez problema u pogonu, ali zbog tendencije zamjene i obnove srednjenaponske gradske kabela mreže razvrstani u tri podgrupe radi lakšeg pristupa odabiru tehničkih rješenja rekonstrukcije kabela mreže. Pošto je kabela mreža dugo vremena izgrađivana trožilnim, papirom izoliranih uljnih kabela, naponskog nivoa 10 kV, predviđena je njihova zamjena i ugradnja jednožilnih plastičnih kabela 20 kV kao preduvjet za prelazak na taj naponski nivo. Bez obzira što su to pogonski ispravni kabeli podijeljeni su u podgrupe s tim da se ipak prednost daje starim kabelima malih presjeka i kabelima koji su više puta izazivali pogonske probleme i imali kvarove, s tim u vezi i više spojnih mjesta, kao potencijalnih mjesta novih kvarova. Kao kriterij "E1" je predložen premali presjek vodiča kabela. To su stari kabeli s presjecima bakrenih vodiča 70 i 95 mm². Kriterij "E2" obuhvaća grupu kabela koji su bili više puta u kvaru i zbog toga duže vrijeme izvan funkcije. Takvi kabeli uz to imaju više ugrađenih kabela spojnica koje su mjesta, relativno opasnija, za nastanak novog kvara na kabelu. Na trasama nekih postojećih kabela sagrađeni objekti i oni su na tim mjestima nedostupni. U slučaju kvara na njima, ispod ili u blizini tih objekata, popravci su dugotrajni i cijelo to vrijeme kabel nije pogonski spreman. Kriterij "E3" obuhvaća sve ostale trožilne 10 kV kabele. Njihovi su presjeci aluminijskog vodiča 185 mm², a oni ne uzrokuju pogonske probleme.

6.6 Struktura srednjenaponske kabela mreže nakon šestogodišnjeg ulaganja

Osnovna podjela kabela u srednjenaponskoj gradskoj kabela mreži bila je na jednožilne kabele izolirane umjetnom masom i na trožilne kabele.

Tabela V: Kabeli u mreži 2008. godine

Tip kabela	Kom	Udio (%)	Dužina (m)	Udio (%)
XHE 49A 1x150 mm ²	62	39,74%	30.940	36,90%
XHP 48A 1x150 mm ²	16	10,26%	13.740	16,38%
IPO 13A 3x185 mm ²	45	28,85%	25.200	30,06%
IPO 13A 3x150 mm ²	2	1,28%	540	0,64%
IPO 13 3x70 i 3x95 mm ²	15	9,62%	4.720	5,63%
PP 41 3x70 i 3x95 mm ²	9	5,77%	4.910	5,86%
EpHP 81A 3x185 mm ²	7	4,49%	3.795	4,53%
Ukupno	156	100,00%	83.845	100,00%

Početna struktura tipova i presjeka srednjenaponskih kabela u gradskoj mreži prikazana je u tabeli V i približno je jednak udjel jednožilnih i trožilnih kabela u broju dionica i ukupnoj dužini. Za zamjenu postojećih trožilnih kabela isključivo su upotrebljavani jednožilni kabeli XHE 49-A 1x150 mm².

Tabela VI: Kabeli u mreži 2014. godine

Tip kabela	Kom	Udio (%)	Dužina (m)	Udio (%)
XHE 49A 1x150 mm ²	96	61,54%	46.029	54,89%
XHP 48A 1x150 mm ²	16	10,26%	13.740	16,38%
IPO 13A 3x185 mm ²	28	17,95%	16.123	19,23%
IPO 13A 3x150 mm ²	1	0,64%	297	0,35%
IPO 13 3x70 i 3x95 mm ²	7	4,49%	2.436	2,91%
PP 41 3x70 i 3x95 mm ²	6	3,84%	3.640	4,34%
EpHP 81A 3x185 mm ²	2	1,28%	1.590	1,90%
Ukupno	156	100,00%	83.845	100,00%

U tabeli VI prikazano je kako izgleda ista struktura kabela kao u tablici V. nakon šest godina ulaganja u srednjenaponsku gradsku kabelsku mrežu. Ovako odabrani kriteriji kao podloga za rekonstrukciju srednjenaponske gradske kabelske mreže pokazali su se ispravni. Udjel jednožilnih kabela je znatno povećan, a udjel preostalih trožilnih kabela bitno je smanjen uglavnom na one koji su još pogonski potpuno ispravni. Njihova zamjena ovisi o razvojnim planovima ili posljedicama daljnjih pogonskih događaja u srednjenaponskoj gradskoj kabelskoj mreži

7 ZAKLJUČAK

Dugogodišnjim sudjelovanjem u radu i praćenju pogonskih događaja u kabelskim mrežama stvara se kvalitetna podloga za planiranje ulaganja u njenu obnovu, razvoj i pogonsku sigurnost. Iskustvo i uvježbanost pogonskog osoblja uz kvalitetnu ažuriranu dokumentaciju preduvjet je brzog i efikasnog djelovanja u kabelskoj mreži.

8 LITERATURA

- [1] Srb V, 1970, "Kabelska tehnika (priručnik)", "Tehnička knjiga, Zagreb"
- [2] Ristić S, V, 1987: "KABLOVI (dijagnostika kvarova)", "Tehnička knjiga, Beograd"
- [3] VUKOMANOVIĆ S, 1982: "Moderno nalaženje defekta na kablju" CIGRE, osmi simpozij o energetskim kabelima", "CIGRE, Donji Milanovac"
- [4] Popović J, 2003: "Istraživanje kvara na kablju u nepovoljnim uvjetima", "6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat"
- [5] Popović J, Popović Z, Čulibrk D, Nikolić I, Gaiger J., Bilek A, Đurović B, 2011: "Uzroci, popratne pojave i otklanjanje kvarova na kabljevima", HRO CIGRE, Cavtat'
- [6] Popović J, Popović Z, Čulibrk D, 2015: "Analiza višegodišnjih ulaganja u srednjenaponsku kabelsku mrežu", HRO CIGRE, Šibenik