

DOI: [10.46793/CIGRE37.C6.08](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C6.08)**C6.08****NEKA ISKUSTVA U ODRŽAVANJU NISKONAPONSKIH MREŽA****SOME EXPERIENCE IN MAINTENANCE OF LOW-VOLTAGE NETWORKS****Josip Popović, Zvonimir Popović, Dejan Ćulibrk***

Kratak sadržaj: Redovita, sigurna i kvalitetna opskrba električnom energijom, kao i zadovoljstvo kupaca i potrošača takvom uslugom prioritet je u distribuciji električne energije, koju za sve kupce i potrošače nije uvijek moguće ostvariti. Nezadovoljstvo pojedinih kupaca i potrošača je sasvim opravdano ukoliko imaju probleme s korištenjem električne energije, pritom nevažno za njih, uzrokovanih prekidima u opskrbi ili nekvalitetnim naponskim stanjem na mjestu njihovog priključka. Prekide u opskrbi električne energije uzrokuju kvarovi ili preopterećenja u nekvalitetnoj niskonaponskoj mreži, s tim da njihovo trajanje do otklanjanja ovisi o brzini djelovanja pogonskog osoblja. Nekvalitetno naponsko stanje pri korištenju električne energije uglavnom imaju kupci i potrošači na krajevima dužih krakova niskonaponskih mreža i njihovo je nezadovoljstvo opravdano. U procesu redovnog održavanja može se u nekim slučajevima bar privremeno pomoći i ublažiti, nekada i potpuno otkloniti postojeće loše stanje, primjenom zahvata u niskonaponskoj distribucijskoj mreži, u prvom redu njene rekonstrukcije, ali poput promjene presjeka vodiča, izgradnjom dva umjesto jednog niskonaponskog izlaza iz transformatorske stanice, pa čak i do specifičnog slučaja spajanja dvije susjedne niskonaponske mreže u sistem dvostranog napajanja na njihovim krajevima.

Ključne reči: *nadzemne niskonaponske mreže, loše naponsko stanje, remont mreže*

Abstract: Regular, safe and high-quality electricity supply, as well as customer and consumer satisfaction with such service, is a priority in the distribution of electricity, which is not always possible for all customers and consumers. The dissatisfaction of individual customers and consumers is completely justified if they have problems with the use of electricity, regardless of their circumstances, caused by interruptions in the supply or poor voltage conditions at the point of their connection. Interruptions in the supply of electricity are caused by faults or overloads in a poor-quality low-voltage network, with the duration of their elimination depending on the speed of action of the operating personnel.

* 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

Poor voltage conditions when using electricity are mainly experienced by customers and consumers at the ends of longer branches of low-voltage networks, and their dissatisfaction is justified. In the process of regular maintenance, it is possible in some cases to at least temporarily help and alleviate, sometimes even completely remove the existing bad condition, by applying procedures in the low-voltage distribution network, first of all its reconstruction, but such as changing the cross-section of conductors, by building two instead of one low-voltage output from the transformer station, and even to the specific case of connecting two neighboring low-voltage networks into a double-sided power supply system at their ends.

Key words: *overhead low-voltage networks, bad voltage condition, network overhaul*

1 UVOD

Prevelik pad napona u nadzemnoj niskonaponskoj mreži osnovni je parametar za ulaganje u sanaciju takvog stanja, uglavnom rekonstrukciju ili interpolaciju nove transformatorske stanice. Osim izmjerene prevelikog pada napona ima i drugih kriterija prema kojima se zajednički određuje redoslijed niskonaponskih mreža za rekonstrukciju. To su dužina niskonaponske mreže, presjek i vrsta vodiča, stanje izolatora, broj kupaca i njihova specifična potrošnja, stanje priključaka, stanje stupova i njihov položaj u odnosu na prometnicu, broj i vrsta kvarova, te simetričnost opterećenja. U nekim niskonaponskim mrežama mogu se prilikom redovnog preventivnog održavanja, remonta ili modifikacija primijeniti neki drugi tehnički postupci za sanaciju prevelikog pada napona. Najčešće se izvodi zamjena vodiča ili popuna, ukoliko je niskonaponska mreža jednofazna, vodičima većeg presjeka od postojećih ili djelomično zamijeniti tipiziranim samonosivim kabelskim snopom. U dva slučaja postojali su tehnički uvjeti pa su dvije niskonaponske mreže, iz susjednih transformatorskih stanica, spojene paralelno u sistem dvostranog napajanja, doduše privremeno, ali s zadovoljavajućim rezultatima.

2 OSNOVNI OPIS NADZEMNE NISKONAPONSKE MREŽE

Nadzemne niskonaponske mreže izvangradskih područja izgrađivane su golim bakrenim, aluminijским ili alučeličnim vodičima presjeka 10 mm² do 25 mm² na drvenim stupovima, dugačke i više od jednog kilometra. Na slici 1 prikazana je jednopolna shema niskonaponske mreže i pripadajuće transformatorske stanice.



Slika 1: Shematski prikaz distribucijske niskonaponske mreže

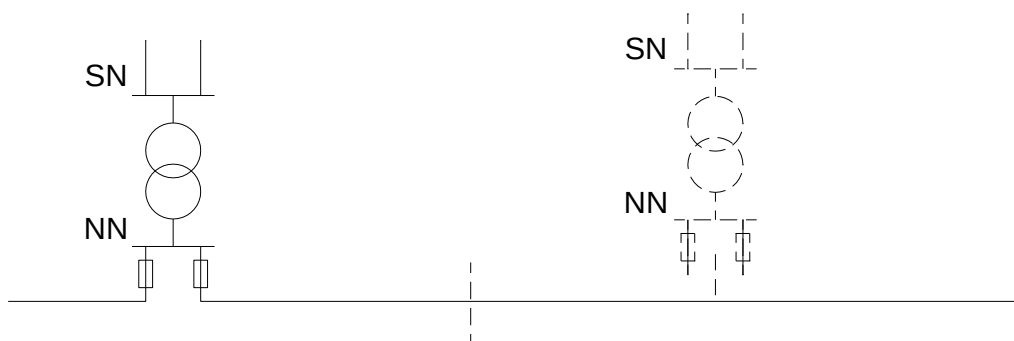
Kad je u niskonaponskoj mreži priključeno relativno puno potrošača, što se može protumačiti tako da je po svakom stupu te niskonaponske mreže u prosjeku više od jednog priključka i kad postoji tendencija rasta novih priključenja, dolazi do pogoršavanja naponskog stanja. Posebno je nepovoljno kad je koncentracija potrošača najveća pri kraju niskonaponskih izlaza.

Naponsko stanje u niskonaponskoj mreži se najjednostavnije i najbolje provjeri izravnim mjerenje napona, najčešće na krajevima niskonaponskih izlaza i to upravo u instalaciji potrošača, te struja opterećenja svakog izlaza u transformatorskim stanicama. Mjerenja se mogu provesti u sve tri faze i tako dobiti najjasniju sliku stanja u niskonaponskoj mreži. Tamo gdje se utvrdi loše naponsko stanje, pogotovo na krajevima niskonaponskih izlaza, treba poduzeti postupke da se takvo stanje promijeni i poboljša. Stalni porast potrošnje postojećih potrošača i priključivanje novih zahtijevalo je najčešće povećanje nazivne snage transformatora u transformatorskoj stanici, ali se rješenju lošeg stanja nije moglo doskočiti samo promjenom položaja regulacijske preklopke transformatora odnosno povišenjem napona na izvoru u samoj transformatorskoj stanici. Loša i nepovoljna naponska stanja u niskonaponskim mrežama uzrokovana povećanjem potrošnje uvjetovala su poduzimanje mjera za njihovo poboljšanje i to investicijsko ulaganje u interpoliranje nove transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV ili rekonstrukciju niskonaponske mreže, ali i mjere u sklopu redovnog ili interventnog održavanja.

3 INVESTICIJSKE MJERE ZA OTKLANJANJE LOŠEG NAPONSKOG STANJA

3.1 Interpolacija transformatorske stanice

Interpolacija transformatorske stanice u niskonaponsku mrežu omogućava da se jedan dio niskonaponskog izlaza iz postojeće transformatorske stanice prespoji na novu transformatorsku stanicu i da se tako dobiju bar 3 nova niskonaponska izlaza, znatno kraća, u kojima su u pravilu otklonjene teškoće s lošim naponskim stanjem, kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2: Interpolacija transformatorske stanice

Preduvjet za interpolaciju transformatorske stanice je pronalaženje lokacije za njezin smještaj i koridor za srednjenaponski priključak. Interpolirane transformatorske stanice na vanjskoj mreži grade se tipski kao stupno-betonske ili montažno-betonske i priključuju se nadzemno ili kabelski.

3.2 Rekonstrukcija niskonaponske mreže

Rekonstrukcija niskonaponske mreže je izgradnja potpuno nove niskonaponske mreže koja uglavnom prati trasu postojeće mreže, ali ne bezuvjetno, jer se događa da postojeća niskonaponska mreža zbog proširenja ceste dođe na njen sam rub, pa ju je potrebno izmaknuti izvan cestovnog pojasa. Rekonstrukcije se izvode tako da se ugrade novi materijali i odaberu presjeci vodiča koji će u potpunosti i dugoročno otkloniti probleme koji potrošačima onemogućavaju kvalitetno i sigurno korištenje električne energije.

Pri tom je olakšavajuća okolnost što ne treba za svaki pojedini slučaj rekonstrukcije niskonaponskog izlaza posebno odabirati materijale i presjeke, već je to tipizirano, pa se nove niskonaponske mreže grade se samonosivim kabelskim snopom na betonskim stupovima presjeka vodiča 70 mm². Pri tom se rekonstruiraju i svi kućni priključci koji izvedeni golim vodičima ili zastarjelim samonosivim kabelima s čeličnom sajlom u njima, jer su oni najveći uzročnici kvarova u tim niskonaponskim mrežama i posebno ih je teško popraviti. Rekonstrukcija priključaka se izvodi samonosivim kabelskim snopom presjeka 16 mm² ili podzemnim niskonaponskim kabelima.

4 NEKI POSTUPCI U ODRŽAVANJU ZA UBLAŽAVANJE LOŠEG NAPONSKOG STANJA

Postavljanjem niskonaponskih mreža u listu prioriteta za plan izgradnje ili plan sanacije loših naponskih prilika ne znači da će se na toj mreži naponsko stanje brzo i poboljšati. Ipak, mogu se poduzeti neki postupci da se loše naponsko stanje u niskonaponskim mrežama bar donekle poboljša. Takvi postupci u pravilu se provode u sklopu redovnog, rjeđe interventnog održavanja i s malim financijskim ulaganjima, te s relativno malim utroškom radnog vremena.

4.1 Simetriranje nadzemne niskonaponske mreže

Jedan dio objekata u izvangradskim niskonaponskim mrežama je priključen jednofazno, bez obzira što je niskonaponska mreža trofazna i postoje tehničke mogućnosti za izvedbu trofaznih priključaka. Ponekad potrošači pojedinačno upućuju na loše naponsko stanje na mjestu njihovog priključka. Jedan od razloga takvog stanja može biti nesimetrično opterećenje, po fazama, u toj niskonaponskoj mreži. Sanacija takvog stanja je jednostavna jer samo treba taj priključak prespojiti na drugi fazni vodič da bi se stanje dovoljno dobro popravilo. Ako je u cijeloj niskonaponskoj mreži izražena prevelika nesimetrija struja koje se mjere na niskonaponskom izlazu u transformatorskoj stanici, mogu se prespojiti jednofazni priključci iz preopterećenog faznog vodiča na ostala dva, uvjetno rečeno, manje opterećena fazna vodiča i tako mehanički simetrirati stanje u mreži. Mjerenjem struja opterećenja na izlazima u transformatorskim stanicama može se provjeriti koliko se uspjelo postići u poboljšanju simetričnog opterećenja, a mjerenjem napona utvrditi je li se naponsko stanje poboljšalo.

4.2 Popuna jednofazne nadzemne niskonaponske mreže

Neke niskonaponske mreže naslijeđeno su jednofazne ili ponekad dvofazne što znači da postoji samo jedan nulti vodič i jedan ili dva fazna vodiča. Kad su naponske prilike u takvim jednofazno ili dvofazno izvedenim niskonaponskim mrežama loše, najjednostavniji zahvat je popuna niskonaponske mreže s jednim ili dva nova fazna vodiča primjerenog presjeka s tim da se i postojeći vodiči izmjene, pa da ta niskonaponska mreža postaje trofazna. Pritom se dio postojećih priključaka, a svi su jednofazni, raspodijeli na nove vodiče radi rasterećenja. To su ujedno i preduvjeti da se novi kupci mogu priključivati trofazno, a postojeći dobivaju priliku za rekonstrukciju priključka poboljšanje naponskog stanja.

4.3 Zamjena vodiča

4.3.1 Ugradnja istovrsnih vodiča većeg presjeka

Da bi se popravilo loše naponsko stanje, u niskonaponskim mrežama mogu se zamijeniti stari, dotrajali vodiči malog presjeka, novim vodičima većeg presjeka. U pravilu se ugrađuju novi vodiči od alučela presjeka 50 mm².

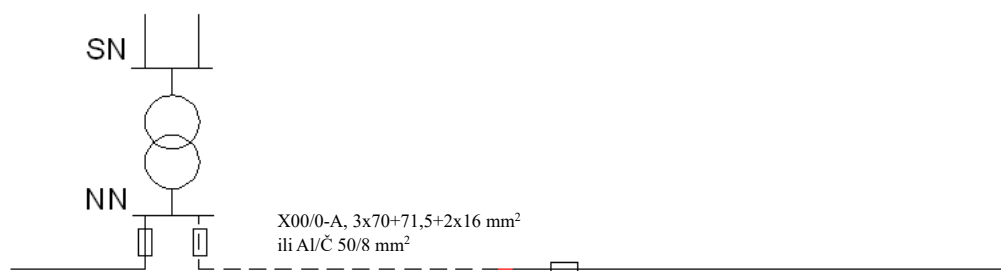
Pritom svi dobri drveni stupovi ostaju na svojim stupnim mjestima, a mijenjaju se samo truli ili dotrajali stupovi. Ako postoje mogućnosti, mogu se kutni i krajnji stupovi, a to su stupovi sa sidrom, stupovi s poduporama ili takozvani "A" stupovi promijeniti i ugraditi novi betonski stupovi. Pogodnost je da se mogu zamijeniti samo vodiči u niskonaponskoj mreži i da se pritom ne trebaju mijenjati priključci, pogotovo ako su još uvijek žičani, a niti peti vodič koji služi za javnu rasvjetu. Uglavnom se zadržavaju postojeća pogonska uzemljenja. Tako se zahvat izmjene vodiča u nekoj niskonaponskoj mreži može brzo i efikasno izvesti i sigurno poboljšati loše naponske uvjete u mreži. Kad je niskonaponski izlaz razgranat, odnosno ima odcjepe od glavne trase, onda je u pravilu dovoljno promijeniti vodiče samo na glavnoj trasi.

4.3.2 Ugradnja vodiča većeg presjeka na prvi dio mreže

Ponekad se zadovoljavajući rezultati mogu dobiti ako se na samo jednom dijelu glavne trase, prvom do transformatorske stanice, promijene vodiči, kao što je prikazano na slici 3. Na mjestu gdje se spajaju novi vodiči većeg presjeka s postojećim vodičima manjeg presjeka ugrađuju se osigurači, ako je to potrebno, radi povećanja nazivne vrijednosti osigurača na početku niskonaponskog izlaza. Isto tako, osigurači se mogu postaviti i na odcjepe od glavne trase niskonaponske mreže kad su u njoj promijenjeni vodiči, jer onda se mijenjaju uvjeti za izbor osigurača glavne trase, da se ostvari selektivnost kod kvarova na krajevima glavne trase ili odcjepa.

4.3.3 Ugradnja SKS na postojeće stupove

Umjesto zamjene golih vodiča istovrsnim vodičima, bolji efekti dobivaju se kad se ugradi samonosivi kabelski snop u postojeću niskonaponsku mrežu kao na slici 3. prvenstveno što se tako ugrađuju vodiči većeg presjeka, tipskih 70 mm², i što je tako izgrađene niskonaponske mreže jednostavnije i jeftinije održavati. Takvu mrežu treba pripremiti za ugradnju samonosivog kabelskog snopa. Tu se u prvom redu misli na zamjenu dotrajalih stupova, postavljanje ovjesne opreme i zamjenu svih žičanih priključaka i onih izvedenim starim samonosivim kablom.



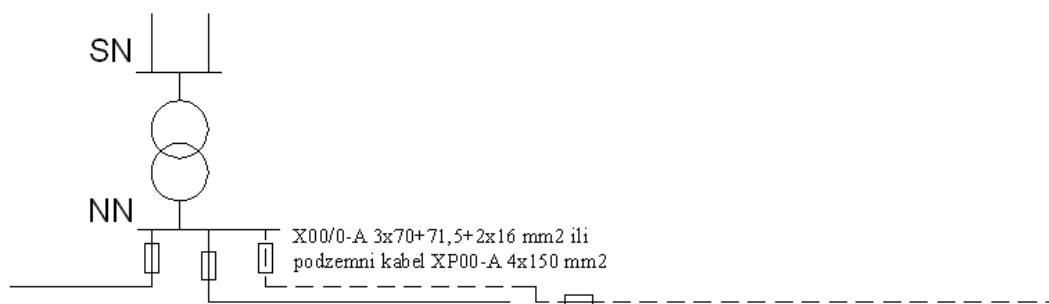
Slika 3: Rekonstrukcija prvog dijela niskonaponske mreže

Samonosivi kabelski snop se ugrađuje u cijeli niskonaponski izlaz ili u dio niskonaponskog izlaza prema tehničkim rješenjima koji pokazuju koliko samonosivog kabelskog snopa treba ugraditi da se dobiju zadovoljavajući rezultati i poboljša naponsko stanjena potrebni nivo. Na mjestu spajanja vodiča većeg presjeka s vodičima u postojećoj niskonaponskoj mreži, prema potrebi se ugrađuju osigurači tako da je osigurana selektivnost njihovog djelovanja.

4.3.4 Ugradnja kabela ili samonosivog kablenskog snopa na drugi dio dugačke nadzemne niskonaponske mreže

Osim što se samonosivi kablenski snop ugrađuje u cijeli niskonaponski izlaz ili na prvi dio izlaza od napojne transformatorske stanice, ponekad se po postojećim stupovima postavlja ispod postojećih vodiča niskonaponske mreže i spaja na krajnji dio niskonaponskog izlaza, kao na slici 4. Ovakva varijanta služi za poboljšanje lošeg naponskog stanja na kraju niskonaponske mreže i na taj samonosivi kablenski snop ne spajaju se priključci. Osim toga mijenjaju se uvjeti u odabiru zaštite u tako spojenim niskonaponskim mrežama jer se postiže veća fleksibilnost u odabiru osigurača.

Rjeđa, ali isto moguća varijanta je spajanje novog niskonaponskog kabela na postojeću niskonaponsku mrežu, sa svrhom poboljšanja lošeg naponskog stanja na kraju niskonaponske mreže. Za takve slučajeve nužno je da postoje preduvjeti odnosno potrebe za polaganje niskonaponskih kabela. To je najčešće kad se pojavljuje potrošač s zahtjevima za priključenje koji se ne mogu ispuniti na postojećoj niskonaponskoj mreži. Ako se u takvim slučajevima odluči za polaganje novog niskonaponskog kabela, odnosno izgradnja novog izlaza iz transformatorske stanice, presjek takvog kabela se odabire prema zahtjevima kupca. Ovisno o procjeni potrebe korištenja kabela i za sanaciju lošeg naponskog stanja na kraju niskonaponske mreže, može se položiti kabel čiji su vodiči većeg presjeka od presjeka kabela koji zadovoljava potrebe kupca i to obično tipa XP00 4x150 mm². Na taj se način može dio kapaciteta kabela koristiti i za potrebe postojeće niskonaponske mreže.



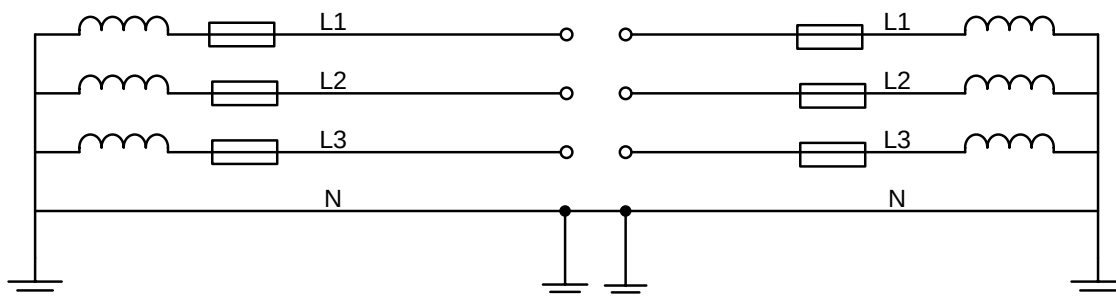
Slika 4: Spajanje drugog dijela niskonaponske mreže na novi izlaz

Druga mogućnost je da se kod polaganja novog kabela u isti rov položi drugi kabel koji se spaja na niskonaponsku mrežu zadovoljavajućeg presjeka ili tipski odabranog XP00 4x150 mm². Tako se u transformatorskoj stanici dobivaju dva nova izlaza, jedan za potrebe novog kupca, a drugi za sanaciju lošeg naponskog stanja na kraju niskonaponske mreže.

5 DVOSTRANO NAPAJANE NISKONAPONSKE MREŽE

Kad zbog ekonomskih i administracijskih uvjeta za investicijska ulaganja postupak sanacije loših naponskih uvjeta u niskonaponskoj mreži dugo traje, a za to vrijeme potrošačima se ne poboljšavaju uvjeti za korištenje električne energije, nego se povećanjem obima potrošnje postojećih potrošača čak i pogoršava, može se takvo stanje privremeno sanirati spajanjem mreža u paralelni rad. To je ostvarivo tamo gdje se krajevi niskonaponskih mreža iz dviju susjednih transformatorskih stanica približeni na razmak od jednog raspona i postoje preduvjeti da se one međusobno spoje u paralelni rad slika 5 uz uvjet da su dovedene u sinkronizam.

Ovdje se govori o paralelnom radu dva transformatora, što je zapravo samo uvjetno, jer su sekundarne strane tih transformatora spojene preko niskonaponske mreže odnosno njenih impedancija. Uvjetno, a radi jasnoće, govori se o paralelnom radu, a zapravo je to dvostrano napajana niskonaponska mreža. Taj zahvat nema cilj povećati sigurnost opskrbe, nego poboljšati ozbiljno narušeno naponsko stanje mreži.



Slika 5: Primjer susjednih niskonaponskih mreža

Poboljšanje lošeg naponskog stanja u niskonaponskoj mreži ostvareno spajanjem dviju mreža iz susjednih transformatorskih stanica u sustav s dvostranim napajanjem popravilo je naponsko stanje na zadovoljavajući nivo jer su se tokovi energije optimalno raspodijelili u spojenim mrežama. Kod dvostrano napajanih niskonaponskih mreža posebna se pažnja mora obratiti na sigurnost pri radu na tim mrežama jer uvjeti za siguran rad više nisu kao u radijalnim mrežama. Potrebno je posebno organizirati rad na tim niskonaponskim mrežama i transformatorskim stanicama iz kojih se napajaju.

Vodiči istoimenih faza na krajevima niskonaponskih mreža međusobno su spojeni i to preko ugrađenih osigurača na kraju svake mreže radi fleksibilnosti u upravljanju i sigurnosti kod radova. Na izlaze iz transformatorskih stanica su ugrađena brojila električne energije koja su posebno očitavana u spojenom i odvojenom režimu rada tih niskonaponskih mreža. Uspoređivanjem očitavanja brojila električne energije kroz periode spoja u različitim režimima rada uspoređuju se tokovi energije i prate gubici. Cilj je postignut i stanje se popravilo na zadovoljavajući nivo jer su se tokovi energije optimalno raspodijelili u spojenim mrežama. U slučajevima pregaranja osigurača naponsko stanje se pogoršava, dolazi do osjetnih i prevelikih padova napona, čak i većih nego kod radijalnih mreža.

6 ZAKLJUČAK

U nekim niskonaponskim mrežama u kojima su nezadovoljavajuće naponske okolnosti, koje se manifestiraju kroz preveliki pad napona na krajevima tih niskonaponskih mreža, a nisu uključene u prioritetne mreže za rekonstrukciju ili interpolaciju transformatorske stanice, može se u sklopu održavanja niskonaponskih mreža, neznatno povećanim sredstvima u odnosu na redovno održavanje, sanirati loše naponsko stanje i privremeno ga poboljšati na zadovoljavajući nivo prihvatljiv potrošačima.

7 LITERATURA

- [1] Požar H, "Visokonaponska rasklopna postrojenja", Tehnička knjiga Zagreb, 1973
- [2] Ožegović M, Ožegović K. "Električne energetske mreže III", Split, 1997.

- [3] Popović J. "Iskustva u dvostrano napajanoj niskonaponskoj mreži", 8. Savjetovanje HRO – CIGRE i HO CIRED, Cavtat, 4.-8. studenog 2007.
- [4] Popović J. Popović Z. Čulibrk D. Padovan M. "Rezultati mjerenja u različitim režimima pogona dvije niskonaponske mreže", 6(12) savjetovanje HO CIRED, Opatija, 2018.
- [5] J. Popović: "Analiza selektivnosti zaštite niskonaponske razdjelne mreže" Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2006.