

Josip Popović
HEP ODS Elektra Bjelovar
josip.popovic@hep.hr

Dejan Ćulibrk
HEP ODS Elektra Bjelovar
Dejan.culibrk@hep.hr

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

Mirjana Padovan
Uprava za inspekcijske poslove u gospodarstvu
Mirjana.padovan@mingo.hr

REZULTATI MJERENJA U RAZLIČITIM REŽIMIMA POGONA DVIJE NISKONAPONSKE MREŽE

SAŽETAK

U radu je opisano kako su pogonska mjerenja najvažniji kriterij za saniranje lošeg naponskog stanja u niskonaponskim mrežama. Saniranje lošeg naponskog stanja provodi se interpolacijom transformatorske stanice ili rekonstrukcijom niskonaponske mreže.

Neke niskonaponske mreže su spojene u sustav s dvostranim napajanjem. Na njih su postavljena mjerenja električne energije. Iz tih mjerenja dobivaju se podaci koji mogu pomoći kod odabira prioriteta niskonaponskih mreža za sanaciju.

Ključne riječi: pogonska mjerenja, radijalne mreže, spojene mreže

MEASUREMENT RESULTS IN VARIOUS OPERATION MODES OF TWO LOW VOLTAGE NETWORKS

SUMMARY

This paper describes how the operating measurements are the most important criterion for voltage sanitation in the low voltage networks. These actions are carried out by interpolating substations or reconstructing low voltage networks.

Some low-voltage networks are connected in a system with a dual power supply. In such cases, certain power meterings are set. The data obtained from these measurements is very useful in the selection of priorities for reconstruction of low-voltage networks.

Key words: operating measurements, radial low voltage networks, connected networks

1. UVOD

Prevelik pad napona u nekoj nadzemnoj niskonaponskoj mreži osnovni je pokazatelj za početak planiranja procesa rekonstrukcije te niskonaponske mreže s ciljem što bržeg uspostavljanja kvalitetnog i zadovoljavajućeg naponskog stanja za sve kupce priključene na takvoj niskonaponskoj mreži.

Naponsko stanje u niskonaponskoj mreži se najjednostavnije i najbolje provjeri izravnim mjerenje napona, najčešće na krajevima niskonaponskih izlaza, te struja opterećenja svakog izlaza u transformatorskoj stanici iz čega se dobiva podatak o simetričnosti opterećenja. Mjerenja se provode u sve tri faze na početku i na kraju niskonaponske mreže.

Iz pogonskih mjerenja se može odrediti strujno opterećenje svakog faznog vodiča, prividnu, radnu i jalovu snagu i ta mjerenja nakon očitavanja mogu se prikazati tablično i grafički.

Osim izmjerenog prevelikog pada napona ima i drugih kriterija koje treba uzeti u obzir.

Kriteriji koji dodatno pomažu kod određivanja redoslijeda niskonaponskih mreža za rekonstrukciju su dužina niskonaponske mreže, presjek vodiča, vrsta i stanje vodiča, stanje priključaka, stanje stupova, položaj niskonaponske mreže u odnosu na prometnicu, broj kupaca, broj i vrsta kvarova, simetričnost opterećenja te specifična potrošnja kupaca.

Sanacija napona u niskonaponskoj mreži u pravilu se izvodi interpolacijom transformatorske stanice ili rekonstrukcijom niskonaponske mreže.

Ukupnu radnu električnu energiju koju preuzimaju kupci posebno se mjeri na izlazu niskonaponske mreže iz transformatorske stanice. Na fazne vodiče ugrađuju se strujni mjerni transformatori na koje se spaja brojilo električne energije. Ovako ugrađena mjerna oprema ostaje u transformatorskoj stanici duže vremena, pa i nekoliko godina. Povremenim očitanjem stanja električnog brojila dobivaju se podaci o prosječnoj potrošnji električne energije u periodu između dva očitavanja. Ovako postavljeno mjerenje električne energije daje dugoročni pregled stanja i funkcioniranja niskonaponske mreže u koje su uključeni i svi pogonski događaji koji se pojavljuju.

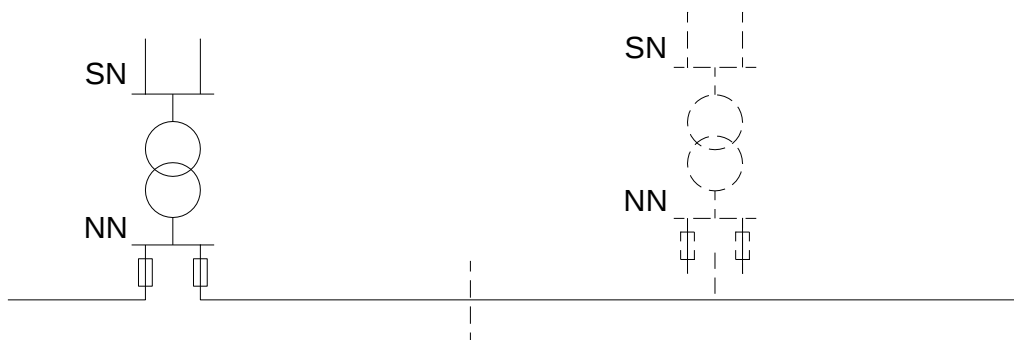
Posebno je zanimljivo pratiti izmjerene vrijednosti u različitim režimima funkcioniranja niskonaponske mreže. U nekim slučajevima, radi privremenog saniranja lošeg naponskog stanja, pribjeglo se spajanju dviju susjednih niskonaponskih mreža u sistem dvostranog napajanja. Tehnički je to izvedivo i pogonski opravdano.

Tijekom dužeg perioda mjerenja niskonaponske mreže su bile spojene u sistem dvostranog napajanja, ali i pojedinim periodima razdvojene i radijalne. Analizom očitavanja mogu se dobiti podaci o tokovima energije u različitim režimima rada niskonaponskih mreža. Osim toga mogu se procijeniti i gubici električne energije. Pošto se broj kupaca točno zna kao i podatak o trajanju načina funkcioniranja može se odrediti prosječnu specifičnu potrošnju električne energije po kupcu. Taj podatak može poslužiti za izračun osnovnih, bolje reći, minimalnih parametara koje treba postići rekonstrukcijom.

2. SANIRANJE LOŠEG NAPONSKIH STANJA

2.1. Interpolacija transformatorske stanice

Interpolacija transformatorske stanice u niskonaponsku mrežu omogućava da se jedan dio niskonaponskog izlaza iz postojeće transformatorske stanice prespoji u novu transformatorsku stanicu i da se tako dobiju bar 3 nova kratka niskonaponska izlaza, dio postojećeg i dva nova, u kojima su u pravilu otklonjene teškoće s lošim naponskim stanjem, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. 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, da srednjenaponski priključak nije predugačak i da nema nepremostivih, prirodnih ili administracijskih prepreka za njegovu izgradnju. Interpolirane transformatorske stanice na vanjskoj mreži grade se najčešće tipski kao stupno-betonske, a rjeđe i montažno-betonske transformatorske stanice. Srednjenaponski kabelski priključak tih transformatorskih stanica sve češće se izvodi kabelski, kao kvalitetnije rješenje od priključnog dalekovoda.

2.2. 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 i ostvarenje preduvjeta za nesmetano priključivanje novih kupaca 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^2 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 nadzemno, samonosivim kabelskim snopom presjeka vodiča 16 mm^2 , ali i podzemno, kabelski presjeka vodiča do 35 mm^2 .

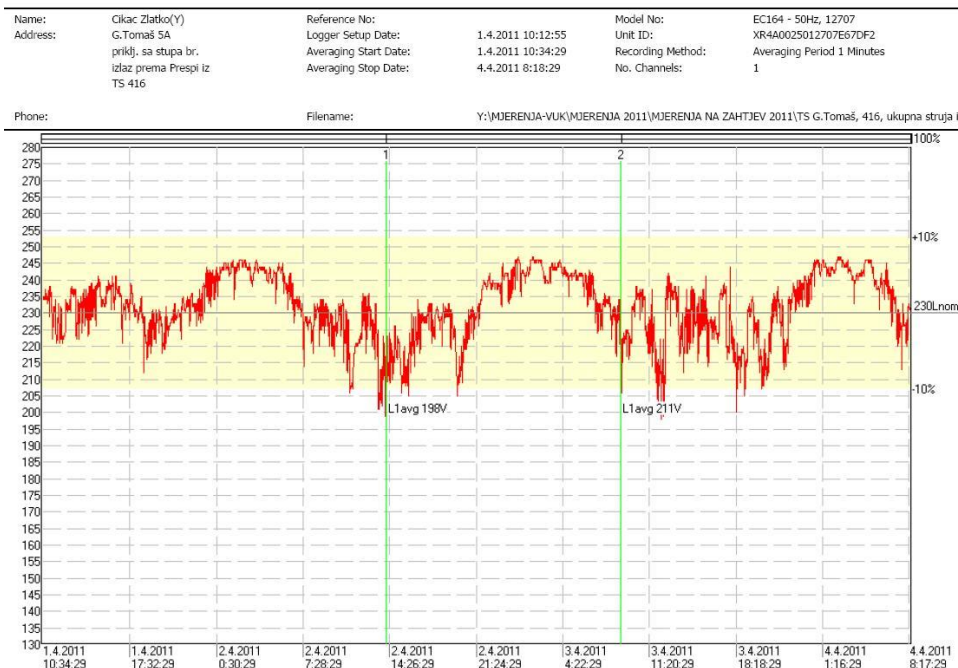
U samonosivi kabelski snop upletena su i dva vodiča za spajanje nove kvalitetne javne rasvjete.

3. POGONSKA MJERENJA

Osnovno mjerenje koje najviše ukazuje na eventualnu potrebu za rekonstrukciju niskonaponske mreže je višednevno mjerenje vrijednosti i kvalitete napona na kraju te niskonaponske mreže. Iz tog mjerenja najbolje se dobije uvid u stanje koje nije zadovoljavajuće za kupce, pogotovo one, pri kraju niskonaponske mreže, što rezultira njihovom nekvalitetnom, pa čak i neredovitom opskrbom. Rezultati mjerenja prikazuju se prikazuju se grafički, kao na slici 2, na kojoj je prikazana srednja vrijednost izmjerenog napona.

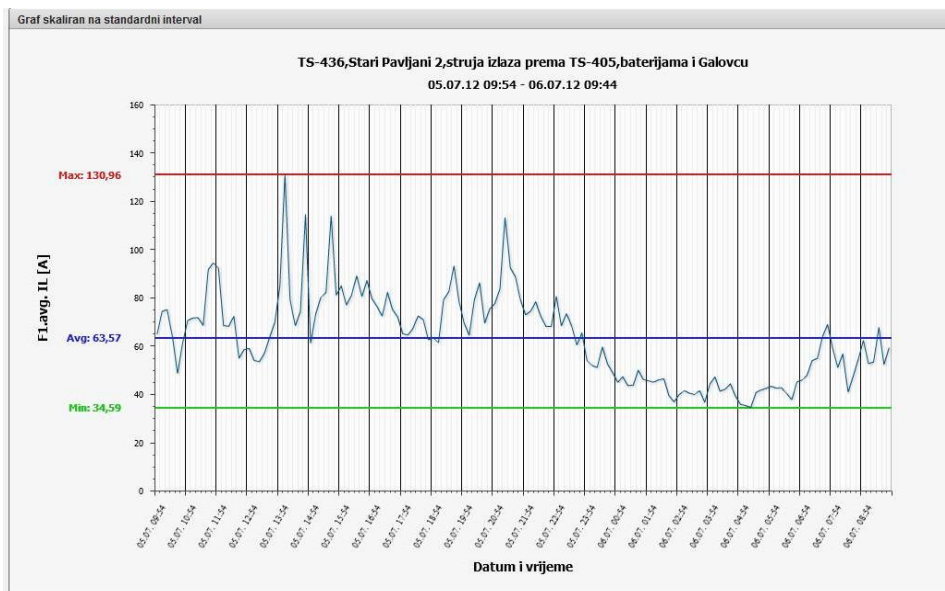
Electrosoft Voltage/Time Graph

Electrosoft by Acksen Ltd
www.electroorder.com
v5.1.0 Build 0161



Slika 2. Srednja vrijednost izmjereno napona

Radi boljeg uvida u stanje niskonaponske mreže mjerenja se vrše i u transformatorskoj stanici po pojedinim niskonaponskim izlazima. Iz njih se dobivaju podaci o naponu u transformatorskoj stanici, opterećenjima i simetričnosti struja pojedinih faznih vodiča, prividnoj, radnoj i jalovoj snazi tog niskonaponskog izlaza i procjena ukupne preuzete električne energije.



Slika 3. Srednja vrijednost izmjerene struje

Na slici 3. prikazana je srednja vrijednost izmjerene struje jednog niskonaponskog izlaza. To je prividna struja. Iz njene vršne vrijednosti određuju se parametri koji trebaju biti ispunjeni nakon rekonstrukcije niskonaponske mreže.

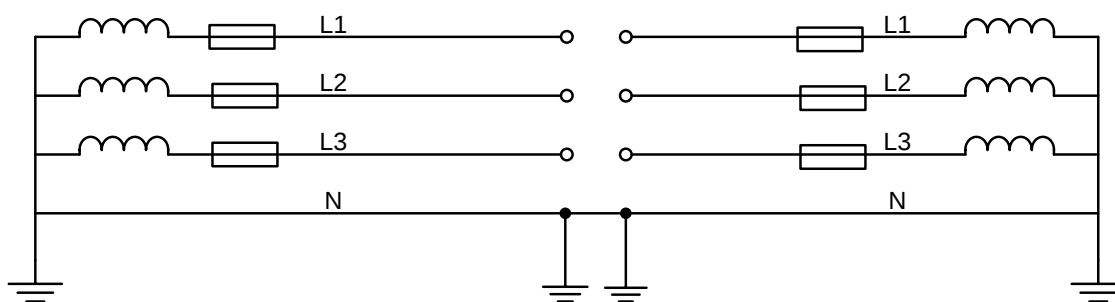
Tablica I. Tablica podataka o niskonaponskim mrežama

NN mreža iz TS	NN izlaz prema	S (kVA)	Max opterećenje TS (kVA)	Faza R Ustr-min (V)	Faza S Ustr-min (V)	Faza T Ustr-min (V)	Izmjereni U _{str-min} (V)	Napon unutar granica +10%	Dužina (m)	Broj kupaca
Međurača 2	Bjelovaru	50	38,9	182	171	184	179	89,7%	924	25
Gornje Sredice 2	Poljančanima	100	85,6	188			188	95,0%	1386	13
Kapela 2	Paulin kloštru	100	23,8	188	184	198	190	91,9%	891	26
Gor.Petrička	Sokaku	30	15,3	181	184	208	191	99,0%	429	10
Markovac-Grginac	Grgincu	50	36,6	200	192	193	195	95,4%	693	29
Gornje Sredice 2 - mlin	Matić brijegu	100	85,6	195	180	211	195	97,8%	1904	27
Kegljevac	Selu	50	35,0	199	199	196	198	97,2%	1469	26
Tomaš-Prokljuvani	Prokljuvanima	30	11,9	202			202	99,1%	726	9
Babinac	G.Petrički	100	80,7	191	211	204	202	99,0%	924	21
Jakopovac	Z.Topolovcu	100	63,0	203			203	96,9%	660	7

Podaci o mjerenjima i ostali podaci koji opisuju stanje niskonaponske mreže upisuju se u tablice podataka o niskonaponskim mrežama kao što je prikazano u tablici I. Ova tablica služi za određivanje prioriteta kod odabira niskonaponskih mreža za rekonstrukciju

4. MJERENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U četiri transformatorske stanice na odabrane niskonaponske izlaze ugrađena su električna brojila za poluizravno mjerenje preuzete radne električne energije. To je odabrano zato što su niskonaponske mreže u kojima se mjerila električna energija bile postavljene jedna prema drugoj iz susjednih transformatorskih stanica prema slici 4. Osim toga kupci na krajevima tih niskonaponskih mreža opravdano su se žalili na loše naponsko stanje koje im uzrokuje teškoće u korištenju električnih uređaja. Mjerenjem je takvo nekvalitetno stanje na krajevima niskonaponskih mreža potvrđeno. Pošto niti interpolacija transformatorske stanice, niti rekonstrukcija niskonaponske mreže nisu bile moguće, pribjeglo se jednostavnom tehničkom rješenju njihovog međusobnog spajanja, na mjestu takozvanog "mrtvog polja", u sustav niskonaponskih mreža s dvostranim napajanjem.



Slika 4. Primjer susjednih niskonaponskih mreža

Niskonaponske mreže u normalnom pogonskom stanju su radijalne, ali kad su ostvareni preduvjeti mogu biti spojene kao sustav mreža s dvostranim napajanjem. U dva slučaja to je i učinjeno i zato se mogu pratiti rezultati mjerenja preuzete električne energije za dva različita pogonska stanja. Da bi takvo stanje bilo moguće moraju se ostvariti uvjeti paralelnog rada dvaju transformatora i osigurati istovjetni redoslijed faznih vodiča na primarnoj strani transformatora.

4.1. Prvi slučaj

Niskonaponska mreža iz TS 600 bila je izgrađena golim vodičima Ač 35 mm² dužine 860 m. Do te niskonaponske mreže bila je niskonaponska mreža iz susjedne TS 601 ukupne dužine 920 metara. Njen prvi dio, dužine 520 metara, bio je izgrađen samonosivim kabelskim snopom 3x70+71,5 mm² na betonskim stupovima, a njen drugi dio je bio dugačak 400 metara, izgrađen golim vodičima Ač 25 mm² na drvenim stupovima.

U radijalnom režimu rada niskonaponskih mreža preuzete pojedinačne energije i ukupna energija su bile prema tablici II.

Tablica II. Energija radijalnih mreža za period pet dana

Broj TS	Energija [kWh]	Postotak [%]
TS 600	2280	59
TS 601	1575	41
Ukupno	3855	100

Prema tablici II vidi se da je niskonaponska mreža iz TS 600 opterećenija od niskonaponske mreže iz TS 601. Period očitavanja je bio pet dana, ali dobro pokazuje odnose preuzete energije. Nakon spajanja mreža u sustav s dvostranim napajanjem, za isti period mjerenja od pet dana promijenio se odnos preuzetih energija u tim dvjema mrežama prema stanju kad su bile razdvojene i to se vidi u tablici III.

Tablica III. Energija spojenih mreža za period pet dana

Broj TS	Energija [kWh]	Postotak [%]
TS 600	1290	39
TS 601	2070	61
Ukupno	3360	100

Ovakva raspodjela odnosa preuzetih količina električne energije spojenih mreža u sustav dvostrano napajanih potvrđen je mjerenje u periodu pedeset dana. I prikazan u tablici IV.

Tablica IV. Energija spojenih mreža za period 50 dana

Broj TS	Energija [kWh]	Postotak [%]
TS 600	10950	38
TS 601	16575	62
Ukupno	27525	100

Iz tablica II i III vidi se da su se promijenili odnosi u preuzetim količinama električne energijama nakon što su mreže spojene u sustav dvostranog napajanja i da je energija preraspodijeljena tako da je povećan udio iz susjedne transformatorske stanice TS 601. To se u prvom redu dogodilo zbog toga što je ta niskonaponska mreža izgrađena samonosivim kabelskim snopom puno većeg presjeka. Period očitavanja od pedeset dana prikazan u tablici IV samo potvrđuje odnose u količinama preuzetih energija.

Iz podataka o mjerenju preuzete električne energije za isti period mjerenja, a u radijalnom i spojenom pogonskom stanju tih niskonaponskih mreža, mogu se iz razlike preuzetih količina električne energije izračunati gubici.

Tablica V. Preuzeta energija i gubici

Sustav	Energija [kWh]	Postotak [%]
Radijalno	3855	100
Spojeno	3360	87,1
Razlika	495	12,9

U tablici V prikazana je razlika u količini preuzete električne energije za oba pogonska stanja. U radijalnom režimu rada tih dviju niskonaponskih mreža ukupno preuzeta količina električne energije je veće nego u spojenom režimu rada i to za 12,9 posto.

4.2. Drugi slučaj

Niskonaponske mreže iz susjednih transformatorskih stanica TS 405 i TS 436 su istog presjeka vodiča AČ 25 mm² i gotovo jednako dugačke 620 i 630 metara. Preuzete energije radijalnih mreža prikazane su u tablici VI.

U tablici VI se vidi odnos energija preuzetih kad niskonaponske mreže još nisu bile spojene u sustav s dvostranim napajanjem. Čak 67,4% energije preuzima niskonaponska mreža iz TS 436 i to zbog većeg broja priključenih kupaca. Na tom niskonaponskom izlazu priključen je 31 kupac. Bez obzira na bitno manju količinu preuzete energije iz TS 406, odnosno 32,6%, u toj niskonaponskoj mreži bilo je povremeno ozbiljno narušeno naponsko stanje, pogotovo na kraju mreže. Na tom niskonaponskom izlazu priključeno je 17 kupaca. Nekoliko zahtjevnih kupaca s većim potrebama i većom potrošnjom električne energije bili su priključeni na kraju tog niskonaponskog izlaza i od tuda su proizlazili problemi i teškoće u korištenju električne energije.

Tablica VI. Radijalno napajane niskonaponske mreže

Broj TS	Energija [kWh]	Postotak [%]	Broj kupaca	Energija. po kupcu [kWh/kupcu]	Snaga po kupcu [kW/kupcu]
TS 405	1760	32,6	17	103,52	0,43
TS 436	3640	67,4	31	117,4	0,48
Ukupno	5400	100	48	112,5	0,46

Tablica VII. Dvostrano napajane niskonaponske mreže

Broj TS	Energija [kWh]	Postotak [%]	Broj kupaca	Energija. po kupcu [kWh/kupcu]	Snaga po kupcu [kW/kupcu]
TS 405	2400	42,9	17	141,2	0,58
TS 436	3200	57,1	31	103,2	0,43
Ukupno	5600	100	48	116,6	0,48

Kad su te dvije niskonaponske mreže spojene u sustav s dvostranim napajanjem nastale su promjene u preuzetim količinama energije i to se vidi u tablici VII.

U tablici VII vidi se odnos preuzete energije nakon spajanja niskonaponskih mreža u sustav s dvostranim napajanjem. Udio energije iz TS 405 se povećao, a udio energije iz TS 436 se smanjio, na što je prevladao utjecaj različitog broja kupaca na tim mrežama.

Iz izmjerenih količina preuzete električne energije u pogonska stanja, radijalno i spojeno, niskonaponskih mreža mogu se izračunati i usporediti razlike u preuzetim količinama električne energije za isti period mjerenja.

Tablica VIII. Preuzeta energija i gubici

Sustav	Energija [kWh]	Postotak [%]
Radijalno	5400	96,4
Spojeno	5600	100
Razlika	200	3,6

U tablici VIII su prikazane količine preuzete električne energije u radijalnom i spojenom pogonska stanju za period mjerenja deset dana. U spojenom pogonskom režimu rada tih dviju niskonaponskih mreža preuzeta količina električne energije je veća od preuzete u radijalno pogonskom stanju za 3,6 %.

5. ZAKLJUČAK

Niskonaponske mreže u kojima je ozbiljno narušeno naponsko stanje, u kojima nema kvalitetne i sigurne opskrbe kupaca električnom energijom, treba osposobiti da se takvo stanje ukloni. To se uglavnom postiže interpolacijom transformatorske stanice na pogodno mjesto u niskonaponskoj mreži ili

rekonstrukcijom te niskonaponske mreže. Kupci koji su svakodnevno izloženi teškoćama koji proizlaze iz nekvalitetne opskrbe električnom energijom ne mogu dugo i strpljivo čekati da se provede interpolacija transformatorske stanice ili rekonstrukcija niskonaponske mreže. Zato postoje neke od metoda za privremeno saniranje lošeg naponskog stanja. Jedna među njima je, ako postoje tehnički uvjeti, spajanje dviju niskonaponskih mreža iz susjednih transformatorskih stanica u niskonaponske mreže s dvostranim napajanjem. Takvim se postupkom privremeno otklanjaju neke teškoće u opskrbi, ugroženih kupaca, električnom energijom.

U toku trajanja pogonskog stanja u kojem su dvije niskonaponske mreže spojene u sustav s dvostranim napajanjem postavljaju se brojala za mjerenje preuzete električne energije na oba izlaza u transformatorskim stanicama.

Povremenim očitanjem brojila dobiva se podatak o količini preuzete električne energije po izlazu i ukupno. Iz tih se podataka mogu usporediti količine preuzete električne energije u radijanom i spojenom pogonskom stanju tih niskonaponskih mreže. Mogu se procijeniti i usporediti gubici električne energije za svako pogonsko stanje, dobiti podatak o specifičnoj potrošnji kupaca i prosječna snaga po kupcu.

Dobiveni podaci iz pogonskih mjerenja električne energije mogu biti podloga i pomoć kod određivanja prioriteta za sanaciju naponskog stanja u niskonaponskim mrežama.

6. 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] Ž. Novinc: "Kakvoća električne energije", GRAPHIS, Zagreb, 2003.V.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] J. Popović: "Iskustva u dvostrano napajanoj niskonaponskoj mreži", 8. Savjetovanje HRO CIGRE i HO CIRED, Cavtat, 4.-8. studenog 2007.
- [8] J. Popović: "Analiza selektivnosti zaštite niskonaponske razdjelne mreže" Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2006.
- [9] J. Popović: "Način provjere pravilnog odabira osigurača radi selektivnog djelovanja", 7. savjetovanje HO CIGRE, Cavtat, 06.-10. studenoga 2005.
- [10] A. Bilek, Z. Popović, J. Popović, I. Bujan: "Prikupljanje, obrada i analiza mjernih veličina u planiranju sanacije naponskih prilika", 11. Savjetovanje HRO CIGRE. Cavtat, 10-13 studenoga 2013. (C6 – 02).