

Sandra Hutter
HEP – ODS d.o.o., Elektra Zagreb
sandra.hutter@hep.hr

Goran Šagovac
HEP – ODS d.o.o., Elektra Zagreb
goran.sagovac@hep.hr

PROVJERA STANJA UZEMLJIVAČKIH SUSTAVA DISTRIBUCIJSKIH STANICA TS 10(20)/0.4 kV U REZONANTNO UZEMLJENIM SN MREŽAMA

SAŽETAK

Prednosti rezonantnog uzemljenja neutralne točke SN mreža (neprekinuti pogon, samogašenje luka) kao i nedostaci (manja osjetljivost zaštite) su dobro poznate. Dosad su u mreži DP Elektre Zagreb uspješno puštena u pogon regulacione prigušnice u 4 TS 23 Botinec i 4 TS 101 Zaprešić, te su se ove prednosti potvrdile i u praksi.

Dan je pregled propisa i procedura za provjeru stanja uzemljivačkih sustava, što se pokazalo važnim. Svi podaci su navedeni za 2 distribucijska pogona u kojima su instalirane Petersen prigušnice u fazi puštanja u pogon.

Glavne riječi: Petersen prigušnica, uzemljivački sustavi, rezonantno uzemljenje SN mreže

ASSESSMENT OF THE EARTHING SYSTEM CONDITION IN DISTRIBUTION SUBSTATIONS 10(20)/ 0.4 kV IN RESONANTLY EARTHED MV NETWORK

SUMMARY

The advantages of resonantly earthed MV networks (continuous operation, arc self-extinction etc.) and some disadvantages (lower protection sensitivity) are well known. Until now in DP Elektra Zagreb distribution network Petersen coils are successfully put in operation in 4 TS 23 Botinec and 4 TS 101 Zaprešić, so these advantages have been confirmed in the praxis as well.

An overview of the procedure is given, with emphasis on the earthing system evaluation, which has proved to be rather important. All data are given for two distribution areas in which Peterson coils are in the phase of putting in operation.

Key words: Petersen coils, earthing system, resonantly earthed MV networks

1. UVOD

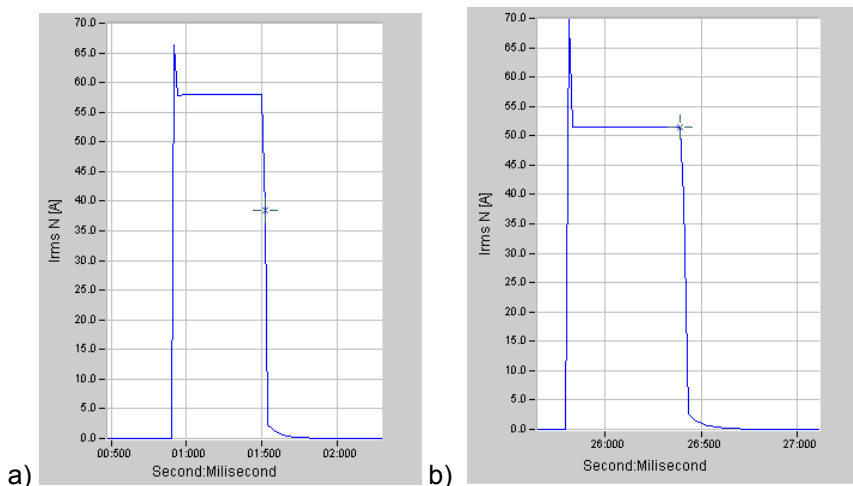
1.1. Prelazak na rezonantno uzemljenje neutralne točke

Na području DP Elektre Zagreb u tijeku je prelazak triju stanica 110/10 (20) kV 4 TS 116 Dugo Selo, 4 TS 102 Samobor i 4 TS 26 Velika Gorica na uzemljenje neutralne točke preko kontinuirano podesive prigušnice - rezonantno uzemljenje. Glavne prednosti rezonantnog uzemljenja neutralne točke su u manjem broju prekida, povećanoj sigurnosti ljudi i poboljšanoj kvaliteti napajanja. Dosad su u mreži

DP Elektre Zagreb uspješno puštena u pogon regulacione prigušnice u 4 TS 23 Botinec i 4 TS 101 Zaprešić, te su se ove prednosti već potvrdile i u praksi.

1.2. Visoke kapacitivne struje

Prema mjerenjima provedenim u proljeće 2008. godine u 4 TS 116 Dugo Selo, ukupna kapacitivna struja je iznosila 113 A, a u TS Samobor ukupna kapacitivna struja je iznosila 186 A. Tokom proteklih godina, kontinuirano praćenje kapacitivna struja u tim stanicama je zabilježena tendencija značajnog porasta struja sa prosječnim godišnjim porastom od 7–10 A.



Slika 1. Izmjerene efektivne vrijednosti kapacitivnih struja zemljospoja na sistemima I i II u 4 TS Dugo Selo

Prema postojećim propisima kad vrijednost kapacitivne struje zemljospoja prijeđe već daleko niže vrijednosti potrebno je uzemljiti neutralnu točku, kako bi se ispunili sigurnosni zahtjevi. Za 10 kV mrežu dozvoljena vrijednost kapacitivne struje iznosi 20 A, za 20 kV mrežu iznosi 15 A i za 35 kV mrežu iznosi 10 A. Neutralna točka može se uzemljiti na razne načine: direktno, preko otpornika, reaktancije, regulacijske prigušnice, a odabrano rješenje će bitno utjecati na kvalitetu pogona mreže, vrstu i cijenu ugrađene opreme, te izbor zaštite i automatike.

Kod uzemljenja neutralne točke preko malog otpornika prema propisima za Elektru Zagreb vrijedi uvjet da struja zemljospoja mora biti ograničena na 300 A u gradskim mrežama odnosno na 150 A u ruralnim mrežama. Međutim, da bi se neutralna točka SN mreže mogla uzemljiti preko malog otpornika, radna komponenta struje zemljospoja mora biti veća od ukupne kapacitivne komponente struje zemljospoja ($3I_C \leq I_R$), u suprotnom je potrebno primijeniti uzemljenje neutralne točke preko prigušnice. U [1] je pokazano da je ovaj uvjet potrebno zadovoljiti da bi se postiglo prigušenje prijelazne pojave, odnosno smanjili faktori prenapona.

Osim toga, prema važećoj hrvatskoj normi HRN HD 637 S1 dozvoljene vrijednosti otpora združenog uzemljenja za TN distribucijske mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika su izrazito niske, te ih je stoga i teško postići (Prilog 1). Promjenom načina uzemljenja nul vodiča i prelaskom na TT tip mreže dozvoljene vrijednosti otpora uzemljenja su znatno više, međutim i kod tog rješenja su potrebna značajna ulaganja, te je pogodnije preći na pogon sa rezonantnim uzemljenjem neutralne točke mreže koji osim toga pruža i mnoge druge prednosti.

Kako su izmjerene kapacitivne struje zemljospoja u SN mrežama napajanim iz 4 TS 116 Dugo Selo i 4 TS 102 Samobor izrazito visoke, a imaju i trend daljnjeg povišenja, u Elektri Zagreb je stoga prihvaćeno rješenje za uzemljenje neutralne točke preko kontinuirano podesive Petersen prigušnice, tzv. rezonantno uzemljenje.

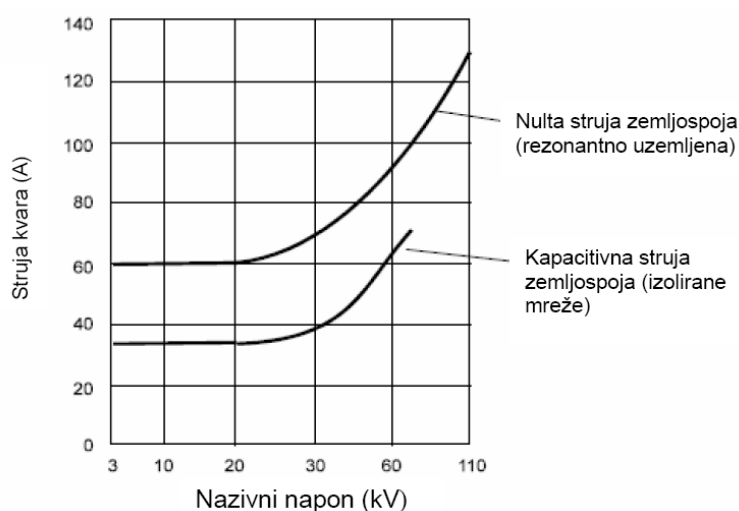
2. UZEMLJENJE NEUTRALNE TOČKE PREKO PODESIVE PETERSEN PRIGUŠNICE

2.1. Prednosti

Glavna prednost rezonantno uzemljenih mreža vezana uz parametre kvalitete električne energije je smanjeni broj prekida napajanja, mogućnost nastavka neprekinutosti pogona usprkos trajanju zemljospoja i smanjeni porast potencijala uzemljivača [2].

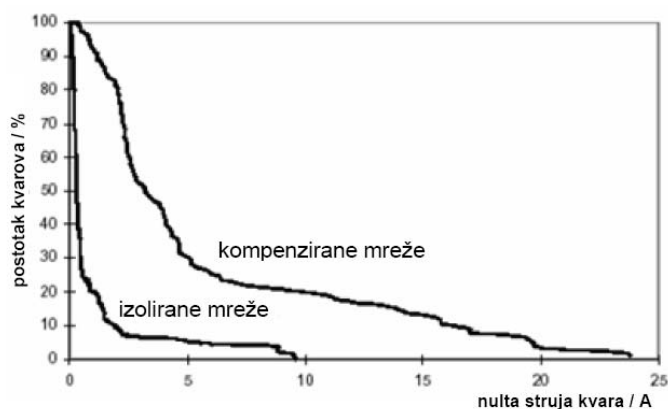
Kod podesive Petersen prigušnice se vrijednost vlastitog induktiviteta prigušnice automatski prilagođuje (pomoću regulatora) različitim konfiguracijama mreže nakon svake promijene uklopnog stanja mreže. Podesive prigušnice u odnosu na fiksne prigušnice stoga daju bolje rezultate što se tiče broja prekida, ali su i zahtjevnije za održavanje.

Kod podesivih (regulacijskih) prigušnica potrebno je periodički provjeravati podešenja prigušnica i stupanj kompenzacije, kako bi se poboljšale sposobnosti prigušnice za "otklanjanjem / premošćivanjem" kvarova, te kako bi se izbjegli problemi vezani uz sustave uzemljenja. Učestalost događaja prolaznog zemljospoja je smanjena uslijed pojave samogašenja luka. Uvjeti za samogašenje električnog luka su prikazani na slici 2. za izolirane i rezonantno uzemljene mreže (DIN krivulje struja samogašenja).



Slika 2. Struje samogašenja u izoliranim i kompenziranim mrežama prema DIN VDE 0228

U praksi je međutim uočeno da postoje odstupanja od dijagrama sa slike 5.2. Prema rezultatima studije provedene u Finskoj [3] dijelom prikazanih na slici 3. iznosi struja samogašenja su znatno manji od onih navedenih po DIN VDE 0228.



Slika 3. Struje samogašenja u realnoj mreži

Pri trajnom zemljospoju pogon se može nastaviti tijekom nekoliko sati zbog malih struja zemljospoja. Posljedica malih struja zemljospoja je ispunjenje uvjeta za povećanu sigurnost ljudi, te su istodobno smanjeni i ostali negativni učinci struja zemljospoja (manja naprezanja opreme i produljenje životne dobi uslijed smanjenih zagrijavanja, smanjeni utjecaj na telekomunikacijske kabele, itd...).

3. OSNOVNI PODACI I STATISTIKE KVAROVA

3.1. SN mreža napajana iz 4 TS 116 Dugo Selo

Specifičnost SN mreže napajane iz 4 TS 116 Dugo Selo je u tome što se radi o pretežno ruralnoj mreži sa dugačkim nadzemnim vodovima. Iz te stanice napaja se 277 trafostanica 10/0,4 kV na području Pogona Dugo Selo. Ukupni broj trafostanica u SN mreži napajanoj iz 4 TS 116 Dugo Selo je 277, od toga su 138 zračne, odnosno 139 kabelske transformatorske stanice. Ukupna instalirana snaga trafostanica je 96 MVA. Ukupna dužina mreže je 216 km, od toga je ukupna duljina nadzemnih vodova 123 km, a ukupna duljina kabelskih vodova 93 km.

Tijekom 2005. godine ukupno je zabilježen 61 kvar, od toga je nadstrujna zaštita iskllopila 29 puta, zemljospojna zaštita 12 puta, a u preostalim slučajevima nije zabilježeno koja zaštita je proradila. U 2006. godini ukupan broj kvarova se povećao na 84, od toga broja je zabilježen iskllop nadstrujne zaštite u 59 slučajeva i iskllop zemljospojne zaštite u 11 slučajeva, dok u preostalim slučajevima nije zabilježeno koja zaštita je proradila. S obzirom na veliki broj starijih zračnih vodova u mreži i relativno veliko područje ovakav broj kvarova je i očekivan.

3.2. SN mreža napajana iz 4 TS 102 Samobor

SN mreža napajane iz 4 TS 102 Samobor je mješovita, kabelska mreža koja napaja uglavnom gradsko područje, dok je okolini ruralni dio pokriven dugačkim nadzemnim vodovima.

Iz stanice 4 TS 102 Samobor napaja se otprilike dvije trećine transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV na području Pogona Samobor. Ostale stanice napajaju se iz 4 TS 27 "Rakitje" i 3 TS 110 "Kalinovica". Ukupni broj trafostanica u SN mreži napajanoj iz 4 TS Samobor je 193, od toga su 68 zračne, odnosno 125 kabelske transformatorske stanice. Ukupna instalirana snaga trafostanica je 87 MVA. Ukupna dužina mreže je 190 km, od toga je ukupna duljina nadzemnih vodova 78 km, a ukupna duljina kabelskih vodova 112 km.

S obzirom na veliki broj zračnih vodova u mreži, relativno veliko područje, koje je djelomično brdsko i teško dostupno, broj kvarova je i manji od očekivanog. Postojeća SN mreža je dobro održavana. Tijekom 2005. godine ukupno je zabilježeno 55 kvarova, od toga je nadstrujna zaštita iskllopila 6, a zemljospojna zaštita 49 kvarova. U 2006. godini ukupan broj kvarova se smanjio na 33, od toga broja je zabilježen iskllop nadstrujne zaštite u 5 slučajeva, a iskllop zemljospojne zaštite u 28.

Tablica I. Podaci o SN mrežama i broju prekida

Stanica	4 TS 102 Samobor	4 TS 116 Dugo Selo
Ukupna dužina mreže	190 km	209 km
Nadzemni vodovi	78 km	141 km
Broj TS 10(20)/0,4 kV	125	82
Kabelski vodovi	112 km	68 km
Broj TS 10(20)/0,4 kV	125	108
Prekidi > 3 min u 2005 g.	55	61
u 2006 g.	33	81

4. STANJE UZEMLJIVAČA

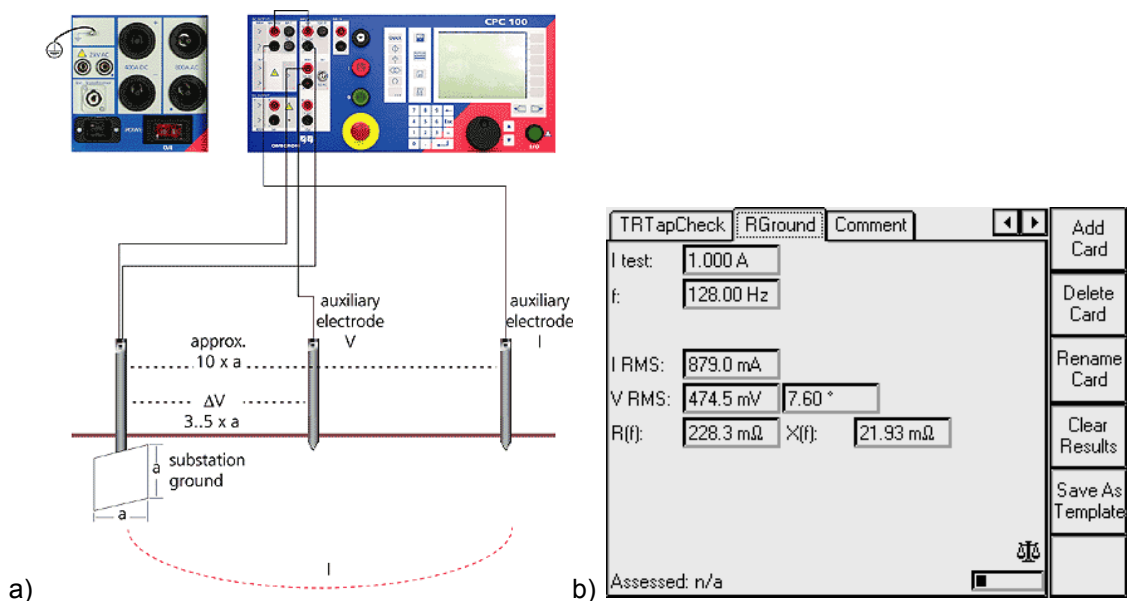
Provedena je provjera uzemljivačkog sustava na uzorku od 46 TS 10/0.4 kV što predstavlja 24 % od ukupno 190 distribucijskih trafostanica napajanih iz 4 TS 116 Dugo Selo. Veći broj odabranih stanica su zračne stanice na nizinskom dijelu u okolici Dugog Sela. Odabrano je i nekoliko kabelskih stanica na području grada.

Za reprezentativni uzorak odabrane su stanice kod kojih se moglo očekivati lošije stanje postojećih uzemljivača na potezu sedam nadzemnih vodova, te stanice na trasi dva kabelska voda.

Na području napajanom iz 4 TS 102 Samobor provedena je provjera uzemljivačkog sustava na uzorku od 55 TS 10/0.4 kV što predstavlja 28,5 % od ukupnog broja trafostanica.

Za reprezentativni uzorak u prvoj grupi su odabrane stanice kod kojih se moglo očekivati lošije stanje postojećih uzemljivača na potezu 3 zračna voda na brdskom području. Drugoj grupi pripadaju stanice priključene na nadzemnu mrežu nizinskog dijela okolice Samobora. Trećoj grupi pripadaju stanice priključene na kabelsku mrežu na području i u bližoj okolici grada Samobora. Odabirom stanica iz tri karakteristične grupe za reprezentativni uzorak pokriveni su sve varijante priključka stanica na SN mrežu – kabelske i nadzemne (zračne) mreže na području grada Samobora, predgrađa Samobora te udaljenih ruralnih TS 10(20)/0,4 kV.

Provjereni su i podaci o otporima uzemljenja svih preostalih stanica prema dokumentaciji Pogona Samobor. Otpor uzemljenja je mjereno UI metodom pri frekvenciji od 128 Hz, jer je kod te frekvencije ostvaruje najmanji utjecaj smetnji i osigurava stabilnost mjernih rezultata. Korišten je uređaj Omicron CPC 100.

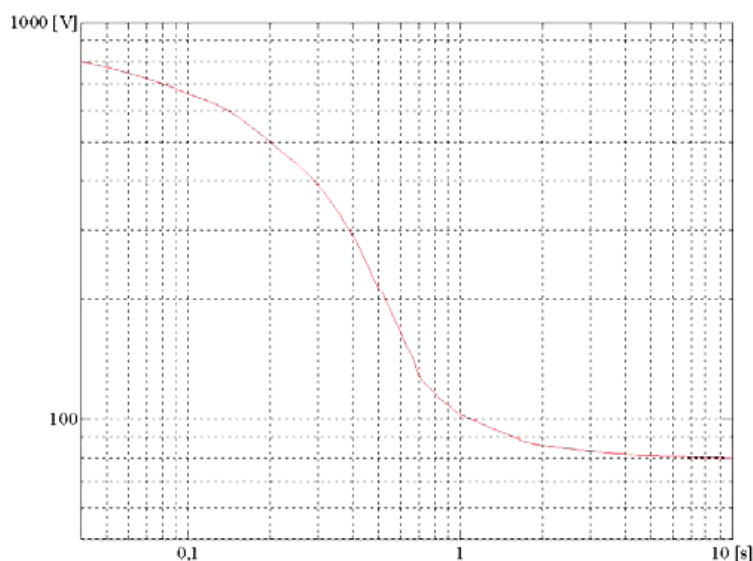


Slika 4. Mjerenje otpora uzemljenja UI metodom: a) shema mjerenja i oprema b) mjerni prozor

4.1. Zahtjevi norme

U Hrvatskoj je prihvaćena europska norma HD 637 S1 "Električna postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV" od ožujka 2002. godine.

Naponi dodira u vremenskom području $t < 1$ s propisani ovim europskim standardom znatno su viši od onih u starim hrvatskim propisima. Slika 2.2. prikazuje napone dodira u ovisnosti o trajanju struje zemljospoja prema prihvaćenoj hrvatskoj normi HRN HD 637 S1.



Slika 5. Dopušteni naponi dodira u ovisnosti o trajanju struje kvara prema HRN HD 637 S1:2002 na naponskim nivoima iznad 1 kV

Tablica II. Dopušteni naponi dodira u ovisnosti o trajanju struje kvara prema HD 637 S1

Trajanje zemljospoja t [s]	0,04	0,08	0,14	0,20	0,29	0,39	0,49	0,64	0,72	1,1	10
Napon dodira U_d [V]	800	700	600	500	400	300	220	150	125	100	80

Vrijednost trajno dopuštenog napona dodira (preko 10 sekundi) prema predmetnoj normi je 75 V. Odgovarajuće izvedenim sustavom rezonantnog uzemljenja relativno je lako zadovoljiti uvjete o dopuštenim naponima dodira.

Na primjer, ako se rezonantno uzemljenje primjeni u mreži s kapacitivnom strujom zemljospoja od 200 A, što je otprilike i slučaj u Pogonu Samobor uz pretpostavku da postoji određeno odstupanje od potpunog podešenja, struja koja stvarno teče kroz uzemljivač će iznositi 30 A. Ta struja se sastoji od kapacitivne struje kvara (nekompenzirane) i radne komponente iznosa 5-10 A.

U tom slučaju vrijednosti otpora uzemljenja u TN sistemima, da bi se zadovoljili propisi o dozvoljenim naponima dodira moraju biti manji od:

$$R_{uz} = \frac{75 \text{ V}}{30 \text{ A}} = 2,5 \Omega \quad (1)$$

Ovdje nisu uzimani u obzir nikakvi reduksijski faktori, pa se radi o konzervativnoj vrijednosti. Prema HRN HD 637 S1 za TN sistem se uzima da je porast potencijala uzemljivača veći od dodirnog napona za neki faktor X, te je obično $X = 2$. Stoga za pojedine stanice vrijednosti otpora uzemljenja mogu biti i više, ali u tom slučaju treba mjerenjem potvrditi da su ispunjeni zahtjevi o dozvoljenim porastima napona dodira. Norma navodi da su za vrijednosti X moguća odstupanja ovisno o stanju na terenu. Prilikom provedbe mjerenja susreli smo se sa raznolikim tipovima stanica, terenima, stupnjevima održavanja i starosti, te smatramo da se zbog sigurnosti ne bi trebalo automatski uzimati vrijednost navedenog faktora 2 (iako će naravno dodirni napon uvijek biti manji od porasta potencijala uzemljivača, koji je definiran strujom kroz zemlju i otporom uzemljivača), te je u slučaju kada je nemoguće izvesti rekonstrukciju uzemljivača kojom bi se postigla željena vrijednost potrebno napraviti mjerenja dodirnog napona kod pokusa sa velikom strujom kratkog spoja. Nadalje, ne treba zanemariti ni daljnji rast struja koje će kroz duži vremenski period još sigurno rasti.

4.2. Pregled rezultata

Kontrolnim mjerenjima u stanicama napajanim iz 4 TS 116 Dugo Selo ustanovljeno je da otpor uzemljenja prelazi dozvoljene vrijednosti u 10 od 46 uzorkovanih stanica, a u stanicama napajanim iz 4 TS 102 Samobor otpor uzemljenja prelazi dozvoljene vrijednosti u 12 od 55 uzorkovanih stanica.

Prema dodatno dobivenim rezultatima mjerenja otpora uzemljenja iz Pogona Dugo Selo, vrijednosti otpora uzemljenja prelaze dozvoljenu vrijednost od $2,5 \Omega$ u još 11 stanica, tako da je ukupno potrebno sanirati sustave uzemljenja u 21 stanici, dok prema podacima dobivenim iz Pogon Samobor, vrijednosti otpora uzemljenja prelaze dozvoljenu vrijednost u još 6 stanica, tako da je na tom području ukupno potrebno sanirati sustave uzemljenja u 18 stanica. Izrazito visoki otpori uzemljenja od 10Ω i 19Ω izmjereni su samo u dvije stanice. Sve kabelske stanice imaju male otpore uzemljenja oko $60 m\Omega$ i u svim slučajevima ispod 1Ω . Kontrolna mjerenja otpora uzemljenja moraju se provoditi svakih 5 godina u svim distribucijskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV.

Provedena mjerenja su pokazala da će otprilike **10-20 % uzemljivačkih sustava u SN/NN stanicama** na danim područjima zahtijevati neku vrstu intervencije i poboljšanja.

Sustave uzemljenja kod kojih je izmjeren preveliki otpor uzemljenja je potrebno sanirati prije puštanja prigušnice u pogon. Kod pogona mreže sa rezonantno uzemljenom neutralnom točkom, pogon se pri kratkom spoju u mreži zbog relativno malih struja kvara koje pri tom teku može nastaviti čak i nekoliko sati. Ukoliko uzemljivački sustavi nisu pravilno izvedeni, naponi dodira mogu biti i do nekoliko puta veći od dozvoljenih i poprimiti opasne vrijednosti, te bi se time indirektno ugrozila sigurnost ljudi.

Ukoliko nije moguće ispuniti zahtjeve za dopuštene vrijednosti napona dodira radno uzemljenje se mora odvojiti od zaštitnog uzemljenja. Međutim, nije uvijek moguće pronaći dovoljno veliku površinu za smještaj zaštitnog uzemljivača i za efikasno odvajanje pogonskog i zaštitnog uzemljenja.

Minimalna potrebna površina za smještaj zaštitnog uzemljivača i efikasno odvajanje pogonskog i zaštitnog uzemljenja na terenima sa srednjim specifičnim otporom tla od 100 do $500 \Omega m$, iznosi približno $5000 m^2$. Dodatni uvjet da se unutar te površine ne smiju nalaziti nikakve metalne instalacije koje bi bile povezane s NN pogonskim uzemljenjem dodatno otežava problem odvajanja uzemljenja.

Na zahtjevnim terenima s visokom specifičnom vodljivosti tla na kojima je teško postići zahtijevane vrijednosti otpora uzemljenja mogu se provesti alternativne mjere kojima će se izbjeći mogući kontakt (dodirivanje) vanjskih zidova trafostanica, što se obično provodi izoliranjem tla širine 1,25 m oko trafostanice asfaltiranjem (na odgovarajuću podlogu npr. šljunak) ili nasipavanjem krupnim slabo vodljivim tucanikom debljine sloja najmanje 100 mm, odnosno polaganjem izolacionog tepiha debljine 2,5 mm.

Kao mjera za smanjenje otpora uzemljenja trafostanice primjenjuje se oblikovanje potencijala polaganjem vodoravnih uzemljivača. Kod zidanih trafostanica (ili stupova) obično se polažu trake na udaljenosti od oko 1 m i na dubini od oko 0,2m. Taj vodoravni uzemljivač mora se spojiti sa svim metalnim dijelovima koji se moraju uzemljiti i koje je moguće dodirnuti.

U dodatku D, norme HRN HD 637 S1 navedene su priznate propisane mjere za postizanje dopuštenih napona dodira za trafostanice s unutarnjim i vanjskim postrojenjima.

Kod novih TS u završnoj fazi izgradnje stanice i uzemljenja, prije stavljanja u pogon, treba izvršiti mjerenje otpora rasprostiranja, te mjerenja napona dodira i koraka, te prema potrebi poboljšati uzemljenje i karakteristične veličine napona dodira dovesti u okvire dopuštenih.

5. USPOREDBA SA PRAKSOM U E.ON BAYERN

Distribucijska područja E.ON Bayern su također uglavnom ruralna, teško dostupna i velika područja. Ukupan broj 20 kV mreža je naravno daleko veći, istočna Bavarska je podijeljena na 134, uglavnom mješovite 20 kV mreže sa kabelima i nadzemnim vodovima i gotovo sve mreže su rezonantno uzemljene. Navest ćemo kriterije za pogon 20 kV rezonantno uzemljenih mreža, prema važećim propisima za E.ON Bayern [6]. Vidljivo je da su prakse i smjernice u usporedbi sa distribucijom na području Zagreba vrlo slične. Prema smjernicama E.ON Bayern za projektiranje opreme, najveća dozvoljena preostala struja je 32 A. Kao i kod nas postepeno širenje kabelske mreže dovele je do porasta kapacitivnih struja kratkog spoja, te je i dozvoljena preostala struja prelazila 32 A, stoga je istim uvjetom je ograničena i najveća dozvoljena veličina (dužina) mreže.

5.1. Zahtjevi definirani standardima

Prema DIN VDE 0228, dio 2, luk se u 20 kV sustavima gasi pri preostalim strujama do 60 A. Svaki kratki spoj predstavlja trajni kvar. Glavni rizik je da se jednopolni trajni kratki spoj pretvori u dvostruki kratki spoj, prije nego je kvar lociran, odnosno vod isključen. Na mjestu kvara preostala struja uzrokuje oštećenja opreme i dodirni napone. Tipično pogon pod kvarom traje između pola sata do dva sata.

Prema važećim normama u Njemačkoj na snazi su slijedeći propisi:

- **Pogon** električnih instalacija DIN EN 50110-1

Zahtjeva se otkrivanje i brza lokalizacija kratkog spoja. Koriste se releji sa tranzijentnom metodom ili osjetljivi usmjereni zemljospojni releji.

- **Termički zahtjevi za projektiranje opreme** HD 637

Norme definiraju proračun presjeka uzemljivača s obzirom na stvarne struje kratkog spoja.

- **Interferencije sa telekomunikacijskim sistemima** DIN VDE 0228-2

Norma DIN VDE 0228-2 ne zahtjeva posebne provjere ukoliko je ispunjen uvjet da su preostale struje do 60 A.

- Dozvoljeni **dodirni naponi** HD 637, HD 384.442, DIN EN 50423-1, DIN VDE 0141

Provjerava se:

- a) Dodirni naponi u distribucijskim stanicama
- b) Preneseni dodirni naponi u NN mrežama (uzrokovani kvarom u SN mrežama)
- c) Dodirni naponi na stupovima SN mreže

5.2. Ocjena stanja

Prema HD 637 mjerenje dodirnih napona u VN stanicama provodi se sa ispitivanjem jakim strujama (Prilog N). Ispitivanja jakim strujama spadaju u složena ispitivanja, te u praksi često nisu provediva. Stoga HD 637 dozvoljava i proračun povišenja porasta potencijala uzemljivača i procjenu između izračunatog porasta potencijala uzemljivača i stvarno dozvoljenog dodirnog napona.

Kao ekonomski izvedivo rješenje za procjenu stanja velikog broja više od 18,000 SN/NN distribucijskih stanica s obzirom na dodirne napone, odlučilo se provesti mjerenje porasta potencijala uzemljivača

Prema metodi u HD 637 pri ocjene stanja uzemljenja potrebno je provesti slijedeće:

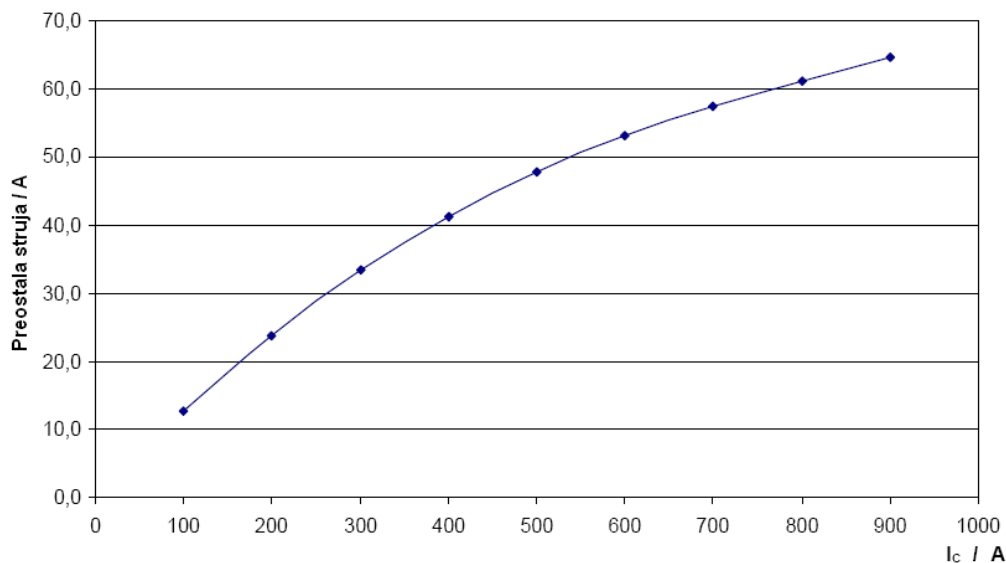
- a) određivanje stvarne struje
- b) određivanje impedancije uzemljivača prema zemlji

Kako različite komponente preostale struje nisu poznate i ovise o mnogo parametara, određivanje veličine preostale struje je teško. Postoje tri načina za **određivanje preostale struje**:

- a) pokusima kratkog spoja
- b) grubom procjenom prema HD 637
- c) procjenom različitih komponenti doprinosa (I_c , I_l , I_h , I_R)

Pokusima kratkog spoja preostale struje se mogu direktno izmjeriti. Osim puno uloženog truda, postoji i opasnost od pojave dvostrukih kratkih spojeva ili čak višestrukih kratkih spojeva na nekoliko različitih mjesta.

Ukoliko stvarana vrijednost preostale struje nije poznata HD 637 dozvoljava grubu **procjenu od 10% u odnosu na kapacitivnu struju** kratkog spoja u mreži. Slika prikazuje ovisnost preostale struje za tipičnu 20 kV mrežu o kapacitivnoj struji kratkog spoja (uopćeni slučaj).



Slika 6. Ovisnost preostale struje za tipičnu 20 kV mrežu o kapacitivnoj struji kratkog spoja

Preostala reaktivna komponenta struje kao i radna komponenta struje kratkog spoja mogu se odrediti mjerenjem. Poznato je da harmonička komponenta struje kratkog spoja korelira sa THD faznih napona tokom normalnog pogona.

Povećanje veličine mreže utiče na povećanje kapacitivnih struja kratkog spoja:

- povećanih naprežanja na mjestu kvara
- povećane poraste potencijal uzemljivača i povišene dodirne napone
- induktivne interferencije.

Na osnovi istraživanja u E.ON Bayern predloženo je povećanje projektne vrijednosti preostale struje na 60A. Postojeći uzemljivači su projektirani za preostale struje od 32 A, te je trebalo procijeniti da li je zadovoljen uvjet dodirnog napona od 75 V, ukoliko se preostale struje povećaju na 60 A.

Impedancija uzemljivača se može odrediti na više načina:

- proračun iz površine uzemljivača, specifičnog otpora tla i procjene paralelno priključene impedancije
- mjerjenja sa instrumentom za mjerenje otpora uzemljenja
- mjerjenja sa jakim strujama prema HD 637 (Prilog N)

U principu ispitivanja sa jakim strujama simuliraju stanje prilikom kratkog spoja i procjene dodirnih napona, koji npr. mogu biti preneseni PEN vodičem na NN stranu mreže. Uslijed utjecaja velike površine npr. nekoliko slojeva tla, te tipa i veličine paralelno priključenih NN sistema tipično mjerenje sa instrumentom za mjerenje otpora uzemljenja ne mogu obuhvatiti cijeli povezani sistem. Međutim zbog ogromnog broja stanica nije moguće provesti ispitivanja sa jakim strujama na velikom broju stanica. Ispitivanja na 120 stanica su pokazala da u načelu ispitivanja sa instrumentom za mjerenje otpora uzemljenja u odnosu na mjerenja sa jakim strujama daju više rezultate. U svim slučajevima ispitivanja sa jakim strujama je otpor uzemljivača bio manji od 2,5 Ohm.

U E.ON Bayern je prihvaćeno povećanje preporučene preostale struje sa 32 A na 60 A.

6. ZAKLJUČAK

Iako je i pojam uzemljivača i problematika uzemljenja neutralne točke mreža dobro poznata i obrađena, aktualizacija ove teme je nužna sa naglaskom na jasno određivanje kriterija, procedura, ispravnog načina mjerenja i utjecaja na druga bliska područja, poput relejne zaštite, telekomunikacija, itd. Sam koncept se naravno ne mijenja, ali rast mreže postavlja i praktična pitanja poput, kako provjeriti otpor uzemljenja na velikom broju stanica, kako naći neutralnu zemlju na području grada ili koje su granice rasta mreže čak i kod kompenziranog pogona, a i teorijska pitanja poput određivanja stvarnih struja samogašenja električnog luka.

Provjera stanja uzemljivačkih sustava je pokazalo da će otprilike 10 % uzemljivačkih sustava u SN/NN stanicama zahtijevati neku vrstu intervencije i poboljšanja. Provedena mjerenja su se pokazala važnim i potrebno ih je uključiti u proceduru koja se slijedi prije puštanja Petersen prigušnice u pogon. Sustave uzemljenja kod kojih je izmjeren preveliki otpor uzemljenja je potrebno sanirati prije puštanja prigušnice u pogon. Kao privremena mjera može se prihvatiti isključivanje voda na kojem su locirane stanice sa lošim stanjem uzemljivača, odnosno u tom slučaju se ne smije dozvoliti trajni pogon tokom kvara.

7. DODATAK

Granične vrijednosti otpora združenog uzemljenja prema HRN HD 637 S1 za SN mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika navedene su u tablici III.

Vrijednosti su računate prema formulama koje vrijede prema HRN HD 637 S1:

za NN mrežu TN tipa:

$$R_{uz_zdr} = \frac{X \cdot U_d}{r \cdot I_z} \quad (2)$$

za NN mrežu TT tipa:

$$R_{uz_zdr} = \frac{1200 V}{r \cdot I_z} \quad (\text{za kvarove do 5 s}); \quad (3)$$

$$R_{uz_zdr} = \frac{250 V}{r \cdot I_z} \quad (\text{za kvarove preko 5 s}) \quad (4)$$

Pri tome je za veličinu reduksijskog faktora r uzeta vrijednost 1 što odgovara nadzemnim SN mrežama bez zaštitnog vodiča. Ukoliko se mjerenjima za pojedinu stanicu utvrdi da je potencijal uzemljivača veći od napona dodira za neki omjer, taj odnos se može uzeti u obzir pomoću faktora X .

Tablica III. Granične vrijednosti otpora združenog uzemljenja prema HRN HD 637 S1 za SN mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika

		$R_{uz_zdr} [\Omega]$					
		$I_{z_R} = 150 \text{ A}$			$I_{z_R} = 300 \text{ A}$		
Trajanje zemljospoja		$t = 0,5 \text{ s}$	$t = 1 \text{ s}$	trajno	$t = 0,5 \text{ s}$	$t = 1 \text{ s}$	trajno
Tip NN mreže	TN	1,46	0,73	0,5	0,73	0,37	0,25
	TT	8		1,67	4		0,83

LITERATURA

- [1] L. Delbianco "Doprinos istraživanju utjecaja otpornog uzemljenja zvjezdišta na visine prenapona i na sistem zaštitnog uzemljenja u razdjelnim mrežama", doktorska dizertacija, Zagreb, 1998.
- [2] A. Cerretti, G. Di Lembo, G. Valtorta, "Improvement in the Continuity of Supply Due to a Large Introduction of Petersen Coils in HV/MV Substations", Proceedings CIRED Turin, 2005.
- [3] Dr. Seppo Hänninen "Single phase earth faults in high impedance grounded networks Characteristics, indication and location", VTT publications, 453, Technical research centre of Finland, ESPOO, 2001. g.
- [4] S Höne, K Hentschel, "Definition of Criteria to Operate 20kV Networks with Arc Suppression Coils According to Standards", CIRED 2009, 20th International Conference on Electricity Distribution, Prag, Češka, lipanj 2009, 769.