

Josip Popović  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[josip.popovic@hep.hr](mailto:josip.popovic@hep.hr)

Ivan Nikolić  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[ivan.nikolic@hep.hr](mailto:ivan.nikolic@hep.hr)

Josip Gajger  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[josip.gajger@hep.hr](mailto:josip.gajger@hep.hr)

Bojan Đurović  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[bojan.djurovic@hep.hr](mailto:bojan.djurovic@hep.hr)

Zvonimir Popović  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[zvonimir.popovic@hep.hr](mailto:zvonimir.popovic@hep.hr)

Dejan Čulibrk  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[dejan.culibrk@hep.hr](mailto:dejan.culibrk@hep.hr)

Andrija Bilek  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar  
[andrija.bilek@hep.hr](mailto:andrija.bilek@hep.hr)

## JEDNOSTAVNI POSTUPCI SANACIJE LOŠIH NAPONSKIH PRILIKA U NADZEMNOJ NISKONAPONSKOJ MREŽI

### SAŽETAK

U radu su prikazani neki postupci za poboljšanje napona u niskonaponskim mrežama. To se provodi kroz održavanje. Postupci se svode na povećanje presjeka vodiča. Takvim se postupcima pad napona na kraju niskonaponske mreže smanji.

**Ključne riječi:** niskonaponska mreža, pad napona, presjek vodiča, održavanje

## SIMPLE APPROACH FOR VOLTAGE SANATION AT LOW-VOLTAGE OVERHEAD LINES

### SUMMARY

In this papers certain measures for voltage quality improvement at low-voltage overhead lines are shown. This is achieved through the system maintenance. Such measures are usually cross-section enlargement of conductors. As a result, voltage drop at the end of low-voltage network is reduced.

**Key words:** low-voltage overhead line, voltage drop, conductor cross-section, maintenance

### 1. UVOD

Prevelik pad napona u nadzemnoj niskonaponskoj mreži osnovni je parametar za sanaciju napona te niskonaponske mreže. Mjerenjem napona kod krajnjih kupaca određuju se niskonaponske mreže u kojima je potrebna sanacija napona. Sanacija napona u niskonaponskoj mreži u pravilu se izvodi interpolacijom transformatorske stanice ili rekonstrukcijom.

Za nadzemne niskonaponske mreže određuje se redoslijed kojim će se rekonstruirati. Tablica nadzemnih niskonaponskih mreža predviđenih za rekonstrukciju stalno se popunjava. Redoslijed

niskonaponskih mreža predviđenih za rekonstrukciju neprestano se mijenja. Neke niskonaponske mreže zbog toga ne mogu dobiti prioritet.

Kriterij za rekonstrukciju nadzemne niskonaponske mreže nije samo prevelik pad napona. Osim izmjerenog prevelikog pada napona ima i drugih kriterija prema kojima se zajednički određuje redoslijed niskonaponskih mreža za rekonstrukciju. To su dužina niskonaponske mreže, presjek vodiča, vrsta i stanje vodiča, stanje priključaka, stanje stupova, položaj niskonaponske mreže u odnosu na cestu, broj kupaca, specifična potrošnja kupaca, broj i vrsta kvarova, te simetričnost opterećenja.

Za neke nadzemne niskonaponske mreže ostali kriteriji za rekonstrukciju su nepovoljni. U tim niskonaponskim mrežama može se prilikom preventivnog održavanja primijeniti neke druge metode za sanaciju prevelikog pada napona. To su metode u kojima se ne mijenjaju dijelovi niskonaponske mreže koji bitno ne utječu na prevelik pad napona. Kod takvih metoda ulaganje u sanaciju napona na nivou je preventivnog održavanja niskonaponske mreže.

Najčešće se izvodi zamjena vodiča i popuna jednofazne niskonaponske mreže. To se izvodi vodičima većeg presjeka od postojećih. Osim toga, mogu se vodiči u dijelu ili cijeloj niskonaponskoj mreži zamijeniti tipiziranim samonosivim kabelskim snopom.

Ponekad se može vlastitim ili zajedničkim ulaganjima s novim kupcem ugraditi kabel većeg presjeka. Takav se kabel jednim dijelom svog kapaciteta koristi za sanaciju lošeg naponskog stanja.

Na mjestima gdje postoje tehnički uvjeti, dvije niskonaponske mreže iz susjednih transformatorskih stanica mogu se spojiti i dvostrano napojiti. U takvim se slučajevima postižu dobri rezultati. To se izvodi kao privremeno rješenje.

Kod redovnog preventivnog održavanja, remonta ili modifikacije nadzemne niskonaponske mreže može se u nekim slučajevima bitno utjecati i otkloniti prevelik pad napona kupcima priključenim na tu nadzemnu niskonaponsku mrežu.

## **2. OPIS NADZEMNE NISKONAPONSKE MREŽE**

Niskonaponske mreže koje nisu dosad obuhvaćene interpolacijom transformatorske stanice ili nisu rekonstruirane po određenim se kriterijima raspoređuju za prioritete u planovima izgradnje novih niskonaponskih mreža. To su niskonaponske mreže s vodičima premalog presjeka, a velike dužine i s lošim naponskim uvjetima, pa onemogućavaju kupcima kvalitetno korištenje električne energije. Jedan dio niskonaponskih mreža je još uvijek jednofazan, što znači da na cijelom ili dijelu niskonaponskog izlaza postoji samo fazni i nul vodič.

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. Najnepovoljniji slučaj je kad je koncentracija potrošača najveća pri kraju niskonaponskih izlaza.

Kroz duge godine eksploatacije bilo je puno kvarova vodiča i izolatora pa postoji puno spojeva gdje su vodiči spajani nakon njihovog prekida. Uglavnom još postoji i dio priključaka izvedenih golim vodičima. Stupovi su drveni, pretežno na naknadno ugrađenim betonskim nogarima, a na kutovima imaju podupore ili sidra.

U takvim niskonaponskim mrežama naponsko stanje, pogotovo za potrošače bliže kraju niskonaponskih izlaza, nije zadovoljavajuće. Naravno da sve niskonaponske mreže nemaju izrazito loše naponske uvjete. Tamo gdje se utvrdi loše naponsko stanje, a uvijek se to najviše manifestira na krajevima niskonaponskih izlaza, trebalo bi poduzeti postupke da se takvo stanje promijeni i poboljša.

Naponsko stanje u niskonaponskoj mreži se najjednostavnije i najbolje provjeri izravnim mjerenje napona, najčešće na krajevima niskonaponskih izlaza, te struja opterećenja svakog izlaza u napojnim transformatorskim stanicama. Mjerenja se mogu provesti u sve tri faze i tako dobiti najjasniju sliku stanja u niskonaponskoj mreži.

## **3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE NADZEMNE NISKONAPONSKE MREŽE**

Nadzemne niskonaponske mreže izvangradskih područja izgrađivane su golim vodičima različitih materijala i presjeka na drvenim stupovima. Vodiči su bili bakreni, aluminijski ili alučelični. Presjeci vodiča su bili uglavnom u rasponu od 10 mm<sup>2</sup> do 25 mm<sup>2</sup>. Te niskonaponske mreže bile su u dugačke, u pravilu duže od 1 kilometra. Na slici 1. prikazana je jednopolna shema niskonaponske mreže i pripadajuće transformatorske stanice.



Slika 1. Shematski prikaz distribucijske niskonaponske mreže

Stalni porast potrošnje postojećih potrošača i priključivanje novih kupaca zahtijevalo je najčešće povećanje nazivne snage transformatora u transformatorskoj stanici što je uzrokovalo velike padove napona i opravdana nezadovoljstva potrošača, pogotovo onih na krajevima niskonaponskih izlaza.

Loši naponski uvjeti onemogućavali su kvalitetno korištenje električne energije u kućanstvima čemu se nije moglo doskočiti promjenom položaja regulacijske preklopke transformatora odnosno povišenjem napona na izvoru u samoj transformatorskoj stanici. To se manifestiralo najčešće kao gašenje ili žmirkanje svjetiljki, otežano pokretanje i rad elektromotora, predugo zagrijavanje pećnica, kuhala i bojlera za toplu vodu.

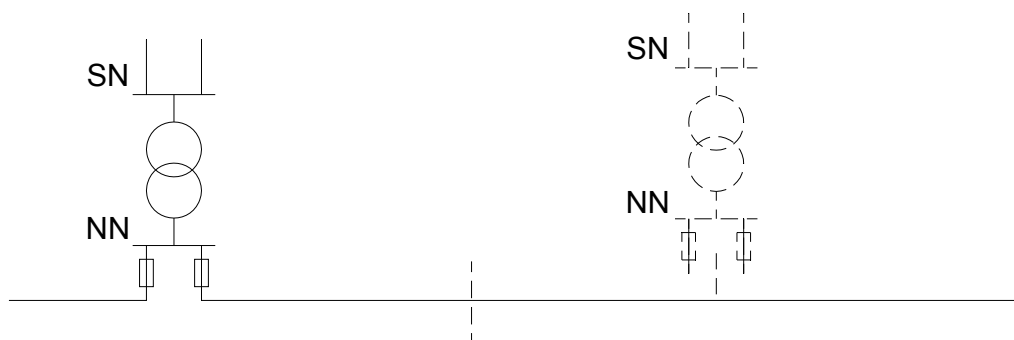
Takva loša naponska stanja u niskonaponskim mrežama uvjetovala su poduzimanje mjera za njihovo poboljšanje.

U pravilu su primjenjivana dva postupka za poboljšanje lošeg stanja. To je bilo interpoliranje nove transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV ili rekonstrukcija niskonaponske mreže. Takvi zahvati su se izvodili prema postavljenim kriterijima iz kojih je određivana lista prioriteta kao plan za ulaganja prema financijskim i ostalim mogućnostima.

#### 4. METODE ZA OTKLANJANJE LOŠEG NAPONSKOG STANJA

##### 4.1. 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 kraće dužine 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 mogućnosti za njezin srednjenaponski priključak. To u pravilu znači da dalekovod na koji će se ta transformatorska stanica priključiti nije predaleko od nje i da nema prepreka za njegovu izgradnju. Interpolirane transformatorske stanice na vanjskoj mreži grade se tipski kao stupno-betonske i mogu se priključiti kabelski, isto kao i kad se u nekim slučajevima moraju graditi montažno-betonske transformatorske stanice.

## **4.2. Rekonstrukcija niskonaponske mreže**

Rekonstrukcija 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 kupcima 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.

Nove niskonaponske mreže grade se samonosivim kabelskim snopom presjeka vodiča 70 mm<sup>2</sup> na betonskim stupovima. Pri tom se rekonstruiraju i svi kućni priključci koji izvedeni golim vodičima i starim samonosivim kabelima jer su oni najveći uzročnici kvarova u tim niskonaponskim mrežama i posebno se teško otklanjaju. Rekonstrukcija priključaka uglavnom se izvodi samonosivim kabelskim snopom presjeka 16 mm<sup>2</sup>.

## **5. NEKI POSTUPCI 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 donekle poboljša. Takvi postupci u pravilu se provode u sklopu redovnog održavanja i s malim financijskim ulaganjima, te s relativno malim utroškom radnog vremena.

### **5.1. 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 u toj niskonaponskoj mreži. Sanacija takvog stanja je jednostavna jer treba takav 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.

### **5.2. Popuna jednofazne nadzemne niskonaponske mreže**

Neke niskonaponske mreže su jednofazne što znači da postoji samo jedan fazni vodič i nulti vodič. Kad su naponske prilike u takvim jednofazno izvedenim niskonaponskim mrežama loše, najjednostavniji zahvat je popuna niskonaponske mreže s dva nova fazna vodiča čime ta niskonaponska mreža postaje trofazna. Pritom se dio postojećih priključaka, a svi su jednofazni, raspodijeli po trećina na svaki fazni vodič i tako rastereti postojeći fazni vodič. Pritom treba nastojati dobiti što simetričnije opterećenje faznih vodiča kako bi se dobili ravnomjerni i zadovoljavajući naponi na kraju te popunjene niskonaponske mreže.

### **5.3. Promjena vodiča**

#### **5.3.1. 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 mm<sup>2</sup>. 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.

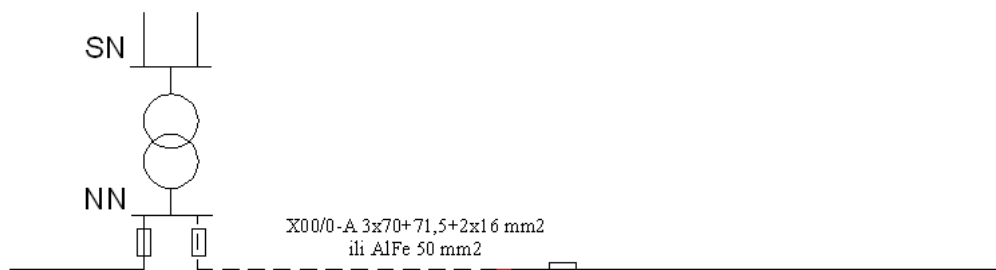
Uglavnom se zadržavaju postojeća pogonska uzemljenja. Tako se zahvat izmjene vodiča u nekoj niskonaponskoj mreži može brzo i efikasno izvesti i sigurno poboljšati loše naponske uvjete u mreži. Kad je niskonaponski izlaz razgranat, odnosno ima odcjepe od glavne trase, onda je u pravilu dovoljno promijeniti vodiče samo na glavnoj trasi.

### 5.3.2. 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 mogu se ugraditi 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.

### 5.3.3. 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 mm<sup>2</sup>, 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 kabelom.



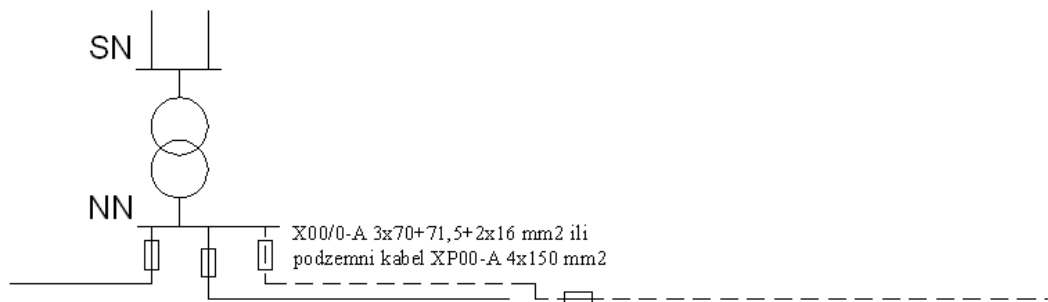
Slika 3. Rekonstrukcija prvog dijela niskonaponske mreže

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 stanje na potrebnom nivou. Na mjestu spajanja vodiča većeg presjeka s vodičima u postojećoj niskonaponskoj mreži, prema potrebi se ugrađuju osigurači tako da je osigurana selektivnost njihovog djelovanja.

### 5.4. Ugradnja kabela ili samonosivog kabelskog snopa na drugi dio dugačke nadzemne niskonaponske mreže

Osim što se samonosivi kabelski snop ugrađuje u cijeli niskonaponski izlaz ili na prvi dio izlaza do 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 kabelski 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 kupac 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 mm<sup>2</sup>. 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

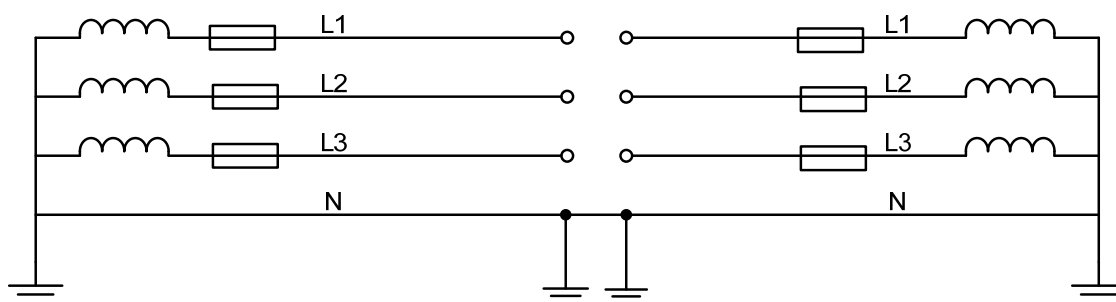
Druga mogućnost je da se kod polaganja novog kabela u isti rov položi drugi kabel koji se spaja na niskonaponsku mrežu zadovoljavajućeg presjeka ili tipski odabranog XP00 4x150 mm<sup>2</sup>. Tako se u transformatorskoj stanici dobivaju dva nova izlaza, jedan za potrebe novog kupca, a drugi za sanaciju lošeg naponskog stanja na kraju niskonaponske mreže.

### 5.5. Dvostrano napajane nadzemne 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.

Tamo gdje se niskonaponske mreže iz dviju susjednih transformatorskih stanica približavaju na razmak od približno jednog raspona, a ne više od četrdeset metara, postoje preduvjeti da se one međusobno spoje u paralelni rad uz uvjet da su u sinkronizmu.

Ovdje se govori o paralelnom radu dvaju 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. Uvjeti za siguran rad više nisu kao u slučaju radijalne mreže, pa se mora posebno pažljivo organizirati rad na tim niskonaponskim mrežama i transformatorskim stanicama iz kojih se napajaju.

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 kupcima.

## LITERATURA

- [1] H. Požar: "Visokonaponska rasklopna postrojenja", Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [2] M. Ožegović, K. Ožegović: "Električne energetske mreže III", Split, 1997.
- [3] V. Dvornik: "Analiza nekih mogućnosti pravilnog izbora zaštite u gradskim zamkastim mrežama", Energija br. 3-4, 1969.
- [4] V. A. Kozlov: "Gorodskie raspredeliteljnije električeskie seti", Energoizdat, Lenjingrad, 1982. (knjiga na ruskom)
- [5] Ž. Novinc: "Kakvoća električne energije", GRAPHIS, Zagreb, 2003.
- [6] J. Popović, M. Modrovčić, M. Bajić: "Pogonska iskustva u dvostrano napajanoj niskonaponskoj mreži", 4. simpozij o distribucijskoj djelatnosti, HK CIGRE, Pula, 12.-15. svibnja 2002.
- [7] J. Popović, I. Medač-Sabolović, M. Bajić: "Analiza pogonskih mjerenja u dvostrano napajanoj niskonaponskoj mreži", 4. simpozij o distribucijskoj djelatnosti, HK CIGRE, Pula, 12.-15. svibnja 2002.
- [8] J. Popović: "Iskustva u dvostrano napajanoj niskonaponskoj mreži", 8. savjetovanje HRO CIGRE i HO CIRED, Cavtat, 4.-8. studenog 2007.
- [9] J. Popović: "Način provjere pravilnog odabira osigurača radi selektivnog djelovanja", 7. savjetovanje HO CIGRE, Cavtat, 06.-10. studenoga 2005.
- [10] J. Popović: "Analiza selektivnosti zaštite niskonaponske razdjelne mreže" Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2006.